



ПЬЕР МОЛЛО & АНН НУРИ

ПЛАНКТОН

Учебное пособие

Издательства Шарль Леопольд Майер

Pierre Mollo

Anne Noury

**LE MANUEL
DU PLANCTON**

Paris

Editions Charles Leopold Mayer

2013

**ИНСТИТУТ МОРСКИХ БИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ИМЕНИ А. О. КОВАЛЕВСКОГО РАН**

Пьер Молло, Анн Нури

ПЛАНКТОН

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

Перевод с французского

канд. биол. наук В. И. Холодова

Севастополь

2019

УДК 574.583
ББК 28.082я73
М 75

Молло П., Нури А.

М 75 **Планктон. Учебное пособие** / П. Молло, А. Нури ; пер. с фр. В. И. Холодова. - Севастополь, 2019. - 195 с. : 54 ил., библиогр.: 48 назв.
ISBN 978-5-6042938-0-5 DOI: [10.21072/978-5-6042938-0-5](https://doi.org/10.21072/978-5-6042938-0-5)

Научно-популярная книга, дающая читателю представление о планктоне Мирового океана как о сверх-гигантском сообществе мельчайших растительных и животных организмов. Планктонные сообщества представлены в виде трофических цепей, звенья которых тесно взаимодействуют. Обсуждается влияние внешних факторов (течений, глобального потепления, подкисления морской воды и т.д.) на структуру, функционирование и биоразнообразие планктонных сообществ. Показана перспективность использования продукции начальных звеньев трофической цепи как основы эксплуатации морских биоресурсов, в том числе и для решения проблемы голода.

Для широкого круга читателей, как для только приступивших к изучению планктона и (или) гидробиологии, так и опытным специалистам по отдельным группам планктонных организмов.

УДК 574.583
ББК 28.082я73
М 75

Mollo P., Nourry A.

Textbook on Plankton / P. Mollo, A. Nourry; transl. from French V. I. Kholodov. - Sevastopol, 2019. - 195 p. : 54 il., bibliogr.: 48 items.
ISBN 978-5-6042938-0-5 DOI: [10.21072/978-5-6042938-0-5](https://doi.org/10.21072/978-5-6042938-0-5)

Popular science book gives an overview on oceans' plankton as a super-gigantic community of the tiniest plant and animal species. Plankton community are represented as trophic chains with tightly interacted links. The Book covers such issues as externalities' influence (currents, global warming, sea water acidification etc.) over the structure, functioning and bio-variety of plankton community. The Book demonstrates potential for use of the initial trophic chain links' products as a foundation for exploitation of the ocean bio-resources and as a resolution for the hunger problems.

The book is intended for the broad scope of readers, to the beginners in the plankton and/or hydrobiology studies as well as for the experienced professionals in the different plankton' groups.

Утверждено к печати Учёным советом
ФГБУН «Институт морских биологических исследований
имени А. О. Ковалевского РАН» (протокол № 1 от 11 февраля 2019 г.)

©Холодов В.И., перевод на
русский язык, 2019

ISBN 978-5-6042938-0-5

АВТОРЫ

Пьер Молло

Проработав свыше сорока лет в сфере морских ресурсов и планктона, преподаватель - исследователь Пьер Молло, стал известным специалистом в данной области. В настоящее время он является активным пенсионером, который всё своё время посвящает передаче своих знаний и опыта максимальному количеству людей, для чего он создал многочисленные связи между миром профессионалов, работающих в море с одной стороны и достижениями науки – с другой. Он развивает международное сотрудничество (Европа, Азия, Африка, Южная Америка) и взаимодействует с бретонскими ассоциациями сельскохозяйственных фермеров, рыбаков, морских фермеров с целью совершенствования управления береговой полосой, а также охраны планктона. Г-н Молло принимает активное участие в работе конференций, семинаров; создаёт документальные фильмы, пишет книги и, в содружестве с Океанополисом и Фондом «Прогресс для Человека», он создал в Интернете сайт (www.plancton-du-monde.org), с целью передачи заинтересованным лицам научно-популярной информации о планктоне и морской среде.

Анн Нури

Анн Нури - режиссёр документальных фильмов и автор книжных изданий (молодёжные альбомы, новеллы, брошюры о деятелях искусства, статьи, выставки). Её фильмы и книги часто связаны с морем. Поэтому она с энтузиазмом присоединилась к Пьеру Молло в это проникновение в секреты океана. Для неё открытие планктона явилось новым видением планеты и места, которое человек в ней занимает.

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---|-----|
| Предисловие..... | 10 |
| Введение | 11 |
| | |
| Часть первая – ФИТОПЛАНКТОН | |
| | |
| Глава 1. Микроскопические водоросли..... | 19 |
| Глава 2. Сине-зелёные водоросли или цианобактерии | 26 |
| Глава 3. Диатомовые водоросли..... | 34 |
| Глава 4. Кокколитофориды..... | 51 |
| Глава 5. Золотистые и зелёные микроводоросли..... | 56 |
| Глава 6. Динофлагеллаты..... | 65 |
| Глава 7. Где живёт фитопланктон? | 79 |
| | |
| Часть вторая – ЗООПЛАНКТОН | |
| | |
| Глава 1. Постоянный зоопланктон: связи между двумя мирами..... | 82 |
| Глава 2. Протозои (простейшие или протисты) | 88 |
| Глава 3. Коловратки | 91 |
| Глава 4. Копеподы..... | 96 |
| Глава 5. <i>Artemia salina</i> | 108 |
| Глава 6. Криль..... | 117 |
| Глава 7. Медузы..... | 129 |
| Глава 8. От постоянного зоопланктона к зоопланктону временному..... | 141 |
| Глава 9. Личинки ракообразных..... | 145 |
| Глава 10. Личинки рыб..... | 153 |
| Глава 11. Личинки моллюсков..... | 159 |
| Глава 12. Личинки иглокожих..... | 166 |
| | |
| Заключение: Открыть глаза на невидимое..... | 170 |
| Библиография..... | 172 |
| Фотографии..... | 174 |

ВЫРАЖАЕМ БЛАГОДАРНОСТЬ:

Морган Неделек за научную поддержку

Мариш-Франс Нури за редактирование текста

Жеральдине Жюблен за её схемы

Анне Блондель за рисунки

Женевьеве Арзюль, Бернарду Шмитту и Морису Луара за их участие

*Фонду Шарля Леопольда Майера «Прогресс для Человека», его директору Матье Калама и Пьеру Ворэну за их поддержку и терпение
Океанополису, особенно Эрику Юссно и Филиппу Койольту за их ценное участие*

Всем персонам, предоставившим нам фотографии, статьи и всем пожелавшим ответить на наши запросы.

Анн Нури и Пьер Молло

*Мартэну, Пените, Шарлю и Андреа.
Всем молодым, которые завтра получают планету в наследство.*

Спасибо Мартэну за терпеливую поддержку.

*Спасибо Иву Нури за его дом и мой кабинет
с видом на планктон.*

Спасибо Пьеру Молло за это чудесное приключение.

Анн

Моей семье за её поддержку и её добрые советы.

Пьер

БЛАГОДАРНОСТИ ПЕРЕВОДЧИКА

Выражаю благодарность Издательству Шарля Леопольда Мейера, его директору г-же Алин Жаблонка (Mme Aline Jablonka), а также авторам г-ну Пьеру Молло и г-же Анн Нури за согласие на перевод на русский язык данной книги и за оказанное содействие и помощь в процессе её перевода.

Моя искренняя благодарность сотрудникам ИМБИ РАН к.б.н. А. В.Пирковой, к.б.н. Л. В. Ладыгиной, к.б.н. Е. В. Лисицкой за редактирование текста и за оформление иллюстраций.

Благодарю О. А. Акимову (зав. научно-информационным отделом Института) за ценную оперативную помощь при оформлении книги и продвижении к онлайн-публикации.

В. И. Холодов

ПРЕДИСЛОВИЕ

Океан и Человек

Занимая 70% поверхности Земли, Океан, со своим необъятным могуществом, доминирует на нашей планете. Помимо прямого воздействия на климат в наше время, он также стал колыбелью жизни на планете. Его течения, как гигантские, так и локальные, поддерживают воду в состоянии вечного движения, управляя при этом распределением пищи, и, следовательно, жизни. Вертикальные течения поднимают питательные элементы из глубин к поверхностным слоям, и питают ими фитопланктон - первое звено в пищевой цепи, без которого водный животный мир не смог бы существовать.

Человек живёт в тесном взаимодействии с Океаном, который ему предоставляет часть своих ресурсов, а также производимых фитопланктоном две трети атмосферного кислорода. Человечество несёт ответственность за здоровье огромной, но ранимой экосистемы океана. Именно деятельность людей представляет главную угрозу существованию океанических сообществ. Как в игре с костяшками домино, где падение одного элемента вызывает падение всех остальных, так и человек, выводя из равновесия один элемент, вызывает нарушение биоразнообразия в море, вследствие чего возникает каскад нарушений во всей «игре», затрагивая при этом и самого «игрока». Влияние Человека на Океан равно влиянию Океана на жизнь и будущее Человека. Поэтому решение проблемы – это соблюдение сложившегося равновесия в морских экосистемах, начиная с планктонных сообществ.

ВВЕДЕНИЕ

«BANG (ВЗРЫВ)! Это родилась Вселенная, затем наше Солнце и его спутники. После миллиарда ужасных лет, ситуация постепенно успокоилась: Земля остыла, вулканическая активность утихла; серая, плотная атмосфера предохраняла поверхность от бомбардировки метеоритами. Странные мелкие создания – наши предки – появились в мрачных водах, покрывающих планету».

Самая прекрасная история планет

J.M. Pelt, M. Mazoyer, T. Monod et J. Girardon – Seuil

Планктон в процессе развития жизни на Земле

Примерно 15 миллиардов лет тому назад история жизни началась великой загадкой - big-bang (большим взрывом). Вселенная вся целиком была сконцентрирована в точке в миллиард раз мельче булавочной головки при температуре миллиард миллиардов градусов. Вдруг эта мельчайшая точка стала распухать и затем взорвалась! Вселенная родилась и не прекращает расширяться. Температура стала понижаться, свободные микрочастички соединялись, образуя первые атомы. В процессе увеличения и охлаждения Вселенной возрастало и разнообразие атомов и их комбинаций. Появились звёзды. В течение 10 миллиардов лет образовались миллиарды галактик, состоящих из миллиардов звёзд.

Пять миллиардов лет назад, в одной из галактик – Млечный путь, образовалась наша звезда – Солнце. Вокруг него, вращаемые в пространстве осколки, сбились в отдельные, массы, образовав планеты Солнечной системы. Среди них была и планета Земля, которая ещё не стала «голубой планетой», а пребывала в раскалённом состоянии, напоминая шарообразную гигантскую печь из минералов, причём без атмосферы и без каких-либо следов жизни. На протяжении 700 миллионов лет Земля, как и другие планеты, бомбардировалась дождём комет и астероидов. В процессе этих столкновений плавилась скалы, выделяя газы, такие как двуокись углерода и водяной пар. Эти газы и создали примитивную атмосферу Земли.

Четыре миллиарда лет тому назад температура Земли начала понижаться. Её поверхность стала отвердевать, и начали формироваться вулканы. Постепенно стал конденсироваться в атмосфере водяной пар. Первые капли воды падали на поверхность Земли. Эти дожди превратились в сильнейшие кипящие непрерывные ливни, шедшие в течение миллионов лет, создав океаны. Кометы, обычно содержащие воду, и всё ещё массовые в тот период, могли принимать участие в образовании этого потопа. Все

впадины и кратеры от ударов метеоритов заполнялись водой. Океан, за исключением нескольких островов, заполнил почти всю поверхность Земли. Образовались первые континенты. Родилась «Голубая планета»!

В этот период озоновый слой ещё не существовал, а атмосфера не поглощала ультрафиолетовое излучение Солнца, которое исключало возможность появления жизни на Земле. Следовательно, только вода была способна играть роль экрана, не пропускающего ультрафиолет.

Жизнь зародилась в воде 3,5 миллиарда лет тому назад. Древнее море было неким примитивным супом без кислорода, но содержащим молекулы химических элементов. В этой «грязи» и появилась самая первая живая клетка – анаэробная бактерия (способная жить в бескислородной среде). Она получала энергию из молекул окружающей среды в процессе химических реакций (хемосинтез), выделяя при этом углекислый газ.

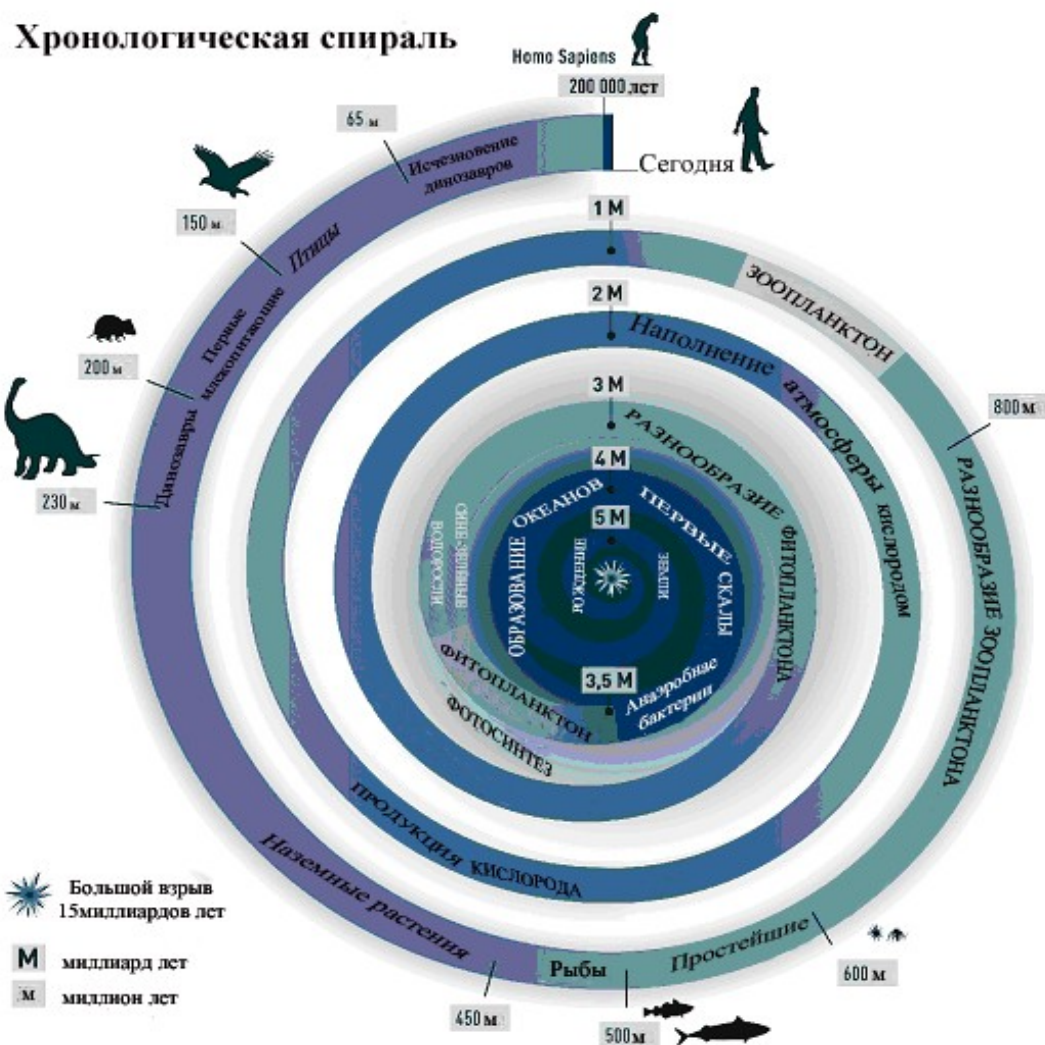
После ряда мутаций, одна из анаэробных бактерий усовершенствовалась и впервые синтезировала новую молекулу – хлорофилл. Превратившись, таким образом, в сине-зелёную водоросль, эта первая микроскопическая водоросль (фитопланктон) могла использовать световую энергию для производства органического вещества (сахаров). Потребляя минеральные соединения (железо, сера...) и двуокись углерода содержащиеся в воде, этот процесс выделял в качестве отходов – кислород. Таким образом, сине-зелёная водоросль изобрела фотосинтез, что означает появление машины, производящей свободный кислород. Эта одноклеточная водоросль совершила революционное преобразование планеты.

В начальный период кислород растворялся в океане. Единственными живыми существами планеты были микроскопические водоросли, которые жили и размножались исключительно только в воде. В течение 1,5 миллиардов лет этот растительный планктон произвёл количество кислорода, достаточное для появления первых одноклеточных животных - зоопланктон, ставший предком всех морских и наземных животных.

Два миллиарда лет тому назад кислород, в соединениях с углеродом и азотом, начал проникать в атмосферу. Постепенно концентрация CO_2 снизилось с 20% до 0,1%, в то время как концентрация чистого кислорода достигла 21%, то есть сегодняшней концентрации. С этого момента, под воздействием ультрафиолетового облучения, кислород частично трансформировался в озон, сформировавший озоновый слой. Этот щит, защищавший от разрушительного солнечного облучения, позволил живым существам выйти из глубин океана на твёрдую землю.

Первые следы жизни на суше насчитывают 600 миллионов лет. Первым наземным живым существом была одноклеточная водоросль, ставшая зелёным микроскопическим растением. Проследим за всеми растениями и животными, заселившими континенты. Первая растительная клетка – синяя (или сине-зелёная) водоросль – это наш предок, начальный кирпич, на котором была выстроена вся пирамида видов: растительных, затем животных, включая человека. Кстати, этот представитель фитопланктона существует и сейчас.

Считают, что 65 миллионов лет тому назад падение метеорита вызвало исчезновение динозавров и других животных. Космическая пыль распространилась в атмосфере Земли и поглощала солнечные лучи, что привело к охлаждению планеты. Выжили только мелкие животные с плотным панцирем, а также микроорганизмы, населявшие водоёмы. Планктон также пережил эти катаклизмы.



© G. Jublin (schéma téléchargeable sur www.eclm.fr)

Рис. 1. Спираль времени

Человек, *Homo sapiens*, «человек разумный» появился на планете 200 000 лет тому назад. Он интегрировался в жизнь планеты, взаимодействуя со всеми элементами своей среды. Также как и кроманьонский человек, современный человек занимает своё определённое место в экосистеме, однако он должен к ней относиться с уважением, если хочет продолжать существовать в ней. Конечно, чтобы не делал человек, Земля не прекратит своё вращение, однако она может по отношению к нему стать враждебной. Природа имеет свою временную шкалу (эволюцию) и может обойтись и без человека

В наши дни пребывание «в состоянии равновесия» всех видов планктона является определяющим фактором для нормального состояния биоты океанов и планеты. Если, в связи с индустриальной активностью человека, окружающая среда изменится и выйдет из равновесия, планктон, тем не менее, будет существовать, но выживут лишь отдельные виды, что создаст опасный дефицит, вредящий жизни растений, животных, а затем и человека. Процесс уже начался, но он невидим для невооружённого глаза. «Состояние среды», «разнообразие планктона» являются надёжными индикаторами здоровья экосистем. Их исследование может помочь предотвратить угрозу для жизни, в том числе и Человека.

Живые микроскопические существа с причудливыми и изящными формами, с разнообразной окраской, либо прозрачные, а также с жизненными особенностями, которые замечательно соответствуют их образу жизни – тысячи видов фитопланктона и зоопланктона исполняют и свою определённую роль. Знание о них позволит нам понять их важность в функционировании экосистемы и узнать, почему в наших интересах необходимо не нарушать сложившееся равновесие.

Фундаментально важно знать, что планктон формирует основу пищевой цепи всех морских организмов, а море предоставляет пищу для человечества. Кроме этого, в процессе фотосинтеза фитопланктон поставляет 2/3 кислорода нашей атмосферы. Более того, поглощая из атмосферы более половины CO₂, фитопланктон препятствует потеплению климата. С начала возникновения жизни, планктон выступает в роли союзника человека, способствующего экологическому и климатическому равновесию на планете.

Космическая экспедиция *Rosetta*: Встреча с кометой

Экспедиция *Rosetta* – миссия (экспедиция Европейского Космического Агентства), целью которой было исследование кометы Чурюмова – Герасименко, на которую в августе 2014 года был отправлен зонд. В случае

удачи европейский зонд займёт орбиту вокруг кометы и затем установит на поверхности ядра кометы небольшой модуль Philae, который исследует её грунт. Это - амбициозная миссия, подобная которой никогда ещё не проводилась. *(Экспедиция прошла удачно и завершилась в 2016 году – прим. переводчика).*

Кометы представляют большой интерес для науки, потому что их состав почти не изменился со времён создания Солнечной системы (5 миллиардов лет назад). Они состоят из первичного вещества, образованного из Солнца и планет. Исследование кометы позволит также понять, как кометы могли повлиять на эволюцию на нашей планете в процессах доставки на Землю воды и органического вещества.

Некоторые исследователи считают, что на кометах имеются полости, заполненные тёплой водой. Эти полости можно рассматривать в качестве идеальных пробирок, в которых протекают процессы времён доисторической химии.

Данная экспедиция предоставит существенную информацию о происхождении и эволюции (временных изменениях) Солнечной системы, а также уточнит возможность заноса кометами жизни на Землю путём доставки примитивных бактерий. *Отчёты по экспедиции (Mission Rosetta) имеются в Интернете – прим. Переводчика.*

Растение-пионер: лишайник

Лишайники были первыми растениями, которые 600 миллионов лет тому назад завоевали сушу. Эти растения попадали на сушу вместе с брызгами волн, которых переносил ветер на прибрежные скалы. Перемешиваясь с микрогрибками, они попадали на влажные солнечные поверхности скал. Это - удивительное взаимодействие водоросли и гриба, при котором каждый участник получает от партнёра нечто полезное для жизни, называется симбиозом. Микроводоросли, благодаря хлорофиллу, поглощают углекислый газ и поставляют грибкам в качестве пищи органические вещества. Грибы выстраивают из нитей (гифов) структуру, предохраняющую микроводоросли от высыхания. А выделения нитей растворяют минералы, в том числе самые прочные скалы. Это замечательное сообщество оказалось способным адаптироваться к разнообразным условиям среды: ко всем климатам и к различным грунтам.

Первые лишайники, вышедшие на сушу, стали предками всех наземных растений. Лишайники растут очень медленно, и возраст некоторых из них насчитывает сотни лет. В процессе своей жизни, они, хоть и медленно,

образуют на бесплодном грунте слой органического вещества, что позволяет расти на этом месте другим видам растений, более требовательным к жизни. Следовательно, лишайники – это первый этап в освоении суши растениями.

Сегодня можно видеть лишайников такими, какими они были в самом начале. Зелёные пятна на деревьях или статуях - это скопления зелёных одноклеточных водорослей, приспособившихся к жизни на суше и при этом не оказавшихся вне эволюции. Исключительность лишайников заключается и в их способности жить в экстремальных условиях. Они встречаются и в Арктике и в Антарктике, где они могут достигать возраста в несколько веков. Также лишайников можно встретить и на горных вершинах, куда они попали ещё до поднятия гор. Таким образом, лишайник стал самым высокорастущим растением в мире!

Развиваясь там, где ничего не растёт, лишайник способен синтезировать очень редкие молекулы, не встречающиеся больше нигде в природе. Эти молекулы рассматривают в качестве образцов для синтеза будущих медикаментов. Лишайник также интересен как модель жизни, процветающей на твёрдой поверхности. Во фрагментах этого растения обнаруживаются тысячи интересных для культивирования микроорганизмов. Это биоразнообразие, исследование которого только начинается, может производить высокоактивные молекулы, например, перспективные для производства новых антибиотиков.

Что такое планктон?

Слово планктон происходит от греческого *plankton*, которое означает «блуждание». Оно относится к совокупности водных растений и животных с микроскопическими, либо малыми размерами и дрейфующими по воле течений. Они могут перемещаться и самостоятельно, но не могут противостоять течениям. В отличие от планктона, нектон включает водных животных, способных активно бороться с течениями благодаря их достаточно мощным движителям (хвостовым плавникам, лапам, ресничкам и т.д.). Например: кальмары, пелагические рыбы (сельди, сардины, тунцы и т.д.); морские млекопитающие (киты, дельфины и т.д.) и ракообразные. Нектон (рыбы, морские млекопитающие), а также планктон, населяющие воды открытого моря, называются пелагическими, либо «пелагос». Всё донное население называют «бентос». Организмы бентоса могут:

- Крепко прикрепляться ко дну (крупные водоросли, устрицы);
- Ползать по дну (черви, морские ежи);

- Плавать в придонном слое (бентосные рыбы);
- Пребывать на дне (бентосный фитопланктон, поселившийся на скалах или на иле);
Весь планктон подразделяется на два больших царства:
- Растительный планктон или *фитопланктон*, состоящий из почти всегда одноклеточных водорослей и поэтому называемых микроводорослями или микрофитами;
- Животный планктон или *зоопланктон*, подразделяющийся на две группы:
- Постоянный зоопланктон – это одноклеточные или многоклеточные организмы, которые рождаются, размножаются и умирают в составе зоопланктона;
- Временный зоопланктон – это яйца и личинки разнообразных животных (ракообразных, моллюсков, рыб и т.д.), живущих до начала метаморфоза. Личинка (планктон) трансформируется в молодь, обладающую признаками взрослой особи.

Размеры планктонных организмов

Представьте себе посещение чердака в доме вашей бабушки. Солнечные лучи проникают сквозь слуховое окно, высвечивая тысячи мелких частичек, взвешенных в воздухе. Каждая из этих частичек имеет размер примерно 100 микрон (мкм). Это средний размер зоопланктона, а размеры большинства представителей фитопланктона в 10 раз меньше.

В зависимости от размеров, планктон подразделяют на следующие группы:

Пикопланктон: от 0,2 до 5 мкм (1 мкм = 0,001мм).

Ультрапланктон: от 5 до 50 мкм.

Наннопланктон: от 50 мкм до 1 мм.

Микропланктон: от 1 мм до 5мм.

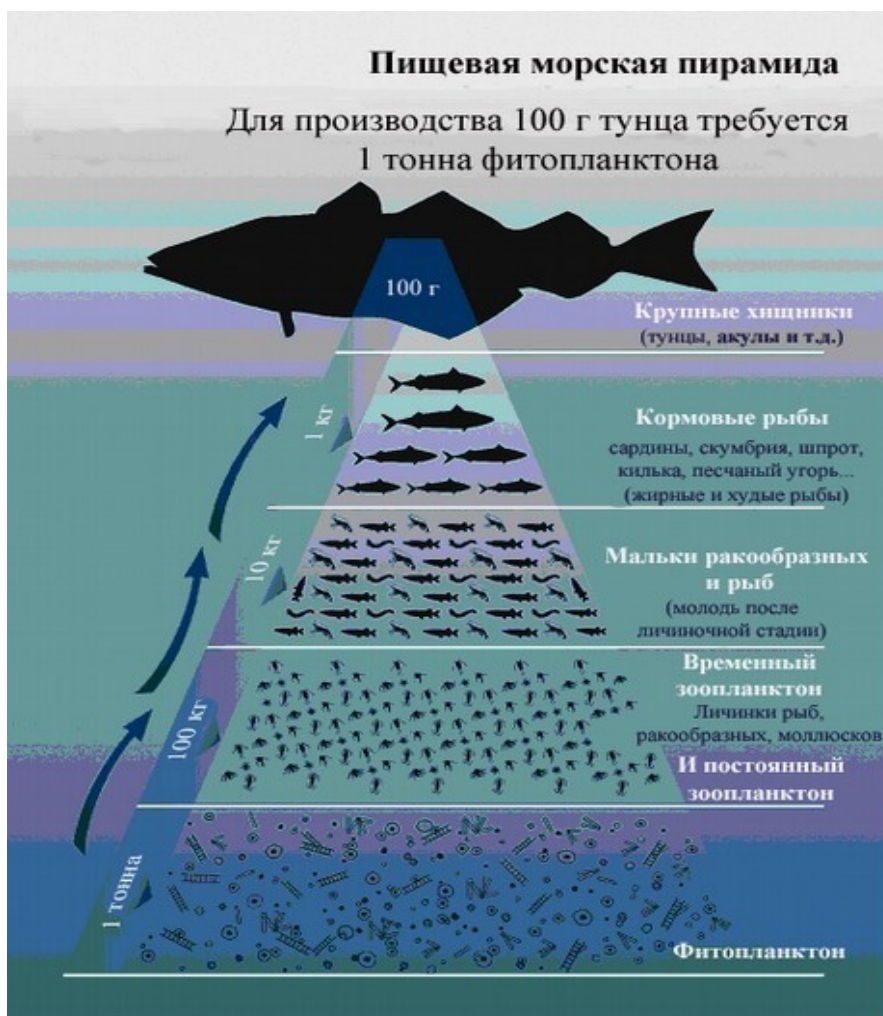
Мезопланктон: от 5мм до 1 см.

Мегапланктон: от 1 см и до нескольких метров.

Фитопланктон начинается с пикопланктона и заканчивается наннопланктоном. Зоопланктон начинается с ультрапланктона и заканчивается мегапланктоном.

Можно сказать, что изучение планктона – это настоящая «экография» видов, населяющих моря: микроводоросли, яйцеклетки (икринки) рыб, моллюсков, мелких ракообразных и других беспозвоночных. Это миллиарды миллиардов особей, населяющих океаны, моря, озёра, реки и ручейки,

живущих в толще воды, или прикрепившись ко дну. Разнообразные по своей природе, эти растительные и животные организмы имеют разные размеры: от 0,2 микрон и до нескольких сантиметров, даже нескольких метров, как это мы наблюдаем у медуз. Большинство представителей планктона невидимы для невооружённого глаза, однако, мириады особей планктона составляют большую часть биомассы морских организмов. Иными словами, планктон формирует основную часть живой биомассы океана, включая рыб, ракообразных и китов вместе взятых.



© G. Jublin (schéma téléchargeable sur www.eclm.fr)

Рис. 2. Морская пищевая пирамида

Планктон составляет основу питания всех морских организмов: 1 тонна фитопланктона питает 100 кг зоопланктона, за счёт которого создаётся 10 кг мальков рыб и ракообразных. Поедая их, вырастают «кормовые рыбы» общей массой 1 кг, которые, в свою очередь, обеспечивают прирост 100 г хищной рыбы (тунца). Таким образом, для создания 1 кг тунца необходимо затратить 10 тонн фитопланктона.

Часть первая

ФИТОПЛАНКТОН

Глава 1

Микроскопические водоросли

Растительный планктон или фитопланктон – это совокупность микроскопических водорослей, каждая из которых состоит из одной клетки. Хотя они и являются одноклеточными, тем не менее, микроводоросли представлены организмами разных размеров, имеющих разнообразные формы и с различной окраской. Фитопланктон насчитывает тысячи видов, которые подразделены на несколько классов: сине-зелёные или цианобактерии, диатомовые, кокколитофорида, хризофитовые, хлорофитовые, динофитовые.

Фитопланктон – реализатор фотосинтеза

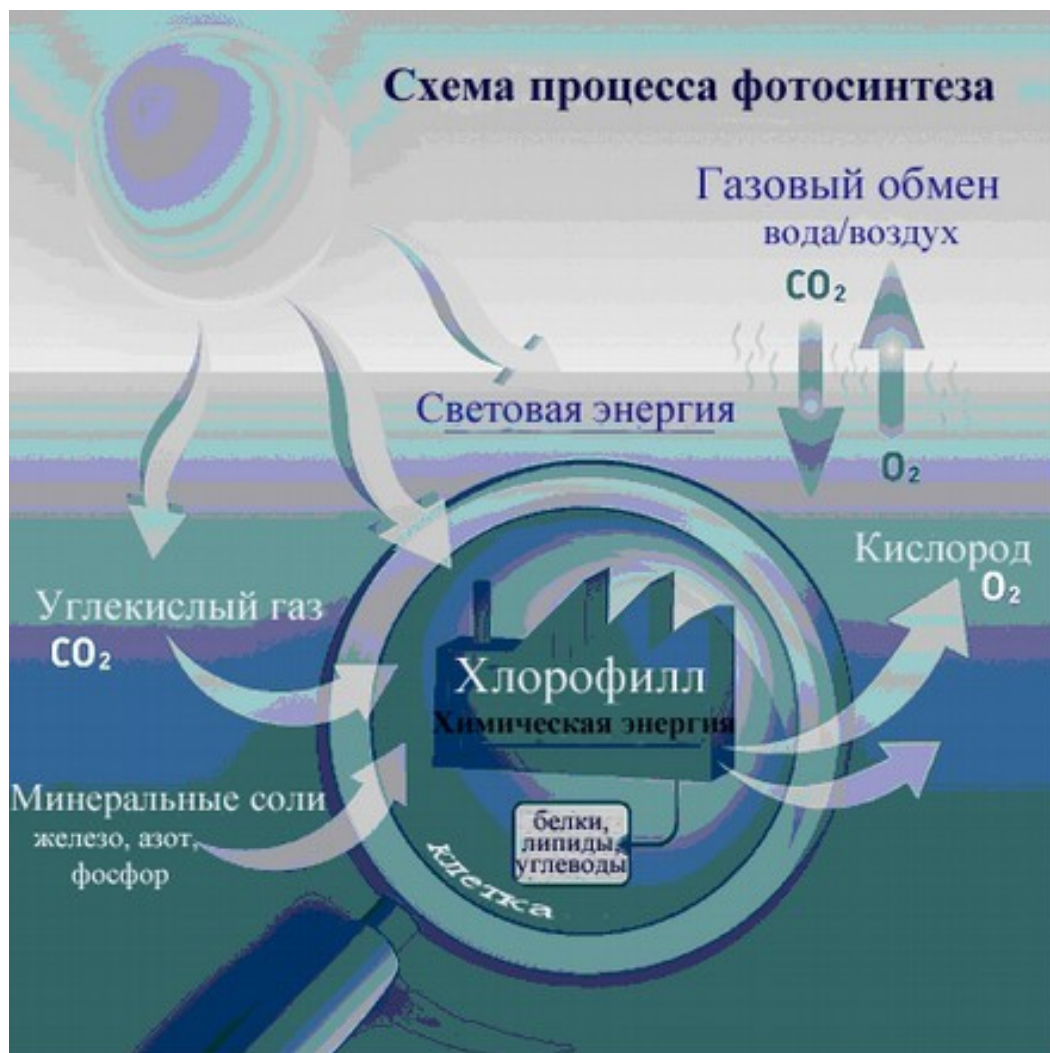
Как и все прочие растения, микроводоросли являются микроорганизмами, производящими органическое вещество из углекислого газа (CO_2), воды и других минеральных составляющих (азота, фосфора, калия, железа, кремния и т.д.) растворённых в воде. Для этого процесса они используют энергию света, которую улавливают с помощью хлорофилла. Химические реакции, участвующие в синтезе органического вещества из минеральных соединений и с выделением свободного кислорода, образуют процесс фотосинтеза.

Фитопланктон находит минеральные соли в окружающей водной среде. Эти соли содержатся и в минералах, наземных породах, например, в скалах. Их запасы создаются в процессах жизнедеятельности бактерий (разложение органических соединений до минеральных), а также в результате жизнедеятельности человека: удобрения на сельскохозяйственных угодьях, продукция химических заводов, хозяйственно-бытовые отходы.

Основными минеральными солями, необходимыми для развития фитопланктона являются:

- Нитраты, состоящие из атомов азота и кислорода;

- Фосфаты – соединения, состоящие из атомов фосфора и кислорода;
- Силикаты, состоящие из атомов кислорода и кремния. Земная кора на 97% состоит из силикатов;
- Калий



© G. Jublin (schéma téléchargeable sur www.eclm.fr)

Рис. 3. Схема процесса фотосинтеза

В воду питательные соли проникают из разных источников:

- Эрозия. Ручьи, речки и большие реки образуют в грунте русла, вымывая при этом минералы и транспортируя их в моря;
- Подводная вулканическая деятельность. На больших океанических глубинах раскалённая магма пробивает земную кору, в результате чего в воду проникают минеральные соединения. Эти питательные вещества растворяются в воде в придонных слоях, а вертикальными течениями переносятся в верхние слои океана.

- Пустыни. Мелкая пыль, поднимаемая над пустынями во время сильных бурь, переносится на большой высоте к океанам. Известно, что песок Сахары обнаруживается на Бермудских островах, а пески пустыни Гоби оседают в центральных районах Тихого океана. Пески состоят, главным образом, из кремния.
- Бактерии. Микроорганизмы, размером порядка 1 мкм, широко распространены в почве, а также в морской и пресной водах. Питаются они органическим веществом (мёртвыми растениями и животными, микроорганизмами), которое они разлагают до минеральных солей.
- Земля и Человек. Минеральные соли, образуемые в процессах эрозии и человеческой деятельности, перемещаются во время дождей по водосборному бассейну в реки, которые и выносят эти соли в моря. Интенсивный вынос реками питательных солей в море способствует развитию фитопланктона в эстуариях рек и в прибрежной части моря. Эта зона, обогащенная биогенными солями и с высокими биомассами планктона, отражает степень воздействия человека на качество воды, а видимым показателем этого влияния является видовое разнообразие фитопланктона и зоопланктона.



© G. Jublin (schéma téléchargeable sur www.eclm.fr)

Рис. 4. Откуда поступают питательные соли

Бактерии – царицы кругооборота

Растения (наземные, водные), благодаря фотосинтезу, усваивают минеральные вещества (воду, минеральные соли, углекислый газ) и синтезируют органическое вещество (растительную биомассу). После смерти организм разлагается и переваривается бактериями, которые редуцируют органику до минеральных солей. Эти минеральные соединения снова становятся доступными для растений, которые, поглощая эти соли, вновь синтезируют органическое вещество. Например, в случае с мёртвой рыбой, лежащей на дне моря – погибшую рыбу разлагают бактерии до минеральных солей. Так и в саду, в почве которого бактерии разлагают растительные и животные остатки, делая почву плодородной, то есть богатой минеральными солями.

В лесу аналогичные процессы формируют в почве гумус, который накапливается в результате разложения листьев рядом последовательных разлагателей: земляными червями, клещами, бактериями.

Доступность питательных солей для фитопланктона определяется местоположением этих солей. Действительно, фитопланктон, как растение, нуждается в освещении. Если соли поступают в поверхностный слой моря, они сразу же становятся доступными для фитопланктона. Но соли морских глубин становятся доступными водорослям, живущим у поверхности только, если эти соли поднимаются с помощью двух механических процессов:

Течения. Вода в океанах никогда не бывает неподвижной. Ряд факторов и, прежде всего, разность температур и различия в солёности, вращение Земли, а также рельеф дна способствуют образованию течений. Течения, перенося водные массы, осуществляют циркуляцию минеральных солей. Планктон зависит от течений, точнее от поступления биогенных элементов.

Апвеллинг. Апвеллинг – это подъём к поверхности глубинных вод богатых биогенами. Этот подъём совершается благодаря совместному действию ветра и течений. Сильные ветры, дующие с суши, отгоняют поверхностные воды в открытое море, а вместо них поднимаются глубинные воды, приносящие минеральные соли. Это вызывает у поверхности развитие фитопланктона, затем зоопланктона и всей пищевой (трофической) цепи. Вот почему зоны апвеллинга отличаются обилием морских организмов.

Минеральные соли

Минеральные соли входят в состав организмов. Например, кальций является основным компонентом костей и раковин. Также и витамины, минеральные соли необходимы для жизни растений и животных.

Основные химические элементы, необходимые растениям и животным:

N - азот, входит в состав белков;

P – фосфор, составляющая нуклеиновых кислот;

S – сера, составляющая аминокислот;

Na – натрий, входит в состав протоплазмы и крови;

Mg – магний, входит в состав хлорофилла;

Ca – кальций, используется для построения скелета;

K – калий, используется для построения скелета и нервных тканей;

Fe – железо, входит в состав гемоглобина позвоночных;

Cu – медь, входит в состав крови моллюсков;

Si – кремний, используется для построения скелета и раковин микрофитов.



© G. Jublin (schéma téléchargeable sur www.eclm.fr)

Рис. 5. Механизм апвеллинга

Основные микроэлементы:

Фтор, йод, марганец, хлор, кобальт, цинк, селен, бор, ванадий, молибден.

Минеральные соли и человек.

Минеральные соли составляют 4% веса человека. Некоторые из них (натрий, калий, кальций, железо, магний, фосфор) должны потребляться ежедневно сравнительно в больших количествах. Другие элементы (микроэлементы) потребляются в значительно меньших количествах.

Минеральные соли играют важную роль в построении различных тканей тела человека, в регулировании работы органов. Они являются существенной частью гормонов, ферментов и витаминов, а также защищают организм от токсинов.

Фитопланктон – лёгкие планеты

В процессе фотосинтеза фитопланктон выделяет значительные количества кислорода, необходимого для жизни водных животных. Однако, благодаря газообмену на границе вода – воздух, в атмосферу поступает кислород, составляющий 2/3 всего кислорода атмосферы. Невидимый фитопланктон, о котором многие ничего не знают, производит кислорода вдвое больше, чем все леса (включая амазонские), луга и поля вместе взятые!

Атмосфера на 21% состоит из кислорода, производимого в основном фитопланктоном. Этот кислород, поступающий преимущественно из водной среды, сформировал в верхней части атмосферы озоновый слой, состоящий из трёхатомного кислорода. Без этого слоя, защищающего планету от проникновения ультрафиолетового излучения Солнца, зелёные растения (а за ними и животные) не смогли бы завоевать сушу ещё 600 миллионов лет тому назад.

Фитопланктон – основа водной пищевой цепи

Фитопланктон поедается микроскопическими организмами (зоопланктоном), а также мелкими животными. Эти организмы потребляются более крупными животными, которые в свою очередь становятся жертвами более крупных хищников. Фитопланктон, таким образом, является основой или базой пищевой водной цепи. Микроводоросли поедаются не только зоопланктоном, но также и крупными животными - фильтраторами, такими, например, как мидии и устрицы, питающиеся фитопланктоном на

протяжении всей своей жизни от личинки и до взрослого состояния. Человек питается организмами всех этажей пирамиды биомасс, включая и нижний этаж (фитопланктон), поедая спирулину, хлореллу и т.д.

Роль фитопланктона.

Автор: Женеваева Арзюль

Среди живых созданий на нашей планете большая их часть остаётся для нас совершенно невидимой. Например, микроводоросли, называемые также «фитопланктон». Они входят в водный растительный мир вместе с многоклеточными водорослями, достигающими значительных размеров. Оригинальность одноклеточных водорослей состоит в их строении: они состоят всего из одной клетки, но выполняют все функции многоклеточного организма. В них осуществляются такие физиологические процессы как дыхание, фотосинтез, ассимиляция, размножение. В морях идентифицировано примерно 6000 видов микроводорослей, а в пресных водоёмах – более 14 000.

Если из-за небольших размеров микроводорослей их можно наблюдать только под микроскопом, то их огромные скопления, окрашенные в зелёный, коричневый, красный цвета, видны и невооружённым глазом. Дело в том, что каждая клетка содержит пигменты, осуществляющие фотосинтез, поставляющий в атмосферу 60-80% всего кислорода. Фитопланктон производит также продукты, полезные для нашего здоровья: белки, витамины, минеральные соединения, причём в больших концентрациях.

В отличие от наземной растительности, микроводоросли очень чувствительны к нарушениям во внешней среде. Они также подвержены сильным сезонным изменениям. Например, они интенсивно делятся весной и в конце лета. Химическое качество воды является определяющим фактором развития и высокой численности фитопланктона.

Фитопланктон составляет основу питания водных растительноядных животных и именно поэтому разнообразие населения фитопланктона является существенным фактором, влияющим на развитие сообществ зоопланктона.

Однако фитопланктон важен не только для водного населения, но он представляет интерес и для различных областей нашей жизни: качество среды (кислород), питание (корм для водных беспозвоночных и рыбы); качество жизни (здравоохранение, косметика), сырьё для промышленности.

Глава 2

Сине-зелёные водоросли или цианобактерии

Цианобактерии (Cyanoprokaryota) обнаруживаются в водной среде, главным образом, в виде тонких нитей. Они содержат пигмент, придающий им синий цвет (по-гречески *суано*) и в больших скоплениях они способны изменять цвет воды, в которой они пролиферируют.

Эти примитивные микроводоросли появились на планете 3,5 миллиарда лет тому назад, то есть в период интенсивной вулканической деятельности. Земля в то время была покрыта мутной кипящей водой, насыщенной минеральными соединениями и тяжёлыми металлами. В этом первичном «супе», не содержащем кислорода и появились микроскопические сине-зелёные водоросли, потребляющие из воды углекислый газ и минеральные соединения, из которых они синтезировали растительную массу, выделяя при этом кислород. Первое существо, реализовавшее фотосинтез с помощью хлорофилла – цианобактерия – производила и свободный кислород. Сине-зелёная водоросль стала фундаментом жизни в океанах, она положила начало огромному разнообразию фитопланктона (диатомеи, динофлагеллаты и т.д.).

Сине-зелёные водоросли способны жить в экстремальных условиях, поэтому они пережили многие катаклизмы, происходившие на планете. Они противодействовали своему исчезновению, существовали в течение миллионов лет в заторможенном состоянии, смогли адаптироваться к изменениям среды, продолжали эволюционировать и сохранили жизнь на Земле вплоть до наших дней. Они обнаруживаются даже там, где другие организмы не выживают, например в горячих источниках при температуре 60°C. Цианобактерии – единственный класс из микроводорослей, способный жить при столь высоких температурах и они доказали, что жизнь может существовать повсюду. В трудных условиях они «ведут изолированный образ жизни», зарывшись в ил, и выходят оттуда, когда окружающая среда становится благоприятной.

Гурманы загрязнений

Сине-зелёные способны обходиться слабым освещением в водной среде, перегруженной фосфатами. В таких условиях они хорошо размножаются, и, поэтому их используют в качестве индикатора загрязнений. Действительно, высокие концентрации сине-зелёных указывает на наличие повышенного содержания инсектицидов, пестицидов, тяжёлых металлов, угнетающих развитие других видов микроводорослей. В процессе интенсивного размножения они потребляют избытки минеральных солей, играя роль очистителей воды, как это было и в доисторические времена. Однако, чрезмерное размножение микроводорослей ведёт к нарушению экологического равновесия водной среды.

Такое массовое размножение одного вида микроводорослей называемое цветением, изменяет цвет воды, окрашивая её в необычный цвет и, при этом, микроводоросли покрывают поверхность воды пеной. Внешне, цветение микроводорослей выглядит как массовое развитие зелёных многоклеточных водорослей, покрывающих дно сплошным зелёным ковром, а пляжи – кучами зелёных выбросов.

В случае цветения, определённый вид фитопланктона размножается до тех пор, пока не заполнит собой всё доступное пространство. Вода при этом становится непрозрачной и почти бескислородной. Этот процесс называют эвтрофикацией. Эвтрофикация приводит к состоянию, в котором явно доминирует один вид, лишаящий другие виды возможности потреблять биогенные соли и получать солнечную энергию. Поэтому другие виды фитопланктона прекращают своё размножение и рост. Падение видового разнообразия фитопланктона чревато отсутствием «кормового» фитопланктона, например диатомей. Действительно, наблюдая огромные массы цианобактерий, можно подумать, что корм для водных животных обеспечен в изобилии. К сожалению, это не так: во-первых, эти водоросли склеиваются в тяжи и недоступны для поедания; во-вторых, подавляющее большинство видов цианобактерий токсично для зоопланктона и других растительоядных животных. Вследствие этого, видовой состав зоопланктона обедняется, и нарушаются последующие звенья пищевой цепи.

Более того, скопления фитопланктона образуют на поверхности моря экран, нарушающий газовый обмен с атмосферой и мешающий насыщению воды кислородом, вследствие чего нарушается дыхание водных животных. А «каша» из микроводорослей может забивать жабры рыб и даже вызывать их массовую гибель. Конечно, пелагические рыбы имеют возможность уйти из неблагоприятных мест. Но рыбы, выращиваемые в садках, лишены такой

возможности. Последствия эвтрофикации оборачиваются тяжёлыми финансовыми потерями для морских фермеров.

Когда цветение становится слишком интенсивным – в этом случае минеральные соли поглощены микроводорослями из морской воды, а проникновение света недостаточно для обеспечения фотосинтеза, вследствие чего наступает гибель фитопланктона. Мёртвая растительная масса опускается в виде хлопьев снега на дно, где она разлагается бактериями.

Однако, для разложения мёртвой органической массы бактерии нуждаются в больших количествах кислорода. Они потребляют из воды доступный кислород, выделяя при этом углекислый газ (CO_2) и сероводород (H_2S). В значительных количествах этот сероводород, а также углекислый газ, понижают водородный потенциал (рН) воды, которая становится кислой и непригодной для организмов. Более того, подкисление воды и сероводород могут стать токсичными для растений и животных, включая человека.

Другим источником токсичности могут быть сами цианобактерии, среди которых имеются много токсичных видов. После их смерти, в процессе разложения, токсины выходят в воду и негативно воздействуют на водные растения и животные (на гидробионтов). Известны случаи, когда моллюски и рыбы накапливали эти токсины, что стало причиной отравления людей - потребителей морепродуктов и рыбы. Подводный мир не представляет собой величавую и спокойную реку с плавным течением! Он пребывает в диком состоянии, к которому он смог приспособиться и обеспечить своё выживание.

Сероводород, молекула которого дурно пахнет

Сероводород (H_2S), легко определяется по характерному запаху тухлых яиц, что можно почувствовать во время прогулки по морскому илу или по кучам выброшенных штормом водорослей.

Его токсичность наблюдалась в случаях гибели собак, вдыхавших воздух у разлагающихся зелёных водорослей на морских пляжах. Собаки бегали по кучам водорослей, обследовали и обнюхивали их. Человек, гулявший по такому пляжу, может испытывать сильные головные боли и затруднения в дыхании.

Природное равновесие в руках человека

Природное равновесие тесно связано с разнообразием видов. Планктон - наше общее, хотя и невидимое, но живое достояние, насчитывающее более

3,5 млрд. лет. Его отклонения от нормы (разбаланс) часто оказывается следствием неправильного поведения человека и является показателем плохого состояния нашей планеты. Снижение разнообразия и количества растительных и животных видов могут вызвать цепную катастрофу, которая захватит и человека.

Эвтрофикация была всегда. Она вызывается мощным поступлением в воду фосфора и азота, особенно в неглубокие акватории и в периоды тёплой солнечной погоды. Вообще, это естественный саморегулируемый процесс, не вызывающий больших неприятностей для нормальной отрегулированной среды, в которой гидробионты находятся в динамическом равновесии. Но проявления эвтрофикации усилились полвека тому назад, когда интенсифицировалась хозяйственная деятельность (выпуск в море загрязнённых вод, распространение азотных удобрений и т.д.), а последствия этой деятельности могут представлять опасность и для здоровья населения. Более половины населения планеты живёт в прибрежных зонах, то есть в местах обмена между сушей и морем. В этой зоне с высокой плотностью населения, эвтрофикация, сопровождаемая высокими концентрациями некоторых видов фитопланктона, может создавать проблемы и для населения.

Токсичные микроводоросли

с одним исключением – спирулина

Цианобактерии могут быть токсичными для млекопитающих, в частности для человека. Вследствие их проникновения в воду, используемую для питания, они вызывают различные желудочно-кишечные заболевания: от несварения вплоть до серьёзных отравлений, как это отмечалось в Англии и в Австралии. В случаях тяжёлых эпидемиологических заболеваний (Бразилия) отмечались десятки летальных исходов. Эти печальные эпизоды свидетельствуют о наличии потенциальной угрозы, которую представляют токсичные цианобактерии. Коротко говоря, токсины цианобактерий могут вызывать неприятности, связанные с непригодностью питьевой воды. Например, присутствие *Microcystis* (токсичная цианобактерия) вызывает сильные раздражения у потребителей, которые не могут использовать эту воду даже для умывания и, особенно, для чистки зубов.

Сине-зелёная водоросль, представляющая исключение из списка токсичных сине-зелёных, является спирулина – микроскопическая водоросль пресных водоёмов, зелёного цвета, в форме пружины, появившаяся на Земле

3 млрд. лет тому назад. Она развивается в тёплой воде богатой биогенами, в мелких водоёмах и в условиях яркого освещения. Она часто встречается в тропическом и субтропическом поясах. Спирулина – это не только нетоксичная, но и полезная цианобактерия.

Спирулина в нашей тарелке

Спирулину потребляли ещё ацтеки в XI веке, а также население, проживающее вокруг озера Чад, в котором она развивалась естественным образом. В наше время спирулину выращивают во многих странах мира. Она продаётся в качестве пищевой добавки на полках «Благополучие» («Bien-etre») магазинов «Эко». Спирулина особенно популярна благодаря своим замечательным питательным качествам: белкам, железу, витаминам и аминокислотам, среди которых и знаменитая омега-3. Выпускаемая в виде теста или порошка, она представляет собой своего рода «природный супер-коктейль» идеально сбалансированный всеми элементами, необходимыми для хорошего функционирования организма. Более того, в индустриально развитых странах разрабатывается технология для внедрения на крупных предприятиях, производящих на основе спирулины медикаменты, продукты диетического питания и косметические препараты.

В настоящее время во Франции диетологи внедряют фитопланктон в повседневное питание. Известные повара разрабатывают рецепты для приготовления блюд, как в домашних условиях, так и на кухнях крупных ресторанов. Цель таких разработок – с помощью доступных средств включить в питание человека многие полезные компоненты, содержащиеся в планктоне: белки, минеральные соединения, микроэлементы и особенно кислоты омега-3. Оригинальность такой кухни, базирующейся на планктоне – совместное использование разных планктонных видов, живущих в разных климатических условиях и которые в природе никогда вместе не произрастают: *Spirulina*, *Odontella* и *Chlorella*. Современные технологии аквакультуры позволяют легко культивировать эти микроводоросли и производить из них идеальные смеси, причём не встречающиеся в природе.

Преимущества спирулины

Важная особенность спирулины – высокое содержание белка (60 – 70% от общего сухого веса). Она богата основными жирными кислотами и считается одним из лучших источников омега-3. Углеводы составляют 15 25% общей массы и большинство из них ассимилируются медленно.

Спирулина также содержит витамины А, Е и В₁₂, а также железо, марганец, кальций, калий.

Решение проблемы голода

Другое преимущество этой цианобактерии заключается в простоте её культивирования. Достаточно располагать только тёплой водой и набором минеральных соединений – и культура будет развиваться. Затем массу микроводорослей отделяют от среды с помощью фильтрования, после чего их промывают и высушивают. Благодаря лёгкости выращивания спирулины во всём мире быстро растёт количество кустарных и промышленных ферм. Неправительственная организация, работающая в рамках программы борьбы с недоеданием, создала в развивающихся странах кустарные предприятия по выращиванию спирулины. Отныне эта маленькая водоросль рассматривается как одно из решений проблемы голода в мире.

Тот факт, что спирулина в природе развивается в странах с тёплым климатом и в небольших водоёмах – делает эту водоросль весьма перспективной для культивирования в Африке, особенно в районе Сахары. Следует отметить, что гуманитарные организации помогают многим деревням в создании спирулиновых ферм. Например, в Буркина Фасо работа фермы позволила сбалансировать питание детей деревни и организовать рабочие места для взрослых. Более того, ферма оказалась рентабельной: две трети продукции продавали местному населению по приемлемой цене.

Опыт благотворительного использования спирулины в Индии.

Автор: Изабель Гуэсэн-Табютэн

«В 2001 году, я, Изабель Табютэн, профессор аквакультуры, и Пьер-Ив Гуэсэн, руководитель проекта по аквакультуре, находились в 4-х месячной командировке в Индии. Мы работали на юге Индии в районе Мадюраи. Цель сотрудничества – борьба с неудовлетворительным питанием населения и с социальным неравенством. Для осуществления этой цели организация Antenna Trust производила и распространяла спирулину. Следует отметить, что в Индии были нарушены экологические условия для роста спирулины в природе. После высушивания спирулины, отбирали порции порошка по 5 г и добавляли его в индивидуальные пакеты с рисом, готовым к употреблению. Преподаватели района Мадюраи ежедневно выдавали эти пакеты детям, которые с удовольствием поедали такую пищу.

Организация Antenna Trust занималась и просветительской работой, в том числе обучала местное сельское население (прежде всего женщин) методам выращивания и потребления спирулины. В результате селяне стали менее зависимы как в финансовом, так и в социальном отношении. Женщины получили работу и стали организаторами аналогичного производства в других населённых пунктах этого района.

В Индии существуют и другие районы, в которых выращивают спирулину, но сугубо в коммерческих целях. Спирулина, благодаря своей пищевой ценности, целебным свойствам, несложной технологии её выращивания, уже стала популярной во многих развивающихся странах.

Возвращение забытой сине-зелёной водоросли

Изменения окружающей среды привели к появлению вида, ранее существовавшего в Океане, но потом исчезнувшего и даже забытого: это цианобактерии – индикаторы деградации качества прибрежных вод.

«Обнаружение новой группы цианобактерий – азотфиксаторов в Тихом океане, а также и в Средиземном море вблизи Марселя, перевернули наши представления об океанических экосистемах. Эти виды цианобактерий очень чувствительны к изменениям температуры и усилению загрязнения воды океанов». (Отрывок из статьи Изабель Биегала в *Sciences au Sud, journal de l'IRD*, n° 48, janvier-fevrier-mars 2009. Contact : isabelle.biegala@univmed).

Носток (nostoc) – цианобактерии, не такие, как все остальные

Носток – это род цианобактерий, образующих крупные слизистые колонии, мало похожие на водоросли, но напоминающие лишайники или некоторые грибы. В высушенном состоянии они сморщиваются и становятся почти невидимыми. Однако после дождя они быстро распрямляются и раздуваются. Быстрота, с которой они увеличивают свои размеры, создаёт впечатление, что они упали с неба. Вследствие этого они получили специфические названия: «плевок луны» или «звёздное желе».

Этих бактерий можно считать видами-пионерами, способными жить в бедных и даже в экстремальных средах. Они нуждаются в интенсивном освещении, поэтому расселяются на незаселённых почвах и часто встречаются на гравийных тротуарах либо на каменистой или уплотнённой

почве. Образуя иногда плотные ковры или шары, колонии ностока играют важную роль защитника почвы от эрозии и от пересыхания.

Эта древняя цианобактерия в настоящее время заново открыта, и она заслуживает особого внимания. Водоросли рода Носток обладают способностью фиксировать атмосферный азот. Другие виды продуцируют токсины, но в некоторых районах их традиционно потребляют, например, в Перу и в Китае. Некоторые виды производят необычные аминокислоты, предотвращающие организм от разрушительных последствий от избыточного облучения ультрафиолетом Солнца. Токсины этих водорослей начинают применять для лечения некоторых болезней. По-видимому, история использования ностока ещё только начинается.

Глава 3

Диатомовые водоросли

«Диатомовые (называемые также бацилляриофиты или диатомофиты) это микроскопические организмы растительной природы, живущие в водной среде, как во взвешенном состоянии (планктон), так и на дне, прикрепившись к донному субстрату, или не прикрепляясь ко дну. Эти одноклеточные окрашены в жёлтый или в коричневый цвет; их размеры варьируют в пределах двух микрометров (микрон – это одна тысячная миллиметра) и одним миллиметром».

(Guide des diatomées, Maurice Loir, Delachaux et Niestlé, 2004).

Для наблюдения этих красивых одноклеточных водорослей, окрашенных в жёлтые и коричневые тона, пришлось ждать изобретения микроскопа, потому что гиганты среди них едва достигают 1 миллиметра. Но, если они невидимы для невооружённого глаза, (как и весь фитопланктон), тем не менее, их скопления становятся заметными, когда они образуют высокие концентрации. Например, после отлива можно обнаружить на литорали ванны с водой, окрашенной в горчичный цвет, либо «горчичный» налёт на песке или на иле – это скопления диатомовых водорослей. Диатомовые (*Diatomeae*) насчитывают более 6000 видов и могут составлять до 80% от всего фитопланктона. Это самый распространённый класс фитопланктона. Они обнаруживаются всюду, от пресных вод и до солёных, а также в бочках с пресной водой! Живут они в широком диапазоне температур, включая экстремальные значения, а под ледниками они образуют плотные скопления.

Появление диатомовых водорослей

Цианобактерии первыми «изобрели» фотосинтез, преобразование углекислого газа в кислород. Они потребляли металлы и минеральные соединения, снижая, таким образом, природные загрязнения. Постепенно они очистили воды, покрывающие планету – воду, которую населяли только организмы, приспособленные к средам с экстремальными характеристиками. Концентрация CO₂ в воде была высокой, а температура экстремальной (80-100°C). Спустя несколько миллионов лет, благодаря цианобактериям, воды

значительно очистились. Одновременно активность вулканов снизилась, а температура уменьшилась от сотни градусов до двух десятков градусов. Охлаждение климата привело к образованию ледников. Вода замёрзла у полюсов, а объём жидкой воды сократился, что вызвало понижение уровня моря на всей планете и, соответственно, появление континентов. Участки, ранее находившиеся под водой, вошли в атмосферу. Подводные части континентов образовали литораль, затопляемую во время приливов и осушаемую в отливы.

До возникновения этих геологических процессов солнечные лучи не проникали в воду по причине её высокой мутности. Но с понижением уровня океанов и образованием литоральных зон, появились мелководные зоны освещаемые солнцем. Впервые солнце стало проникать в океаны!

Солнечное освещение воды в сочетании с минералами и CO_2 , то есть факторами, необходимыми для протекания фотосинтеза, оказались вместе. Кроме этого, на планете появились области с разными характеристиками: от полярных шапок и до тропиков; от литорали и до океанических глубин. Физико-химические различия разных участков на планете вызвали образование растительных организмов (видов) с различными требованиями к окружающей среде: диатомовых, зелёных, золотистых, динофлагеллат и т.д. Движение к высокому разнообразию фитопланктона началось!



© G. Jublin (schéma téléchargeable sur www.eclm.fr)

Рис. 6. Океанические камни или вулканические курильщики

Во времена, когда вода покрывала всю планету, минералы и микроэлементы, необходимые для развития цианобактерий, поступали из глубин, где проявлялась вулканическая активность: чёрные курильщики, вулканические камины поднимали минералы из земной коры до поверхности океана. Образование континентов привело к революции другого рода: установился цикл воды. Испарения, облака, дожди ... Вода стекала по суше в ручьи, речки и реки, которые размывали сушу, захватывали минеральные соединения и несли их к морям, формируя водосборные бассейны. Земля стала питать моря!

Красотки

В сложившихся благоприятных условиях появились и стали размножаться первые диатомовые. В процессах адаптаций к разным условиям среды они создавали новые формы. Некоторые из них стали сравнительно крупными и приняли форму парашютов, что позволяло им находиться в толще воды, другие стали тонкими и невидимыми или непривлекательными для своих врагов. В течение миллионов лет мелкие одноклеточные водоросли приспособлялись к своей меняющейся среде, изменяя при этом и своё строение.

Таким образом, на протяжении своей эволюции, диатомовые создали множество форм (круглых, квадратных, ромбических и т.д.), причём разных размеров и различной окраски. Это огромное разнообразие вынуждает нас восторгаться гениальностью Природы. Немыслимое «воображение», вдохновляющее некоторых современных художников!

Рассматривая диатомовые водоросли в профиль, можно заключить, что все они прямоугольные. Но при рассмотрении в фас видно, что форма их «коробочек» варьирует. Некоторых диатомей называют центрическими из-за их дисковидной, либо цилиндрической формы; пеннеидные диатомовые имеют форму вытянутого пенала; другие выглядят в виде буквы S, или в виде иголки, пера, листика и т.д. Говорят, что все формы наземных растений происходят от диатомей. Так, например, для листа любого дерева можно найти диатомею, своей формой напоминающую этот лист.

Очень мелкие, но очень сильные

Чемпионы по адаптации к своей среде – диатомовые стали первыми объединяться в колонии. Прочно прикрепившись, друг к другу, они никогда не разделяются. Существование в колонии облегчает им плавание и

выживание в условиях сильного течения. Если диатомовые находятся в быстротекущей реке, дно которой покрыто галькой, к которой другие водоросли, либо насекомые не могут прикрепиться, однако диатомовые легко там обнаруживаются. Достаточно провести по гальке пальцем и обследовать под микроскопом то, что прилипло к пальцу. Обнаруживаются только диатомовые! Они хотя и микроскопические, но обладают баснословной силой!

Эти маленькие сообщества диатомовых видны невооружённым глазом в виде волос (*волосы ангела - нитевидные колонии микроводорослей – примечание переводчика*). Там можно разглядеть мелкие вытянутые водоросли – это диатомовые, прикрепленные друг к другу и образующие длинные трубки не толще волоса. Если часть трубки разрушится, то колония быстро её восстановит. При наличии в среде биогенов, необходимых для роста диатомей (CO₂, минеральных соединений, особенно кремния) и света, клетки постоянно делятся, а их численность быстро увеличивается. В результате появляется новый волос.

Устойчивость диатомей к течениям

«Способность водорослей оставаться прикрепленными к твёрдым субстратам в беспокойной воде зависит от их размеров, морфологии и силы прикрепления (Peterson, Stevenson, 1990). Согласно Стивенсону (1984) некоторые бентосные прикрепленные водоросли очень трудно отделить и даже увеличение скорости течения с 10 до 120 см/с не способно их оторвать. Некоторые виды, например, *Navicula lanceolata* и *Cyclotella meneghiniana*, продуцируют клейкие желатиноподобные вещества, которые необходимы им для выживания в турбулентной среде, либо в местах с сильным течением». Отрывок из *Guide d'identification des diatomees des rivieres de l'est du Canada*, Isabelle Lavoie, Paul B. Hamilton, Stephane Campeau, Martine Grenier et Peter J. Dillon, Presses de l'Universite du Quebec, 2008, p. 21.

Подвижность

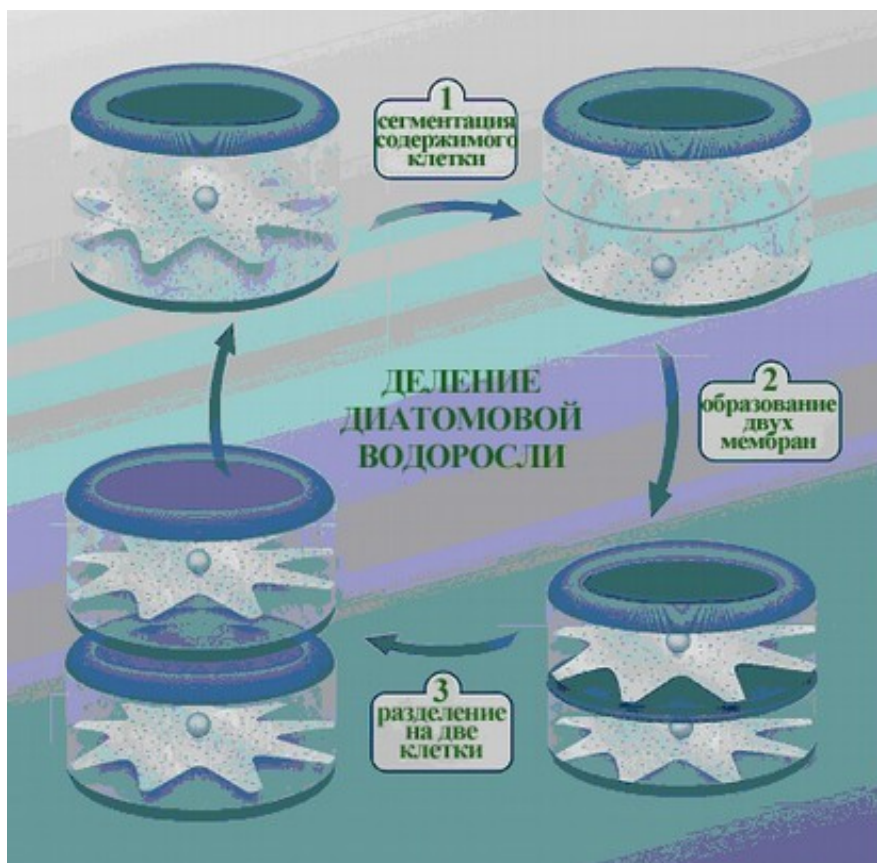
Отдельная диатомея – это своего рода капсула, заполненная растительной массой. Прозрачная и жёсткая оболочка окружает отдельную клетку, производящую эту оболочку, которая состоит из кремния и напоминает очень прочное стекло с мелкими отверстиями. Через эти отверстия осуществляется обмен с внешней средой. А отверстия на

прозрачной оболочке образуют кружева ... с высокой эстетической утонченностью!

Раковинка диатомовых состоит из двух симметричных частей, входящих одна в другую, как например, у коробок сыра «Камамбер». У такой «коробки» имеется «крышка» и «дно». Во время деления растительная протоплазма делится (сегментируется) на две части, которые затем разделяются. Каждая из двух частей достраивается до полной клетки, при этом, часть с крышкой строит дно, а у другой части бывшее дно становится крышкой. Таким образом, образуются две идентичные клетки.

Диатомея не рождается, она появляется благодаря клеточному делению. Диатомея не умирает «от старости»: если одна особь исчезла, то только потому, что их стало две. Гибнет диатомея лишь от чрезвычайных внешних воздействий (механических, загрязнения, холода, жары).

Все необходимые элементы для построения протоплазмы, органелл, оболочки диатомея получает из внешней среды. В зависимости от качества среды она может делиться 1-3 раза в сутки. Нехватка хотя бы одного элемента во внешней среде замедляет процесс деления, а полное отсутствие элемента приводит к прекращению деления.



© G. Jublin (schéma téléchargeable sur www.eclm.fr)

Рис. 7. Деление диатомовой водоросли

Чудесное приключение растений

«В море происходит великое событие: размножение. Как его осуществить? Первая идея, пришедшая в голову: разделить пополам, как это обычно происходит у некоторых одноклеточных водорослей. Весьма вероятно, что в течение миллиардов лет, в океане ничего другого не происходило. Клетки, разделившись пополам, образовывали по две половинки, которые случайно могли столкнуться с другими половинками и соединиться с ними. Таким образом, могли образоваться целые клетки, которые уже не были близнецами, как все предыдущие...

Попробуйте и Вы разделиться: и Вы получите ещё одного себя. Растиражируйте себя сами, умножьте затем на девять, выполните ещё другие действия... и что в итоге Вы получите? Самого себя.

Итак, представьте себе в первобытном океане одну из этих клеток идентичную миллиардам других, разделившихся недавно: прощай моя половинка и отправляйся исследовать окружающий мир». Отрывок из: «Захватывающее приключение растений» - *La prodigieuse aventure des plantes*, Jean-Marie Pelt et Jean-Pierre Cuny, Fayard, 1981.

«Умные» клетки

Как и все другие представители фитопланктона, диатомеи потребляют различные вещества, растворённые в воде. Их изобретение – потребление кремния и изготовление из него стеклянной прочной и эффективной оболочки вокруг клетки. Стекло из кремния обладает высокой прозрачностью и прочностью, поэтому оболочка надёжно защищает тело клетки от опасных внешних воздействий, но в то же время пропускает свет и необходимые соли. Каждый вид диатомей производит из кремния оболочку со своей архитектурой, в результате чего создаётся немислимый набор форм.

Для построения коробочки из кремния, диатомея должна быть «умной» и изобретательной. Человеку для изготовления стекла необходимо разогреть кремниевый песок до температуры 1550°C, а диатомея делает стекло при 10-15°C и даже ниже (0-10°C), например, подо льдом. Это представляется удивительным, некой загадкой для учёных: каким образом одноклеточный растительный организм строит панцирь из стекла при температуре окружающей среды? Человек пытается понять, а природа уже делает это в течение сотен миллионов лет!

Сегодня химики знают, как можно смоделировать этот процесс методами «мягкой химии» и изготовить биостекло. Они обдумывают и

возможность применения такого прочного и пористого биологического стекла, которое не отторгается организмом. Микрокапсулы из биостекла можно было бы использовать для доставки и распространения медикаментов внутри организма.

Особенность диатомей: раковина

«Их оригинальность, а также их красота происходит от их внешней прочной и прозрачной оболочки (раковины). Эта раковина часто красиво орнаментирована и состоит она из слегка кристаллизованного кремния, напоминающего стекло. Кремний связан с органическими компонентами. В зависимости от формы раковины выделяют два типа диатомовых водорослей. У диатомей, называемых центральными, либо центрическими (порядок *Biddulphiales*), раковина имеет форму диска (разной толщины), иногда трубки (цилиндрической или другой) с радиальной симметрией. У диатомей, называемых pennales ou pennées (порядок *Bacillariales*) раковина более-менее вытянута и обладает двусторонней симметрией». Отрывок из *Guide des diatomées*, Maurice Loir, Delachaux et Niestle, 2004.

Волшебная палочка

Кремний, в самом деле, был волшебной палочкой для эволюции планктона вплоть до диатомей. После кислорода, кремний является самым распространённым элементом на Земле (это основной элемент в земной коре). Однако в самом начале он находился в связанном состоянии в скалах и в осадках, но при отсутствии его в воде, диатомовые водоросли не могли развиваться. Для его высвобождения необходимо было пробурить кору Земли, и вулканы выполнили эту задачу. Затем самоочищение вод и производство кислорода цианобактериями создали условия для поглощения водорослями растворённого кремния и построения из него панциря. Появились диатомовые...

Возникновение этого вида, способного строить прозрачный панцирь из кремния стало крупным эволюционным шагом в экологии фитопланктона. Цианобактерии обладали только мягкой эластичной мембраной, деформирующейся при изменениях внешнего давления. А наружный скелет диатомовых стал надёжной прочной защитой. Некоторые зоопланктонные хищники пасуют перед диатомеями, так как они не могут их разломать, ни переварить. Некоторые виды (устрицы, копеподы и т.д.) их проглатывают, переваривают то, что находится внутри панциря, а затем этот панцирь

выбрасывают. В лаборатории, когда хотят получить растительное содержимое диатомей, применяют ультразвук, разрушающий панцирь, потому что, даже в миксере, панцирь разрушить невозможно.

Стекло диатомей сохраняется в течение длительного времени. Оседая на дно и превратившись в осадки и, при этом, находясь в течение миллионов лет под большим давлением, панцири сохраняются неразрушенными. Их исследуют учёные – специалисты по фитопланктону, а также биоинженеры, изучающие биостекло.

Полезные

Физическая роль

Диатомея, строит свой стеклянный панцирь в течение часа. Когда, через несколько дней, эта клетка погибает – панцирь опускается на дно. Упав на слой осадков, он постепенно покрывается другими оседающими частичками. Таким образом, медленно, в течение сотен миллионов лет из тонких слоёв толщиной в 10 мкм формируются донные осадки. Из таких отложений диатомовых на дне озёр или океанов образуются «мягкие» скалы - диатомиты, состоящие из спрессованных панцирей диатомовых водорослей. Лёгкие и пористые фрагменты скал находят многочисленные применения: в косметике, спичках, красках, бумаге, автопокрышках, взрывчатых веществах и ... в зубной пасте.

Лёгкость этого материала объясняется строением диатомей. Погибшая водоросль становится пустой и прочной коробкой. Собранные в толстый слой «коробки» занимают большой объём, однако плотность слоя – довольно низкая.

Эти отложения живых ископаемых, накапливаемых на дне, участвуют в образовании континентов. Небольшое участие отдельной микроводоросли в грандиозной геологической истории Земли! Некоторые из слоёв достигают 1000 метров высоты (Мексика). Добываемые в настоящее время диатомиты в большинстве сформировались в озёрах, как, например, во Франции карьер Мюрат (Murat) в районе Канталь (Cantal), где находят планктон, насчитывающий миллионы лет.

Химическая роль

В течение миллионов лет отложения мёртвых диатомовых водорослей преобразовывались в запасы углеводов, которые мы используем для движения наших автомобилей. Нефть – это результат медленной (более 100

млн. лет) трансформации планктона, точнее диатомей аккумулярованных на дне океанов. Под воздействием бактерий, давления и температуры органическое вещество диатомей постепенно преобразуется в углеводороды. Эта нефть затем проходит сквозь пористые скалы и, под давлением газа, выходит на поверхность. Иногда нефть задерживается плотным слоем осадков, где и накапливается, образуя нефтяные запасы.

Биологическая роль

«Диатомовые водоросли – одна из основных составляющих фитопланктона и, поэтому играет значительную роль в океанах. Они представляют основу длинных и продуктивных трофических цепей, заканчивающихся крупными плотоядными, такими как китообразные, птицы» - объясняет Жан Дорст, профессор Национального музея естественной истории (Париж).

Диатомеи очень быстро размножаются. На их долю приходится большая часть продукции фитопланктона, которая затем включается в различные звенья пищевых цепей, в том числе и в питание человека. Называемые кормовыми водорослями, диатомеи входят в рацион и высших морских животных. Некоторые диатомеи, также как и спирулина, могут непосредственно потребляться человеком и в этом смысле они представляют значительный ресурс, хотя пока ещё недостаточно используемый.

Растительный микропланктон производит ежедневно столько же продукции, как и все наземные растения! В то же время масса растительного планктона Мирового океана в 500 раз меньше, суммарной массы растений на континентах. Это объясняется тем, что фитопланктон обновляется полностью в течение нескольких дней, в то время как для наземной растительности требуются годы. Продуктивность фитопланктона, в отличие от наземной растительности, высока, но сам он эфемерен.

О диатомеях много пишут и много говорят, потому что они составляют большую часть фитопланктона и, к тому же, они прекрасны. Они отличаются от других видов фитопланктона разнообразием форм, а также способностью производить антибиотики, и, особенно их высокой пищевой ценностью: белки, жиры, витамины, омега – 3 жирные кислоты. Каждый вид специфичен: некоторые синтезируют в основном белки, другие больше производят омега -3 кислоты.

Омега-3 кислоты оказывает благоприятное влияние на организм человека, улучшая, например, функционирование сердечнососудистой системы. Соответствующие вещества содержатся в диатомее *Odontella*

aurita – микроводоросли используемой в качестве пищевой добавки, а также в косметологии. Содержание в ней омега-3 кислот составляет 22%; она, так же, как и спирулина является идеальной пищевой добавкой.

Жирные омега-3 кислоты

(профессор Бернар Смит)

Синтез полиненасыщенных жирных кислот (омега-3 и омега-6) происходит исключительно в растительном мире. Действительно, только наземные растения, фитопланктон и многоклеточные водоросли обладают энзимами, необходимыми для осуществления их синтеза в процессе фотосинтеза. Однако эти жирные кислоты необходимы животным и, в частности человеку, который получает их через пищевые (трофические) наземные и водные цепи.

Наземная цепь: весенняя трава, благодаря интенсивному солнечному излучению, особенно богата омега-3. Домашний скот поедает эту траву вместе с растениями, несущими семена, например льна, которые накапливают омега-3 кислоты. Усвоенная животными омега-3 в дальнейшем переходит в мясо, молоко, яйца и т.д.

Морская трофическая цепь: отправная точка – фитопланктон, очень богатый омега-3 кислотами, что является следствием интенсивного фотосинтеза. Фитопланктон потребляется зоопланктоном, в частности копеподами, крилем, которые, в свою очередь, поедаются рыбой, накапливающей омега-3 жирные кислоты. Человек, поедая рыбу, особенно жирную (лосось, тунец, сардины, анчоус или хамса, макрель и т.д.), также получает омега-3 кислоты.

Достаточное поступление в организм омега-3 кислот позволяет предупредить болезни, вызывающие потерю памяти, ухудшение зрения, диабет, сердечнососудистые заболевания и т.д.

В настоящее время считают, что идеальное значение отношения омега-6/омега-3 кислот должно равняться 5. Однако, учитывая нашу современную модель питания и, особенно модель питания, состоящую из продуктов сельского хозяйства, в которой корм скота базируется на кукурузе и соевом жмыхе, особенно богатым омега-6 кислотами, то в нашем питании соотношение омега-6/омега-3 равно 20! Вот это отношение, которое в 4 раза превышает требуемое ответственно за рост сердечнососудистых заболеваний, диабета, причём особенно в индустриально развитых странах. Результаты последних исследований питания населения во Франции выявили значительный дефицит омега-3 (менее 1 г/день) в то время как

рекомендуемое потребление – 2 г/день. В то же время установлено, что потребление омега-6 несколько завышено.

Для исправления этой тенденции необходимо больше потреблять масел, богатых омега-3 кислотами (рапс, орех, лён). В условиях наземного производства естественное обогащение продуктов, предназначенных для потребления и выпускаемых организацией “Bleu-Blanc-Coeur” (www.bleu-blanc-coeur.com) поможет увеличить потребление омега-3 кислот и уменьшить омега-6. При питании морепродуктами, потребление жирной рыбы минимум 2 раза в неделю, позволяет решить эту проблему. Параллельно разрабатывается иное решение этой задачи: ежедневное потребление фитопланктона, богатого омега-3 жирными кислотами (*Chlorella* и *Odontella*).

Микроводоросли также продуцируют вещества, используемые в косметике (борьба с морщинами, уход за волосами и т.д.). Предстоит ещё исследовать многие виды микроводорослей. Некоторые из них дадут медикаментозные препараты будущего. Уже было установлено, что некоторые диатомеи производят антибиотики и другие бактерицидные вещества, имеющие отношение к деятельности человека. Например, наличие в морской воде «хороших диатомей» препятствует возникновению вирусных и микробных заболеваний у выращиваемых устриц и тапесов. Санитарное качество морской воды зависит от качества и разнообразия фитопланктона.

Микроводоросли и биотехнологии

«Диатомеи играют важную роль в мировом природном равновесии. Уже описано 100 000 видов, окрашенных в золотистый или в коричневый цвет. Они осуществляют фиксацию 20% углерода в океанической воде. Это биологическое разнообразие, соответствующее исключительно высокой адаптации разных организмов к различным условиям среды, позволяет предположить наличие чрезвычайно высокого разнообразия органических молекул, синтезируемых организмами, что представляет большой интерес для биотехнологии.

Область, в которой эти микроводоросли нашли своё применение – это аквакультура. Фитопланктон остаётся важнейшим этапом выращивания моллюсков и рыбы. Естественно, что это питание для водных животных перенесли и в сферу питания человека, в котором две микроводоросли (*Odontella* и *Spirulina*) приняли национальный приоритет.

Следующая область – это косметика, которая включает в свою продукцию целые водоросли, либо их фракции. Экономически важно

получение высоких значений продуктивности микроводорослей: их продукция на гектар превосходит в 10 – 30 раз продукцию наземных растений, а также в 5 – 10 раз продукцию масла (жиров) по сравнению с лучшими наземными масличными культурами.

Растительный планктон может стать новой сырьевой базой для производства экологической энергии. Крупномасштабное культивирование некоторых микроводорослей, в частности диатомей, позволит обеспечивать горючим автомобили. Действительно, 20% синтетической продукции составляют масла, в то время, как у подсолнечника эта цифра в 200 раз ниже. К тому же культура одноклеточных воспроизводится непрерывно, причём в замкнутом цикле, поэтому водная культура занимает гораздо меньше места, чем поле, например, для выращивания турнепса.

Диатомеи в опасности!

Диатомеи существуют в течение сотен миллионов лет и прошли они через все катаклизмы на планете. В то же время они остаются хрупкими и чувствительными даже к незаметным загрязнениям, способным уничтожить диатомеи.

Некоторые виды диатомовых не выносят никаких загрязнений, в то время, как другие к ним устойчивы и даже процветают в деградированной среде. Микроскопические водоросли очень чувствительны к изменениям концентрации питательных элементов (фосфор, азот и т.д.), а также к органическим и минеральным соединениям, особенно удобрениям, переносимых из полей. Диатомовые водоросли всё чаще используются в качестве индикаторов загрязнения пресных и морских вод. В случаях загрязнений соотношение различных видов в сообществе фитопланктона изменяется. Наиболее чувствительные исчезают, а их место занимают виды, толерантные к загрязнению. Составив списки видов по степени их чувствительности к тем или иным загрязнениям, можно классифицировать различные акватории по «диатомному индексу». Биологический диатомный индекс был разработан и применён в 2000 году. Затем, в рамках Европейской директивы о воде, он был усовершенствован в 2007 году.

Слишком большие количества пестицидов, инсектицидов, нитратов, фосфатов уменьшают видовое разнообразие сообщества диатомей, а именно: толерантные виды и «гурманы» чрезмерно размножаются и образуют «цветение воды», вследствие чего исчезают прочие виды. Например, в случае *Cerataulina pelagica*, который интенсивно потребляет биогены и, при этом, быстро размножается, угнетая другие виды, нуждающиеся для своего

развития в биологическом равновесии. *Cerataulina pelagica* не является токсичным видом и ведёт он себя нормально, когда находится в обычном (сбалансированном) сообществе фитопланктона. Однако его обилие подавляет другие диатомеи и, в случае загрязнения, он захватывает окружающую среду, где его численность достигает значений 80-90% от всех микроводорослей. Вода в таких случаях принимает необычный коричнево-чёрный цвет. Свет не проникает в такую воду, а условия для жизни микроводорослей других видов становятся невозможными. Соответственно биоразнообразию сообществ планктона падает.

Итак, произошла катастрофа. Потеря разнообразия диатомей означает потерю пищевого разнообразия для растительного зоопланктона и, вследствие этого, создание первого нарушения равновесия. Действительно, если в среде находится только одна форма или один размер потребляемого фитопланктона, следовательно, этот корм подходит только для размеров рта определённого вида растительного зоопланктона. Поэтому только один вид зоопланктона будет сохранён в результате такого естественного отбора. Все другие виды растительного зоопланктона будут элиминированы. А это означает, что хищному зоопланктону будет доступен в качестве корма только один вид растительного зоопланктона и так далее по пищевой цепи.

Водоросль *Cerataulina pelagica* в самом начале цветения - процветает. Затем, став слишком многочисленной, она себя подавляет, гибнет и оседает на дно, где формируется плотный увеличивающийся слой осадка. Скопившиеся мёртвые диатомеи представляют собой кормовые склады для бактерий (аэробных, потому что там присутствует кислород), питающихся этой органической массой, которая легче переваривается, чем мёртвая рыба.

На морском дне бактерии размножаются до тех пор, пока присутствует кислород. В отсутствие кислорода рыбы уходят из этих мест, но все животные, не способные к передвижению (прикрепленные, либо закапывающиеся формы) – погибают. Затем и бактерии, потребившие весь кислород, также погибают и распадаются до минеральных соединений. А эти соединения поступают в водную среду и становятся доступными для фитопланктона.

Опасность эвтрофикации происходит от внезапного поступления биогенов в больших количествах. Причины могут быть различными:

- Органическое загрязнение: взвешенное органическое вещество (стоки, станции очистки сточных вод);

- Химическое загрязнение: химические продукты (удобрения, пестициды и т.д.);
- Физическое загрязнение: искусственное изменение гидрологического режима (плотина).

Пример замора в лиманах Лангедока

Замор (malaigue) – это феномен эвтрофикации в лиманах Средиземного моря: лиманы То, Ор, Лейкат и т.д. – цепь лиманов в прибрежной зоне. Иногда в этих лиманах происходит внезапная гибель всех животных из-за замора.

Жара, избыточные количества биогенов создают эвтрофикацию: сверхвысокую численность бактерий, заполняющих пространство и потребляющих доступный кислород. Нет кислорода – нет и жизни. Фауна и флора исчезают в лиманах.

Ежегодно, в летнее время, эти лиманы сталкиваются с этой проблемой, которая сопровождается и гибелью моллюсков, или же приводит их к непригодности для потребления, что, в свою очередь, сопровождается экономическими потерями у фермеров, выращивающих моллюсков. Заморы встречаются в зонах с тёплым климатом, особенно в морях и акваториях частично, либо полностью замкнутых: Средиземное и Чёрное моря, Тунисское озеро и т.д.

Эффекты плотины:

НЕВИДИМОЕ СТАНОВИТСЯ ВИДИМЫМ

Что такое плотина? Удержание пресной воды, остановка течения реки, которая ранее постоянно текла в море и далее в океан. Минеральные экстракты, различные химические соединения, переносимые ранее течением реки теперь остановлены плотиной и аккумулируются донными осадками; песок и ил скапливаются перед плотиной, вместо того, чтобы попасть естественным образом в морскую воду. Связь земля-море нарушена. Планктонное равновесие в эстуарии также нарушено. Нехватка биогенов приводит к снижению разнообразия видов, составляющих пищевую цепь в данной акватории.

Фитопланктон нуждается в поступлении речной воды, которая, благодаря эрозии скал водосборного бассейна, поставляет биогены, необходимые для развития фитопланктона. Плотина разрушает это равновесие, производя постоянный недостаток одних элементов и избыток

других. В случае, когда шлюзы периодически открываются для выпуска скопившейся воды, в эстуарий внезапно поступает огромное количество биогенов, которое должно было потребляться постепенно в течение длительного времени. Возникает эффект мощного загрязнения, которое вызывает цветение: один представитель фитопланктона, используя эту обильную «пищу», бурно развивается вследствие чего создаётся возле плотины феномен эвтрофикации. Часто говорят об эвтрофикации в озере, в закрытой акватории, но не в океане, который слишком велик, поэтому эвтрофикация в океане невозможна. Однако примеры такой эвтрофикации существуют.

Пример плотины Арзал

История начинается снижением уловов рыбы на широте Бель-Иль. Рыбы стало меньше, почему? Рыбаки не могли дать ответ, однако они заметили, что вода стала коричневатой и это их настораживало. Взяли пробы воды с учётом разных режимов работы шлюзов в плотине Арзал. Существует ли связь между плотиной и исчезновением рыбы?

Выпуск воды, удерживаемой плотиной, причём воды насыщенной биогенами, вызывает мощное химическое загрязнение и, как следствие, эвтрофикацию: один вид, например, *Cerataulina pelagica*, развивается неограниченно, в то время как другие виды пребывают в угнетённом состоянии. Вода принимает коричневый цвет, который простирается от Арзала (Arzal) и до Бель-Иль (Belle-Ile) и даже до Гленан (Glenan). Затем этот планктон гибнет и оседает плотным облаком на дно на глубинах 20-50 метров. На океанском дне бактерии разлагают слой отмершей микроводоросли *Cerataulina pelagica*, потребляя при этом кислород и уничтожая морскую фауну. Рыбы уходят из этих мест, а донные животные гибнут. Снижение рыбных запасов, обнаруженное рыбаками, является видимой стороной эффекта, производимого плотиной.

Физическое и химическое загрязнение

Плотина – это физическое загрязнение, вызывающее химическое. Механический эффект выпуска воды, производимого человеком является искусственным (противоестественным); он не учитывает сезонный календарь изменений в водной среде. Однако особенности функционирования реки зависят от сезона года. Дожди и засушливые периоды - это природные сезонные явления, осуществляющие круговорот

элементов, доставляя их потребителям в определённом адаптированном ритме. Но вмешательство человека, соорудившего плотину, нарушило функционирование экосистемы, установившееся в течение миллионов лет. До плотины функционировала уравновешенная экосистема, в которой взаимодействовали фитопланктон, зоопланктон, мелкие планктоноядные рыбы и крупные хищные рыбы. Внезапно крупные хищники покинули эту зону, так как мелкие кормовые рыбы, не имея кормового зоопланктона - исчезли. А зоопланктон исчез вследствие обеднения качественного и количественного состава фитопланктона, пострадавшего от нарушения гидрологического и гидрохимического режима акватории. Это – цепь нарушений биологического равновесия может, в свою очередь, вызвать каскад экологических катастроф, приводящих к экономическим потерям в рыболовстве и в аквакультуре.

Аналогичные феномены возникают и вследствие некоторых других воздействий человека, как, например, при искусственном удобрении. Можно предположить, что в водной среде, также как и на сельскохозяйственных полях, чем больше мы будем вносить удобрений, тем больше будет планктона и тем продуктивнее станет пищевая цепь. Были даже разработаны программы внесения удобрений в океанические зоны Мирового океана с бедным планктоном. При этом предполагали, что, внося в бедные зоны железо и некоторые минеральные соединения, можно будет увеличить численность и биомассу планктона. Действительно, известно, что внесение биогенов вызывало эвтрофикацию вод. Известно, однако, что качество вносимых биогенов важнее их количества, особенно, когда имеют дело с конкретными видами фитопланктона. Например, выяснилось, что в случае диатомовых водорослей, требуется точное соотношение вносимых элементов.

Решение: ноль пестицидов!

Вся жизнь микроскопических планктёров может оказаться в опасности от вносимых химических соединений. Человек пока ещё не оценил реальные потери, которые могут возникнуть от воздействий на морские организмы, особенно на диатомеи, на долю которых приходится 80% от всего растительного планктона. Тревога пока ещё научно не обоснована, однако через 20 лет ответственность за нарушения в природе будет доказана, но ... будет уже слишком поздно! Исследования начались, но на данном начальном этапе, предчувствия и впечатления, опыт и гипотезы рыбаков, морских

фермеров, преподавателей должны приниматься в расчёт. Поспешность решений и срочность их выполнения уже, к сожалению, доказывали их ошибочность.

Солёные марши (болота), мангровые заросли: экологические успехи

Солёные болота, прибрежные болота, мангры, все места, в которых встречаются пресная и морская вода, являются чрезвычайно благоприятными для развития фитопланктона. Эти влажные зоны, в случаях, когда они содержатся человеком надлежащим образом, производят различные минеральные соли, необходимые для развития сбалансированного сообщества фитопланктона и всей пищевой цепи. Их здоровое состояние является залогом сохранности морских ресурсов.

Прибрежные болота представляют собой микроплотины, изготовленные для добычи соли из морской воды методом выпаривания. Соледобытчик запасает морскую воду, извлекает из неё соль, а затем возвращает природе то, что он у неё взял. В этой профессии человек сумел объединить природу и деятельность человека, без нанесения вреда природе. На протяжении двух тысяч лет женщины и мужчины строили плотины в соответствии со своими потребностями. Пруды, сделанные из земли и глины, становятся вместилищами сбалансированных экосистем, играющих роль кормовых запасов для океана. Не подозревая, люди, производя желаемый продукт – соль, создали идеальные условия для воспроизводства фитопланктона. Если солёные болота находятся в хорошем состоянии, в них развиваются многие виды морского фито- и зоопланктона. Образуется экосистема в результате размножения многих видов морских организмов и, в такой «лаборатории под открытым небом», добытчики соли, не ведая этого, создают довольно сложные экосистемы!

Глава 4

Кокколитофориды

Кокколитофориды (*Coccolithophoridae*)- это одноклеточные водоросли, причём исключительно морские, встречающиеся в умеренном и холодном поясах, например в Канаде и Северной Атлантике. Эти микроводоросли имеют разнообразную форму с размерами от 5 и до 50 мкм. В настоящее время известно несколько сотен видов.

От Мюрата (Murat) до Этретата (Étretat)

Отличительная черта кокколитофоридов - их внешний скелет. Как и диатомовые, эти водоросли извлекают из воды кремний, из которого они строят панцирь. Они также потребляют карбонат кальция, включаемый во внешнюю оболочку скелета. Эта оболочка напоминает раковину и называется коккосфера (coccosphere). Коккосфера состоит из известковых пластинок – кокколитов (coccolithes). После гибели микроводорослей их скелетики опускаются на дно в течение десяти дней, где они накапливаются и уплотняются. Их накопление на дне в течение миллионов лет приводит к образованию залежей мела. Мел скал Этретата, а также мел используемый в школах, состоит в основном из кокколитофоридов. Между прочим:

Мел не был изготовлен в течение дня!

Мел – это кусочек редкой скалы, состоящей из скопления известковых остатков планктонных организмов (кокколитов) мелового периода – 90-60 млн. лет тому назад - время, когда неглубокое тропическое море покрывало парижский регион. Мел – это хрупкая пористая порода, из которой наши предки изготавливали сосуды для воды. Чистый мел на 100% состоит из кокколитов. Мел используется в строительстве (камни, цемент, известь) и в сельском хозяйстве (кальцинирование или известкование почвы). Например, собор в Руане построен из твёрдого мела. Кроме Парижского бассейна залежи мела простираются до Северной Европы и формируют там живописные обрывистые берега. Встречаются меловые массивы и в районе Сахары, Западного Египта, где они, среди пустыни, сияют своей белизной.

Живущая на Земле в течение более 200 млн. лет, эта известковая водоросль образовала мощные осадочные слои, обнаруживаемые на

известковых почвах. Повсюду в мире, где обнаруживаются фрагменты мела, можно быть почти уверенными, что раньше это место было дном океана, как это наблюдается во всём Парижском бассейне. Париж, следовательно, был построен на планктоне! В районе Шампань – Арденн шампанское изготовлено из вина, выращенного на почве, состоящей в значительной степени из остатков кокколитофорид. В Сахаре также обнаруживаются такие остатки, которые были покрыты океаном в период Верхнего мела.

Союзник против парникового эффекта

Как и все представители фитопланктона, кокколитофориды развивались и размножались благодаря фотосинтезу. На протяжении своей жизни в поверхностных водах океана кокколитофориды потребляли в процессе фотосинтеза углерод, который включали в структуры своего тела. После гибели остатки микроводорослей опускались на дно, где органические компоненты их тел потреблялись бактериями. Минеральные компоненты, в том числе углерод, накапливались на дне и выводились из оборота. Таким образом, в течение миллионов лет, кокколитофориды выводили из атмосферы углекислый газ. В наши дни кокколитофориды, улавливая CO_2 – главный агент потепления климата на планете – активно участвуют в регулировании климата путём ослабления парникового эффекта, создаваемого деятельностью человека.

Не надо печалиться!

Особенность кокколитофорид – интенсивное развитие, причём пропорционально концентрации CO_2 растворённого в поверхностных слоях океана. Чем больше углекислого газа в воздухе, а, следовательно, тем больше его в воде (вследствие газового обмена) – тем интенсивнее размножаются кокколитофориды. Они образуют пространственные беловатые облака, которые видны на поверхности моря. А затем из этих «облаков» выпадает «океанический снег», уходящий в глубины океана. Во время «цветения» кокколитофорид вода на огромных пространствах приобретает молочный оттенок, а зона цветения может простираться, например, от севера Великобритании и до юга Бретани (Франция).

Мы можем поздравить себя с этой впечатляющей «очисткой» и поблагодарить кокколитофориды за, уборку опасных излишков CO_2 . Однако чудесных решений не бывает. Дело в том, что это мощное развитие кокколитофорид произошло за счёт угнетения других видов.

Кокколитофори́ды – это пелагические водоросли, населяющие, главным образом, подповерхностные слои океанов, где ими питаются некоторые зоопланктёры, способные потреблять микроводоросли размером до 50 мкм. Кокколитофори́ды нередко достигают высоких численностей, от чего страдают мелкие водоросли (диатомовые, золотистые, зелёные), которыми питается мелкий зоопланктон.

Копеподы (зоопланктон), рот которых невелик, не способны питаться кокколитофори́дами. Когда кокколитофори́ды вытесняют диатомей, количество копепод снижается, и личинки трески, питающиеся копеподами, испытывают нехватку доступного корма. Инвазия кокколитофори́д происходит на протяжении нескольких недель и захватывает огромные пространства, легко обнаруживаемые на спутниковых фотографиях. Так в Северной Атлантике вследствие высокой концентрации CO_2 в воде и цветения кокколитофори́дов, копеподы постепенно исчезли (из-за отсутствия мелких водорослей). Но личинки трески не выживают в отсутствие копепод, поэтому они уходят в воды, заселёнными копеподами. В результате происходит смещение зон рыболовства.

Очевидно, что кокколитофори́ды играют свою роль, но, не выходя за пределы экологического равновесия. Однако за пределами равновесия резко сокращаются численности растительного планктона, обедняется кормовая база пищевой цепи и, следовательно, разнообразие животных (моллюсков, ракообразных, рыб и т.д.), а также всей трофической сети, вплоть до крупных морских млекопитающих. Без фитопланктона не было бы и китов!

Дождь и солнце

Кроме поглощения углекислого газа, кокколитофори́ды, также как и другие морские микроводоросли, производят серосодержащие соединения (диметилсульфат) – газ, ускоряющий испарение воды и, как следствие, способствующий образованию облаков. Облака хороши, когда они приносят дожди. Более того, они образуют экран, защищающий от солнечного излучения, и тормозят повышение температуры у поверхности Земли, компенсируя в значительной степени парниковый эффект. Однако, когда возрастание концентрации CO_2 в воде вызывает мощную вспышку обилия кокколитофори́дов, связанную с интенсивным поступлением в атмосферу серы – всё это способствует возникновению тропических бурь и циклонов. Следовательно, кокколитофори́ды способствуют возникновению плохой погоды!

Раковины под угрозой

Невидимый и слабо изученный, фитопланктон, осуществляет, однако, половину всей фиксации атмосферного углерода, протекающей на планете. А можно ли рассчитывать на фитопланктон, который поглотит все излишки углекислого газа? Ответ, как всегда заключён в мере – всё зависит от количества этих излишков. Дело в том, что растворение CO_2 в воде океана приводит к повышению кислотности воды. Действительно, поступление CO_2 в воду вызывает образование углекислоты, подкисляющую водную среду. Кислота затрудняет образование морскими организмами известковых структур, а при определённом уровне концентрации CO_2 раковина может даже раствориться.

Таким образом, кокколитофориды первыми среди других видов фитопланктона подвергаются опасности от чрезмерного подкисления морской воды. Действительно, например, у диатомовых панцирь построен из кремния, поэтому они менее чувствительны к подкислению. Отметим, что подкисление океанов опасно не только для планктона, но и для всех организмов, обладающих известковыми раковинами или скелетами: двустворчатые и брюхоногие моллюски, ракообразные и ... даже кораллы.

Сегодня эта угроза стала серьёзной. При современных выпусках CO_2 в атмосферу подкисление может достигнуть значений рН, при которых вода становится коррозионным агентом, исключая существование микро организмов. Поэтому кокколитофориды, как и многие другие виды фитопланктона, могут исчезнуть... в том числе и мидии, устрицы и другие животные, питающиеся фитопланктоном! С исчезновением многих морских гидробионтов возникнут очень серьёзные проблемы с биоразнообразием прибрежных экосистем, а также тяжёлые социально-экономические последствия, особенно для населения приморских городов.

Равновесие, всегда равновесие...

Кокколитофориды, участвуя в переносе углерода в глубинные слои океана и потребляя значительные количества CO_2 , выполняют роль регуляторов климата. Однако не стоит надеяться, что они смогут спасти планету! Их функционирование очень важно, а их исчезновение приведёт к катастрофе. Но и чрезмерное обилие этих водорослей в океанах также создаст драматическую ситуацию. Поэтому очень важно, чтобы кокколитофориды и прочие биологические виды сохраняли своё место в

экологическом равновесии – это необходимое условие поддержания здоровья океанов и сохранения его ресурсов.

Вода покрывает более 70% поверхности планеты. Океаны играют существенную роль в регулировании климата и содержания CO₂ в атмосфере – газа, ответственного за парниковый эффект. В течение последних 200 лет, благодаря фитопланктону, океаны потребляли треть углекислого газа, выделяемого в процессах человеческой деятельности. Но океаны не являются бездонными колодцами. Со временем их абсорбционная способность уменьшается и сегодня они поглощают не более четверти выбросов CO₂, а в некоторых зонах океана отмечают даже обратный эффект: море выделяет в атмосферу углекислый газ.

Океан – природный накопитель углерода атмосферы

Углекислый газ ответственен за 2/3 потепления климата Земли, вызванного деятельностью человека. Следовательно – это главный фактор глобальных климатических изменений. Океан играет значительную роль в регулировании климата, потому что ежегодно он абсорбирует 2 гигатонны из 7 гигатонн, производимых человеком. Этот феномен является результатом трёх процессов:

- Растворением CO₂ в поверхностных водах Океана. Однако поверхностный слой (первые 100 метров), взаимодействующий с атмосферой, представляет только 2% от всей водной массы Океана.
- Действием «океанических насосов», перемешивающих поверхностную воду с водой промежуточного и глубинного слоёв. Основным действующим фактором перемешивания воды в океанах – это механизм, работающий следующим образом: в процессе переноса вод тропической зоны к северным широтам вода охлаждается и насыщается углекислым газом, растворимость которого возрастает при понижении температуры воды. В полярных широтах холодные воды уплотняются и опускаются в глубины, куда они переносят абсорбированный CO₂.
- Действием «биологического насоса», который особенно активен в периоды цветения фитопланктона. Огромные массы фитопланктона потребляют и накапливают атомы углерода в процессе синтеза органического вещества. Затем этот углерод, в составе отмерших организмов, либо фекалий, опускается на дно. В результате огромные массы углерода оказываются на дне и, таким образом, выводятся из кругооборота.

Глава 5

Золотистые и зелёные микроводоросли

Золотистые (*Chryzophyta*)

Золотистые – это одноклеточные мелкие (длина 2-3 мкм) водоросли вытянутой формы. Их окраска варьирует от желтоватых тонов до коричневых. Среди этих водорослей встречаются особи, ведущие одиночный образ жизни, а также микрофиты, образующие колонии. Они населяют континентальные пресноводные водоёмы и моря. Встречаются в умеренном и тропическом поясах.

Золотистые являются пелагическими микроводорослями. Они снабжены двумя жгутиками и способны активно перемещаться, хотя и не против течения. Золотистые водоросли, в отличие от диатомовых водорослей, встречаются во всей толще подповерхностного слоя воды, в то время как диатомовые падают на дно, где их поедает бентосный зоопланктон и донные фильтраторы (устрицы, мидии т. д.). Ввиду распространения представителей этой группы фитопланктона во всём объёме подповерхностного слоя воды, они играют очень важную роль в обеспечении функционирования трофических сетей.

Помог ли жгутик эволюции?

Благодаря двум жгутикам, золотистые и зелёные микроводоросли стали первыми живыми существами, способными перемещаться в разных направлениях. Однако, такие микроводоросли как диатомеи (в виде «коробочек»), поддерживаемые водой и переносимые течениями, просто погружались на дно. Появление же жгутика наделяло микроводоросль способностью активно двигаться, что можно расценить как революцию в эволюционном процессе.

Почему жгутик появился? Уже говорилось о том, что микроводоросли синтезируют углеводы. В течение миллионов лет продуктивность клеток возрастала, а микроводоросли утяжелялись и всё чаще заглублялись, где освещённость была пониженной. Возникла необходимость возврата в верхние, более освещённые слои, что и привело к развитию аппарата

перемещения микроводорослей в пространстве, а именно – к появлению жгутиков. Также благодаря жгутикам и животные смогли перемещаться вплоть до выхода на сушу. Возможно, что благодаря жгутикам эволюция видов, пройдя через многие этапы, привела и к появлению человека!

Трава зоопланктона

Золотистые – это микроводоросли, формирующие великолепную кормовую базу. Её основная ценность – хорошие питательные свойства, а также значительная биомасса. Мелкие, и обильные во всём пространстве, хризифиты образуют своего рода обильные «травяные пастбища» для зоопланктона.

В природной среде они обеспечивают питание морских животных, находящихся на личиночных стадиях, как, например, двустворчатых (мидии, устрицы, различные сердцевидки и венериды и т.д.), а также растительного зоопланктона на протяжении всей его жизни (копеподы и т.д.). Золотистые водоросли культивируют и в питомниках, где их используют в качестве корма для двустворчатых моллюсков и для выращивания зоопланктона – корма для личинок рыб (лаврака, дорады, тюрбо – вида близкого к черноморскому калкану и др.).

Культивирование фитопланктона в питомниках

Фитопланктон – отправная точка морских трофических сетей. Он включает тысячи видов «диких» микроводорослей, среди которых встречаются виды, которых можно выделить из природной среды и культивировать в лабораторных условиях.

Корм для молоди

Питомник – это рыбоводное предприятие, в котором реализуют начальную стадию выращивания объектов аквакультуры: мальков рыб или (и) спат, то есть молодь моллюсков. Иными словами, питомник это место, в котором проводят искусственный нерест, выклев и выращивание личинок рыб, ракообразных, моллюсков, иглокожих.

Например, устрицеводство, рассчитывая на плодородие моря и продуктивность фитопланктона, размещает на ферме устричный спат (приобретённый в питомнике) и подращивает его до товарного размера. Можно было бы спат получить непосредственно в море, где личинки устриц

пребывают в составе зоопланктона. Однако успех этой операции зависит от многих факторов (нереста устриц и эффективности оплодотворения, климатических условий, качественного и количественного состава фитопланктона в окружающей среде). Питомник позволяет фермеру избежать этих рисков.

Питание производителей, а затем и выращиваемых личинок, требует наличия кормовых микроводорослей, а также кормового зоопланктона, соответствующих размерам рта личинок. Кормовые микроводоросли – это набор видов из Золотистых, Зелёных и Диатомовых. А кормовой зоопланктон – это один-два вида микроскопических беспозвоночных (зоопланктон).

Работа питомника

Схематически функционирование питомника можно описать следующим образом. Из чистого участка моря осуществляют забор воды, которую фильтруют и стерилизуют и вводят в неё небольшое количество воды, содержащей микроводоросли требуемого вида. Добавляют в эту среду концентрированный раствор питательных солей, а иногда и витаминов. Помещают колбы с культивируемыми видами под искусственное освещение и подают в колбы углекислый газ. Культивирование микроводорослей длится сутки - двое, но иногда продолжается неделю, когда культура водорослей становится красной, жёлтой или зелёной, или коричневой – в зависимости от культивируемого вида. Этот урожай выливают в баки (или бассейны) с выращиваемыми личинками. Некоторые микроводоросли потребляют много минеральных солей. Развитие фитопланктона можно стимулировать минеральными солями (нитратами, фосфатами, силикатами), достигая при этом уровня цветения этого вида.

Культура на пути развития

В настоящее время питомники функционируют во всём мире и культивируют фитопланктон, в том числе и золотистых. Получаемые микроводоросли используются и в аквакультуре воспроизводства видов, находящихся под угрозой исчезновения. Ряд таких проектов реализуется сейчас и на юге Франции.

Культуры водорослей используются и в других целях, например, для получения органических молекул: пигментов (каротин), применяемых в пищевой промышленности в качестве естественных красителей. Другие молекулы, как например, молекулы жирных кислот используют в

здравоохранении для производства весьма полезных пищевых добавок. Фитопланктон используется в программах борьбы с голодом и некачественным питанием в развивающихся странах. В индустриально развитых странах разрабатываются рецепты «новой кухни», использующей такие микроводоросли, как спирулина, хлорелла и *Ondodella*. Некоторые производители хлебобулочных изделий, владельцы ресторанов и даже отдельные коллективы используют их в своём ежедневном питании. Таким образом, возрастающая потребность в микроводорослях уже существует во Франции и во многих странах мира, а также созданы соответствующие предприятия, причём не только кустарные, но и промышленные.

Зелёные (*Chlorophyta*)

Зелёные – это зелёные микроводоросли, живущие как в свободном состоянии, так и в составе колоний. Они встречаются в пресных и морских водоёмах умеренной и тропической зон. Зелёные водоросли имеют эллипсообразную форму с размерами от 1 до 10 мкм. Некоторые из них обладают двумя жгутиками, с помощью которых они удерживаются в поверхностном слое.

В естественной среде они входят в состав кормовой базы, а в питомниках их культивируют для питания личинок беспозвоночных и рыб. Например, *Dunaliella tertiolecta* используется для питания личинок морских ежей и для взрослых двустворчатых моллюсков (устрицы, мидии).

«Богатая водоросль» - хлорелла

Хлорелла это одноклеточная водоросль, встречающаяся как в морской, так и в пресной воде. Она выглядит как маленький шарик или как яйцо размером 1-2 мкм. Хлорелла лишена жгутиков и, следовательно, не способна активно перемещаться. Она быстро размножается и растёт, поэтому её легко культивировать. В хороших условиях хлорелла за сутки увеличивает свою биомассу в 4 раза.

Эта микроводоросль очень богата полезными пищевыми компонентами и хлорофиллом, поэтому её рассматривают как отличную кормовую добавку. Она содержит примерно 60% растительных белков, а также растительные витамины (А, бета-каротин, В, С, Е и К) и минеральные соли (кальций, железо, фосфор, марганец и цинк). Витамина А в ней содержится в 10 раз больше, чем в говяжьей печени, а белка в 40 раз больше, чем в сое, рисе или в пшенице. Более того, в этом растении содержание хлорофилла в 4 раза

выше, чем в спирулине и самое высокое во всём растительном царстве. Хлорофилл известен в качестве очищающего средства, он также используется для детоксикации организма от различных отравлений, в том числе при загрязнении среды. Хлорелла оказывает общеукрепляющее воздействие на организм и, кроме этого, её используют при лечении многих болезней: при запорах, гастритах и язвенных болезнях, лечении ран, для регенерации клеток и лечения респираторных заболеваний.

Хлорелла – звезда Японии

Эта микроводоросль была впервые обнаружена в 19-ом веке, а в 20-ом веке были открыты её исключительно высокие питательные свойства. Во время первой Мировой войны были проведены эксперименты по использованию хлореллы для питания германской армии. После войны 1939 – 45 гг, Япония испытывала недостаток финансов и продуктов питания для населения. Было решено использовать хлореллу в качестве источника белка для питания. В настоящее время хлореллу потребляют миллионы японцев, а правительство Японии включило эту микроводоросль в список продуктов, представляющих национальный интерес. В необработанном виде хлорелла не переваривается нашим организмом. В 1970 г была разработана технология разрушения клеточной оболочки этой микроводоросли, которая стала доступной для ассимиляции организмом. Эту технологию стали применять и при обработке других видов микроводорослей, что улучшило перспективы борьбы с голодом на планете.

Фитопланктон и цвет акваторий

Зелёные – это действительно микроводоросли почти всегда зелёного цвета, насыщенные хлорофиллом. Тем не менее, некоторые виды из этой группы окрашены в красный цвет. Например, *Dunaliella salina*, содержащая много каротиноидов, окрашена в красный цвет.

Все микроводоросли содержат набор растительных пигментов, например – хлорофилл (зелёный) и каротин (оранжевый). Цвет фитопланктона создаётся смесью пигментов, а наибольший вклад в окраску водоросли вносит пигмент, присутствующий в максимальной концентрации. Однако цвет микроводоросли – не результат случая или её эстетического кокетства! Он определяется условиями среды и возможностями организма адаптации к ним. В зависимости от места нахождения и интенсивности освещённости, микроводоросль синтезирует пигмент, максимально

адаптированный к условиям среды. В местах с интенсивным освещением синтезируется много хлорофилла, и водоросль становится ярко зелёной. При умеренном освещении смесь синтезированных пигментов приобретает коричневый цвет, а в условиях слабого освещения преобладает каротин и микроводоросль становится оранжевой, либо красной.

Пигментный состав микроводоросли отражает также качество воды, в которой она обитает. Например, *Dunaliella salina* – это микроводоросль, населяющая водоёмы с солёной и гиперсолёной водой, в которых солёность достигает 270 ‰. Немногие гидробионты выживают при такой высокой солёности. Переносимость *Dunaliella salina* высокой концентрации соли обеспечивается повышенной концентрацией бета-каротина, защищающего её от солнечного облучения, а также большим содержанием глицерина. Дуналиелла также окрашивает в красный цвет воду солёных водоёмов в летнее время. Эта микроводоросль передаёт розовый цвет и оперению розовых фламинго. Чем краснее фламинго, тем он ценнее в глазах самки (в качестве «хорошего производителя»).

Солёные болота и планктон – всё в равновесии

Даже в водоёмах с экстремальной солёностью существует жизнь, хотя и с минимальным разнообразием, однако всегда включающая три фундаментальных компонента – фундамента жизни в море: фитопланктон (*Dunaliella salina*), зоопланктон (*Artemia salina*) и простейшего (*Fabrea salina*). Каждый из них выполняет свою роль в пищевой цепи и в равновесии сообщества.

Благодаря своему обилию в сверх солёных водах, *Dunaliella salina* составляет, вместе с диатомеями, населяющими менее солёные участки, один из основных звеньев первичной продукции солёных болот. Этот фитопланктон представляет прекрасный корм для личинок морского зоопланктона, особенно для артемий, которые плотно заселяют салины (бассейны для получения соли), в которых из-за высокой солёности отсутствуют хищники. Артемиями питаются мальки рыб и личинки ракообразных. Осенью, когда фермеры заполняют салины свежей морской водой, мальки рыб проникают в эти водоёмы, где в изобилии присутствует их корм - *Artemia salina*.

Простейший (одноклеточный зоопланктон – начальная форма животного организма) *Fabrea salina* – третье звено сообщества солёных болот. Оно выполняет важнейшую работу по очистке воды. Высокая концентрация солей в некоторых частях салины губит животных и растений.

Fabrea salina фильтрует большие объёмы воды, очищая их от органической взвеси и делая воду пригодной для жизнедеятельности *Dunaliella salina* и *Artemia salina*.

В водной среде, с экстремальными значениями солёности, как это наблюдается в салинах, жизнь, тем не менее, существует для этих трёх взаимодействующих видов. В течение всего периода сбора соли функционирует уравновешенное сообщество. После уборки соли, человек, как бы возвращает бассейн (салину) морю и в салине снова устанавливается высокопродуктивная морская экосистема с многовидовым фитопланктоном, привлекающим разнообразный зоопланктон и другие гидробионты, нашедшие здесь благоприятные условия для своего развития.

Затем, весь этот «кормовой ресурс» выносится течением в море, питая зоопланктон и личинок моллюсков, которые сами служат кормом для рыб и ракообразных открытого моря, либо морских ферм. Год от года, поколение за поколением, фермеры поддерживают в порядке сложную и хрупкую гидравлическую систему салин, обеспечивая, таким образом, рост и разнообразие планктона. Выпуская это биологическое богатство в море, салины и солёные болота, играют роль морских питомников, продукция которых используется морскими фермами, установленными в море. Таким образом, своей деятельностью производители соли способствуют успеху других морских профессий (устрицеводство, рыбоводство, рыболовство и т.д.).

Солёные болота

От воды к соли

Солёные болота или салины представляют собой совокупность мелководных бассейнов, из которых извлекают соль, добытую благодаря испарению воды. Вода самотёком проходит через бассейны, последовательно соединённые между собой регулируемые протоками. Процесс начинается в середине мая во время максимального (сизигийного прилива), когда заполняют верхний большой бассейн, обеспечивающий запас воды. В дальнейшем вода запаса будет постепенно протекать через цепь последовательных бассейнов, соединённых каналами с регулируемой скоростью протока. Взвешенные в воде частички постепенно оседают на дно бассейна запаса. По мере медленного прохождения воды через бассейны и, под воздействием солнца и ветра, вода испаряется, а концентрация соли возрастает (от 35 до 280 г/л). В нижнем бассейне морская вода становится

рассолом, который поступает в небольшие прямоугольные бассейны с небольшой глубиной, в которых вода принимает красноватый цвет. Там соль кристаллизуется и оседает. Осевшую соль собирают с помощью раклет (raclette) – скребков с длинными рукоятками. Собранную в кучи соль оставляют под солнцем для просушивания. Затем соль перемещают в ангары на хранение и последующую реализацию.

После завершения сезона добычи соли, все салины («солёное болото») затапливаются, что предохраняет бассейны от разрушения. Весной все бассейны осушаются, чистятся и вводятся в эксплуатацию.

Солёные болота на примере соледобычи в районе города Геранд (Guérande).

В 70-ые годы, в ходе продолжительной и жёсткой борьбы, город Геранд со своими необъятными солёными болотами был спасён от опасности превратиться в самый крупный в Европе порт индустриального развлечения на море. В то время 50% солёных болот пребывало в заброшенном состоянии, а на остальных работали 180-200 соледобытчиков. Сегодня большая часть солёных болот находится в рабочем состоянии, на которых работают 300 человек. Солёные болота – это не природная территория, а это территория, которая была отвоёвана человеком у моря для добычи соли ещё 1500 лет тому назад.

Великолепный пример экосистемы, находящейся в состоянии равновесия

Оборудованные человеком, солёные болота Геранды, могут служить примером равновесия и высокого биоразнообразия морского планктонного сообщества. Это весьма богатая среда, в которой уживаются цианобактерии – первые живые существа, появившиеся на планете 3,5 млрд. лет тому назад, с более поздними представителями растительного и животного планктона и даже с рыбами. По мере протекания воды через последовательность ванн вплоть до самой нижней, где соледобытчик добывает соль, разнообразие планктона понижается. В концентрированном растворе соли остаётся только *Dunaliella salina*, окрашивающая в оранжевый цвет воду и добываемую соль.

Место взаимодействия суши и моря

Расположенные между эстуарием Вилэн (Vilaine) и эстуарием Луары (Loire), солёные болота Геранды получают благоприятный эффект от перемешивания пресной и морской воды – сообщество чрезвычайно разнообразных видов планктона. Это планктонное богатство поступает в океан и не случайно на этом побережье в районе Трэкт (Traict) и Круазик (Croisic) работает множество морских ферм, выращивающих мидий, устриц, тапесов и т.д. А эти двустворчатые моллюски производят массы личинок, которыми питаются личинки рыб и ракообразных, которых затем вылавливают рыбаки Ля Тюрбаль (La Turballe). В районе полуострова Геранды связь циклов планктона с морскими профессиями очевидна: развитие планктона в ваннах соледобытчиков, вынос планктона в океан и богатые рыбные ресурсы у побережья – свидетельствую об этом.

Глава 6

Динофлагеллаты

Динофлагеллаты (Dinoflagellata) – это одноклеточные микроводоросли красно-оранжевого цвета, мелкие, либо средней величины (3-50 мкм). Два жгутика позволяют им совершать перемещения и вращения, а также вертикальные миграции. Различают динофлагеллаты «голые» и динофлагеллаты «панцирные», обладающие плотной оболочкой из целлюлозы. Их также называют динофиты, либо перединеи. Появились они на планете более 400 млн. лет тому назад. В настоящее время известно примерно 3 000 видов и регулярно описывают новые виды.

Особенно широко они распространены в умеренных и полярных широтах, но встречаются и в других зонах. Ведут они как одиночный, так и колониальный образ жизни, населяя морские и солоноватые воды. Как и все микроводоросли они размножаются клеточным делением: каждые 12 – 36 часов, при этом одна материнская клетка образует две дочерних клетки. Динофлагеллаты занимают значительное место (после диатомовых) в создании первичной продукции – фундаменте всей пищевой цепи в море.

Первичная и вторичная продукции

Независимо от типа питания и вида пищи, потребляемой любым животным, все пищевые ресурсы формируются на основе органического вещества, синтезированного растениями. Эти хлорофилл-содержащие организмы называются первичными продуцентами. В море они представлены микроводорослями и водорослями. Растительоядные потребители (зоопланктон, мелкие ракообразные, личинки моллюсков и рыб) являются вторичными продуцентами, которыми питаются хищные животные (хищный зоопланктон, рыбы, морские млекопитающие).

Первичная продукция – это результат фотосинтеза, производящего с использованием солнечной энергии (первичной энергии) органическое вещество: растительный планктон и макроводоросли.

Вторичная продукция создаётся в результате трансформации уже существующего органического вещества (растения, животные).

Вторичные продуценты это:

- Зоопланктёры-фильтраторы (растительоядные), потребители фитопланктона (мелкие ракообразные, личинки моллюсков и т.д.);
- Хищный зоопланктон (плотоядные), личинки рыб, ракообразных и т.д.

Как все растения, фитопланктон может содержать хлорофилл и расти и развиваться благодаря фотосинтезу, производя собственное органическое вещество (автотрофия). Но это не относится ко всем динофлагеллатам. У некоторых видов отсутствует этот пигмент, и они питаются готовым органическим веществом, например, доступным планктоном (гетеротрофия). В этом случае жгутики у них выполняют роль ловчего аппарата, захватывающего добычу. Такие представители фитопланктона могут жить на больших глубинах, так как они перестают нуждаться в солнечной энергии.

Внимание опасность!

В прибрежных водах Франции можно найти многих представителей динофлагеллат. Некоторые из них токсичны, поэтому моллюски, питающиеся микроводорослями, становятся непригодными для потребления человеком и смертельными для морской фауны. Представляется, что сегодня токсичный фитопланктон встречается всё чаще, а за его появлением организовано пристальное наблюдение. В связи с возросшим интересом к токсичным микроводорослям, исследователи открыли много новых видов среди динофлагеллат. Наиболее токсичными являются три вида динофлагеллат.

Dinophysis (50 мкм) содержит токсины ((DSP : Diarrhetic Shellfish Poison), накапливающиеся в мясе моллюсков (мидий, тапесов, гребешков, устриц и т.д.). Даже, если моллюски внешне выглядят здоровыми, тем не менее, они непригодны для потребления, потому что они вызывают желудочно-кишечные заболевания. Симптомы возникают спустя 12 часов после потребления в виде диареи, болей в области живота и, иногда, рвоты.

Токсичность динофизиса проявляется уже при низких концентрациях его в морской воде (менее 1 одной клетки на мл воды). Термообработка заражённых моллюсков не снижает их токсичности. Впервые отравление людей, употребивших моллюсков, зараженных динофизисом, было зарегистрировано в 1983 году. В 2004 году был введён запрет (из-за присутствия *Dinophysis*) на рождественскую реализацию моллюсков, выращенных в некоторых заливах и лиманах Средиземного моря.

Alexandrium (от 20 до 25 мкм) продуцирует парализующие токсины (PSP : Paralytic Shellfish Poison), вызывающие (через 30 мин) у потребителей

заражённых моллюсков интоксикацию в виде покалываний и ооченения конечностей, головокружения и, в тяжёлых случаях, к параличу мышц респираторной системы, что может привести к смерти (в редких случаях). В настоящее время не существует медикаментов для лечения таких отравлений. Токсины воздействуют на нервную систему потребителя моллюсков, но они никак не влияют на самих моллюсков. Наибольшую опасность для потребителя представляют гребешки и мидии, хотя и устрицы также могут быть токсичными. При повышенных концентрациях александриума вода становится красноватой и токсичной, когда концентрация превышает 10 000 клеток на литр. Обычно *Alexandrium* появляется в закрытых бухтах и в эстуариях. В июне 2004 года обнаружили эту микроводоросль в лиманах Средиземного моря, после чего был введён запрет на потребление моллюсков.

Паразиты – природное оружие против красных приливов?

«Динофлагеллата *Alexandrium minutum* - планктонная микроводоросль, способная интенсивно размножаться, создавая «красные приливы». Во время «вспышек» численности видов, токсины, содержащиеся в александриуме, накапливаются в моллюсках - фильтраторах до концентраций, опасных и даже смертельных для потребителя. Появившись внезапно у берегов Бретани в конце 80-ых годов, эта микроводоросль размножилась вплоть до образования токсичных вспышек в 2001 году. С тех пор численность *Alexandrium minutum* как бы саморегулируется. Исследователи установили, что исчезновение токсичных вспышек объясняется влиянием паразита, адаптировавшегося к виду *Alexandrium minutum*, инфицирующего и уничтожающего его. Более того, речь не идёт об одном виде: было установлено, что все виды изученных динофлагеллат инфицируются разными паразитами.» Отрывок из Laure Guillou, работы, опубликованные в *Science* от 21 ноября 2008.

Gymnodinium (от 20 до 25 мкм) выделяет токсины в среду, которые оказывают непосредственное влияние на морскую фауну, причём такое влияние можно назвать «потерей аппетита». Например, рыба бар (лаврак) перестаёт клевать наживку! Эти токсины могут провоцировать некрозы на жабрах рыб, как диких, так и выращиваемых, а также нарушать кальцинирование раковин у мидий и морских гребешков, приводя их к

гибели. Эта микроводоросль смертельна также и для зоопланктона, но совершенно не опасна для человека.

Одна диатомея - *Pseudo-nitzschia*, также может быть токсичной.

Начиная с 1999 года, два вида диатомей из рода *Pseudo-nitzschia*, продуцирующие токсины, вызывающие амнезию, появлялись эпизодически и в больших количествах у французских берегов, отравляя рыб и моллюсков. Эти водоросли становятся токсичными при концентрациях 100 000 клеток на литр и выше. У потребителя рыбы и морепродуктов начинается через 2 – 24 часа тошнота, диарея, затем сильные головные боли и нарушения равновесия и зрения. Остальные виды из рода *Pseudo-nitzschia*, регулярно наблюдаемые на всём побережье, особенно весной, не являются токсичными.

Опасные воздействия планктона на морских млекопитающих и на человека

Во Флориде один представитель рода *Alexandrium* создавал красные приливы, токсичные для человека и смертельные для животных, в том числе для крупных морских млекопитающих. Эта микроводоросль выделяет токсин, парализующий ламантинов и дельфинов, которые погибали от удушья. В 1987 г. эпидемия интоксикации микроводорослью поразила Канаду. Некоторые пациенты лишались памяти о последних событиях: они помнили свои адреса и номера телефонов, которые они знали давно, но не помнили все недавние события, в том числе они не могли вспомнить, что они ели в последний раз.

«Любезные» и «злые»!

«Хороший» фитопланктон формирует первое звено трофической цепи морской экосистемы. Однако существует и «плохой» планктон, способный интенсивно размножиться и вытеснить остальные виды. Среди примерно 5 000 видов одноклеточных водорослей, составляющих фитопланктон, существует только полсотни «нежелательных» видов, из которых десятков видов являются токсичными. Большинство этих токсичных микроводорослей входят в семейство динофлагеллат.

Ежегодно в прибрежных водах Франции наблюдается мощное цветение микроводорослей, вызываемое поступлением воды с материка. Материковые стоки в виде рек и ручьёв выносят в море различные вещества и отходы сельского хозяйства, городов, промышленности, содержащие биогены, как, например, азот и фосфор. Весной возрастает продолжительность светового

дня и интенсивность освещения, увеличивается и температура воды. Соответственно резко возрастает продуктивность растений. Миллиарды микроводорослей начинают интенсивно развиваться, окрашивая иногда море в красный, чёрный или зелёный цвет (в зависимости от видовой принадлежности массового вида). В настоящее время известно более дюжины микроводорослей, способных создавать окрашенные акватории у берегов Франции. Некоторые из них являются токсичными, но не все! Половина из этих видов относятся к динофлагеллатам. Следует отметить, что в период цветения, окраска воды не является надёжным показателем её токсичности, так как некоторые опасные виды микроводорослей не влияют на цвет воды.

Свидетельство: мнение рыбака

«Загрязнения прибрежных вод становятся всё более частыми и более обширными. А результаты этого легко можно наблюдать, сравнивая население небольших литоральных луж с морской водой, образующихся после отлива сейчас с населением, которое мы могли видеть двадцать лет тому назад. Раньше в луже можно было насчитать 15 – 20 – 30 различных видов, а сегодня почти все эти мелкие рыбёшки и рачки в основном уже исчезли. Загрязнение привело к обильному развитию некоторых видов планктона. Этот планктон состоит в основном из динофлагеллат, которые раньше не были массовыми. В прибрежной полосе, где много мальков, не способных найти нужный им корм, они страдают от недостатка корма. После цветения планктона возникают заморы, вызванные низкой концентрацией кислорода.»

Как правило, окрашенные воды возникают благодаря неопасным видам. И, тем не менее, они могут привести к губительным последствиям. В случае вспышки, сверхобилие фитопланктона (концентрация достигает несколько десятков миллионов клеток на литр) является причиной гибели морских организмов (рыб, моллюсков), как из-за механических воздействий (закупорка жабр), так и от недостатка кислорода. Действительно, дыхание массы микроводорослей и разложение органического вещества бактериями приводят к резкому падению содержания кислорода в воде. В течение ночи микроводоросли потребляют весь доступный кислород, вследствие чего гибнет морская фауна. Цветение подавляет развитие других видов фитопланктона – корм зоопланктона, донных фильтраторов и личинок рыб. Лишённые корма и кислорода, организмы вынуждены покинуть эти места, либо погибнуть.

Цветение токсичных видов также вызывает подобные эффекты, к которым добавляются ещё и выделяемые токсины, способные убить личинок, например, мидий и устриц, а также отравить и сделать несъедобными промысловые моллюски. Такое происходит в случае динофлагеллат. Однако, некоторые из них, как, например, динофизис, могут быть токсичными и при низких концентрациях, то есть в отсутствие цветения.

«Нехорошие» микроводоросли конкурируют с «добрым» фитопланктоном. Эта конкуренция усиливается, между прочим, гербицидами, которые используются с нарушениями фермерами и кооператорами. В результате передозировки, гербициды попадают в реки и в море, где они ингибируют развитие полезного фитопланктона, в то время, как нежелательные виды часто устойчивы к гербицидам.

Подобные ухудшения качественного и количественного состава растительного планктона ведут к образованию губительного дефицита пищи для зоопланктона, нормального функционирования трофической цепи, включая морские фермерские хозяйства. Более того, истощение биоресурсов из-за возросшей смертности, запреты на их вылов, которые иногда являются необходимой профилактикой, приводят к финансовым потерям у рыбаков и морских фермеров. В результате – морские профессии стали ненадежным и малоперспективным занятием.

Угроза вполне реальна. В ближайшем будущем, если поступление в море минеральных солей (нитратов, фосфатов и т.д.) будет продолжать увеличиваться, динофлагеллаты будут чувствовать себя превосходно, потому что они легко приспосабливаются к загрязнённой воде. Но Roundup это не беспокоит! (*Roundup это название пестицида, производимого американской фирмой Monsanto – прим. переводчика*). Возрастающее загрязнение негативно скажется на развитии других микроводорослей, как, например, диатомовых, для существования которых требуется нормальная сбалансированная среда. Но без диатомовых не будет ни мидий, ни устриц, ни других моллюсков-фильтраторов. Таким образом, загрязнение среды человеком вызовет тяжёлые последствия и в отношении его питания.

Вспышки фитопланктона:

многие ответственны за это... почти все люди!

Всё больше и чаще разнообразные питательные вещества оказываются в море и вызывают цветение фитопланктона, причём не только в местном масштабе, но и в мировом. Откуда поступают эти загрязнения? Они

многочисленны и разнообразны, но всегда они связаны с деятельностью человека. Интенсивное сельское хозяйство, возрастающее применение удобрений, некачественная очистка сточных вод, загрязнение атмосферы (CO₂), а также функционирование мирового морского транспорта, суда которого перевозят балластные воды (содержащие и токсичный планктон) из одного конца планеты в другой. Австралия регламентирует выпуск балластных вод в своих портах. Международная морская организация при ООН разрабатывает международное законодательство на основе австралийской инициативы.

Питательные вещества (биогены) иногда имеют и морское происхождение. Некоторые течения, называемые апвеллингами, поднимают у побережья глубинные воды, обогащённые питательными веществами. Глубинные воды содержат огромные запасы биогенов, превышающие поступление биогенов с речными стоками. Однако факторы, благоприятствующие подъёму глубинных вод должны работать совместно с другими факторами (течениями), что наблюдается далеко не везде, например, когда поднимающаяся из глубин вода не достигает береговой зоны.

Мёртвые зоны

После завершения своей короткой жизни микроводоросли опускаются на дно, где они разлагаются бактериями, потребляющими из воды кислород. В периоды цветения потребление кислорода становится чрезмерным, и огромные водные массы, а также донные осадки, лишаются кислорода. В таких условиях выживают только анаэробные бактерии. Если периоды цветения повторяются, то в этом пространстве формируются мёртвые зоны. В настоящее время в Мировом океане существует несколько сотен таких зон.

Научный подход

Во Франции, начиная с 1984 года, IFREMER (Французский Институт Исследований по Эксплуатации моря) организовал сеть наблюдений за фитопланктоном (PERNU). Сотрудники этой сети в течение года осуществляют регулярный отбор проб воды и моллюсков на станциях, выбранных по всему французскому побережью. В пробах воды исследуется качественный и количественный состав фитопланктона, особенно токсичных и опасных видов. В мясе моллюсков определяется наличие токсинов и определяется их опасность для здоровья потребителя. Результаты анализов доступны всем заинтересованным лицам, прежде всего, фермерам,

коммерсантам и потенциальным потребителям. В случаях превышения санитарных норм, властями префектуры предпринимаются соответствующие мероприятия: вводится запрет на сбор диких моллюсков и на отправку выращенных моллюсков на рынки и в магазины.

Такое нововведение было внедрено Францией впервые в мире. В настоящее время санитарный контроль проводится во многих странах мира. Международная программа GEONAB (Global Ecology and Oceanography of Harmful Algal Blooms) организует обмен знаниями по физиологии и экологии токсичных микроводорослей. Цель программы – разработка общей теории, применимой для организации контроля и получения прогнозов для всей планеты.

ИФРЕМЕР (IFREMER) – Французский Исследовательский Институт по Эксплуатации Моря

Это государственное учреждение было создано в 1984 году в составе ряда министерств: Экологии, Энергии, Устойчивого развития и Моря, Высшего образования и Исследований, Питания, Сельского хозяйства и Рыболовства.

ИФРЕМЕР занимается исследованием океанов, морских ресурсов, осуществляет санитарный контроль морской среды, обеспечивает устойчивое развитие промысловой и деловой активности на море. Он занимается также разработкой приборов и оборудования для проведения морских исследований, обладает научным океанографическим флотом. В Европейском Союзе – это единственное учреждение, осуществляющее такой широкий спектр работ по исследованию и эксплуатации моря и морских ресурсов.

В состав ИФРЕМЕР входят 26 учреждений, расположенных вдоль всего европейского побережья Франции, а также на побережье заморских территорий. Институт подразделяется на пять центров (Булонь, Брест, Нант, Тулон, Таити) и 20 станций, привязанных к центрам. В состав флота входят восемь судов, обитаемый батискаф и телеуправляемый подводный аппарат, который используют на глубинах до 6000 метров. Главное (административное) здание находится в Париже.

REPHY – Сеть наблюдений за фитопланктоном

Сеть покрывает всё побережье европейской территории Франции и выполняет задачи контроля видового состава фитопланктона, выявления зон с токсичным фитопланктоном и слежения за изменениями, происходящими в этих зонах. Действует и Национальная программа по слежению и изучению фитопланктона, соисполнителями которой являются ИФРЕМЕР, CNRS (Национальный Центр Научных Исследований) и ряд университетов.

Природные часовые

Наилучший способ предотвращения негативных воздействий токсичных организмов – это уметь предвидеть их появление. Предупредить болезнь – гораздо лучше, чем её лечить! А для этого надо уметь находить признаки грядущего прихода этих организмов. Динофлагеллаты имеют в своих стадах природных «часовых» - *Noctiluca* и *Ceratium*.

Ноктилюка, *Noctiluca scintillans* (от греч. *Nocti* – ночь и *luca* – свет) – это знаменитый люминесцирующий планктон, от которого море светится ночью «фосфорным светом». Динофлагеллата ноктилюка выглядит как шарик диаметром 1мм, поэтому она видима невооружённым глазом. Она реагирует на слабые колебания воды путём вспышки, предназначенной для отпугивания хищников. В летнее время при загрязнении вод, ноктилюка может образовывать красные приливы, но, при этом, она не опасна ни для морской фауны, ни для человека.

Динофлагеллата *Ceratium* значительно мельче ноктилюки, но её длинные антенны, напоминающие якоря делают её громоздкой и неудобной для поедания моллюсками, хотя она не токсична.

Исследования проб воды, взятые перед наступлением цветения воды, показали, что ноктилюка и (или) цератиум часто обнаруживаются в пробах перед появлением динофизиса. Поэтому возникло предположение о том, что эти виды можно рассматривать в качестве сигналов, предупреждающих о скором появлении динофизиса. Изучение биологии этих «часовых» и совершенствование методов их обнаружения в воде помогут фермерам предотвратить загрязнение их продукции.

Например, при обнаружении «часового» в воде, фермер может перенести садки с устрицами в бассейн, заполненный фильтрованной водой и избежать, таким образом, контакта устриц с динофизисом. Однако этот метод пока ещё не отработан, поэтому не может обеспечить надёжные результаты. Моллюски, побывавшие в контакте с токсичным планктоном, запрещены

для потребления и для реализации до поступления разрешения на коммерциализацию, выданного префектурой на основе результатов анализов, сделанных в ИФРЕМЕР. В настоящее время ИФРЕМЕР работает над разработкой методов использования природных индикаторов для предупреждения о приближающемся токсичном фитопланктоне.

Во Франции отбор проб планктона и анализ мяса моллюсков выполняет ИФРЕМЕР еженедельно с апреля по октябрь у берегов, где осуществляется выращивание, либо добыча. Вне этих зон возможно заражение моллюсков, но об этом не известно. С ноября по март пробы отбирают и на других акваториях.

Сегодня специалисты отдадут себе отчёт в том, что токсичные водоросли, как например, динофизис, могут и изменить свою привычку появляться в период с весны до осени. Например, в 2010 году, *Pseudo-nitzschia* была обнаружена до марта. Это объясняется климатическими нарушениями, повлиявшими на особенности водной среды, ставшими благоприятными для жизни псевдоницшии на протяжении всего года. Эти изменения показывают, что наблюдения необходимо проводить регулярно в течение всего года. Для реализации этой цели уже существуют соответствующие организации, способные работать совместно с ИФРЕМЕР. Пример такой организации – Обсерватория планктона в Морбиане. Существуют в приморских зонах и общественные организации, заинтересованные в повышении надёжности прогнозов по составу планктона и усилению надёжности функционирования морских фермерских хозяйств.

Обсерватория планктона

Обсерватория планктона – это ассоциация, созданная энтузиастами в 2003 г., в соответствии с законом от 1901 г. Обсерватория находится в Порт-Луи (Морбиан, Бретань). Вместе с морскими натуралистами работает там и Пьер Молло – один из авторов этой книги. Посещение и участие в работе Обсерватории доступны всем интересующимся различными аспектами жизни моря и охраны его обитателей.

В рамках программы знаний о природе и об устойчивом развитии Обсерватория организует экскурсии на природу, лекции, выставки, фестивали и т.д. Каждый может просто зайти в Обсерваторию и, через микроскоп, встретиться с «мелкими жителями водной среды». Так, с начала открытия Обсерватории, более 6000 молодых людей ознакомились с чудесными особенностями водного мира и узнали о ранимости его населения. Кроме этого, обсерватория регулярно проводит анализы

планктона в различных акваториях прибрежной зоны (река Этель, рейд Лорьяна, залив Морбиан и т.д.). Создан ценный банк данных по экосистемам Южной Бретани. Исследования проводились при участии ИФРЕМЕР, территориальных объединений морских фермеров и рыбаков, региональных ассоциаций.

В настоящее время опыт Обсерватории был применён и продолжает применяться для создания новых обсерваторий на французском побережье.

Динофлагеллаты и кораллы – токсическая версия

Случилось однажды, что один вид динофлагеллаты (*Gambierdiscus toxicus*) стал развиваться на коралловых рифах. В случае загрязнения или высокой температуры кораллы гибнут и постепенно обрастают многоклеточными водорослями, к которым прикрепляются *Gambierdiscus toxicus*. Растительноядные рыбы объедают водоросли, проглатывая их фрагменты вместе с покрывающими их токсичными микроводорослями. Затем растительноядные рыбы поедаются хищными рыбами, которые вполне могут оказаться на обеденном столе человека. Животные, накопившие в жировой ткани токсин микроводорослей, по-видимому, не страдают от него. Но человек, съевший отравленную рыбу, заболевает алиментарной интоксикацией «сигатера» (siguatera). Клинические синдромы этого заболевания многочисленны: пищеварительные, сердечнососудистые, респираторные, неврологические и кожные. Характерные признаки при таком заболевании: инверсия тепловых ощущений (тепло/холодно) и появление волдырей на коже. Впервые *Gambierdiscus toxicus* наблюдали в 1977 году на архипелаге Гамбье (Gambier) во Французской Полинезии в период массового распространения сигатеры.

Динофлагеллаты и кораллы – исключительный случай - зооксантелла

Другие виды динофлагеллат полезны для кораллов, к тому же они окрашивают кораллы в свои красивые цвета. Например, зооксантеллы живут в симбиозе с кораллами и играют очень важную роль в метаболизме животного. Зооксантеллы способны осуществлять фотосинтез, находясь внутри клетки животного и, при этом, потреблять азот- и фосфорсодержащие отходы метаболизма полипа, содержащиеся в гораздо более концентрированном состоянии, чем в морской среде. Благодаря этим

питательным веществам и энергии света, они производят органическое вещество (углеводы), часть которых потребляется полипом. Более того, кислород, выделяемый в процессе фотосинтеза, облегчает дыхание животного, тем более что концентрация растворённого кислорода в тёплой воде сравнительно невысока. А CO_2 , выделяемый полипом, потребляется зооксантеллой. Такая ассоциация микроводоросли и коралла представляет собой симбиоз, в котором оба партнёра получают преимущества.

Осуществляя локальный и быстрый оборот веществ, выделяемых и потребляемых обоими партнёрами, зооксантеллы и полипы стали основными производителями продукции на коралловых рифах. Симбиоз стал основой процветания коралловых рифов даже в морской среде, обеднённой биогенными элементами.

Симбиоз, захватывающая история

Однажды одна микроводоросль, называемая динофлагеллата, блуждала в морских водах и вдруг, случайно она зацепилась за щупальца коралла и ощутила себя там очень хорошо. Поэтому она решила там обосноваться. Она освободилась от своих обоих жгутиков, в которых она более не нуждалась и пристроилась внутри одной клетки своего хозяина. Поскольку её жизнь изменилась, поэтому она стала называться зооксантеллой. Зооксантелла предложила кораллу организовать ассоциацию: днём благодаря хлорофиллу и фотосинтезу она будет синтезировать органическое вещество для обоих участников, а ночью (в темноте) сам коралл будет кормить всю ассоциацию. Соглашение было заключено и симбиоз был подписан! Таким образом, каждый участник использовал возможности своего партнера, и зажили они вместе долго и счастливо. Но ... до тех пор, пока температура не поднялась слишком высоко! Но это уже другая история.

Заметка с кислинкой

Однако это удачное соглашение оказалось не достаточно надёжным и долговременным и могло нарушиться при повышении концентрации CO_2 . Большая часть углекислого газа атмосферы абсорбируется океанами. Растворение CO_2 в воде вызывает химическую реакцию: CO_2 соединяется с молекулой H_2O , образуя карбонат и водород. Многие морские гидробионты используют этот карбонат, соединённый с кальцием (известь), это – процесс известкования. При этом высвобождается водород, что изменяет рН среды, иначе говоря, морская вода подкисляется. Количество произведенного

водорода определяется количеством растворённого CO_2 . Ясно, что повышенные концентрации CO_2 являются причиной подкисления океанов.

Подкисленная вода усиливает коррозию известковых структур морских организмов. Многочисленные растения и животные, обладающие внешним скелетом (планктон, брюхоногие моллюски, личинки устриц и мидий, ракообразные, кораллы и т.д.) либо исчезнут, либо изменятся. Это относится к кокколитофоридам, которые в подкисленной среде выстраивают известковые оболочки с изъянами, а также нарушенную орнаментацию.

pH – водородный показатель

Мера кислотности воды - это водородный показатель pH. Для пресной воды нейтральное значение pH находится между 6 и 7. В морской воде эти значения выше: 8, но может быть и ещё выше – 8,3. Если показатель повышается, это означает, что вода становится щелочной. Пониженные значения показателя свидетельствуют о кислой среде. Для морской воды, понижение pH ниже 8 приводит к катастрофе. Различие в десятые доли pH оказывается фатальным для планктонных организмов, особенно для личинок моллюсков. Например, при $\text{pH}=7,7$ раковина может полностью раствориться. Ещё более ранимы панцири личинок ракообразных, которые при $\text{pH}=7,7$ погибают первыми. Однако важнейшим звеном морской пищевой цепи является постоянный зоопланктон. Не будет в данном районе рыбы, если там отсутствуют копеподы. Например, мальки трески питаются почти исключительно копеподами. Подкисление морской воды, даже незначительное, может оказать влияние и на питание человека. В настоящее время pH океанов равно 8. До начала промышленной революции водородный показатель равнялся 8,1. Некоторые специалисты прогнозируют, что к 2100 году pH снизится до 7,6.

Эти химические феномены, невидимые для наших глаз, вызывают видимые изменения в нашей окружающей среде. Например, это уже упоминаемые известковые скелеты кораллов, которые в течение веков создавали рифы, атоллы и другие монументальные сооружения, как, например, Большой Барьерный Риф Австралии. Кстати, с коралловыми рифами связана четверть всех морских рыб, особенно рыб, встречающихся в открытом море. На рифах живут и угри, крабы, морские ежи и многие другие. Но сейчас считают, что эти прекрасные и богатые экосистемы могут

исчезнуть: две трети глубоководных кораллов находятся под угрозой подкисления вод, которое, в течение последних 25 лет постоянно возрастает.

Более того, в течение двадцати лет, рифы стали жертвой нового феномена, который может прекратить их выживание – это отбеливание кораллов. Оно связано с потерей полипами своей окраски, из-за чего становится видимым их белый известковый скелет. Потеря окраски объясняется исчезновением симбиотических зооксантелл, содержащих пигменты фотосинтетического аппарата. Предполагают, что этот феномен связан с повышением температуры воды и концентрации CO_2 в воде.

Глава 7

Где обитает фитопланктон?

Как и все живые существа, микроводоросли развиваются там, где они находят всё необходимое для выживания.

Источник жизни фитопланктона

Элементы, необходимые для протекания фотосинтеза:

Свет

В океане солнечные лучи проникают только до определённой глубины. Именно поэтому фитопланктон обилен в верхних слоях океана, где интенсивность освещённости достаточна для осуществления фотосинтеза. Это фотическая зона, толщина которой варьирует от нескольких метров (в районе эстуариев) до примерно 200 метров в открытом море. Растительный планктон особенно многочислен вблизи берегов, где глубины небольшие и солнечные лучи освещают всю толщу воды, что наблюдается в бухтах, эстуариях, лиманах, солёных болотах и т.д.

Минеральные соли

Минеральные соли встречаются там, где пресная вода поступает в море, но, для того, чтобы они были доступны для фитопланктона, они должны находиться в растворённом состоянии в воде поверхностного слоя в непосредственной близости от планктона. А выполнение этого требования зависит от ветра и течений, предотвращающих опускание фитопланктона ниже фотического слоя.

Углекислый газ

Концентрация CO_2 зависит от газового обмена с атмосферой, обмена углеродом с донными осадками и фотосинтеза. Углекислый газ растворён в воде и присутствует везде.

Местообитание фитопланктона

Фитопланктон может жить всюду, где имеется вода. Он обнаруживается в пресной, солёной и солоноватой воде в водоёмах различного типа: моря, реки и ручьи, озёра и пруды, грунтовые воды, канавы и лужи и т.д. Планктон также присутствует и в самых неожиданных местах: в брызгах и водяной пыли, в фонтанах, во влажных выделениях скал.

Он лучше развивается в спокойной воде, богатой биогенами: речках, эстуариях, прудах, где концентрация фитопланктона на порядок выше, чем в открытом море.

Цикл фитопланктона

Существует сезонная (годовая) динамика численности и биомассы фитопланктона, определяемая факторами внешней среды: температуры, интенсивности и продолжительности освещения, прозрачности воды, концентрации биогенных элементов.

Теоретически численность фитопланктона достигает максимума весной и осенью, когда условия для его развития становятся оптимальными. Однако в последние годы годовая динамика фитопланктона всё больше отклоняется от «нормальной» (интенсивное поступление биогенов, потепление климата) и некоторые виды присутствуют в изобилии в течение всего года.

Локализация фитопланктона на планете

Морской фитопланктон чаще встречается в прибрежных водах континентов, то есть там, где условия для его жизни более благоприятны. Действительно, акватории, наиболее благоприятные для развития большого числа видов микроводорослей таковы:

- дельты рек и эстуарии, в которые приносятся питательные вещества со всего водосборного бассейна;
- прибрежные зоны континентов, в которых вода обогащена биогенами, приносимыми течениями и апвеллингами.

Последствия от присутствия фитопланктона

Развитие растительного планктона обеспечивает существование сообществ морских животных: зоопланктона (личинки рыб, моллюсков, ракообразных и др.) и образование ценных морских ресурсов. Не случайно рыбаки и ловцы промышляют, а фермеры выращивают свою продукцию именно там, где присутствуют естественные корма для объектов их промысла. Таким образом, акватории, богатые фитопланктоном благоприятны для:

- выращивания моллюсков и других беспозвоночных (устрицеводства, мидиеводства, рыбоводства и т.д.);

- рыболовства и вылова (берегового, прибрежного и в открытом море); профессионального сбора на литорали (тапесов, клемов, сердцевидок и т.д.).

Главная роль

Фитопланктон, как первичный продуцент, создаёт органическое вещество и даёт начало процессам трансформации органического вещества в морских сообществах. Первичная продукция фитопланктона - это самая значительная продукция на планете и главный «фураж» подводного мира. От него зависят состояние и здоровье морских экосистем и, в первую очередь, зоопланктона.

Часть вторая

ЗООПЛАНКТОН

Глава 1

Постоянный зоопланктон: связь между двумя мирами

Первые микроводоросли, «освоившие» 3,5 миллиардов лет тому назад фотосинтез, стали производить в масштабах планеты кислород и, таким образом, подготовили условия для формирования всего разнообразия фитопланктона. В течение 2–3 миллиардов лет этот растительный микроскопический мир распространялся и эволюционировал, производя запасы органического вещества. Затем появились первые представители животного царства – одноклеточные (простейшие), питавшиеся мёртвой растительной массой, взвешенной в толще воды. Простейшие (Protozoa) очищали океан, подготавливая условия для появления зоопланктона и будущих морских животных.

Образовавшись в результате трансформаций одноклеточных растений, одноклеточные животные постепенно стали создавать многоклеточные организмы. Затем, в процессах прогрессивных изменений, жизнь образовала многоклеточный мир, в котором каждый вид, совершенствуясь, адаптировался как к медленным изменениям в окружающей среде, так и к крупным катаклизмам, происходившим на планете. Также как и многоклеточные водоросли, эволюция которых прошла через этап одноклеточных, переход микроскопических организмов к крупным животным протекал на протяжении миллионов лет в виде последовательности многочисленных видов. Организмы зоопланктона – важнейшие участники эволюционного процесса в водном мире.

В состав зоопланктона входят одноклеточные и многоклеточные организмы, относящиеся ко многим зоологическим группам:

- Постоянный зоопланктон (голопланктон), который рождается, растёт и умирает в составе планктона;

- Временный зоопланктон (меропланктон), состоящий из яиц и личинок, живущих от нескольких часов до многих недель в планктоне. Они покидают планктон после метаморфоза, становясь молодью, а затем взрослыми особями.

Постоянный зоопланктон

Постоянный зоопланктон (голопланктон) представлен одноклеточными и многоклеточными животными, вся жизнь которых (от яйца и до взрослой стадии) протекает в планктоне. Он включает большинство мелких ракообразных (копеподы, криль), мелких моллюсков и планктонных желетелых (медузы, сальпы). Их размеры изменяются в широких пределах: от 1 мкм у зоофлагеллат и до десятков метров у медуз и физалий.

Постоянный животный планктон размножается клеточным делением (одноклеточные животные) или половым размножением (многоклеточные животные) с высокой плодовитостью. Он очень быстро воспроизводит свою биомассу. Например, через 3-4 дня после рождения (выклева) копеподы становятся половозрелыми, размножаются, вымётывают два десятка яйцеклеток, из которых через 3-4 дня получаются новые взрослые копеподы. На каждой стадии своего развития постоянный зоопланктон представляет собой лёгкую добычу для временного зоопланктона и для мелких рыб (сардины, шпроты, анчоусы, песчанки). Продолжительность жизни представителей голопланктона невелика: от нескольких дней до нескольких недель, если повезёт!

Временный зоопланктон

У очень многих видов морских животных начальные стадии жизни проходят в планктоне – обычно это личиночные стадии. Яйца (яйцеклетки) и личинки образуют временный зоопланктон, в состав которого входят:

- Личинки ракообразных, взрослые особи которых обитают на дне. У некоторых видов личинка может напоминать взрослую особь в миниатюре (например, у речных раков), или, напротив, сильно отличаться от взрослой стадии, до достижения которой требуется пройти последовательность различных стадий. Например, японская креветка после выклева становится науплием (nauplius), краб - зоеа (zoe), омар - мизис (mysis). Продолжительность жизни личинки находится в пределах 2-4 недели,

например 15 дней у омара. Исключением является лангуст, личинка которого находится в планктоне в течение нескольких месяцев;

- Личинки моллюсков, например устриц, мидий, тапесов и т.д. Личинки этих моллюсков снабжены ресничками и способны активно плавать. Постепенно они формируют прозрачную раковинку, а через 2-4 недели, в момент начала метаморфоза, они прикрепляются к твёрдой поверхности и становятся обитателями бентоса;
- Личинки и яйца различных бентосных беспозвоночных, например червей аннелид или иглокожих (морские ежи, морские звёзды);
- Яйца и личинки рыб: лаврак, калкан, сардина и т.д.

Все эти мелкие организмы обнаруживаются в желудках более крупных животных, в рацион которых они входят. Немногие личинки достигают взрослой стадии: от сотых долей до тысячных долей их начального количества. Например, из каждой тысячи личинок омара взрослыми становятся только несколько из них.

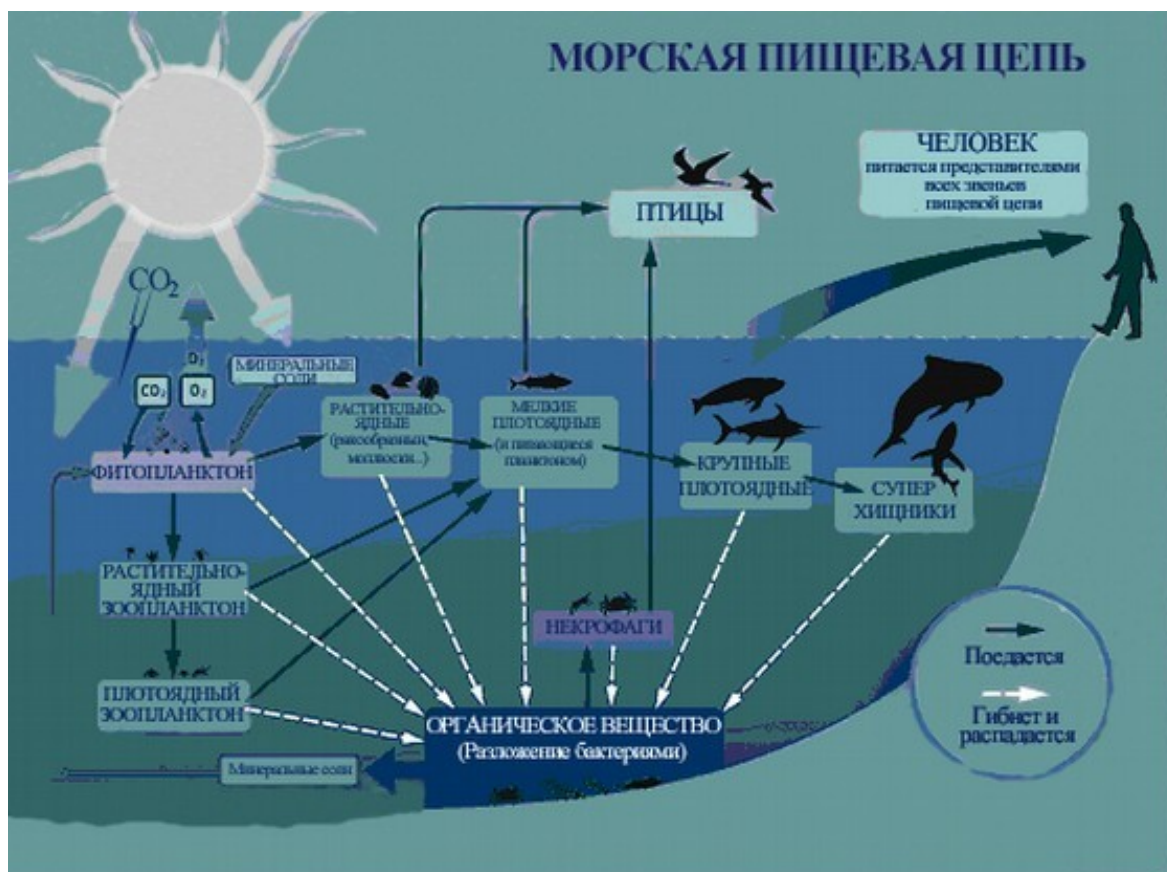
Меню зоопланктона

В то время как фитопланктон производит органическое вещество благодаря фотосинтезу, зоопланктон, как и все животные, поедает уже существующее живое вещество. Организмы зоопланктона могут быть растительноядными, плотоядными, со смешанным питанием. Представители каждого вида поедают растительный или животный планктон более мелкий, чем сами потребители.

Как правило, животные, формирующие постоянный зоопланктон, являются растительноядными, потребляющими представителей всех групп фитопланктона (диатомовые, хлорофиты и т.д.). Выбор кормового объекта определяется его размерами, а иногда и кормовой ценностью. Корм (микроводоросли) улавливается в процессе фильтрации воды, затем он сортируется и, отобранные микрофиты, потребляются. Для увеличения своей массы на 1 г, зоопланктон должен потребить 10 г микроводорослей. Зоопланктонное население полностью обновляется через несколько недель. Организмы зоопланктона непрерывно поедаются хищниками, а вместо погибших индивидов появляются новые.

Временный зоопланктон, как правило, плотоядный, а его пища – постоянный зоопланктон. За немногочисленным исключением (личинки моллюсков, морских ежей и морских звёзд) включающим фильтраторов, поедающих микроводоросли, почти весь временный зоопланктон

представлен охотниками, преследующими свою добычу. Он также использует только десятую часть добычи для увеличения массы своего тела.



© G. Jublin (schéma téléchargeable sur www.eclm.fr)

Рис. 8. Морская пищевая цепь

Схематически, потребляя фитопланктон, постоянный зоопланктон сам является кормом для временного зоопланктона, которым в свою очередь питаются мелкие рыбы – кормовые объекты для более крупных рыб – хищников. Продукция каждого звена зависит от предыдущего, а каждое из них может войти в меню человека. Так же, как и фитопланктон, зоопланктон является обязательным звеном морской пищевой цепи.

Зоопланктон представлен многочисленными видами

Постоянный зоопланктон

- Одноклеточные животные (входят в обширный класс простейших), состоящие из:
 - зоофлагеллат, у которых отсутствуют хлоропласты, поэтому они бесцветны (1 – 50 мкм);

- ресничных протозоев, снабжённых вибрирующими ресничками и питающихся бактериями, либо микроводорослями (30 – 500 мкм);
- радиолярий и актинопод (100 мкм).
- Многоклеточные животные:
 - ракообразные: копеподы – доминирующие объекты в зоопланктоне (от 100 мкм до 3-4 мм), криль (эвфаузивые от 10 мм до нескольких сантиметров), кладоцеры и остракоды, мизиды и плавающие декаподы, а также брахиопода *Artemia salina* - примитивное ракообразное солоноватых бассейнов, в том числе солёных болот;
 - медузы (с диаметром от нескольких сантиметров до 1-2 метров со щупальцами длиной до 6 метров), сифонофоры (несколько см);
 - некоторые моллюски;
 - асцидии (аппендикулярии или пелагические оболочники), сальпы, пирсомы). Пелагические оболочники представлены иногда в виде колоний, достигающих размеров в несколько метров.

Временный зоопланктон.

Эта группа объединяет большое число бентосных и нектонных видов, развитие которых проходит через многочисленные личиночные стадии: черви аннелиды, иглокожие (морские ежи, морские звёзды и т.д.), ракообразные (крабы, омары, креветки, раки), моллюски (устрицы, мидии, сердцевидки, кальмары и т.д.), рыбы.

Необходимое звено

Постоянный зоопланктон включает животные организмы, вся жизнь которых проходит в составе планктона. Среди этих животных встречаются несколько «типовых видов» для каждого звена всего ряда (от самых мелких и до самых крупных): протозоа *Fabrea*, коловратки, копеподы, криль, артемия и медузы.

Постоянный зоопланктон, существующий благодаря корму – фитопланктону, занимает вторую ступеньку водной пищевой пирамиды и образует переходное звено между растительным и животным мирами. Его разнообразие определяет разнообразие временного зоопланктона, который во взрослом состоянии становится затем рыбами, омарами, креветками и т.д., входящими в состав пищи человека. Прежде чем стать взрослыми и оказаться в наших тарелках, все эти личинки должны иметь возможность вылавливать

кормовые объекты, соответствующие размерам их рта и обладающими достаточными питательными свойствами. Эти кормовые объекты (постоянный зоопланктон) обеспечивают требуемое разнообразие, а также требуемые качественные и количественные показатели только при питании разнообразным и многочисленным фитопланктоном, который развивается исключительно в благоприятных условиях (чистая вода, обогащенная питательными солями). Таким образом, если фитопланктон непосредственно и не потребляется человеком, однако его неудовлетворительное состояние приводит к обеднению промысловых запасов беспозвоночных и рыб.

Для поддержания обилия морепродуктов, Человек должен заботиться о состоянии зоопланктона и фитопланктона. Поэтому необходимо следить за качеством морской воды и предотвращать её загрязнение, которое угрожает функционированию всей морской пищевой цепи.

Глава 2

Протозои

(простейшие или протисты)

Первая форма животной жизни – протозоа (*Protozoa* от греч *proto* - «первый» и *zoe* – «животное») представлена микроскопическим организмом, состоящим из одной клетки, обычно покрытой раковинкой в виде сферы или раковины, напоминающей улитку. Размеры животного варьируют от нескольких микрон до нескольких сотен микрон, а самые крупные достигают миллиметра. Некоторые протозои оснащены вибрирующими ресничками, либо жгутиками. Насчитывают несколько десятков тысяч видов простейших, встречающихся повсюду на Земле: в океанах, реках, болотах, озёрах, во влажной почве, а некоторые из них населяют внутреннюю среду животных, в том числе и человека (слизь лёгких, в кишечнике и т.д.).

Протозои являются гетеротрофами, питающимися доступными органическими частичками, находящимися во внешней среде. Пищу составляет взвешенное органическое вещество, в том числе бактерии, микроводоросли или даже другие протозои. Размножаются они клеточным делением, поэтому только один индивид может создать всю популяцию.

***Fabrea salina* – протозоа солёных водоёмов**

Fabrea salina – это очень мелкая ресничная протозоа (25 мкм), населяющая солёные болота. Она питается бактериями и частичками органического вещества, которые в изобилии встречаются в некоторых местах солин. В периоды сбора соли вода последовательно проходит через ряд бассейнов и при этом её солёность повышается. В последнем (самом нижнем) бассейне солёность достигает концентрации 270 грамм соли на литр воды, что смертельно для большинства водных растений и животных. Погибшие организмы накапливаются в этом бассейне, а это вызывает развитие детритоядных бактерий. В свою очередь *Fabrea salina* поедает бактерий и органические остатки, очищая, таким образом, воду.

В таких «деградированных» участках солёных болот, в отсутствие «очистителей», жизнь для *Artemia salina* была бы невозможной. В солоноватых и солёных водах *Fabrea salina* «подготавливает» водную среду для заселения её постоянным зоопланктоном, служащим кормом временному

зоопланктону, который, в свою очередь является кормом для более крупных животных. Таким образом, это протозоа способствует развитию сбалансированной экосистемы.

Нелюбимые, но полезные

Протозоа это организм, ассоциирующийся с чем-то неприятным и даже грозным, так как он свидетельствует о наличии органического вещества и бактерий, причём в больших количествах, характерных для нездоровой среды. Он также является индикатором начала эвтрофикации акватории. Большинство простейших не опасны для человека, но, поглощая бактерий и мёртвую органику, они могут стать носителями патогенных агентов. Возможно, что поэтому ими не питаются другие организмы (за исключением птиц, которые их поедают случайно вместе с водой или пищей). Однако простейшие могут представлять интерес для аквакультуры при выращивании очень мелких объектов, неспособных поедать относительно крупный корм. К сожалению, культивировать простейших довольно трудно.

Мир простейших – это особый мир в природной среде. Это постоянный зоопланктон, выполняющий важные функции по улучшению качества воды. Примером может служить *Fabrea salina*- единственный вид, способный оздоровить загрязнённые участки солёных болот. Повышая продуктивность среды, это простейшее демонстрирует свою значимость в экосистеме, в которой каждый вид выполняет важную роль, а все они вместе зависят друг от друга.

Протозои, терпение в каждом испытании

Простейшие, будучи гетеротрофами, потребляют различные доступные им частички: взвешенное органическое вещество, бактерий, микроводоросли и даже других простейших. Вместе с кормом они могут передавать патогенные агенты, поэтому простейшие ответственны за многочисленные заболевания (малярия, дизентерия и т.д.). Размножаются они делением. В неблагоприятных условиях протозои выделяют вещество, затвердевающее в водной среде и полностью изолирующее организм от внешней среды. Иными словами, они способны формировать цисты, надёжно защищающие от, например, экстремальных значений температуры, недостатка либо избытка воды и т.д. Внутри цисты протозоа производит одно, либо несколько клеточных делений. При наступлении благоприятных условий из цисты выходят сразу несколько индивидов.

Цисты могут переноситься ветром на большие расстояния и проникать, таким образом, на другие участки. Протозои могут в течение длительного времени пребывать в цисте в ожидании благоприятных условий в открытой среде, либо во внутренней среде организма-хозяина. Распространение паразитических простейших осуществляется через цисты, что сильно осложняет защиту человека от заражения патогенными простейшими.

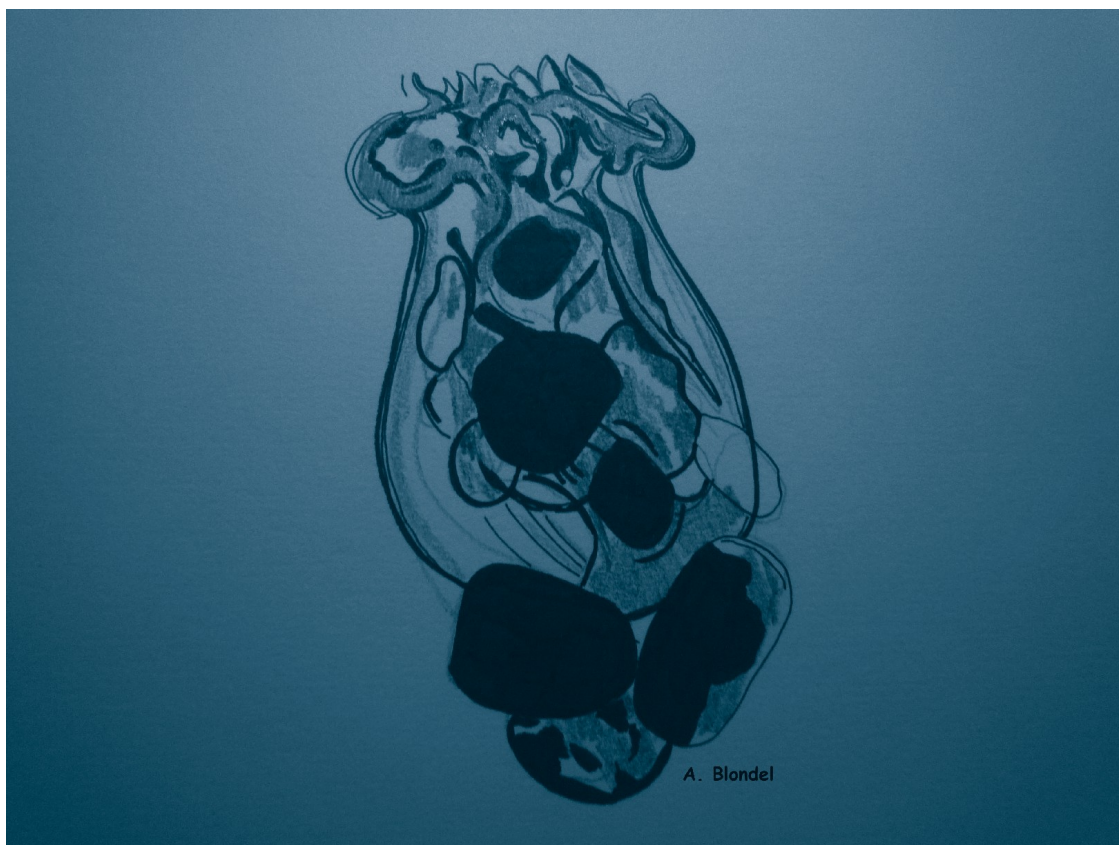
Глава 3

Коловратки

После появления одноклеточных растений, а затем и одноклеточных животных (протозои), жизнь совершенствовалась, самоорганизовывалась и постепенно стала переходить к миру многоклеточных организмов. Коловратки могут служить примером первых многоклеточных животных.

Маленький одиночный червь

Коловратка – это нечто, напоминающее прозрачного червячка, вся жизнь которого протекает в планктоне.



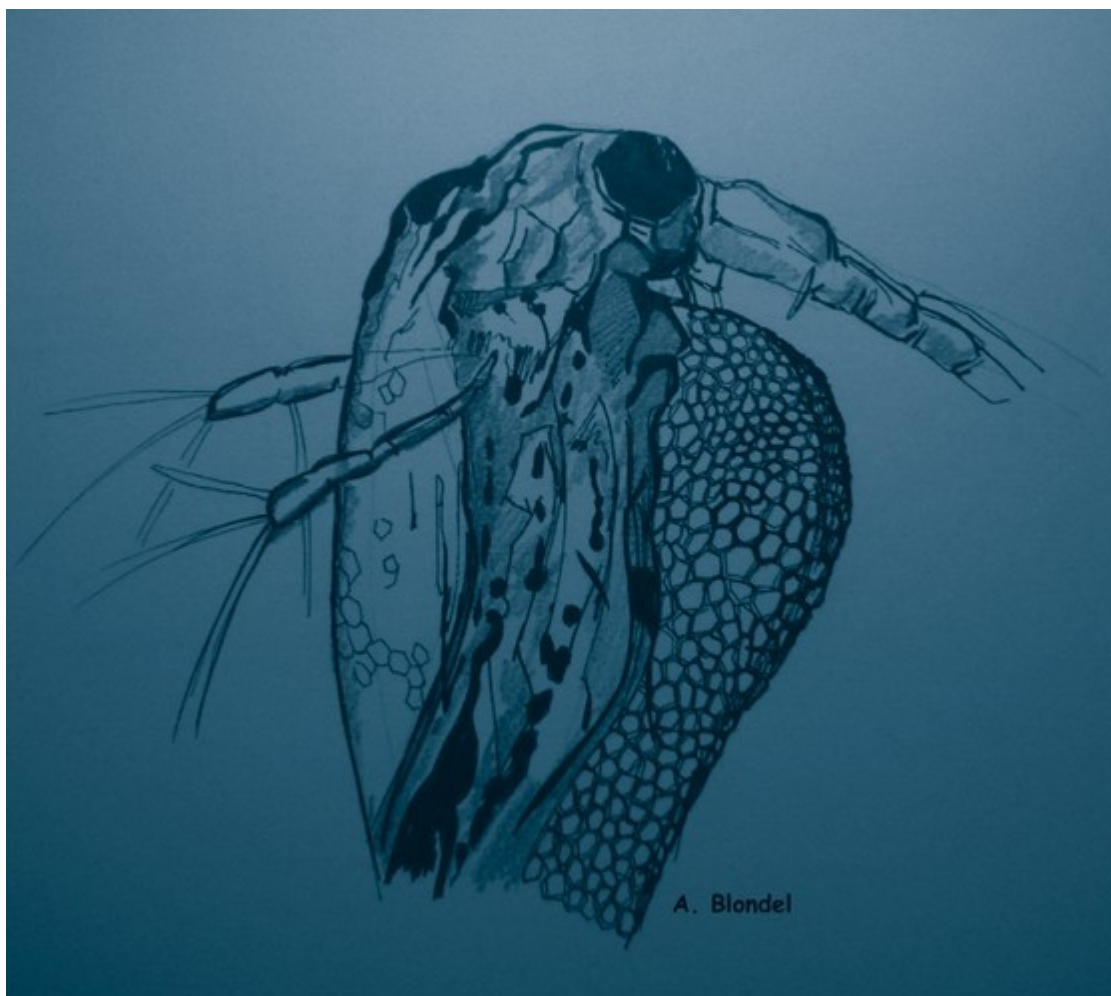
© A. Blondel

Рис. 9. Коловратка – представитель морского и пресноводного планктона.

Форма тела коловратки напоминает духовую трубу размером, в зависимости от вида, от 50 мкм и до 3 мм. Оправдывая своё название (от латинского *rota* – колесо), две короны ресничек окружают её рот и вращают в противоположных направлениях потоки воды, которые приносят ко рту пищевые частички. Эти «колёса» могут обеспечивать у некоторых видов

довольно быстрое передвижение, а представители других видов с менее развитыми ресничками, используют реснички в качестве вёсел.

Коловратка может прикрепляться к различным поверхностям с помощью своей «ноги», выделяющей клейкую субстанцию, а также быстро открепляться в случае необходимости. Она снабжена головным аппаратом и кишечником, поэтому, несмотря на малые размеры, может считаться «эволюционно продвинутым» животным. В плане анатомии это истинная упрощённая модель сложных организмов, таких как позвоночные.



© A. Blondel

Рис. 10. Дафния (пресноводный зоопланктон)

Моряк и пресная вода

Коловратки насчитывают примерно 2000 видов и встречаются они во всех влажных средах: в пресной и солёной воде, пене, грибах, во влажной почве. Они могут находиться в свободном состоянии, либо прикрепляться к различным объектам: водорослям, водорослёвым остаткам, панцирям ракообразных и т.д. Составляя значительную часть зоопланктона пресных

вод, они формируют важный источник пищи в экосистемах рек, озёр, луж, фонтанов, аквариумов, баков для полива, цветочных вазонах и т.д.

В грунте коловратки участвуют в формировании почвы. В морях они преимущественно заселяют акватории эстуариев, прибрежную полосу и защищённые от штормов акватории (лиманы, солёные болота, солёные озёра). Везде они являют собой питательную и обильную добычу для временного зоопланктона: личинок рыб, ракообразных и др.

Коловратки выживают даже при высыхании их биотопа. В таких экстремальных условиях они окружают себя защитной цистой, внутри которой они сжимаются и замедляют свой метаболизм. В таком состоянии они могут пребывать долго, выдерживая жёсткие воздействия внешней среды, как, например, полное отсутствие влаги. Практически, все виды коловраток выдерживают высушивание. Эта особенность обеспечивает им возможность заселения очень суровых местообитаний: лишайники, трещины в коре деревьев, неплодородные почвы и даже пески пустыни.

Гурманы и кормильцы

Коловратка – это животное-фильтратор. В океане она питается главным образом микроорганизмами, населяющими толщу воды. Их излюбленный корм – мелкие микрофиты, размеры которых меньше размеров рта коловратки, например - хризифиты и хлорофиты. Но не только размеры пищи являются критерием её выбора. Другой критерий – это качество пищи. Среди множества плавающих частичек коловратки способны выбирать съедобные, причём разной природы: цианофиты, хлорофиты, хризифиты, центрические диатомеи, динофиты.

На участках с обильным фитопланктоном, коловратки быстро растут и размножаются, окрашивая при этом воду в настолько интенсивный зелёный цвет, что создаётся впечатление о вылитой краске. Продолжительность жизни особи довольно короткая (от двух до девяти суток), однако она интенсивно воспроизводится. Высокопродуктивное звено пищевой цепи обеспечивает питание личинок животных с более высокой организацией, таких, например, как ракообразные и рыбы.

В питомниках коловратку *Brachionus plicatilis* используют в качестве «капсулы», содержащей корм, а также макро и микроэлементы, витамины и даже антибиотики. Её масштабное выращивание представляет интерес ввиду несложной технологии её выращивания, интенсивного размножения и высоких темпов роста.

Brachionus plicatilis – мелкая и активная коловратка, поэтому личинки охотно её потребляют. Кроме этого, кормить эту коловратку можно и дрожжами, несмотря на то, что в природе она питается живыми микроводорослями, культивирование которых обходится дорого. Коловратка *Brachionus plicatilis* – наиболее широко используемый вид в аквакультуре для кормления личинок, питание которых в природной среде включает и другие кормовые объекты. Благодаря питательной ценности, эта коловратка стала основным кормом при выращивании личинок таких рыб, как бар (бар или лаврак, или сибас - вид близкий к черноморскому луфарю. Примечание переводчика), дорада и тюрбо (калкан).

Исключительное животное

Среди некоторых видов коловраток встречаются такие, у которых каждый индивидуум обладает способностью самостоятельно размножаться (не половым путём, без совокупления), то есть партеногенетически. Популяции таких коловраток состоят только из самок, откладывающих яйца, из которых выходят другие партеногенетические самки. Достигнув за один день половозрелости, каждая из них откладывает по полсотни маленьких яиц, которые тут же развиваются, создавая других самок. Таким образом, в случае «природной катастрофы», вызывающей массовую гибель коловраток, только одна выжившая особь способна восстановить всю популяцию.

Партеногенетическое размножение коловраток – это исключение в зоопланктоне. Кроме протозои *Fabrea salina*, размножающейся клеточным делением, все остальные планктонные животные (копеподы, криль, брахиопода *Artemia salina* и т.д.) размножаются половым путём.

Вообще, размножение коловраток происходит как половым, так и неполовым путём. Однако существуют виды, размножающиеся только партеногенетически, а их население состоит исключительно из самок. Встречаются также виды, особи которых откладывают яйца двух типов, причём из одних развиваются самки, а из других – очень мелкие дегенерированные самцы, неспособные питаться. Они сразу же оплодотворяют самок, после чего гибнут.

Выбор типа размножения иногда определяется условиями внешней среды. В оптимальной среде партеногенетические самки откладывают яйца, из которых выходят партеногенетические самки. А в неблагоприятных условиях особи прибегают к половому размножению. Самки в таких случаях откладывают яйца, дающие жизнь также самкам, но способные производить самцов. Самцы выделяют сперматозоиды, оплодотворяющие женские

яйцеклетки. Получаются яйца, способные выдерживать безводие и засуху, а также значительные колебания температуры. После улучшения экологических условий происходит восстановление партеногенетического цикла.

Выживание многих видов коловраток, несмотря на отсутствие самцов, является довольно редким феноменом в животном мире. Представляется, что один класс коловраток - bdelloides (бделлоиды) – размножается партеногенетически в течение более 35 миллионов лет. Никаких следов наличия самцов не обнаружено. Большинство животных и растений размножаются половым путём, по крайней мере, в течение некоторого времени, что необходимо для предотвращения накопления вредных мутаций в их геноме. До сих пор не выяснены механизмы, обеспечившие бделлоидам выживание, несмотря на нарушение этого правила природы в течение длительного времени.

Глава 4

Копеподы

На протяжении эволюции каждый вид животных вносил свои изменения в медленный ритм их развития, метаморфозов и адаптаций к крупным потрясениям, происходившим на планете. Размеры копепод увеличивались, а их морфология усложнялась (прогрессировала).

Хорошо экипированное мини – ракообразное

Величиной всего от 100 микрон и до 3-4 мм и, не обладая ещё ни жабрами, ни прочным панцирем, копеподы уже «обзавелись» парой длинных, размером с тело, антенн, помогавшим им активно плавать скачками и ускользать от хищников. Их название составлено из греческих корней (*kope*, «весло» и *podos*, «нога»), что говорит о наличии ножек в форме вёсел, которые являются также и частями ротового аппарата.

Другое изобретение копепод подтверждает их название «циклоп», то есть одноглазый. Речь идёт о единственном глазе, называемым «личиным глазом», состоящим из глазного пятна. Это пятно позволяет копеподе различать солнечный свет, необходимый для пребывания в фотической зоне, то есть в местообитании фитопланктона.

Лов на свет

В лаборатории, в случае необходимости отлова копепод, воду выливают в большой стеклянный сосуд. В этом объёме воды, как и в море, планктонные организмы перемешены и равномерно распределены по всему объёму. Для того, чтобы выловить одних копепод, устанавливают в углу маленькую лампочку, которая через глазные пятна привлекает всех копепод. Остаётся только выловить сифоном скопившихся копепод.

В зависимости от вида, сезона, условий среды и возраста индивида, копепода может быть растительноядной, плотоядной или иметь смешанное питание. Растительноядные используют передние ножки для создания токов воды. Следующие две ножки снабжены тончайшими щетинками, через которые фильтруется вода с целью вылова микроводорослей. Если фитопланктона недостаточно, копепода переходит на животную пищу. С помощью снабжённых щетинками ногочелюстей в форме косы, она

удерживает добычу, разрывает и поедает её. Добычей могут быть представители протозоа, мелкий зоопланктон (например, коловратки), личинки различных ракообразных, а также другие копеподы. В зависимости от условий внешней среды копепода может стать всеядной, потребляя фитопланктон, мелкий зоопланктон и частички детрита, обросшие микрофлорой.

Независимо от типа питания и вида пищи, копепода может выбирать пищевые частички нужного размера, подходящего химического состава и с приемлемой пищевой ценностью. В некоторых случаях копепода выбирает исключительно один тип корма. Способность сортировать и отбирать нужную пищу позволяет копепode избегать поедания токсичной пищи и улучшить соотношение энергии, поступающей с потреблённым кормом и энергии, затрачиваемой на ассимиляцию пищи.

Лифт для микроводорослей

Licmophora – это мелкая диатомея, без жгутиков, помогающих удерживаться в толще воды. Поэтому, утяжеляясь, она быстро опускается на дно. Однако ликмофора нуждается в свете для осуществления фотосинтеза, и она нашла способ, который обеспечивает ей пребывание в фотической зоне.



© G. Jublin (schéma téléchargeable sur www.eclm.fr)

Рис. 11. Копепода с прикрепившейся к ней диатомеей *Licmophora*.

Для этого ликмофора прикрепляется к панцирю копеподы, которая, благодаря главному пятну, находит освещённые зоны, где *Licmophora* успешно растёт и размножается, образуя на поверхности копеподы «ликмофоровую шубу». Это затрудняет осуществление физиологических функций копеподы, особенно дыхания и линьки. Однако в процессе роста копепода должна линять, иначе она погибнет. Таким образом, нетоксичная микроводоросль может представлять для копепод смертельную угрозу. Вот почему отмечают сокращение численности копепод в местах с обилием ликмофоры.

Планетарное обилие

Принадлежа к классу ракообразных, копеподы образуют группу, отличающуюся высоким разнообразием – 12 000 видов, из которых 2/3 являются морскими. В океанах некоторые из них населяют толщу воды (пелагические виды), другие живут на дне (бентосные виды), есть и виды, ведущие паразитический образ жизни (в основном в рыбах). Морфология копепод-паразитов кардинально отличается от свободно живущих копепод. Заселяют копеподы разнообразные водоёмы земного шара: океаны, моря, озёра, реки, болота, грунтовые воды. Даже, если принять, что в среднем в одном литре воды находится несколько особей копепод, можно рассчитать, что копеподы являются самыми многочисленными многоклеточными организмами на планете, многочисленнее даже насекомых, насчитывающих больше видов, но меньше особей.

Копеподы составляют 80% всего зоопланктона и являются самой многочисленной группой среди морских животных. Копеподы – это «океанические муравьи», которых можно встретить повсюду на всех широтах от поверхности и до больших глубин. Они встречаются и на высоте 4 000 метров (Кордильеры, Анды), в Африке в озере Чад, под ледовой шапкой Северного полюса и т.д. Предпочитая акватории с обильным и разнообразным фитопланктоном, копеподы часто концентрируются в прибрежной полосе, в зонах апвеллинга и в освещённых поверхностных слоях, где концентрация копепод достигает несколько десятков тысяч особей на кубический метр. Особенно это относится к наиболее распространённому виду - *Calanus finmarchicus*, который доминирует в Северной Атлантике. Это крупная копепода, размером 3-4 мм, питающаяся в основном диатомеей *Navicula*. Между прочим, калянусом питается и треска, и криль, и китовая акула.

Действующее лицо и свидетель

Поверхностные слои океанов населяют сотни видов копепод, размеры которых не превышают 3-4 мм. Растительный зоопланктон в дневное время прячется от хищников на глубине, а ночью перемещается к поверхности, где он питается фитопланктоном. Вертикальные миграции копепод усиливают перемешивание верхних и нижних слоёв воды и повышают насыщение её кислородом, а также интенсифицируют циркуляцию взвешенного органического вещества. Более того, интенсивное поедание микроводорослей позволяет иногда предотвращать фитопланктонное загрязнение в периоды цветения, а также кислородные заморы. И, наконец, через пищевую цепь копеподы участвуют в фиксации углерода и азота атмосферы и переносе этих элементов на морское дно.

Копепода, пребывая в толще воды, отфильтровывает или выхватывает ножками свою добычу, либо прикрепляется к твёрдой поверхности, обросшей микроводорослями, которыми она питается до момента, когда она сама ... будет съедена хищником! Доминируя в зоопланктоне всех акваторий планеты, копеподы являются главным действующим фактором трофодинамики водных животных. Присутствие копепод в воде гарантирует наличие качественного корма. Верно и обратное: отсутствие копепод свидетельствует о замещении их менее ценным для хищников кормом: коловратками, простейшими, личинками червей.

С другой стороны, копеподы, как мелкие прозрачные рачки, являются интересными объектами для их обследования под микроскопом. Например, если их пищеварительный тракт плотно заполнен и окрашен в зелёный или в каштановый цвет – это означает, что водная среда богата фитопланктоном. Но, если их желудки прозрачны (то есть пусты) можно не сомневаться, в том, что в исследуемой акватории корма недостаточно. Если осмотр собранных проб показал, что копеподы присутствуют в изобилии, причём на самках видны прикрепленные яйца (копеподы размножаются) – можно делать вывод о том, что экосистема находится в равновесии. Копепода является надёжным показателем состояния водной экосистемы, поэтому обследование популяции копепод означает и получение информации о состоянии экосистемы.

Копеподы, так же как и диатомеи, очень чувствительны к нарушениям в среде и не размножаются при воздействии неблагоприятных факторов. Высокая численность копепод свидетельствует о высокой концентрации диатомей и других кормовых микроводорослей, что, в свою очередь, свидетельствует о хорошем здоровье экосистемы.

Потребность в разнообразии

Растительный зоопланктон должен потребить 10 грамм микроводорослей для увеличения своей массы на 1 грамм. Растительная копепода предпочитает диатомей и хлорофиты, но также и другие виды микроводорослей, встречающиеся в её местообитании. Выбор кормового объекта ограничен размерами рта, поэтому, например, динофлагеллаты не доступны для копепод. Однако могут в изобилии встречаться и слишком крупные диатомей, но желудки копепод будут пусты. Поэтому важно, чтобы разнообразие фитопланктона поддерживалось на высоком уровне.

Биоразнообразие фитопланктона необходимо и для удовлетворения потребностей копепод в различных веществах, необходимых для их развития: аминокислоты, омега-3 жирные кислоты, витамины. Можно сказать, что копепода выполняет важнейшую акцию - передать эти ценные вещества следующему звену пищевой цепи – хищному зоопланктону. Рыбы и ракообразные нуждаются в сбалансированной пище, которая может обеспечить им рост, развитие и размножение, и, особенно они нуждаются в жирных кислотах, необходимых для выживания их личиночных стадий. На изображении нашей Caddie (*поставщик продуктов питания во Франции – примечание переводчика*) показаны поставляемые нам самые разнообразные продукты (овощи, рыба, мясо, крупы); аналогично и копеподы должны получать от фитопланктона все пищевые компоненты, необходимые и для представителей высших этажей пищевой цепи. Таким образом, жирные рыбы, такие как сардины, кильки, хамса, поедающие копепод, богаты таким ценным компонентом, как омега-3 жирные кислоты, который им обеспечили копеподы, питавшиеся диатомеями, способными синтезировать омега-3 жирные кислоты.

Копеподы – это «переходник» от растительного мира к миру животному. Этот растительный зоопланктон принимает ценные и разнообразные питательные элементы от фитопланктона и передаёт их хищному зоопланктону. Несмотря на свою питательную ценность, эти мельчайшие ракообразные, редко используются в аквакультуре, так как биотехника их выращивания обходится дорого и требует для выращивания рачков огромных объёмов воды и колоссального количества фитопланктона. Можно рассматривать возможности непосредственного потребления человеком зоопланктона, как, например, спирулины и хлореллы. Однако проекты крупномасштабного выращивания копепод к настоящему времени не рассматривались.

А ведь планктон уже ели!

Молодой врач-мореплаватель Алян Бомбар (Alain Bombard) первым продемонстрировал возможность питания планктоном. В 1952 году он, в возрасте 27 лет, вышел в Атлантический океан, стартовав от Канарских островов. В качестве судна он воспользовался надувной лодкой L'Heretique (Еретик), оснащённой парусом. На борту судна не было ни пищи, ни воды. Весь багаж состоял из секстанта, планктонной сети и нескольких рыболовных удочек. Через 50 суток путешествия, сильно ослабевший мореплаватель написал завещание. Пищи, состоящей из летучих и других рыб, было недостаточно. Регулярно он извлекал из планктонной сети копепод, причём вылов помещался на чайной ложке и, тем не менее, этот улов содержал ценные микроэлементы, витамины и омега-3 кислоты.

Через два месяца он пересёк Атлантический океан и, целым и невредимым, причалил к Карибскому архипелагу, доказав, что в случае кораблекрушения можно выжить в океане, питаясь морскими организмами. Он также продемонстрировал большую питательную ценность копепод.

Копепода - кормилица

Копепода, как основа плотоядной пищевой цепи, хорошо известна для всех водоёмов планеты. Без этого звена большая часть первичной продукции (фитопланктон) не попала бы на высшие трофические этажи, а многие водные животные не смогли бы существовать. Например, без копепод не было бы криля, а, следовательно, и китов!

Иначе говоря, копеподы просто необходимы для выживания хищников: ракообразных (креветок, крабов, омаров и т.д.), рыб (от сардин и до некоторых акул), медуз и т.д., которые, в свою очередь, являются пищей для крупных рыб и морских млекопитающих.

Таким образом, будучи доминирующим компонентом зоопланктона и самой большой биомассой животной природы в море, копеподы играют фундаментальную роль в водных экосистемах и, следовательно, в создании морских промысловых ресурсов, эксплуатируемых человеком!

Копеподы представляют самую значительную массу животного белка в Океане. Мельчайшие рачки, причём малоизвестные по причине их размеров, производят ежегодно 40 миллиардов тонн мяса, что значительно превышает мировую продукцию сельскохозяйственных животных – 260 миллионов тонн. С целью наглядного представления было показано, что общая масса

копепод в Лионском заливе равна массе стада китов в 50 000 голов, весом по 20 тонн каждый.

Размножение копепод

Размножение разнополых копепод происходит половым путём. В отличие от многих гидробионтов, высвобождающих гаметы непосредственно в воду, у копепод самец удерживает самку с помощью антенн и прикрепляет сперматофор к самке вблизи генитального отверстия. После оплодотворения, яйца либо выпускаются в воду или находятся в одном или двух мешках на абдомене (под брюшком) самки. Плодовитость копепод, как правило, порядка от нескольких десятков до нескольких сотен яиц в день. После выклева из яиц выходят науплии. Через три – четыре дня, в течение которых копепода проходит дюжину личиночных стадий и 3-4 линьки, ювенильная копепода становится взрослой и может совокупляться.

Маленьких личинок трудно одомашнить

Личинки копепод обладают рядом особенностей: науплии треугольной либо овоидной (яйцевидной) формы с тремя парами придатков и одним глазом. Наплиус проходит несколько последовательных линек, прежде чем он достигнет взрослой стадии.

На каждой стадии развития требуется качественно иная пища, и это абсолютно необходимо для перехода на новую стадию. Случается, что иногда требуемая пища отсутствует и поэтому копепода не достигает взрослой стадии. Поэтому копепод следует считать очень ранимыми животными, которых трудно содержать и выращивать в лабораторных условиях. Однако разработка биотехники их выращивания является мечтой всех публичных аквариумов, в том числе и Океанополиса в Бресте (Франция), которые нуждаются в копеподах как в пище для многочисленных гидробионтов. Действительно, копеподы великолепно подходят для кормления рыб и ракообразных, содержащихся в неволе, так как, кроме высокой питательной ценности и интенсивного размножения, они представляют собой природный корм.

В зависимости от условий среды и видовой принадлежности копеподы, переход от яйца до взрослого состояния занимает от нескольких дней (умеренная зона), до нескольких месяцев (крупные копеподы арктической и антарктической зон). В периоды неблагоприятных условий, самки могут вымётывать «выносливые» яйца, которые падают на дно и пребывают там до

наступления благоприятного периода – тогда и происходит выход науплиев из яиц.

Развитие копепод зависит, главным образом, от температуры и от количества доступной пищи. Также их активность определяется сезонными ритмами и климатическими изменениями. В зонах умеренного климата максимум численности копепод приходится на весну, когда температура воды повышается и достигается высокая биомасса фитопланктона. В течение лета кормовые ресурсы постепенно истощаются, хищники развиваются, и численность копепод понижается, после чего (осенью) численность фитопланктона и копепод достигает второго (осеннего максимума), который ниже весеннего.

Глобальное изменение климата оказывает влияние на популяции копепод. Наблюдаемое потепление климата на планете оказывает возрастающее влияние на планктонные сообщества, и особенно на копепод, изменение размеров или численности которых может нарушить всю морскую экосистему.

Утраченные звенья

Последствия строительства плотины у Арзаля (Arzal) в бухте реки Вилэн (Vilaine) проявились спустя 30 лет. Не случайно Тюрбаль (Turballé) был рыболовным портом, поставляющим сардин, и был он расположен у эстуария Вилэн. Обилие питательных веществ, приносимых этой рекой, обеспечивали фитопланктону бурное развитие, а, следовательно, копеподам – обильный корм, которым питались сардины. Однако, после перекрытия выхода Вилэн, сложившаяся процветающая экосистема была нарушена. В течение тридцати лет происходило накопление ила, а накопленная иловая масса образовала пробку. Биогены (питательные вещества) перестали поступать в акваторию, в результате чего качественный и количественный состав фитопланктона изменился настолько, что он перестал удовлетворять пищевые потребности копепод, а, следовательно, сардины, другие рыбы, ракообразные и т.д. остались без корма. Вылов рыбаками сардин значительно снизился, а производство фермерами мидий (2000 тонн в год) полностью прекратилось. Мидийные фермы оказались погребёнными под 4-х метровым слоем ила.

Каскад падений

С начала промышленной революции человеческая деятельность развивалась по экспоненциальному закону: индустриализация, интенсивное сельское хозяйство, возрастающие потребности населения, местный и международный транспорт, глобализация экономики, технический прогресс и т.д. В течение последних 50 лет, выпуск в атмосферу газов, усиливающих парниковый эффект, привёл к повышению температуры планеты примерно на 1°C (а в некоторых полярных районах - на 3°C). 84% глобального потепления приходится на океаны, которые также абсорбируют двуокись углерода и атмосферный азот. Повышение температуры океанов на 1°C может показаться незначительным, но оно произошло с беспрецедентной скоростью и вызвало серьёзные изменения в морских экосистемах.

Копеподам, для обеспечения своего выживания, необходимо адаптироваться к изменениям климата. В некоторых случаях им приходится «покидать родные места», ставшие для них опасными и перемещаться на значительные расстояния. Вспомним пример распространения в Северной Атлантике кокколитов, вызванный повышением концентрации газа с парниковым эффектом. При усиленной диффузии CO_2 в массе воды, кокколиты интенсивно размножаются, захватывая водные пространства и подавляя другие виды микроводорослей, особенно диатомовых, то есть основной корм копепод. Но размеры рта копепод не позволяют им питаться кокколитами, поэтому копеподы должны либо погибнуть, либо перейти в другие места с приемлемой пищей.

В полярных зонах поверхностные воды выхолаживаются под воздействием холодных ветров и испарений, вследствие чего они становятся более плотными и опускаются глубже, образуя зимние местообитания копепод. Однако, начиная с 1995 года, температура поверхностных арктических вод слегка повысилась и замедлила их опускание ко дну, что привело к сокращению зимних ареалов копепод и спровоцировало поиск новых акваторий. Аналогично в некоторых зонах Северной Атлантики температура воды повысилась настолько, что стала непригодной для размножения копепод, которые были вынуждены мигрировать на север, где температура воды благоприятствовала их размножению и развитию.

Вынужденные миграции копепод являются причиной аналогичных миграций хищников, питающихся копеподами. Находясь в зависимости от сезонной динамики биомасс копепод, хищники (ракообразные и рыбы) перемещаются в северные широты – вслед за своим предпочитаемым кормом. Примером может послужить треска, которая уже пострадала от

перелова, и она вынуждено мигрирует за копеподами – пищей её мальков. Эти перемещения объясняют значительное уменьшение промысловых запасов трески в Северном море (примерно вдвое за последние 20-30 лет). Однако это явление сопровождалось одновременным увеличением запасов трески в Норвежском море, находящемся на несколько сотен километров севернее. Эта рыба, потребляемая и ценимая в течение веков народами северных стран, представляла для них своего рода манну небесную, которая всегда была доступна. Однако незначительное изменение температуры воды в море привело к резкому падению уловов трески и, следовательно, к негативному влиянию на жизнь людей целого континента.

Реакции планктонной цепи на изменения климата могут усилить нарушения равновесий, имеющих место в популяциях ракообразных, моллюсков и рыб. Действительно, у этих животных потребляемая пища не всегда может быть заменена другой пищей, как по причине пищевой ценности, так и ввиду несовместимости биологических циклов кормовых объектов и их потребителей, что можно проиллюстрировать на примере копеподы *Calanus finmarchicus*. Начиная с 1995 года, этой копеподе потребовалось, для выживания в новых климатических условиях, постепенно переместиться из Северной Атлантики в арктическую зону. Появившись в холодных полярных водах, *Calanus finmarchicus* вступил в конкурентные взаимоотношения с местной копеподой, причём более крупной и более богатой липидами (жирами). Отметим, что треска – это излюбленный объект питания тюленей и что и треска и тюлень нуждаются в таких липидах, поэтому они пострадают, если калянус вытеснит местную копеподу. Серьёзные экологические нарушения могут возникнуть от несовпадения сезонных циклов развития калянуса и местной копеподы. Дело в том, что в Северном море копепода, предпочитаемая личинками трески и перешедшая в Норвежское море, заместила собой другую близкую к ней копеподой, пришедшей с юга. В отличие от ушедшей копеподы, численность, которой достигает максимума в период с марта по июнь (период размножения трески), новая копепода наиболее многочисленна с сентября по ноябрь, то есть она не может служить пищей для личинок и мальков трески. Это различие в сроках вынуждает рыбу перемещаться вслед за мигрирующими копеподами – излюбленным кормом личинок рыб.

Другой ответ на изменённые гидрологические условия: морфологические изменения. Произошло удивительное по быстроте (20- 30 лет) уменьшение средних размеров (на 25-33%) копепод в северной Атлантике. В зонах, прилегающих к полярному поясу, длина тела копепод

уменьшилась с 3-4 мм до 2-3 мм. Известно, что копеподы, через пищевую цепь, осуществляют перенос двуокси углерода атмосферы от поверхности океана на дно. Возможно, что уменьшение размеров копепод привело к снижению интенсивности переноса CO_2 на дно в Северной Атлантике – регионе, в котором реализуется четверть абсорбции углерода Мировым океаном. Однако количественных оценок этого феномена пока не получено.

Влияние изменений климата на океаническую среду

(no Gregory Beaugrand et Eric Goberville)

Климатические изменения оказывают возрастающее влияние на совокупность метеорологических и биологических компонентов системы Земля. Прежде всего, это изменение глобальной температуры и изменения биологических и экологических систем планеты, в особенности Северной Атлантики и прилегающих морей. Биологические изменения, вызванные изменениями климата, наблюдаются у представителей фито- и зоопланктона, а также и у рыб: они изменили доминирование многочисленных видов и структуру, функционирование и разнообразие экосистем. Изменениям подверглись и биогеография и фенология видов, а в некоторых регионах отмечаются резкие экосистемные изменения, называемые также изменениями режимов. Механизмы изменений и перестроек сложны; они включают точки бифуркаций (*т. е. точки, в которых происходят резкие (иногда непредсказуемые) изменения функционирования системы – примечание переводчика*). Чувствительность организмов к потеплению очень высока и, даже слабые флуктуации температуры, могут вызывать резкие изменения в биологических и экологических системах. Необходимо срочно установить систематический контроль этих систем и разработать набор индикаторов, а также разработать статистические и математические методы, которые позволят чётко выявлять происходящие изменения и изучать механизмы этих изменений.

В некоторых морях планеты популяции копепод подвергаются опасности другого рода: выеданию медузами. Медузы питаются непрерывно и днём и ночью, потребляя копепод, яйца и личинок рыб и ракообразных. Уничтожая планктон, они интенсивно размножаются, создавая огромные массы. Иногда их численность достигает 800 штук в кубическом метре. При массовом размножении медуз копеподы исчезают полностью. Основные

причины пролиферации медуз: загрязнение морей и океанов, перелов и бесконтрольная добыча морских биоресурсов, потепление морских вод.

Примеров локальных потрясений в морях нашей планеты имеется великое множество, и свидетельствуют они о том, что многообразный антропогенный пресс на Землю отражается в океанах в виде цепи различных эффектов. Трудно предсказать каким образом и как быстро будет реагировать планктон в будущем. Основная опасность угрожает не мельчайшим растениям и животным, существующим сотни миллионов лет и научившимся адаптироваться к различным коллизиям, а, прежде всего, человеку, который должен будет приспосабливаться к новым ситуациям морепользования с риском, что будущие морские экосистемы будут для него менее удобны и менее выгодны.

Глава 5

Artemia salina

Artemia salina относится к классу ракообразных и считается самым примитивным представителем этого класса. Появившись 100 – 400 миллионов лет тому назад, этот зоопланктонный рачок населяет в настоящее время водоёмы всех континентов, расположенных на разных высотах: от уровня моря и до вершин Анд (4000 метров). Живёт он в солоноватых водах лагун, лиманов, постоянных и временных болот, но особенно он распространён в водоёмах с высокой солёностью. Артемия заселила Великое Солёное Озеро в США (штат Юта), бухту Рио в Бразилии, Мёртвое море. В Европе он, главным образом, населяет солёные болота. Во Франции артемия встречается вдоль атлантического и средиземноморского побережья, а также в салинах Лоррэн (Lorraine).

Изобретатель глазных придатков

В череде возникновения видов, *Artemia salina* следует за копеподами, от которых она унаследовала личиночный глазок, который она удвоила, разместив оба глаза по обеим сторонам передней части тела. Таким образом, обзаведясь двумя глазами, артемия внесла свой вклад в эволюцию животных. Её голова наделена также парой антенн, на концах которых имеются по три маленьких щетинок. Эти антенны являются вторичным половым признаком: у самцов они имеют форму большой загнутой клешни, служащей для удержания самки во время спаривания. У самок эти клешни значительно мельче. Тело артемии, лишённое панциря, имеет вытянутую форму и состоит из двух десятков сегментов, распределённых между чётко различаемыми грудью и брюшком.

На груди артемий имеются десять пар ножек в виде листиков или равномерно вибрирующих крылышек, благодаря работе которых артемия кажется танцующей. Кроме обеспечения движения, ножки участвуют в процессах питания и дыхания. С помощью щетинок, размещённых на ножках, они отфильтровывают пищу и отправляют её к двум мандибулам. В своей верхней части, грудь наделена двумя генитальными сегментами, которые снабжены у самцов двумя пенисами, а у самок – карманом в форме

сердца, в котором развиваются яйца. В конце туловища имеется анус, защищённый длинными щетинками. Длина рачков примерно 10-15 мм; окраска рачка зависит от вида пищи и условий среды и может быть палевой, молочно-белой, зелёной, розовой или ярко красной, а иногда рачки бывают прозрачными.

Несмотря на наличие глаз (инструмента хищников), артемия – растительноядное животное. Она фильтрует воду, из которой извлекает фитопланктон, но в отсутствие фитопланктона, артемия питается другой доступной пищей: бактериями, детритом. *Artemia salina* весьма эффективно очищает воду от взвешенных частичек. В солёных болотах она питается в основном микроводорослью *Dunaliella salina*, богатой каротиноидами, придающими водорослям розовый цвет. Этот цвет передаётся и розовым фламинго, поедающим дуналиэллу. Дуналиэллой питаются и некоторые другие птицы, обитающие на солёных болотах. Отметим, что на всех стадиях своего развития, артемия является идеальным кормом для личинок и молоди ракообразных и рыб.

Тайны эволюции: глазное пятно

Artemia salina – это интересный случай, иллюстрирующий эволюционный процесс. На первой стадии развития она – циклоп, а её глазное пятно позволяет ей определять направление на источник света. В половозрелом возрасте появляются два глазных придатка. Возникает вопрос: зачем артемии, не являющейся хищником (который добывает корм охотой) эти два глаза? Специалисты считают, что в ходе эволюционного процесса, переход от одного глаза к двум не был внезапным и скачкообразным – были и промежуточные стадии. *Artemia salina* – это промежуточное звено между миром растительноядных циклопов (копепод) и миром плотоядных хищников, примером которых может быть криль.

И всё же, какие функции выполняет пара глаз у *Artemia salina*, которая в экстремальных условиях среды является единственным представителем царства животных? Примем во внимание, что артемия добывает себе корм путём фильтрации воды, из которой она извлекает, кроме фитопланктона, ещё и бактерий и частички органического вещества. Итак, у артемии нет ни врагов, ни конкурентов. Возможно, что артемия поедает и *Fabrea salina*? Однако это к настоящему времени надёжно не установлено.

На шкале эволюции, после постоянного зоопланктона как, например, *Artemia salina* и криль, следуют рыбы и ракообразные (креветки, омары и т.д.), личиночные стадии которых пребывают в составе временного

зоопланктона. Изучение под микроскопом яиц этих животных выявило наличие глазного пятна, сохранившегося от далёких предков. У некоторых креветок глазное пятно обнаруживается на начальной стадии их развития и затем, через 36 часов, появляются два глаза. Однако большинство креветок и лангусты выходят из яйца сразу с двумя глазами, но глазное пятно у них также обнаруживается, хотя оно и представляется бесполезным.

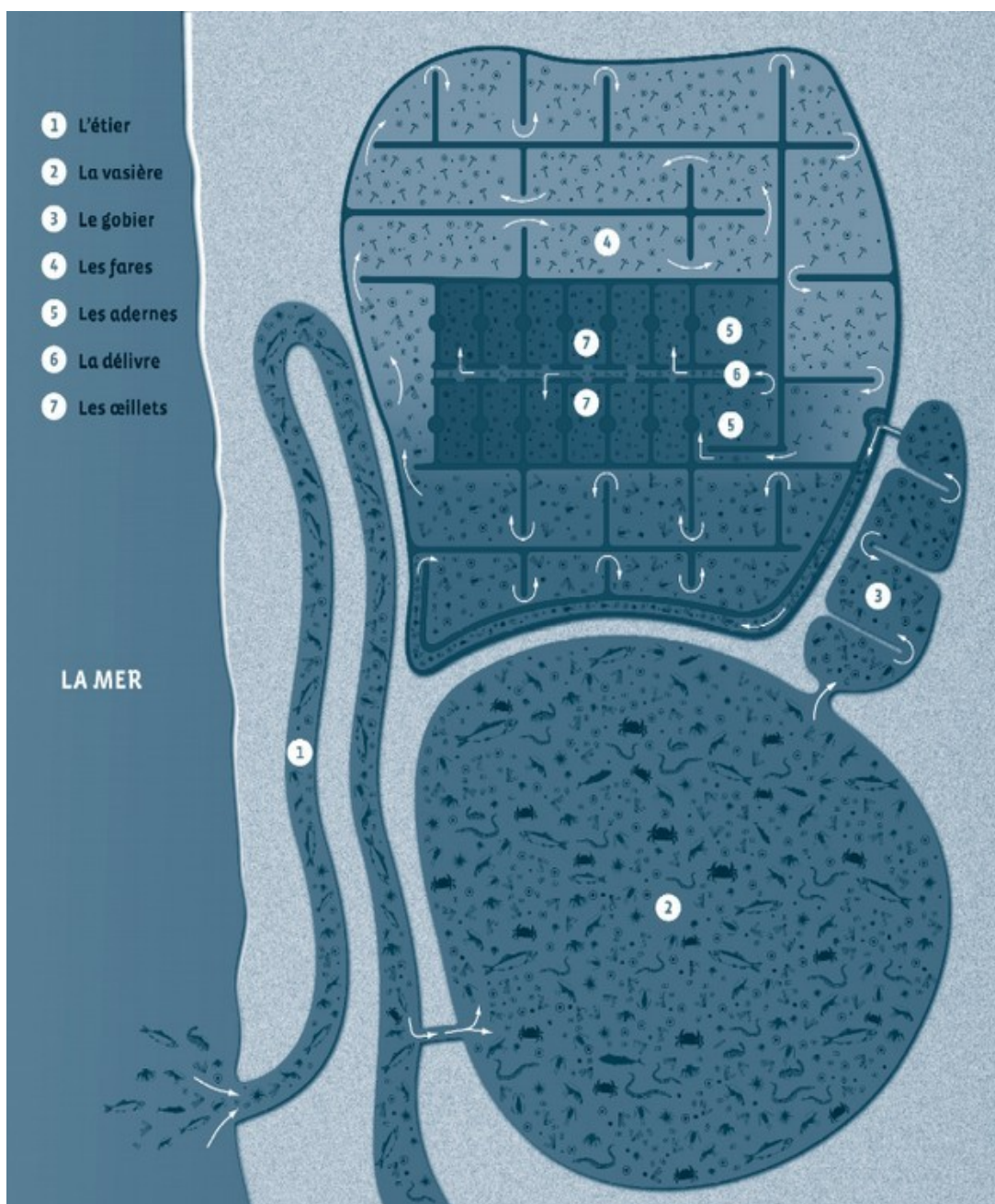
Рудименты наблюдаются и у людей. Например, выступ внизу спины, представляющий собой остаток редуцированного хвоста.

Ещё не вечер!

Артемия - чрезвычайно выносливый зоопланктёр, способный существовать в экстремальных условиях. Благодаря артемии жизнь проникла в наиболее суровые участки, например, в солёные болота и расположенные там салины. Принцип функционирования салин очень прост: выпаривание морской воды с целью извлечения из неё соли. Весь процесс состоит из заполнения верхнего бассейна-накопителя морской водой во время высокого (сизигийного) прилива. Затем из накопителя вода самотёком протекает через последовательность бассейнов, расположенных ниже. Все бассейны вырыты в грунте, имеют прямоугольную форму, причём глубина каждого последующего бассейна меньше, чем предыдущего. Скорость протока через бассейны регулируется задвижками, а концентрация соли возрастает от верхнего бассейна к нижнему. В самом нижнем бассейне происходит кристаллизация соли.

По мере возрастания концентрации соли в бассейнах биоразнообразие планктонных сообществ понижается. В нижнем бассейне, где концентрация соли превышает 200 грамм соли на литр воды, биоразнообразие исчезает: отсутствуют диатомовые водоросли и копеподы. Остался только один представитель животного мира - *Artemia salina*, который, по причине отсутствия хищников, интенсивно размножается. Процветание артемии обеспечивают микроводоросль *Dunaliella salina* и протозоа *Fabrea salina*. Эти три вида формируют в гиперсолёной воде экосистему, устойчивую на протяжении всего сезона добычи соли.

В течение сезона, вследствие продолжительного летнего испарения, бассейн-кристаллизатор покрывается кристалликами соли. При возрастании концентрации соли до 300 г/л вода становится для артемии непригодной и рачок гибнет, но не исчезает! Дело в том, что при достижении высоких концентраций соли в воде артемии начинают усиленно размножаться, точнее, они вымётывают огромное количество яиц с особенно прочной скорлупой,



© G. Jublin (schéma téléchargeable sur www.eclm.fr)

Рис. 12. Планктон в салине. Объяснение терминов:

L'étier – большой канал, по которому поступает вода во время сизигийных (больших) приливов. Поступающая вода заполняет бассейн - накопитель, глубиной 1- 2 м.

La vasière – отстойник, в котором взвешенные в воде частички оседают на дно.

Le gobier – отстойник, в котором оседает оставшаяся тонкая взвесь

Les fares – лабиринт, через который проходит вода, нагреваясь и испаряясь (глубина 6 – 10 см).

Les adernes – бассейны с водой высокой солёности (глубина 4 – 8 см). Здесь вода окончательно очищается от взвеси.

Le délivre – маленький канал для воды с высокой солёностью (250 г/л)

Les œillets – кристаллизаторы – маленькие бассейны, в которых кристаллы соли выпадают в осадок (глубина 2 – 6 см). Осевшая соль периодически изымается.

способной выдерживать, при опускании на грунт, высокую солёность воды вплоть до момента наступления нормальной солёности. Таким образом, солёные болота, даже в высохшем состоянии, не представляют собой пустыню. Если вода и кажется безжизненной, в действительности жизнь присутствует: дуналиэлла развивается в слое кристаллов соли, окрашивая её в красивый оранжевый цвет, а яйца артемии, сформировав цисты, дожидаются в илу лучших дней.

Союз человека и болот

Профессия палюдье (paludie – добытчик соли) не заключается только в сборе соли, но, прежде всего, в поддержании всей системы бассейнов, включая протоки воды, в надлежащем состоянии. В конце зимы палюдье очищает от осадков и мусора дно каждого бассейна, проверяет и исправляет наклоны дна, проверяет протоки и ремонтирует задвижки, а также борта бассейнов. В конце весны открывают задвижки, соединяющие систему с морем. Вода поступает из бассейна-накопителя в систему бассейнов и начинается процесс испарения воды. Конечный этап движения воды – бассейн кристаллизации соли. Ширина этого бассейна: 4-5 метров, а глубина – 5 сантиметров. С помощью специального приспособления: большого деревянного скребка с рукояткой длиной 5 метров, палюдье сгребают кристаллы соли, собирая их в небольшие кучи возле бассейна. В течение нескольких дней вода стекает из куч и просушенную соль собирают в большие кучи, из которых она транспортируется в ангары на хранение.

Осенью палюдье возвращает всю систему морю. В бассейны заходит молодь рыб, где она кормится обильным планктоном и, особенно, артемией. Добыча соли – это рискованная профессия. Результаты зависят от погоды, особенно на атлантическом побережье, где добыча соли может измеряться тоннами, но может оказаться нулевой. Не только солнце участвует в процессе – на интенсивность испарения оказывает влияние и ветер. К тому же из-за жёсткой конкуренции с промышленной добычей соли, многие палюдье были вынуждены закрыть своё производство. На возобновление традиционной добычи соли из морской воды повлияли растущие потребности населения в «натуральных продуктах». Именно таким потребностям и отвечает обогащённая микроэлементами соль, добываемая в салинах. Добыча соли не нарушает экологию, а салины хорошо вписываются в прибрежный пейзаж.

Артемия во все сезоны

В течение части годового цикла, когда палюдье добывает соль, биоразнообразие в бассейнах салины сокращается. Но зато, после получения «урожая», когда задвижки открываются для затопления салины, море возвращается в свои временно утерянные пространства. Вместе с морем возвращается и жизнь во все бассейны, в том числе и в кристаллизаторы. Из яиц артемии, покоившихся в иле, выходят многочисленные личинки, которые, в свою очередь, быстро взролеют и размножаются. Заходящие в салины рыбы и ракообразные, находят там обильную пищу.

Многочисленный зоопланктон – это невидимая сторона солёных болот, особенно летом, когда создаётся впечатление о практически полном отсутствии жизни в болотах, где различные болотные пернатые выедают планктон. Однако в действительности солёные болота – это «природные кладовые жизни» для смежных биотопов. Благодаря постоянному уходу и поддержанию работы системы протоков, в салинах процветает фито- и зоопланктон. Этот планктон выносится в море и попадает на морские фермы, где становится доступным для объектов выращивания. Выращиваемые на фермах моллюски вымётывают массы яйцеклеток, превращающихся в личинок, которые, в свою очередь, становятся кормом для рыб и ракообразных, то есть морских биоресурсов.

Всегда результативное размножение

Размножение *Artemia salina* проходит довольно интенсивно и, представляется, что оно всегда результативно, несмотря ни на что. В случае полового размножения, при спаривании самец прикрепляется к карману самки с помощью своих кривых ножек и остаётся в таком состоянии в течение нескольких дней. После оплодотворения самки могут быть живородящими, если среда благоприятна, и могут производить уже сформировавшихся личинок – науплисов (по 200 науплисов в минуту). В неблагоприятных условиях самки становятся яйцекладущими и откладывают яйца с плотной оболочкой – цисты, способные выдерживать жёсткую засуху, высокую солёность, экстремальные температуры. В этих случаях эмбрион задерживает своё развитие на длительные периоды, иногда на несколько лет.

Представители некоторых видов животных могут размножаться партеногенетически. В этом случае только самки участвуют в размножении, но они не способны образовывать цисты. Однако в критических ситуациях появляются самцы, и происходит половое размножение. Только в этом случае самки могут производить цисты.

При наступлении благоприятного периода (возвращение воды), цисты размокают, и зародыши начинают своё развитие. Инкубационный период длится 24 -72 часа, после чего из яиц выходят науплиусы, которые в течение 5-8 часов остаются прикрепленными к скорлупе. В этот период они потребляют запас питательных веществ, содержащихся в желточном мешке. После выклева длина артемии (науплиуса) достигает четверти миллиметра (250 мкм). Затем артемия проходит несколько личиночных стадий развития (науплиус, метанауплиус и малёк) и становится взрослой особью длиной 10-15 миллиметров. Развитие артемии от выклева и до взрослой стадии происходит в течение 20-25 дней. Продолжительность жизни артемии измеряется несколькими неделями.

Способность *Artemia salina* откладывать своё рождение посредством образования цист идеально подходит для аквакультуры, в частности при полноциклическом выращивании рыб, то есть при выращивании рыб от икры до взрослой стадии. Очень желательно, чтобы каждая личиночная стадия получала живой корм, размеры которого не должны превышать размеры рта личинки рыбы. Цисты, благодаря малой продолжительности их инкубации, позволяют точно программировать выклев личинок. В зависимости от размеров личинок рыб, им выдаются науплиусы разного возраста: начиная от выклева и до двух суток. Науплиусов кормят белково-липидным кормом (высушенными микроводорослями, например, спирулиной). Простота использования, а также высокие кормовые качества *Artemia salina* сделали её наиболее предпочитаемым кормом в питомниках всего мира, занимающихся выращиванием рыбы и ракообразных. К тому же сохранность яиц артемии вне воды в течение нескольких лет, лёгкость их транспортировки способствуют их коммерциализации. Отметим, что существует огромный спрос на этот продукт. Действительно, аквариумисты всего мира используют яйца артемии, так как это очень выгодно: 1 грамм «порошка» содержит 300 000 яиц, следовательно, 300 000 науплиусов. Производители цист работают по всему миру: США, Бразилия, Азия, Испания и т.д. Во Франции основные места заготовок яиц артемии – это солины Юга и Запада.

Выращивайте артемию

Artemia salina – это животное, выращивать которое очень легко. Купив яйца артемии (цисты) в магазине, торгующем аквариумными рыбками, приступают к приготовлению воды. Годится и водопроводная (желательно отстоянная) вода при температуре 20 – 32°C, которую нужно сделать солёной, с концентрацией соли 33 грамма на литр (4 чайных ложки морской

соли). В солёную воду помещают цисты артемии, подключают микрокомпрессор. Науплии появляются в зависимости от температуры воды через 1- 5 суток. Кормят науплиусов порошком из сухих микроводорослей. Для вылова артемий (или их науплиусов) устанавливают источник света вблизи сосуда с артемиями. Животные собираются у освещённой стенки, откуда их вылавливают с помощью сифона.

Жизнь – путешествие

Почему зелёные микроводоросли или мельчайшие животные неожиданно заселяют бассейн с водой, установленный на нашей даче? Каким образом, тот или иной вид появляется в воде, где он размножается и затем заселяет и другие места? Говоря иными словами, каким образом жизнь совершает путешествия? Ветер и мельчайшие капельки переносят микроорганизмы, которые, в случае удачного «приземления», размножаются в новом местообитании. Птицы и даже пыль также могут быть переносчиками жизни. Например, птицы способны переносить на своих крыльях микроводоросли, икринки рыб и т.д. Водоплавающие и болотные птицы откармливаются на болотах, затем перелетают, неся на оперении яйца *Artemia salina*, на другие пруды, где эти яйца смываются водой. Но в этих прудах к лапкам птиц могут прилипнуть икринки рыб, которые будут перенесены в новые водоёмы. Такими путями жизнь расселяется по всем водоёмам.

Устойчивые, но не к ядам

Artemia salina заселила прибрежные зоны океана и морей, однако она очень чувствительна к качеству прибрежных вод. Главная опасность для зоопланктона кроется в гербицидах, пестицидах, инсектицидах. Химические препараты часто используются для борьбы с комарами в прибрежных болотах, как например в Южных Салинах Камарга (Salins du Midi en Camargue). К сожалению, эти химические препараты, уничтожая насекомых, уничтожают и артемию. И даже если артемия иногда выживает, то яйца гибнут. Обычно эмбрионы защищены плотной скорлупой, которая разрушается химическими препаратами. Яйца с нарушенной скорлупой и сорбированными на ней препаратами собираются заготовителями и попадают в бассейны питомников. Инсектициды переходят из яиц в воду бассейнов, убивая личинок выращиваемых рыб и креветок. В итоге гибнет вся выращиваемая молодь. Яйца артемии продаются и заготавливаются повсюду в мире (США, Европа, Китай, Вьетнам и т.д.). В некоторых странах

яйца заготавливаются, сортируются и экспортируются без санитарного контроля, что представляет для покупателей угрозу отравления пестицидами, ДТТ и прочими ядами. Таким образом, кроме уничтожения популяции *Artemia salina* в морских болотах и нарушения равновесия в местных планктонных сообществах, данные химические продукты могут невольно оказаться на другом конце планеты и нанести вред в её удалённых уголках!

В солёных болотах *Artemia salina* процветает благодаря работе соледобытчиков, создающих идеальные условия для её роста и размножения. Но в периоды, когда солины не функционируют и человек покидает болота, в экосистеме происходят коренные изменения. Морская вода не поступает в бассейны, которые постепенно заполняются дождевой водой, несущей гибель артемии. Она вынуждена откладывать цисты в ил. Поверхность воды покрывается флорой, а фауна изменяется: фламинго, цапли, морские кулики замещаются птицами пресных вод – утками, водяными курочками, лысухами и т.д. И наконец, не размножающиеся в морской воде комары, обильно заселяют неподвижные пресные воды. В новых условиях *Artemia salina* терпеливо ждёт изменений к лучшему!

После соли ... комары!

В некоторых прибрежных туристических районах возможности туризма в значительной степени ограничивают морские болота. Это происходит вследствие прекращения добычи соли и заполнения солин пресной водой, появления зарослей камыша и осоки. Создаются идеальные условия для развития комаров. Но комары и туризм не совместимы, поэтому разворачивается химическая борьба, иными словами, повторяющиеся загрязнения с риском нанесения ущерба морской прибрежной экосистеме (цветение воды, массовая гибель некоторых гидробионтов). Страдают и морские фермы, выращивающие моллюсков. Предельно допустимые концентрации (ПДК) токсичных веществ в мясе моллюсков оказываются превышенными, вследствие чего вводится запрет на реализацию моллюсков.

Однако существует и другое решение проблемы. При прекращении добычи соли, все каналы, ведущие к морю, должны быть открыты. Это своего рода, биологическая борьба, которая потребует некоторых усилий и небольших финансовых затрат. Но она очень проста, эффективна, экологична и естественна. И что особенно важно, позволяет избежать непредвиденных последствий, ликвидация которых может потребовать больших финансовых затрат.

Глава 6

Криль

Krill – это норвежское слово, придуманное китобоями и переводимое как «пища китов». В повседневном языке криль называют холодноводными «креветками», которыми питаются киты. Однако, в действительности криль – это родовое название, объединяющее 85 видов мелких ракообразных семейства эвфаузиид (Euphausiidae), куда входит и знаменитый антарктический криль *Euphausia superba*, населяющий Южный Ледовитый Океан и *Meganystiphanes norvegica* из Арктики и Северной Атлантики. Криль - это планктонная пища усатых китов. Крилем также называют многих представителей мизид, населяющих прибрежные воды умеренного пояса.

Необходимое звено в трофических сетях

Представитель зоопланктона солёных и солоноватых вод – криль присутствует на всех широтах и во всех морях мира. Эвфаузииды самые крупные и самые распространённые (как, например, *Euphausia superba*) в холодных водах, прилегающих к полюсам, где они образуют огромные скопления, занимающие сотни квадратных километров. В тропических и умеренных поясах обитают сравнительно мелкие ракообразные *Meganystiphanes norvegica*, которые встречаются и в мангровых зарослях африканского побережья, в Средиземном море и у берегов Бретани (Франция). Большинство видов мизид живут в морях, но встречаются и в пресных водах, особенно в эстуариях и болотистых водоёмах умеренного пояса, где они создают поля с высокой плотностью, привлекая рыб и птиц.

Количественно, после копепод, криль относится к наиболее многочисленным животным планеты. В океане только десятков видов представителей эвфаузиид формируют один из самых значительных запасов животного белка на планете. Самым процветающим видом на Земле можно считать *Euphausia superba*, насчитывающий 600 000 миллиардов индивидов. Киты совершают периодические миграции к полюсам с целью использования этого сезонного ресурса, который они отфильтровывают из воды, содержащей несколько десятков миллиардов особей в кубическом метре. Потребляя по несколько тонн криля в сутки, гигантские морские

млекопитающие используют огромные количества зоопланктона, обилие которого обеспечено богатством и разнообразием фитопланктона, процветающего благодаря биогенным солям, растворённым в воде. Таким образом, киты – это показатели богатой жизни, распространившейся под поверхностью океана. Можно сказать, что киты – это только верхняя часть айсберга этой жизни.

Криль - главный кормовой объект не только многочисленных усатых морских млекопитающих. Крилем также питаются кальмары, пингвины, другие морские птицы, тюлени и многие морские млекопитающие (дельфины, касатки, кашалоты). Криль предпочитают и крупные рыбы (тунцы, лососи, меч-рыба и т.д.). В Атлантике ключевая роль в морской экосистеме принадлежит *Euphausia superba*. Это мелкое ракообразное необходимо китам, которые заглатывают рачков десятками миллионов тонн в год. Также *Euphausia superba* необходима и некоторым тюленям, например, тюленю крабоеду, рацион которого на 98% состоит из этого вида. Предпочитают этот корм и многочисленные морские птицы, населяющие Антарктиду, например, 36 миллионов пар, гнездящихся на острове Южная Георгия. Если артемия является ключевым видом, населяющим водоёмы с высокой солёностью, так и криль – это ключевой вид холодных вод. Представляется, что оба вида созданы для того, чтобы послужить пищей для жизни в экстремальных условиях.

Криль потребляется на всех этажах морской пищевой пирамиды: от самых крупных млекопитающих и до рыб, включая тюленей, дельфинов, пингвинов, акул, гигантских скатов и т.д. Несмотря на небольшие размеры, криль, за счёт своей высокой численности, стал важнейшим звеном морской пищевой цепи. Криль, также как и копеподы является важным переходным элементом от растительного мира к животному.

Этап в эволюции

Этот маленький рачок, своим внешним видом, напоминающий креветок, в действительности ими не является. Криль считается представителем постоянного зоопланктона, пассивно дрейфующим в толще воды (хотя, в действительности он способен активно перемещаться со скоростью до 60 см в секунду). У креветок только яйца и личинки относятся к планктону (временному). Будучи взрослыми, креветки, покидают планктон, становясь активными пловцами, способными противостоять течениям. Создаётся впечатление, что криль прекратил своё развитие на личиночной стадии *mysis* (откуда произошло название «мизиды»), заняв одну из последних ступенек

эволюции ракообразных - представителей постоянного зоопланктона. Каждый вид вносит свой вклад, для того, чтобы последующие существа могли появиться и эволюционировать дальше. Так и криль передал свои главные достижения, позволившие ракообразным совершить переход во временный планктон, включающий и крупных ракообразных.

В эволюционном развитии криль пошёл дальше копепод - изобретателей непарного глаза и даже дальше *Artemia salina*, обладательницы парных глаз. Криль добавил ко всем перечисленным преимуществам ещё и твёрдый панцирь. Этот экзоскелет, состоящий из хитина, покрывал голову и первые сегменты грудного отдела, но жабры были открытыми. Криль наделён парой антенн и двумя большими чёрными глазами; следы глазного пятна сохраняются, хотя оно стало бесполезным. На уровне груди непрерывно работают антеннулы, снабжённые щетинками, отфильтровывающими корм. На его продолговатом брюшке имеются пять пар ножек без клешней (в отличие от креветок). Эти ножки находятся в постоянных координированных движениях, удерживающих тяжёлого криля в толще воды, на что тратится 40% всей потреблённой с пищей энергии. Тело криля прозрачно, пигментировано красными точками и, как правило, обладает биолюминесценцией, что придаёт рачку красивый вид, объясняющий его название - *Euphausia superba*. Его пищеварительная система, благодаря прозрачности тела, хорошо видна и окрашена в зелёные, красные или коричневые тона в зависимости от цвета перевариваемой пищи. Средний вес одной особи – 2 грамма, продолжительность жизни составляет несколько лет, в отличие от копепод, живущих всего несколько недель.

Морфология и размеры особей, входящих в группу «криль» варьируют в разных географических зонах. Например, в Северной Атлантике эвфаузида *Meganyciphanes norvegica* достигает 6-7 мм, имеет сравнительно мягкий панцирь, а её силуэт напоминает латинскую букву S. Близкородственный вид *Euphausia superba*, живущая у Южного полюса, имеет размеры 5-7 см, жёсткий экзоскелет и ровное тело. Мизиды (*Mysidae*) отличаются от эвфаузиид (*Euphausiidae*) мелкими размерами и мягким панцирем. Более того, они живут преимущественно у дна, причём представители некоторых видов закапываются в грунт, а по ночам мизиды поднимаются к поверхности.

Цвет криля также зависит от района обитания. В холодных водах Арктики и Антарктики криль в большинстве своём красного цвета, потому что он там питается диатомеями, богатыми каротиноидами, а также и копеподами, образующими в тех водах огромные скопления. Мясо рыб, например, лососевых, питающихся крилем, окрашено в розовато-оранжевый

цвет. В прибрежных водах умеренного пояса, а также в районе мангровых зарослей, растительный планктон разнообразнее (диатомовые, хлорофитовые и т.д.) и он содержит больше хлорофилла, чем каротиноидов. Окраска копепод и криля зависит от пигментного состава микроводорослей.

В поисках диатомей

В зависимости от видовой принадлежности, возраста и особенностей среды обитания, криль бывает растительноядным, плотоядным, либо имеет смешанное питание. В процессе развития криля, личинка вначале питается микроводорослями, преимущественно диатомовыми. Затем размеры рта быстро увеличиваются, и криль переходит на питание копеподами. Взрослые особи адаптируются к пище, доступной в данный сезон: фитопланктон, либо копеподы, либо неживое органическое вещество (детрит).

В летний сезон криль питается в основном фитопланктоном, образующим большие биомассы. В это время криль формирует огромные скопления, способные перемещаться и против течения, отфильтровывая при этом частички живого и мёртвого органического вещества. Используя активное плавание и перенос течениями, скопления постоянно перемещаются, иногда на большие расстояния с целью поиска предпочитаемой пищи: диатомей. В Антарктике поля *Euphausia superba* занимают по несколько сотен квадратных километров. В дневное время они хорошо заметны в виде гигантских красноватых пятен, простирающихся под поверхностью океана. Ночью они флюоресцируют, сверкая искрами под поверхностью океана. Киты следуют за перемещениями мелких зоопланктёров, проглатывая ежедневно по несколько тонн рачков, указывающих морским гигантам пути миграций! Для избегания усов гигантских млекопитающих, «стада» криля опускаются днём на глубину и поднимаются ночью в поверхностные слои для питания фитопланктоном, размножившимся в течение дня. Вертикальные перемещения огромных масс криля способствуют перемешиванию глубинных и поверхностных водных масс.

Зимой биомасса фитопланктона снижается до минимума, криль изменяет тип своего питания, переходя на потребление яиц, личинок и детрита. Для выживания он даже может поедать своё потомство. В течение голодного периода эти мелкие рачки собираются под плавающим льдом для поиска фитопланктона. С помощью своих грудных ножек они скоблят нижнюю поверхность льда, для сбора микроперифитона. В голодный сезон криль худеет, а его тело уменьшается. Некоторые виды, входящие в группу

«крыль», в это время линяют, уменьшая размеры панциря. Однако, при этом, размеры глаз не уменьшаются, а соотношение размеров глаз и тела может свидетельствовать о характере обеспеченностью пищей. С наступлением лета крыль снова откармливается на богатом фитопланктоне. Тело рачка растёт, поэтому он линяет и покрывается более крупным панцирем. В условиях обильной пищи наступает период размножения.

Коллективное поведение

Многие виды крыля демонстрируют коллективное поведение, связанное с поиском полей богатых фитопланктоном. В холодных водах, находясь в крупных объединениях, *Euphausia superba* движется весной и летом в направлении больших концентраций микроводорослей, что приводит к образованию плотных скоплений (крылевых банок). В Антарктике, в проливе Жерлаш — (*пролив вдоль побережья Антарктиды между архипелагом Палмера и Антарктическим полуостровом около 185 км в длину и от 9 до 40 км в ширину. Википедия*), банки крыля достигают 2 миллионов тонн и занимают площадь 450 км², при этом, в течение нескольких дней они сохраняют компактность. Эти банки перемещаются вокруг Южного полюса, и представляют собой гигантские запасы корма для живущих там плотоядных животных. В водах Сен-Лоран (Канада) крыль собирается в облака, длиной до нескольких километров и толщиной в 100 метров. Эти «облака» входят в канал Лорантьен (Laurentien) и поднимаются по нему до Тадуссак (Tadoussac), где происходят ежегодные встречи с китами и белухами. В Средиземном море перемещения крыля также определяются развитием фитопланктона. Так, в бухте Калви (Calvi) рачок *Meganycitiphonas norvegica* в марте подходит к поверхности, где держится в течение нескольких дней. Такое поведение крыля вызвано мощным развитием диатомовых водорослей, которых он выедает почти полностью. При этом значительную часть крыля волны выбрасывают на пляжи, где его поедают птицы.

Размножение *Euphausia superba*

Антарктический крыль достигает половой зрелости и начинает размножаться в возрасте двух лет. Период откладывания яиц длится от конца весны и до середины лета. Интенсивность размножения зависит от состояния кормовой базы и достигает, при хороших условиях, семи кладок в год. В процессе размножения, самец прикрепляет мешок со спермой (сперматофор)

к отверстию генитального органа самки. Самка выпускает в воду от 6000 до 10000 яиц, которые тут же оплодотворяются спермой из сперматофора.

Диаметр яйца 60 мкм, вымет и оплодотворение яиц происходят вблизи поверхности, затем оплодотворённые яйца медленно опускаются на дно, которое яйца достигнут через десяток дней. Обычно глубины в местах размножения криля находятся в пределах 500 – 3000 метров. Во время оседания яйца на дно, в нём происходит развитие зародыша. После выклева из яйца, науплиусы, с помощью трёх пар ножек, постепенно поднимаются к поверхности. В течение первых трёх недель личинка проходит через две первые личиночные стадии (науплиус и метанауплиус), которые питаются запасами желточного мешка. Дальнейшее развитие проходит через ряд этапов (зоеа, мизис), во время которых появляются дополнительные ножки, глаза и щетинки. При достижении длины тела 15 мм, внешний вид молодки не отличим от взрослой особи. Через 2-3 года рачки достигают дефинитивных размеров (5 см) и становятся половозрелыми.

Как и большинство ракообразных, криль линяет на протяжении своего роста. Каждые две или три недели он формирует новый хитиновый экзоскелет. При этом старый панцирь остаётся снаружи. Как уже говорилось, у некоторых видов может наблюдаться и обратный процесс, когда линька происходит с целью уменьшения размеров тела. Кроме этого, в случае угрозы, иногда, чтобы обмануть хищника, криль линяет внезапно, оставляя позади себя пустой экзоскелет.

Во время южного лета, множество маленьких рачков поднимаются в верхние слои Южного ледовитого океана и, до завершения своего роста, присоединяются к огромным скоплениям *Euphausia superba*. К концу зимы, киты совершают миграции протяжённостью 6000 – 8000 км в эти холодные воды для поиска облаков криля, с общим весом в миллионы тонн. Синий кит поедает в день до 5 тонн криля. Но это фантастическое обилие ... не интересует никого, кроме китов.

Концентрат наилучших качеств

Вид *Euphausia superba* обладает исключительными питательными качествами. Кроме высокого содержания белка и омега-3 жирных кислот, он содержит мощный антиоксидант (астаксантин) и целый склад витаминов (В, Е, D), минеральные соединения и микроэлементы (йод и др). Хитин, содержащийся в панцире, является органическим веществом, близким к целлюлозе, и используется он в медицине при восстановлении кожи на обожженных участках. Другая важная особенность *Euphausia superba* – его

положение в начале пищевой цепи, а это значит, что концентрация тяжёлых металлов и других токсикантов в криле гораздо ниже, чем в крупных жирных рыбах (лососи, тунцы), которые, будучи хищниками, накапливают токсиканты, содержащиеся в поедаемом криле.

Неизвестные сокровища

Соотношение поверхности и объёма у мелкого криля – высокое, соответственно вклад веса панциря в общий вес рачка также высокий, что означает, что криль, особенно мелкий, содержит много хитина. Хитин входит в состав не только ракообразных, но и в состав кожи человека. Японцы используют хитин для изготовления искусственной кожи в виде очень тонких листов, с помощью которых они лечат ожоговые раны. Подобная методика используется и в репаративной хирургии. Таким образом, панцири криля и креветок могут иметь и коммерческий интерес, о чём практически не известно. Одна бретонская организация (Франция) планирует использовать панцири зелёных крабов и креветок для производства хитина. В странах Африки и Азии вылавливают большое количество ракообразных, панцири которых выбрасываются, не зная при этом, что почти чистый хитин отправляется на свалку. В принципе, можно было бы больше зарабатывать на панцирях, чем на мясе креветок!

Аналогично, в некоторых портах Азии мусорники заполнены другим сокровищем – аномиями (*Anomia*). Это мелкие моллюски, раковинки которых внутри покрыты перламутром, иногда встречаются на пляжах Франции. Но в Азии *Anomia* – это крупный и массовый моллюск, содержащий чистый перламутр, который можно было бы использовать при лечении переломов костей.

Криль входит в список новых ингредиентов, признанных Европейским Союзом. Крилевый жир сегодня продаётся в аптеках и в магазинах экологически чистых продуктов в виде желатиновых капсул и пищевых добавок со многими полезными свойствами: противовоспалительное, предупреждающее сердечнососудистые заболевания, ослабляющее предменструальный синдром и т.д. Причём спрос на такие препараты постоянно растёт. Ближайшим этапом, несомненно, будет разработка технологии производства продуктов питания из мяса криля, со вкусом и ароматом креветок. В течение последних нескольких лет криль используется в аквакультуре в качестве корма для лососей, а мука из криля придаёт мясу рыбы красивый оранжевый цвет.

Крилевый жир, питательная ценность и свойства

Криль – это ценнейший естественный источник белков, жирных омега-3 кислот, мощных антиоксидантов, фосфолипидов, высокоактивных пищеварительных ферментов, незаменимых аминокислот, витаминов, минералов и микроэлементов. Главный антиоксидант крилевого жира – астаксантин, относящийся к каротиноидам, содержится в панцире ракообразных. Он обладает протекторными (защитными) свойствами против разрушительного воздействия ультрафиолетовых лучей, а также усиливает противовоспалительные процессы. Крилевый жир защищает клеточные мембраны, повышает энергетику тела, стимулирует иммунную систему и систему пищеварения. Он также повышает способность к концентрации сознания и улучшает память, предупреждает сердечнососудистые заболевания, понижает плохой холестерин, ослабляет боли, вызываемые артритом, защищает от некоторых видов рака (рта, горла, пищевода) и сохраняет интеллектуальные функции у пожилых людей.

Другое полезное свойство криля связано с транспортом углерода из поверхностных слоёв – в глубинные. Питаясь фитопланктоном, который абсорбирует CO₂, криль выделяет экскременты, опускающиеся на морское дно на глубинах 2000 – 4000 метров. Таким образом, скопления криля выполняют функции биологического насоса, участвующего в улучшении состава атмосферы и снижении скорости потепления климата

Ставка в игре с Природой планетарного масштаба

Euphausia superba – самый массовый вид на нашей планете и один из последних неиспользуемых биоресурсов на Земле. Биомасса антарктического криля превышает 500 миллионов тонн живого вещества, что в 5 раз превосходит совокупный годовой объём выловленной и выращенной рыбы на всей планете. Центральным функциональным звеном антарктической экосистемы, как в количественном, так и в качественном смысле, является *Euphausia superba* – новый потенциальный ресурс животного белка для человека, который должен помочь удовлетворить пищевые потребности растущего населения Земли.

Первые попытки лова криля были предприняты русскими и японцами в 1970 году. Рыбаки в то время столкнулись с техническими трудностями, из-за которых вылов криля был не рентабельным. Главная трудность – небольшие размеры рачков, из-за чего для их вылова необходимо

использовать мелкочаеистые сети, трудные в обращении, а при их подъёме требуются большие затраты энергии. Кроме этого, рачки легко раздавливаются, а в их панцирях содержится слегка токсичный белок. Поэтому мясо нужно быстро отделять от панциря, иначе оно не будет пригодным для потребления человеком. Возникает проблема создания технологии переработки криля и изготовления соответствующего оборудования. Тем не менее, в тот период, кроме добычи китов, продолжали вылавливать и криль. Рачков измельчали до консистенции пасты и на её основе выпускали сурими (продукт, по консистенции, напоминающий крабовые палочки). Эти продукты, в течение короткого периода, находились в индустрии питания.

Сегодня, когда запасы крупной рыбы уже подорваны, технологический прогресс в рыболовном флоте позволяет оборудовать суда, предназначенные для вылова мелких объектов. Многие суда уже переоборудованы для лова криля. Например, норвежский траулер длиной 135 метров, может вылавливать и перерабатывать 250 тонн криля в сутки! Во время сезона 2011 – 2012 гг. рыболовный флот, состоящий из норвежских, китайских, польских, российских, украинских, корейских и японских судов промысляет в морях Антарктики, рассчитывая выловить 400 000 тонн *Euphausia superba*.

До настоящего времени криль был защищён от вылова отсутствием рентабельной технологии его промысла. Но сейчас считают, что, при значительных инвестициях, способных обеспечить огромные объёмы вылова криля, промысел криля будет рентабельным! Однако нет неисчерпаемых ресурсов и при неконтролируемом вылове, произойдёт то же самое, что уже произошло с крупными рыбами, находящимися сейчас на грани исчезновения. К тому же *Euphausia superba*, составляет фундамент антарктической экосистемы, поэтому пострадают не только киты, но и многие другие животные Южного Ледовитого Океана. Уменьшение запасов криля вызовет нехватку пищи для животных, стоящих на верхних этажах пищевой цепи и, следовательно, создаст угрозу их исчезновения.

Но возможен и другой путь, который задолго до введения запретов, должен быть приемлемым для всех участников игры. Ставка (в игре) должна учитывать не только экологию. Разумный вылов учитывает экономику, а производители судов и орудий лова, инвестирующие эту деятельность, прекрасно понимают, что рентабельность наступит не сразу. Грамотное рыболовство должно базироваться на обеспечении естественного воспроизводства объекта промысла, восстановлении запасов биоресурсов и, следовательно, на возможности устойчивой эксплуатации ресурса в течение

длительного времени. Иными словами, планируемый специалистами объём изъятия криля не должен отразиться негативно на его воспроизводстве. При этом потолок изъятия этого ресурса не должен нарушаться рыболовными флотилиями всех стран. При соблюдении этих условий, запасы криля могут стать новым ресурсом белка животного происхождения для человечества. Грамотно управляемая добыча криля может компенсировать последствия перелова рыбных ресурсов и стать одним из решений нехватки белка на планете. Без преувеличений, в ближайшем будущем станет возможным обеспечение человечества белком морского происхождения.

Криль может стать одним из главных элементов данного проекта, так как он обладает ещё одним важным преимуществом: он занимает ближайшее место у фундамента пищевой цепи. Многие исследователи объясняют, что гораздо рациональнее выбирать источник морского белка как можно ближе к растительному планктону, чем среди крупных хищных рыб, запасы которых несравнимо ниже. *Euphausia superba*, питающаяся фитопланктоном и в изобилии синтезирующая живое органическое вещество – идеальный источник белка. Даже сравнительно огромные объёмы вылова криля, составят незначительный процент от его запасов, что обеспечит его воспроизводство и не отразится неблагоприятно на состоянии популяций хищников более высокого порядка.

Опасности для криля

Хотя и представляется, что численность криля стремится к бесконечности, тем не менее, он не защищён от опасностей, угрожающих любому виду, живущему в океане. Сегодня, перелов представляет собой главную опасность для этого маленького рачка с большой добавленной стоимостью, что особенно интересует многие страны. Гипотеза о возможном исчерпании запасов в отдалённом будущем, вполне реальна, при условии повторения ошибок уже совершённых рыболовным флотом при ведении неограниченного лова новых рыбных ресурсов. Риск становится ещё реальнее, если принять во внимание потепление климата. В последние десятилетия Антарктика получила значительное и тревожное повышение температуры, вызвавшее частичное таяние льдов. Дело в том, что в зимнее время криль собирает микроводоросли, прикрепившиеся к нижней поверхности льда, а весной размножение криля происходит только в очень холодной воде. С другой стороны, потепление нарушает развитие фитопланктона (диатомей) и зоопланктона (копепод), которые перемещаются на новые участки. Возможно, что для выживания вид *Euphausia superba*

будет вынужден следовать за своим кормом, отдаляясь при этом от своих хищников. Учитывая, что население морской экосистемы прямо или косвенно зависит от криля, можно предположить, что последствия могут оказаться драматическими для всей антарктической экосистемы.

Прямое последствие парникового эффекта - подкисление воды океанов вызвано абсорбцией углерода из атмосферы поверхностными водами. Повышение концентрации CO_2 в воде изменяет значение рН морской воды в кислую сторону. Кислая среда растворяет кальций в панцирях ракообразных и моллюсков, а также панцири микроводорослей (кокколиты) и животных (птероподы, копеподы, криль). Экзоскелет омара толстый и прочный, тогда как скелет криля очень тонкий и может быстро раствориться, особенно у личинок, которые наиболее уязвимы химическими изменениями водной среды.

Южный полюс, как и остальные участки планеты, может подвергаться воздействиям загрязнений. Дискутируемая в настоящее время добыча углеводородов под ледовой шапкой станет главной угрозой для населения Антарктики. Серьёзное опасение вызывает возможная гибель криля, если фитопланктон пострадает от загрязнения акватории углеводородами.

Сегодня, несмотря на уже отмечаемые нарушения в популяциях *Euphausia superba*, ещё существует возможность сохранить этот вид. Выдвигаются предложения об организации международной комиссии, которая будет регламентировать вылов криля, а также обсуждаются предложения относительно выделения охранных зон, в которых криль сможет нормально воспроизводиться. Проходят выступления и против организации добычи полезных ископаемых, и за перенос существующих источников загрязнения из районов Южного полюса. Известно, что легче предупредить болезнь, чем её лечить. Необходимы бдительность и способность замечать серьёзные экологические нарушения, а также принимать меры к их устранению, по крайней мере, до того, как эта часть глобуса не перестанет быть неизведанным миром.

Утопия или мудрость?

Мечтать не запрещено об ... уже реализованных решениях. Согласно известным экономистам, наша планета содержит достаточно ресурсов для того, чтобы накормить всё население Земли. Стефан Эссель (Stephane Hessel), например, утверждал, что ребёнок, умерший от голода, в сущности убит. Действительно, теоретически потенциальные ресурсы существуют и, если заменить цель «достижение личной выгоды» на «благополучие

человечества», то можно увидеть, что пути достижения этой цели – многочисленны. Один из них – использование огромных запасов планктона, заселяющего все водоёмы мира.

Кроме фитопланктона, среди которого встречаются микроводоросли богатые белками (спирулина, хлорелла и т.д.), и, которых очень легко культивировать, причём всем жителям планеты, которым доступна чистая вода и солнце, также и зоопланктон можно рассматривать в качестве сырья для производства продуктов питания, при условии экологически правильной организации данного производства. В соответствии с исследованиями специалистов, ежегодно можно использовать 10% гигантских запасов криля, что безопасно для его воспроизводства и не навредит ни китам, ни другим животным, питающимся крилем. Для этого нужно будет создать добывающую флотилию, но не с целью обогащения частных инвесторов, а для производства продуктов для человечества. Рыбаками могут быть французы, азиаты, африканцы и т.д. Такое «крилеловство» соберёт людей со всего мира, международные суда и финансирование, выделяемое ООН. Эта идея вполне реализуема. Однако, к сожалению, она очень далека от рыночной идеологии, царствующей в настоящее время на всех морях и океанах.

Для решения мировой проблемы голода, выходящего за пределы отдельных стран, необходимо, чтобы народы всех стран заставили правительства услышать их волеизъявление. Примером может быть капитан Жак-Ив Кусто, которому удалось убедить подписать мораторий на 50 лет на добычу углеводородов под ледовой шапкой. К сожалению, мораторий заканчивается в 2020 году. Аналогично канадцы добились установления моратория на лов трески, запасы которой серьёзно подорваны. Можно добиться и введения правил на лов криля, которые предотвратят его исчезновение благодаря наполненным трюмам бизнесменов. Идея международного управления, регламентирующего рыболовство, должна стать необходимостью. Вылов биоресурсов должен руководствоваться идеей долгосрочного рыболовства, позволяющего ресурсам воспроизводить себя.

Планктон существует повсюду и принадлежит он всем. Сейчас уже высказывают идею рассматривать планктон как наследие человечества.

Глава 7

Медузы

Мир желетелых это особый мир, объединяющий организмов из различных систематических групп, тела которых прозрачны, что объясняется высоким содержанием воды в теле (всегда выше 95% от их веса), а также их чрезвычайной ранимостью. Последнее обстоятельство вынуждает желетелых держаться подальше от скал, дна, пляжей или рыболовных сетей, встреча с которыми может стать фатальной. Их тело напоминает мешок, сделанный из двух слоёв клеток (наружного и внутреннего) и наполненного желеобразной массой. Желетелые представлены в различных формах (в зависимости от вида) и некоторые из них снабжены щупальцами, которые могут быть жалящими.

Желетелые подразделяются на различные группы. Книд́арии (*Cnidaria*) или Стрекательные объединяют животных, рот которых окружён стрекательными щупальцами. Например, кораллы, актинии (морские анемоны), ведущие прикрепленный образ жизни (полипы) и свободноживущие желетелые, среди которых наиболее известны медузы. Плавающие желетелые живут на поверхности моря, а некоторые из них снабжены маленьким парусом, с помощью которого они перемещаются на значительные расстояния; сифонофоры – мелкие организмы носители сифонов, имеют обычно продолговатое прозрачное тело в форме колокола. Нестрекательные желетелые – это ктенофоры или гребневики (берое, мнемииопсис, пояс Венеры), плевробрахия, некоторые брюхоногие моллюски, асцидии, а также более эволюционно продвинутые, такие как аппендикулярии (мелкие, но многочисленные); сальпы, длина которых достигает нескольких сантиметров, но способных прикрепляться друг к другу, образуя цепи длиной в несколько сотен метров. В повседневном языке нередко в понятие «медуза» включают все желетелые организмы, которые к медузам не относятся.

Загадочные медузы

Кто из любителей поплавать в море среди медуз не испытывал жалящих ожогов? Их примитивное строение, одновременно и прекрасное и

отталкивающее, вызывает у нас представления о враждебных созданиях. Медуз можно обнаружить во всех морях и океанах мира, как в тёплых водах, так и в холодных, причём от поверхности и до дна. Часто они концентрируются в прибрежных водах, хотя некоторые из них населяют и открытые акватории морей и океанов. Многие виды медуз, объединившись в колонии, дрейфуют вместе с морскими течениями.

Медузы появились на планете более чем 500 млн. лет тому назад и, пережив периоды упадков, представлены в настоящее время самыми крупными планктонными организмами. Самые мелкие из них не больше ногтя, но диаметр колокола самых крупных достигает двух метров, длина их щупалец – 28 метров (*Cyanea capillata*). У медузы *Chrysaora* диаметр колокола равен 6 м, длина щупалец – 18 м. Медузы подразделяются на две группы: гидромедузы – самые мелкие, демонстрирующие большое разнообразие форм. Другая группа - сцифоидные медузы - это обычно крупные, как, например, люминесцирующая *Pelagica nocticula* с длинными стрекательными щупальцами длиной в 1 метр и диаметром колокола 6-10 см, или *Aurelia aurita*, у которой диаметр колокола достигает 40 см. Аурелия населяет многие моря планеты, в том числе и Средиземное и Чёрное моря.

Медузы на 98% состоят из воды, а их плотность близка к плотности морской воды; тело мягкое, имеет форму зонтика. С нижней стороны в центре находится рот, состоящий у некоторых видов из круглого отверстия, либо из четырёх губ, или из ротовых рук, висящих под зонтиком. С ротовым отверстием связан продолговатый желудок, продолжающийся лучевыми каналами, находящимися в желеобразной массе. Кромка тела украшена щупальцами со стрекательными клетками. Каждая стрекательная клетка включает нить с колючками, свёрнутую в спираль и погружённую в ядовитую жидкость. Как только щупальцы коснутся добычи, стрекательные клетки взрываются, высвобождая колючую нить, которая распрямляется как пружина и цепляется за добычу, впрыскивая в неё парализующий яд. Человек, ужаленный медузой, испытывает ожог, который большой опасности не представляет при условии, что яд не вызывает аллергической реакции. Однако некоторые виды медуз обладают смертельным для человека ядом, как, например, медуза *Chironex fleckeri*, от которой ежегодно в Австралии гибнет один, а на Филиппинах – 20 человек.

Самая опасная медуза

Её название - *Chironex fleckeri* в переводе означает «убивающая ладонь». Считают, что эта медуза, встречающаяся у северного побережья Австралии –

самое ядовитое животное на Земле. Её яд одновременно поражает нервную систему, сердце и кожу. Он вызывает непереносимые боли и смерть наступает через 3-4 минуты, если сразу после ужаливания не было введено противоядие. Запаса яда одной медузы достаточно для умерщвления 60 человек.

Основные медузы, живущие в Атлантике

Chrysaora hysoscella

Эта медуза известна как «медуза компас». Её зонтик украшен коричневыми рисками и напоминает циферблат компаса. Она часто встречается в поверхностных водах Бретани (Франция). Диаметр колокола 30 см, а длина щупалец достигает 2 метров

Aurelia aurita

Красивая прозрачная медуза узнаваемая по своим четырём пурпурным кольцам, хорошо видимым в прозрачном теле. Края зонтика оторочены многочисленными тонкими короткими щупальцами. Это одна из наиболее известных медуз. Аурелию обычно содержат публичные морские аквариумы и океанариумы, как в бассейнах, так и в аквариумах.

Cyanea capillata

Эту медузу называют «грива льва». Окрашена она в голубой и жёлтый цвета, а диаметр её зонтика достигает трёх метров. За зонтиком тянутся прозрачные щупальцы длиной 30 метров. Вес медузы – 20 кг.

Rhizostoma octopus

Крупная медуза голубоватого цвета, диаметром в 1 метр и весом 20 кг. Её можно назвать мирной, потому что у неё отсутствуют щупальцы, и нет даже рта для заглатывания крупной добычи. Питается она микроорганизмами, собирающимися на слизи, которую она секретирует для их лова.

Aequorea vitrina

Диаметр этой медузы 5 – 17 см. Её прозрачный зонтик содержит радиальные белые и голубые каналы, а также он несёт тонкие длинные щупальцы. Медуза населяет приповерхностный слой толщиной в несколько метров.

Медузы перемещаются благодаря ритмическим сокращениям их тела, что позволяет им удерживаться в толще воды, а также отыскивать пищу. Такой тип плавания необходим для дыхания, точнее для проникновения кислорода через наружные покровы зонтика. Как и у всех планктёров, подвижность медуз ограничена. Но, благодаря течениям, например, таким

как Гольфстрим или Эль-Ниньо, медузы могут совершать дальние путешествия. Некоторые из них выдвигаются за поверхность моря, как это наблюдается у медузы *Vellela*, тело которой выступает из воды на 2-3 см, образуя парус, с помощью которого она пересекает Атлантический океан. Однако место их прибытия заранее не определено и, иногда они попадают в неблагоприятную или даже во враждебную среду. В некоторых зонах Мирового океана разные течения взаимодействуют, образуя ринги и водовороты, втягивающие и концентрирующие морские организмы и пластиковые отходы. Принесенные течениями медузы оказываются заблокированными и перемешанными с мусором, в котором они гибнут.

Медуза под парусом

Довольно часто забавные маленькие медузки оказываются выброшенными на наши пляжи. Эти жгучие велеллы или парусницы (*Vellela velella*) окрашены в красивый голубой цвет и «оснащены» изящным парусом, выходящим из воды. Они плывут к нам из вод Мексиканского залива, пересекая Атлантику, с попутными ветрами и течением. Их прибытие к европейским берегам означает, что на протяжении последних 3-4 недель дул устойчивый западный ветер, а также устойчивым было и течение.

В некоторые годы, когда медузки заполняют наши прибрежные воды, можно считать, что они свидетельствуют о постоянстве ветров и течений. Но такие идеальные метеоусловия складываются не часто, поэтому межгодовые распределения медуз вдоль европейских берегов сильно разнятся. Маленьких парусниц можно считать хорошими курантологическими индикаторами, то есть показателями состояния течений!

Питаться и размножаться

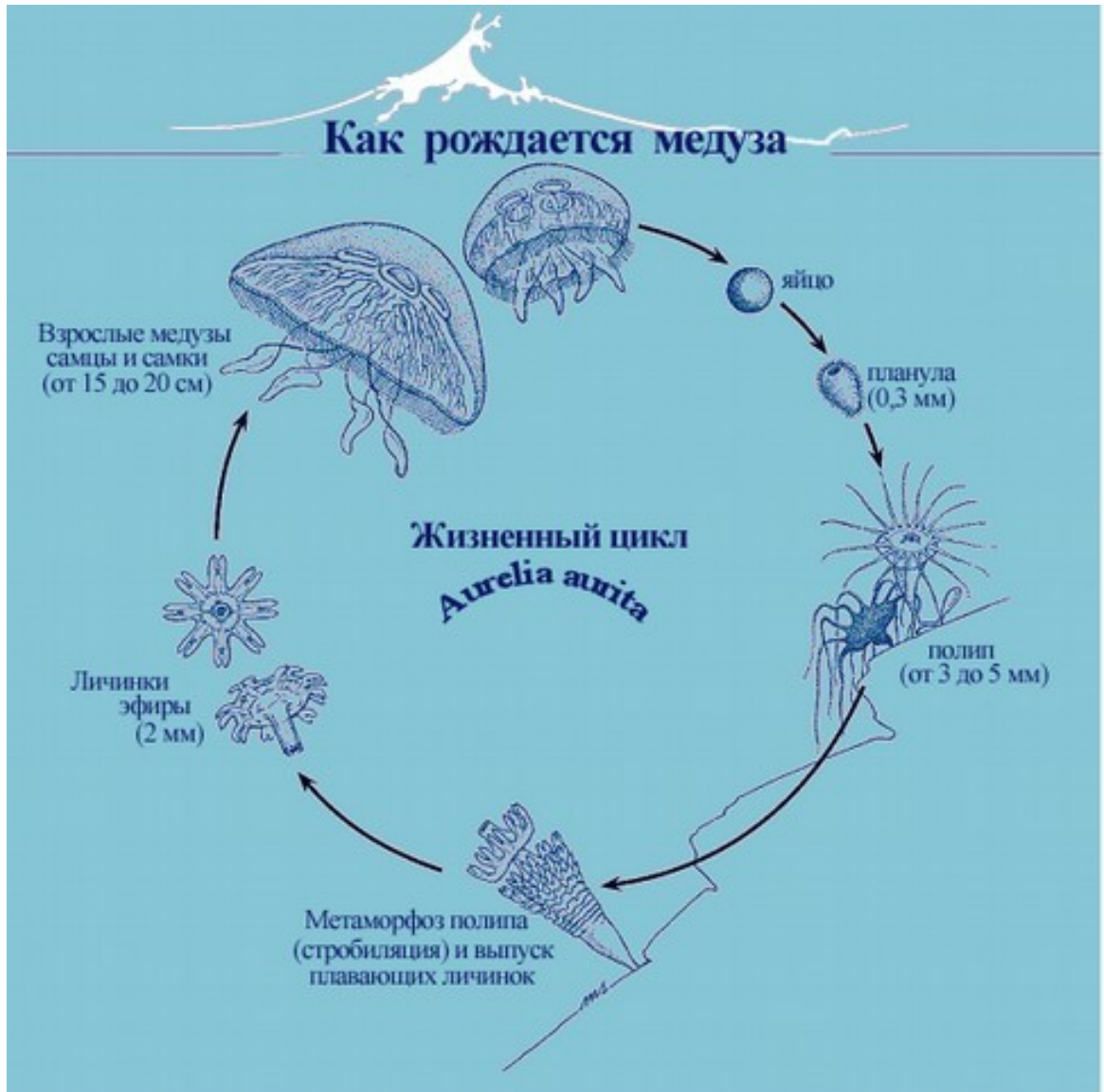
Перемещения медуз направлены на поиск пищи. Судя по их морфологии, можно заключить, что они могут использовать свои жалящие щупальцы для поимки пищи или, если медуза имеет вибрирующие реснички, она образует постоянные токи воды, направляющие пищу под зонтик. Её меню состоит, как правило, из копепод, из яиц и личинок рыб и ракообразных, морских червей, а также из мальков и мелких рыб, которые втрое могут превосходить по размерам медуз. В последнем случае медуза, во избежание ранений должна обездвигивать жертву на расстоянии, что она делает с помощью щупалец и стрекательных органов. Жертва парализуется и затем подтягивается ко рту. Пищеварительные ферменты очень мощные и

пищеварение протекает быстро. Переваренная масса попадает в радиальные каналы и распределяется по всему организму. Медуза ест и переваривает всё, что ей удаётся захватить. У некоторых видов пищеварение протекает непрерывно, как в дневное время, так и ночью, потому что они не наделены системой блокирующей их аппетит. Ночью биолюминисцирующие медузы, например, *Pelagica nocticula* излучают свет, привлекающий добычу.

Другой способ питания наблюдается у мелких паразитических медуз – наркомедуз. Их личинки развиваются под зонтиком другой медузы, которой они понемногу питаются, а потом её покидают, продолжая расти и добывать корм самостоятельно. Медуза, пострадавшая от паразитов, может регенерировать утраченные ткани, при условии, что она не слишком пострадала от паразитов. Но часто она гибнет, так как с утраченным эпидермисом она не может противостоять внешним воздействиям.

В голодные периоды некоторые виды медуз могут «потреблять» собственные репродуктивные клетки, которые в благоприятные периоды восстанавливаются. Существуют и виды каннибалы. Цель медуз – есть и размножаться, во что бы то ни стало!

Если пищи достаточно – зоопланктон (в том числе и медузы) процветает. В течение всей продолжительности жизни, то есть, в зависимости от вида, от нескольких недель и до нескольких месяцев – медузы постоянно размножаются до самой смерти, когда выпускаются последние половые клетки (гаметы). Способы размножения разнообразны, так же как и разнообразны сами эти удивительные создания. Большинство видов медуз, как самцы, так и самки, высвобождают в море гаметы, где и происходит оплодотворение. У некоторых видов самцы выпускают гаметы внутрь самки. В этом случае самка откладывает оплодотворённые яйца, из которых выходит маленькая плавающая личинка, называемая планула, длина которой менее миллиметра. Её развитие может идти разными путями. Наиболее простой из них – рост в толще воды до непосредственно молодой медузы, которая затем становится взрослой (самцом или самкой). У гидромедуз развитие может проходить через две фазы: одна пелагическая и другая – бентическая. В пелагической фазе происходит половое размножение: самцы и самки свободно плавают и вымётывают в воду сперматозоиды и яйцеклетки. Оплодотворение происходит в воде, где из яйца выходит личинка планула, снабжённая ресничками. Планула быстро теряет свои реснички и опускается на дно, где она прикрепляется к твёрдой поверхности: скале, камню, куску дерева, раковине моллюска, панцирю краба и т.д.



© S. Cadiou, Océanopolis (schéma téléchargeable sur www.eclm.fr)

Рис. 13. Жизненный цикл медузы

Личинка превращается в нечто, напоминающее рот, окружённый маленькими щупальцами. Затем это создание превращается в полип, который растёт, создавая при этом, другие полипы. Образуется колония полипов, называемая стробилой. От стробилы отпочковываются эфиры – маленькие свободноживущие медузы. Таким образом, неподвижная стробила производит почкованием много свободноживущих медуз, как самцов, так и самок.

Возможно и другое решение, как например, у гидромедузы *Lizzia blondina*, размножающейся почкованием, минуя стадию полипа. На стенках её желудка формируются почки, которые растут, превращаясь в маленьких медуз, идентичных медузе-матери, которые отсоединяются и переходят в открытую водную среду.

В симбиоз для выживания

Mastigias – это исключение, подтверждающее правило.

«В озере Jellyfish (что по-английски означает медуза), на архипелаге Palaos, расположенном в 800 км восточнее Филиппин живут медузы *Mastigias cf. papua etpisoni*. Эти медузы, предки которых жили в Тихом океане, оказались, миллион лет тому назад, заключёнными в озере, причём с недостатком кислорода и без обильной пищи. Они создали ассоциации совместно с зелёными микроводорослями, которых они переносят в течение дня в зависимости от положения Солнца. Водоросли производят для медуз кислород и углеводы. В обмен за это медузы защищают микроводоросли и удерживают их в поверхностном слое, освещаемым солнцем. Ночью медузы опускаются на глубину в поисках другого корма...»

Цитировано по *L'Hermine vagabonde, Revue de Bretagne vivante*.

Вид оппортунист

Медузы максимально используют существующие условия и размножаются настолько, насколько им позволяют обстоятельства. Кроме обильной пищи, состоящей в основном из копепод, существуют и другие важные факторы. Загрязнения не всегда воздействуют на биоту так, как об этом принято думать. Часто загрязнения сопровождаются привнесением биогенов (нитратов, фосфатов), вызывающих умеренное цветение микроводорослей, которое использует зоопланктон для своего роста и размножения, а, следовательно, и увеличения численности медуз. Однако появление медуз в бухтах или в континентальных морях не всегда вызвано загрязнениями: медуз могут приносить и течения. Подводные течения играют основную роль в распространении медуз. Транспорт, перемещающий медуз – это механический перенос течениями. В гигантских завихрениях (особенно в закрытых морях) также могут скапливаться медузы. Известно, что при высоких численностях гидробионтов наблюдается их интенсивное размножение и широкое распространение. Известны случаи, когда представители некоторого вида, пересекали, благодаря мощным течениям, Атлантический океан и прибывали к европейским берегам, где они формировали колонии. Затем местные течения переносили их в тупик, в котором они образовывали поселения с высокой численностью, так как доступный корм там присутствовал в изобилии. Парадоксально, но присутствие медуз может свидетельствовать о хорошем состоянии акватории и об обилии там копепод.

Другое средство передвижения, используемое медузами – это балластные воды судов. В отношении взрослых легкоранимых медуз можно утверждать, что они не пройдут целыми и невредимыми через насосы с закачиваемой в трюмы и выкачиваемой из них водой. Однако транспортировка мелких личинок медуз вполне возможна.

Медузы - захватчики

При наличии доступной пищи, медузы размножаются непрерывно. Это прожорливые хищники, которые по мере роста и с началом размножения, становятся ещё прожорливее. В водной среде, содержащей большое количество медуз, наблюдается быстрое падение численности зоопланктона и, нередко, полное исчезновение копепод. В результате многие хищники остаются без пищи. Скопления медуз оставляют без корма рыб планктонофагов (сардины, шпроты, анчоусы), запасы которых постепенно снижаются, что в свою очередь отражается на запасах более крупных хищных рыб. Медузы непосредственно атакуют стаи мальков рыб, как это наблюдается в Балтийском море, где медуза *Aurelia aurita* вытесняет сельдь. В конкурентной борьбе за пищу чаще побеждает более прожорливая медуза.

По этой причине в некоторых полузакрытых морях планеты наблюдается снижение запасов, а иногда и полное исчезновение морских гидробионтов и появление мёртвых зон, в которых обитают только желетелые.

Малотребовательные путешественницы

Доминирующие течения, такие как Гольфстрим и Эль-Ниньо, а также другие течения, действующие уже на протяжении миллионов лет, играют важную роль в распределении медуз на планете. В связи с изменениями температуры воды в океанах, эти течения постепенно изменяются, что может привести к перераспределению медуз в Мировом океане. Потепление климата – это основной фактор, оказывающие влияние на повышение температуры воды в океанах. Другой фактор проистекает из индустриальной деятельности человека, связанной с выделением CO₂ в атмосферу, что приводит к парниковому эффекту и таянию полярных льдов. Высвобождаемые из льда массы воды усиливают, либо замедляют течения, изменяя физику океанов. Кроме этого, повышение температуры воды способствует повышению интенсивности роста и размножения медуз, а также расширению их ареалов.

Благодаря чрезмерному вылову рыбы, человек невольно становится союзником медуз. Следствием массового вылова рыбы является увеличение запасов зоопланктона, в особенности копепод, а это оказывает благоприятное влияние на распространение других планктонофагов. Медузы первыми воспользовались обильной кормовой базой, увеличив свои запасы. Но по мере роста популяций медуз, обедняется кормовая база рыб, что приводит к дальнейшему снижению рыбных запасов. Медузы, при отсутствии конкуренции с рыбами за пищу, настолько размножились, что превратили некоторые акватории в своего рода «медузовый суп». Например, в Средиземном море интенсивный вылов красного тунца (между прочим, питающегося и медузами) способствовал процветанию медуз и разочарованию туристов и отдыхающих, наблюдавших скопления жалящих медуз, а также появление пляжей, покрытых медузами.

Ответственность людей не ограничивается только возникновением подобных явлений. Долгое время считали, что море способно поглощать и перерабатывать все наши отходы и мусор, которые в него сбрасывали. Сегодня пластиковые пакеты можно встретить везде, плавающими вместе с медузами и своим видом, напоминающие медуз. Привлекаемые таким сходством, морские черепахи заглатывают их и гибнут. Считают даже, что эти крупные и долгоживущие, но трудно размножающиеся животные находятся под угрозой исчезновения. К тому же они подвержены эффекту подкисления воды, вызываемого потеплением климата. Сдвиг водородного показателя воды в кислую сторону, затрудняет у маленьких черепах процесс образования панциря. Но, если популяции черепах исчезнут – исчезнут и естественные потребители медуз, то есть не будет природных регуляторов численности медуз.

Серьёзная угроза

Изменения климата, изменения течений, загрязнение моря, перелов и подрыв запасов морских биоресурсов вынуждают исследователей говорить о скором наступлении «эры медуз». В Мировом океане выделены 400 зон, рассматриваемых как биологически мёртвые акватории, по причине различных загрязнений и, в которых не живёт никто, кроме ... медуз! Красное и Балтийское моря, в их загрязнённых участках, уже сейчас напоминают суп из медуз. Некоторые специалисты утверждают, что при сохранении нынешней тенденции изменений в океане в течение 20 лет, океан может стать миром желетелых. Действительно, пессимистические прогнозы об инвазиях медуз, уничтожении запасов копепод – главной биомассы в

океанах и, как следствие, сокращение запасов и объёмов вылова рыб приведут к нехватке животного белка в питании людей.

Кроме серьёзной угрозы в отношении копепод, вспышки численности медуз (пусть иногда и обычные сезонные) ставят довольно много проблем. Например, медузы всё чаще встречаются в зонах купания людей и вероятность контактов человека с жалящими (иногда смертельно жалящими) медузами всё увеличивается, а это грозит сокращением туристической деятельности и потерей рабочих мест. Возникают и другие проблемы, например, происходят закупоривания трубопроводов систем охлаждения АЭС. Медузы, привлекаемые тёплой водой, выходящей из труб, входят в трубопроводы и забивают фильтры, создавая серьёзные аварийные ситуации. По этой причине аварии уже происходили в Швеции и в Японии. Во Франции руководство АЭС в Гравелинах (Gravelines) обращалось к биологам с просьбой найти средство для отпугивания медуз. Некоторые гигантские особи, затрудняют рыболовство. Примерами могут служить самая крупная медуза, *Chrysaora*, диаметром 6 метров и длиной щупалец 18 метров, или *Syanea capillata* в Японии, скопления которой забивают сети. При этом сети рвутся при их выборке, из-за чего рыбаки возвращаются в порты с пустыми трюмами. Морские фермеры также страдают от медуз. Например, садки с выращиваемыми лососями, либо креветками забиваются медузами. Иногда медузы проникают в садки и поражают своим ядом небольших рыб и ракообразных. Они способны даже уничтожить всех выращиваемых рыб, как например это произошло в Ирландии, где в течение одной ночи скопление медуз длиной в 5 км и толщиной (глубиной) в 13 метров, «атаковало» две лососевые фермы, в результате чего фермеры потеряли 100 000 взрослых лососей и 140 000 сеголеток.

Если тенденция роста численности медуз сохранится, то в скором времени они станут реальной угрозой для человечества. Это видимая часть последствий потепления климата. Медузы вполне могут войти в нашу повседневность. Например, уже сейчас летние прогнозы погоды включают в себя, кроме температуры воды у побережья, ещё и карту скоплений медуз у берегов.

А есть ли польза от медуз?

Как и все живые существа, медузы выполняют свою роль в природе. Несмотря на высокое содержание воды в их телах (до 98%) и низкую питательность, тем не менее, многие животные поедают медуз. Таким образом, медузы занимают своё место в морской пищевой цепи. На стадии

личинки, как и остальной зоопланктон, они входят в состав рациона более крупных зоопланктёров. Взрослых медуз поедают морские черепахи, которые, отыскав скопление, заплывают в середину его для обеспечения себе продолжительное питание. Черепахи способны уничтожать целые скопления медуз, как, например, это наблюдается среди велел, плавающих по поверхности океана. Также черепахи поедают и ядовитых медуз, таких как *Chironex fleckeri*. Морские птицы, многочисленные рыбы, в том числе рыба-луна и красный тунец, морские звёзды, брюхоногие и голожаберные моллюски также питаются медузами. Некоторые виды медуз поедают других медуз, иногда наблюдается и каннибализм.

В Японии и в Китае медуз употребляют в пищу. Медузы маринованные, либо высушенные и представленные в виде блинов или разрезанные на ломтики - компоненты салатов – такие блюда скорее представляют культурную ценность, а не пищевую. Тем не менее, японцы ежегодно потребляют 13 тонн высушенных медуз. Конечно, вся биомасса медуз Мирового океана огромна и, если бы её употребить, как и спирулину или криль для питания людей, то проблема голода была бы решена. К сожалению, съедобные медузы встречаются редко. Например, вдоль европейских берегов они вообще отсутствуют. Кроме этого, промысел медуз потребовал бы использование очень трудоёмкой сортировки, а, учитывая, что медузы на 98% состоят из воды, легко понять, что их транспортировка и переработка обойдутся очень дорого. Медузы, пока остаются дорогим пищевым продуктом.

Желателые также интересуют производителей косметики, потому что они содержат эластичный и чрезвычайно прочный коллаген, с помощью которого можно предотвращать появление морщин. Вот почему огромная атлантическая медуза *Rhizostoma*, весом 80 кг, вошла в состав кремов, предотвращающих появление морщин. Сейчас работают над разработкой технологии получения клея из медуз. Конечно, медузы пока ещё не открыли всех своих секретов. Возможно, что в будущем медузы найдут применение в медицине, также как и перламутр, который сейчас используют для восстановления костей. Если в будущем медуз станут рассматривать в качестве сырья для промышленной переработки, тогда будет налажен крупномасштабная их добыча, которая остановит пролиферацию медуз.

Ничем нельзя пренебрегать

Как и крапива среди растений, волки среди животных, комары среди насекомых, динофлагеллаты среди микроводорослей, так и медузы среди

зоопланктёров являются самыми нелюбимыми. Однако, несмотря на некоторые неприятные качества, каждый вид выполняет в природе свою важную роль, а исчезновение одного вида приводит к нарушению экологического равновесия и даже к катастрофе.

Сорняки, например, уничтожены пестицидами, однако выяснилось, что некоторые из них – не сор и важны для пчёл. Комары оказываются нужны, их надо не уничтожать, а контролировать их численность. Волки, несмотря на страх, внушаемый нам, необходимы для элиминации ослабленных и больных животных, трупы которых могли бы стать источниками болезней. Крапива представляет интерес ввиду её жалящих и абразивных свойств, свидетельствующих о содержании в ней кремния, растение используется в фитотерапии и входит в состав шампуней. Медузам также присущи полезные свойства, например обеспечение кормом, морских черепах.

Не исключено, что в будущем откроют сокровища, пока ещё таящиеся в медузах.

Опасности для медуз

Как и все животные, медузы страдают, прежде всего, от отсутствия корма. Если однажды море превратится в пустыню, населённую только желетелыми, у них не найдётся другого выхода, как только поедать друг друга. Однако уже сейчас существует для них другая угроза. Огромные массы мелкого мусора различной природы дрейфуют в океанах. Этот мусор подвергается механическому воздействию волн и облучению солнечными лучами, в результате чего он разрушается на мелкие частички, перемешивающиеся с зоопланктоном. В некоторых местах такие частички превалируют над зоопланктоном. Такая «пища», не имеющая пищевой ценности, представляет реальную угрозу для медуз, если она станет главным компонентом их рациона. Также и «чёрные приливы» или загрязнение углеводородами, губительны для медуз, как и для многих гидробионтов.

Стойкие, несмотря на непрочность своего тела, медузы преодолели все периоды оледенения и сокращения численности, когда многие виды исчезли вовсе. Представляется, что в наше время для медуз наступила «светлая полоса», связанная с повышением температуры морской воды и с нарушениями механизмов экологической саморегуляции.

Глава 8

От постоянного зоопланктона к зоопланктону временному

Постоянный зоопланктон (голопланктон) состоит, за исключением медуз, из организмов, остающихся мелкими в течение всей своей жизни. Постоянным зоопланктоном питается временный зоопланктон (меропланктон). Организмы меропланктона рождаются и растут в составе зоопланктона, затем, став взрослыми (рыбы, ракообразные, иглокожие и т.д.), они его покидают. Несмотря на свои маленькие размеры и, благодаря высокой численности, копеподы и другие мелкие организмы представляют собой значительную часть биомассы морских животных в океане и совершенно необходимы для функционирования всей океанической экосистемы.

Если голопланктон рождается, растёт и умирает, находясь всегда в составе планктона, то меропланктон состоит из гидробионтов, только личинки которых являются планктонными организмами. Меропланктон включает в себя яйца и личинки таких животных:

- бентосных, т. е. живущих на скалах, на (в) илистых и песчаных грунтах: черви аннелиды, иглокожие (морские ежи, морские звёзды, голотурии, офиуры, морские лилии), ракообразные (креветки, крабы, омары и т.д.), моллюски (двустворчатые, брюхоногие и т.д.), рыбы (камбалы и др);
- пелагических, т. е. плавающих в толще воды: рыбы, головоногие и т.д.

Продолжительность жизни личинок

Временный зоопланктон – это своего рода детский сад, в котором пребывают яйца и личинки многих известных и малоизвестных животных: креветки, омары, мидии, устрицы, ставриды, калканы и многие другие, у которых начало жизни проходит через личиночные стадии, нередко очень сложные. Стадии развития различаются у разных видов. Например, самки некоторых видов откладывают в небольшом количестве крупные яйца, содержащие большие запасы желтка, обеспечивающие внутреннее развитие зародыша. В этом случае из яйца выходит сформировавшаяся особь, но небольшого размера и без половых признаков. Так происходит у некоторых

пресноводных ракообразных, а также животных, населяющих холодные воды и большие глубины. Но представители большинства видов вымётывают огромные количества мелких яиц, из которых быстро формируются мелкие личинки. Эти личинки имеют упрощённое строение, которое сильно отличается от строения взрослой особи. В процессе развития в личинках формируются новые органы, а личинка проходит последовательный ряд стадий, на которых личинка линяет (один или несколько раз). Например, развитие ракообразных проходит через три основных стадии: науплиус, зоэа, мизис. У некоторых крупных креветок выходят из яйца мелкие личинки на стадии науплиуса, проходя затем через стадии зоэа и мизис. У других ракообразных (крабы, некоторые креветки) стадия науплиус протекает внутри яйца, из которого затем выходит личинка на стадии зоэа. У омаров из яйца выходит даже мизис. После завершения последней личиночной стадии (мизис), личинки завершают метаморфоз, становясь пост-личинками, и покидают планктон. Бентосные гидробионты оседают на дно, а мальки рыб, став активными пловцами, переходят в нектон. Последний этап развития животного – это переход во взрослое состояние, когда начинают формироваться половые клетки.

Немного истории

Исследования планктона начались в 1820 году, когда Дж. Йоган Томпсон (J. Vaughan Thompson), служивший в Ирландии военным врачом, забросил в море сеть. Его уловы содержали некоторые организмы странного вида, которых он принял за взрослых особей. Затем он установил, что они, в частности зоэа крабов и науплии баянусов (морских желудей), в действительности были личиночными стадиями индивидуального развития (онтогенеза). Он показал, что планктон, состоящий из мелких созданий, постоянно пребывающих в толще воды, происходит от донных животных, проходящих в толще воды свои планктонные стадии развития.

«Но только в 1880 году Виктор Гензен (Victor Hensen) предложил термин планктон, для обозначения организмов, дрейфующих в толще воды». Отрывок из *la matiere reprend vie*, Institut oceanographique de Paris, 1981.

Обычно личиночный период длится одну или несколько недель; у лангуста – несколько месяцев, а у угря даже несколько лет. В отсутствие собственных средств передвижения, яйца и личинки дрейфуют в приповерхностных слоях, проплывая иногда тысячи километров. Численность зоопланктёров изменяется в течение года - это сезонная динамика численности, которая связана с ритмами размножения и выедания

хищниками. Смертность личинок от хищничества очень высока и достигает 99%. Те, кому удалось избежать встречи с хищником, продолжают своё развитие до взрослого состояния, становясь определённым звеном пищевой цепи, в которой они также могут быть съеденными более крупными хищниками, в том числе и человеком.

Таким образом, в отличие от постоянного, временный зоопланктон, в течение своей жизни, занимает разные уровни в пищевой цепи.

Личиночные стадии

Личиночные планктонные стадии развития подразделяются по способам передвижения и по морфологическому развитию. Личинки науплиусы, вначале не сегментированы, имеют непарный глаз, вентральный рот и три пары плавательных членистых придатков, которые позже становятся антеннами, антеннулами и мандибулами. Эти науплиусы используют три первые пары придатков в качестве средств передвижения. Новые пары придатков появляются после сегментации тела.

Название зоеа относится ко всем личинкам, имеющим грудь и сегментированное брюшко, спинной панцирь, два крупных глаза и обычно наделены двумя длинными шипами. Передвигаются они с помощью грудных придатков; брюшные придатки отсутствуют, либо редуцированы.

Личинки мизис (мегалопы) перемещаются с помощью ресничных придатков, расположенных на брюшных сегментах. Их строение приближается к строению взрослых особей.

Цитировано по Le Plancton, Gerard Seguin, Jean-Claude Braconnier et Bernard Ekhaim, coll. « Que sais-je? », n 1241, PUF, 1997.

Потребность в более мелком, чем сам

Временный зоопланктон всегда плотоядный, за исключением личинок двустворчатых и морских ежей, отфильтровывающих микроводоросли. Исключением являются и розовые креветки (атлантическое побережье Франции), которые поедают не только животных, но и их остатки. Личинки меняют свои пищевые пристрастия по мере своего роста. Пока они малы они поедают постоянный зоопланктон, преимущественно копепод, затем они включают в свой рацион и временный зоопланктон, в том числе и своих более мелких личинок. Поэтому обилие постоянного зоопланктона важно для предотвращения каннибализма у временного зоопланктона, приводящего к

изреживанию популяции меропланктона, что может отрицательно сказаться на всей экосистеме.

Таким образом, от поддержания равновесия в сообществе зоопланктона зависит питание и выживание рыб и ракообразных, а также обеспеченность потребления морепродуктов человеком.

Глава 9

Личинки ракообразных

Креветки, омары, крабы, лангусты, лангустины ... Все эти животные, до того, как они стали взрослыми, вели «планктонный образ жизни». Среди них особенно представительной является японская креветка, у которой её личиночная фаза состоит из последовательности личиночных стадий, характерных для временного зоопланктона (науплиус, метанауплиус, протозоа, зоа, мизис, мегалопа), причём на каждой из этих стадий происходит одна или несколько линек. Более того, все эти этапы протекают в толще воды, поэтому легко наблюдаемы. У других ракообразных первые личиночные стадии протекают внутри яйца и поэтому скрыты для наблюдателя.

Японская креветка – образцовый рост

Японская креветка (пенеидная креветка) населяет тёплые воды всех тропических морей планеты, а её близкая родственница – розовая креветка – мельче и распространена в умеренных и холодных водах, например, у атлантического побережья Европы от Испании и до Северного моря.

Перед размножением самец ожидает начало линьки самки. После линьки, он выжидает ещё несколько дней, пока новый панцирь самки полностью сформируется. Сформируется, но пока ещё не затвердеет и тогда он помещает свои сперматозоиды в семенной приёмник самки, расположенный в сочленении головы и груди. Затем самец отправляется на поиск другой самки. Самка, обладающая своими собственными ооцитами, а также полученными сперматозоидами, хранит их внутри цефалоторакса (в головогрудь) до момента оплодотворения. При созревании гонад, она выпускает в море ооциты через маленький канал, проходящий в абдомене (брюшке). Всего самка вымётывает до 700 000 яиц. В процессе вымета, самка плавает и рассеивает яйца с помощью движений своих ножек. Яйца проходят вблизи отверстия спермоприёмника, захватывая сперматозоиды. Оплодотворение происходит в воде.

После проникновения сперматозоида в яйцо (в ооцит) происходит клеточное деление, в результате которого образуется множество мелких клеток, которые все вместе напоминают маленькую шелковицу. Каждая

маленькая клеточка «шелковицы» представляет собой зачаток будущего органа: сердца, желудка, рта, ножек, глаз и т.д. Постепенно в яйце формируется эмбрион. Спустя 14 часов после оплодотворения, появляется прозрачная личинка науплиус, узнаваемая по главному пятну. Науплиус использует запасы желточного мешка и продолжает развиваться: появляются придатки, формируется панцирь. Личинка медленно перемещается в воде, работая тремя парами придатков.

В конце науплиальной стадии личинка линяет и переходит в стадию зоза. На этой стадии её поведение меняется. Личинка становится очень активной и быстрой, перемещаясь назад. Появляются два глаза, затем рострум и иглы на цефалотораксе (головогруди). Абдомен (брюшко) удлиняется и развиваются ножки. Все эти изменения происходят в процессе последовательных линек. Маленькие зоза питаются микроводорослями, в основном диатомовыми. Затем к рациону добавляется зоопланктон (копеподы). На седьмой день своей жизни, креветка переходит на стадию мизис. На этой стадии личинка, питаясь зоопланктоном, растёт, проходя через несколько линек. Через трое суток у мизис наблюдаются глубокие морфологические изменения: некоторые органы исчезают, другие появляются, либо изменяются. Через десять дней жизни в планктоне, происходит метаморфоз и, личинки становятся пост-личинками, обладающими всеми органами, необходимыми для перехода в молодь или в ювенильных (неполовозрелых) креветок.

Все личиночные стадии японской креветки питаются постоянным зоопланктоном. Вначале, на стадии науплиуса, кормовыми объектами являются копеподы, потом артемии, затем на стадиях зоза и мизис - криль. Таким образом, развитие креветки (временного зоопланктона) зависит от динамики качественного и количественного состава постоянного зоопланктона. Иными словами, благодаря «нужным» изменениям во время пребывания в составе постоянного зоопланктона, могут нормально развиваться различные группы морских животных, имеющих планктонные личинки и, следовательно, может функционировать многовидовая трофическая сеть, представляющая большую пищевую ценность и для человека. А человек всё чаще выступает не только в роли собирателя и охотника, но и как производитель морских биоресурсов.

Аквакультура

«Если мы хотим размножить жизнь, нам нужно, прежде всего, научиться управлять размножением» - утверждает Анита Конти (Anita Conti)

в своей книге «Океан». В 60-ые годы прошлого столетия японцы первыми изучили биологию японской креветки (*Peneaus japonicus*) и разработали технологию промышленного выращивания этой креветки. Их продолжительные исследования, проводимые с целью поиска оптимальных методов выращивания, начиная от яйца и до товарного размера, позволили определить оптимальные значения условий выращивания. После организации в Японии креветочных ферм, японские специалисты построили аналогичные фермы во многих странах.

Аквакультура в двух словах

В отличие от рыболовства или сбора урожая, например, дикорастущих водорослей, где урожай определяется природным циклом, в аквакультуре сам человек организует производственные циклы и ими управляет. Современная аквакультура занимается выращиванием рыбы, ракообразных, моллюсков, одноклеточных и многоклеточных водорослей. В зависимости от видовой принадлежности объекта выращивания, аквакультура подразделяется на аквакультуру пресных вод; солоноватых вод; морскую аквакультуру или марикультуру.

Цель аквакультуры – выращивание водных организмов (гидробионтов), предназначенных для питания человека. Аквакультура подразделяется на отрасли: piscicultura – разведение рыб; конхиокультура – разведение моллюсков (куда входит и устрицеводство, мидиеводство и т.д.); культивирование водорослей и микроводорослей.

В настоящее время промышленное выращивание креветок по интенсивным технологиям отвечает растущим потребностям людей в морепродуктах и гарантирует получение высокой прибыли. Однако выращивание в интенсивной аквакультуре, например, японских креветок, сопровождается загрязнением среды. Например, не съедаемые излишки корма накапливаются и вызывают нарушения в морской среде, нанося вред её обитателям. Действительно, разрушение влажных прибрежных зон в процессе строительства морских ферм и парков (бассейнов) для выращивания, а также уничтожение флоры и фауны – дезорганизуют прилегающие экосистемы, создают нехватку корма для гидробионтов данной зоны. Аналогично отходы производства, выбрасываемые тут же в море, вызывают цветение воды, что подавляет развитие кормового фитопланктона, оставляя личинок и животных - фильтраторов без корма. Возникает риск исчезновения некоторых видов и гибели всей трофической цепи, вместо которой появляются другие нежелательные цепи.

К счастью, существуют другие технологические решения, да и сами фермеры, заботятся о сохранении морской среды, необходимой для нормального функционирования ферм и в будущем. Например, проводили эксперименты по выращиванию японской креветки в устричных парках в районе Морской Шаранты (Charente-Maritime), Франция. С этой целью заселили личинок японской креветки в несколько бассейнов, предназначенных для аффинажа (предпродажного откорма) устриц. Личинки креветок питались зоопланктоном (копеподами, личинками червей и доступными микроорганизмами), в то время как устрицы отфильтровывали микроводоросли, особенно диатомовые.

Молодые креветки энергично плавали в бассейнах, перемешивая воду своими ножками и, тем самым, распространяя микроводоросли по всему бассейну. Диатомеи, которые обычно собираются на дне, оказывались в толще воды, то есть становились доступными устрицам. Результаты экспериментов оказались превосходными: в бассейнах с креветками устрицы были лучше упитаны и лучше росли, потому что они лучше питались.

Комбинированное выращивание (поликультура) позволило не только повысить качество устриц, но и получить дополнительную продукцию – креветок, для выращивания которых не требуется строительство специальных бассейнов, ни применение дополнительного корма. Более того, здесь качество компенсировало нехватку количества (креветочной продукции). Выращенные креветки продавались по выгодной цене и создали хороший имидж поликультурному хозяйству. Выращивание креветок по экстенсивной технологии менее продуктивно, чем по интенсивной, но это решение обеспечивает работу предприятия и в будущем, потому что оно не загрязняет среду и не разрушает экосистему. Опыт мировой аквакультуры свидетельствует о том, что цель – быстрая и максимальная прибыль не должна быть главной целью предприятия.

Омар, хорошо отрегулированная хронология

Характерная особенность многих ракообразных и омара в том числе – совокупление в период, когда самка пребывает после линьки. Сперма запасена в семенном приёмнике, в ожидании откладывания яиц, что, возможно, произойдёт через 15 месяцев. Во время откладывания яиц, они проходят через семяприёмник, где яйца оплодотворяются, а затем прикрепляются под хвостом. Самка их носит в течение инкубационного периода и стадии науплиуса, длящихся 10-12 месяцев. Самка размножается раз в два года, вымётывая по 2000-5000 яиц. Можно сказать, что омар

рождается на стадии мизис и его личиночная жизнь очень коротка: не более двух недель, в то время как у розовой креветки она продолжается один месяц. Это преимущество даёт личинкам омара дополнительный шанс дожить до взрослого состояния потому что, чем короче планктонная фаза жизни, тем больше шансов не быть съеденным. Однако, несмотря на это преимущество, их выживаемость довольно низкая. Действительно, личинки омаров выклевываются в июне – июле, в период, когда к берегам подходят стаи рыб, питающиеся зоопланктоном.

Известно, что природа ничего не делает случайно. Годовой календарь появления фитопланктона, затем зоопланктона хорошо соответствуют сезонности размножения более крупных животных: июнь и июль - для омаров; февраль и март – для розовой креветки и т.д. Для личинок каждого вида животных, Природа предусмотрела сезон развития соответствующего постоянного зоопланктона! К сожалению, потепление климата может нарушить эту хорошо отрегулированную временную последовательность. Изменение температуры создаёт рассогласование между новым и старым временем «прибытия» фитопланктона, от которого зависит появление постоянного зоопланктона (копеподы и пр.), а затем и хищников (креветки, омары, лангусты и т.д.), неспособных быстро адаптироваться к этому изменению. Поэтому они продолжают размножаться, как и раньше в те же сроки и оказываются иногда перед бескормицей, которая ведёт к гибели их личиночные сообщества.

В настоящее время отсутствие соответствия между динамикой развития постоянного зоопланктона и появлением определённых групп временного зоопланктона является причиной исчезновения некоторых видов. В процессе эволюции сложились и биологические часы, управляющие сезонной динамикой развития животных, а для перенастройки биологических часов, возможно, понадобятся сотни лет. Не исключено, что обеднение некоторых морских биоресурсов, что часто объясняют «переловом», в действительности является результатом рассогласования биологических процессов, порожденных климатическими нарушениями, которые вызваны производственной «сверхактивностью» человека.

Планктон и пыльца - одна проблема

В настоящее время сроки развития некоторых биологических видов дезорганизованы загрязнением морской среды и потеплением климата. Смещение сроков развития фитопланктона и, затем постоянного зоопланктона может представлять угрозу жизни личинкам морских

животных, которые не смогли адаптироваться к этим внезапным изменениям. Аналогично, когда происходит рассогласование между интенсивностью солнечного облучения, температурой воздуха, при которой начинается цветение и появлением насекомых-опылителей, тогда опылители не могут исполнять свою роль. Поэтому растения перестают производить потомство и постепенно могут исчезнуть. Эта недавно появившаяся тенденция нарушения согласованности биологических ритмов, потенциально опасна и она является следствием изменений в природе, вызванных современной индустрией.

Угрожающее взаимодействие

Омар живёт вдали от берега. В отличие от креветок, живущих среди скал, омар, для своего развития, нуждается в больших пространствах. Как лев среди саван, он царствует, точнее, занимается хищничеством на обширной территории, уничтожая огромные массы постоянного зоопланктона, а также и временного, включая собственные личинки и яйца во время размножения. Такое обилие планктона обязано обилию постоянного зоопланктона, но, прежде всего, фитопланктону. Биологические богатства океана происходят из эстуариев. В этих акваториях встречаются пресные и солёные воды, а сложная геохимия стимулирует развитие растительного и затем животного планктона, которые частично попадают в открытое море. Таким образом, состояние прибрежных экосистем зависит и от континентальных водных экосистем. При нарушениях в прибрежных фито- и зоопланктонных сообществах возникает угроза существованию временного планктона отдалённых зон, а также других животных, населяющих удалённые районы моря. Деградация качества вод эстуариев, вызванная загрязнением, либо потеплением климата, оказывает непосредственное влияние на прибрежные трофические сети, а также и на сообщества открытого моря, живущие в постоянном взаимодействии друг с другом.

Возвратные перемещения розовой креветки

На широте залива Морбиан (Morbihan) – северо-западная Франция, вокруг островов Уат (Houat) и Оэдик (Hoedic), воды населены взрослыми розовыми креветками (самцами и самками), которые живут и размножаются на глубине 20 метров. На этой глубине самки откладывают и вынашивают до выклева свои яйца. Продолжительность жизни свободно живущей личинки (зоеа) – один месяц и протекает она зимой между январём и мартом. В период роста, личинки подходят к самому берегу для поиска пищи, особенно

в эстуариях. Поэтому в заливе Морбиан можно наблюдать большие количества розовых креветок разного размера: от личинок и пост-личинок до молоди, которая став взрослой, возвращается для размножения на глубину. Перемещения розовой креветки из глубин к берегу и обратно может служить одним из примеров взаимодействия биот из различных зон моря.

Искусственное воспроизводство омара

В периоды длительных нарушений равновесия, обедняющих популяции некоторых видов, человек иногда может вмешиваться в течение экологических процессов и действовать заодно с природой.

Такая инициатива была предпринята в 70-ые годы прошлого столетия в Бретани (Франция), когда наблюдалось сокращение численности омаров в районе островов Уат, Оэдик и Бель-Иль. Объединение рыбаков острова Уат решило организовать воспроизводство омара в искусственных условиях, для чего потребовалось построить на острове питомник с целью получения жизнестойкой молоди омара. Эту молодь планировалось выпускать в зону вылова омаров, где они должны расти до достижения промыслового размера.

Мобилизация профессиональных рыбаков

«Некоторые профессиональные рыбаки задумывались о перспективах рыболовства, аквакультуры и об охране биоресурсов. Уже в 1972 году они заявили об «обеднении дна». Предложенные ими меры по восстановлению биоресурсов, соответствовали основам устойчивого развития: как совместить охрану ресурсов, туризм, гражданское строительство и экономическую деятельность на побережье и в прибрежной полосе?

Они предложили собрать вместе всех заинтересованных лиц и обсудить проблемы, связанные с обустройством побережья и эксплуатацией и охраной ресурсов. Их предложения были опубликованы в газете в виде открытого письма».

Отрывок из книги Маэль Томас-Бургнеф и Пьер Молло «Планктон и аспекты морепользования», Севастополь, 2011 г.

Для получения молоди омаров, необходимо было вылавливать в море самок, вынашивающих яйца. Самок размещали в бассейнах питомника, где уже культивировались диатомовые водоросли и артемии, предназначенные для выкармливания личинок омаров. В этих бассейнах, в течение трёх недель, омары откладывали яйца, из которых выклёвывались личинки, которые там же подращивались до метаморфоза и перехода в пост-личинки.

Молодь, пока ещё мелкая, но уже с клешнями, обеспечивающими защиту от хищников, выпускалась в море на глубине 20 метров, где были расставлены искусственные убежища. В этих мини-убежищах омары укрывались до достижения взрослой стадии. В течение первого эксперимента высадили 32500 омаров. В последующие годы рыбаки выпускали по 100 000-150 000 омаров в год. Этот эксперимент доказал успешность альтернативных решений.

Отрывки из открытого письма «Голубой бретонский пояс, почему бы и нет?».

Объединение рыбаков о. Уат, январь, 1973 г.

«Для прибрежного рыболовства ситуация ухудшается год от года. Обеднение биоресурсов – это очевидный факт и увеличение количества орудий лова и прочие мероприятия усугубляют ситуацию (...).

«Мы считаем, что рыболовство имеет надёжное будущее, потому что:

- ранее наши воды были богатыми;
- потребность в морепродуктах растёт.

Мы считаем, что биоресурсы могут и должны воспроизводиться, но не на благо неизвестно кого, неизвестно как, и что аквакультура, о которой говорят, что она станет рентабельной в ближайшем будущем, она сейчас должна контролироваться организациями прибрежного лова (...).

«Море должно зарыбляться, количеством рыбы, превышающим её запасы, причём как количественно, так и качественно, то есть разными видами. Должна быть выделена зона для экстенсивной марикультуры. Она должна включать экологический ансамбль, в который войдут: охраняемые участки, незагрязнённые участки, заповедники морских птиц и людей постоянно там работающих и живущих.(...)».

«У нас под килем находится источник богатств и нам нужно его сберечь, понимая, что время скрести дно прошло, но наступило время для посева. При этом мы должны сохранить наши права на море и рыболовство».

Глава 10

Личинки рыб

Кормовыми рыбами называют сардин, анчоусов, шпротов и многих других небольших рыб, образующих плотные стаи, которые являются важнейшим кормовым ресурсом для более крупных рыб, медленнее растущих и менее интенсивно размножающихся. Как и у других рыб, самцы и самки вымётывают в воду сперматозоиды и ооциты (икру). Оплодотворение происходит в воде. Яйцо (икринка) содержит желточный запас питательных веществ, а также одну или несколько капель жира, который обеспечивает икринке плавучесть. Эмбрион развивается в течение нескольких дней. Из яйца выходит прозрачная личинка, по внешнему виду напоминающая личинку насекомого. Длина личинки – несколько миллиметров; она снабжена первичным, пока ещё хрупким, плавником. Личинка потребляет остатки желтка и сразу поглощает первую добычу, что необходимо для её выживания. По мере роста личинки, у неё развивается хвостовой плавник, а также и остальные плавники. Вместе с метаморфозом происходит и кальцификация скелета и окраска различных тканей её тела. Пост-личинка покидает мир планктона и становится рыбой, то есть организмом нектона.

Кормовые рыбы - это необходимая пища

Личинки, мальки, взрослые рыбы – все эти мелкие рыбки подвержены жёсткому прессу со стороны хищников. Килька, хамса, сардины, мойва и т.д. собираются в плотные косяки, сопровождаемые крупными хищниками (луфарь, бар, ставрида, скумбрия, и т.д.), для которых кормовые рыбы являются основным объектом питания. Перечисленные хищные рыбы формируют четвертую ступеньку в пищевой пирамиде, а кормовые рыбы питаются организмами, находящимися на второй и третьей ступеньках, то есть постоянным и временным зоопланктоном, в который входят яйца и личинки самих кормовых рыб. Действительно, их личинки, как правило, плотоядные, поедающие копепод и мелких личинок. Однако, некоторые придонные рыбы, например, песчаный угорь, питающийся придонным зоопланктоном, ранее (на стадии личинки) был фитофагом.

Почему исчезли песчаные угри?

На ранних этапах развития, песчаный угорь (*Hyperoplus lanceolatus*) входил в пелагический временный зоопланктон: икринки плавали в воде и из них выклёвывались пелагические личинки, питавшиеся микроводорослями. После метаморфоза неполовозрелые угри оседали на дно и зарывались в песок или в ил, где они питались зоопланктоном. От загрязнения морских вод пестицидами и другими химическими препаратами, а также от нарушений климата, первым пострадал фитопланктон. Когда падает обилие и (или) разнообразие фитопланктона – гибнут растительноядные личинки песчаного угря, в то время как плотоядные личинки других кормовых рыб выживают.

Природа всегда находит способ адаптации к происходящим пертурбациям на планете. Однако в настоящее время изменения в окружающей среде слишком значительны и протекают слишком быстро для многих видов. Животным требуется много времени для осуществления морфологических и физиологических изменений, необходимых для выживания в новых условиях. Для этого требуются, минимум, сотни лет. Возникшие различия между сегодняшними «потребностями» человека и потребностями многих животных являются одной из причин исчезновения некоторых животных.

Выращивание лаврака

Лаврак (по-французски: bar, по-английски: sea bass), называемый в Средиземноморье морским волком, считается одним из пионеров среди объектов морской аквакультуры. Первые попытки выращивания личинок лаврака были предприняты во Франции в 70-ые годы прошлого столетия. Была разработана и внедрена во Франции технология выращивания, после чего рыбоводные хозяйства стали распространяться по Европе, а затем и во многих странах мира. Сегодня выращивание бара – наиболее хорошо разработанная морская аквакультура.

Технология выращивания бара включает работу питомника, в котором инкубируют икру, выращивают личинок и затем, в море в садках, или на берегу в бассейнах с проточной морской водой, подращивают мальков.

Самки достигают половой зрелости в возрасте трёх лет и могут нереститься в неволе. Регулируя температуру морской воды и продолжительность дня (светового периода) можно добиться нереста в любое время года. Каждый вымет даёт тысячи икринок диаметром 1 мм. Из икринок выходят личинки, не имеющие ни глаз, ни рта и питающиеся

желточным запасом. Через несколько дней они демонстрируют довольно эффективное охотничье поведение, позволяющее им ловить живую добычу. Обычно это коловратки, затем науплиусы артемии, выращиваемой в тех же бассейнах. Спустя некоторое время, личинкам дают корм в виде микрогранул, выпускаемый специально для выращивания лаврака. В питомнике оба типа корма выбрали на основе наблюдений в природе и экспериментальных исследований. Результаты лабораторных экспериментов показали большую эффективность кормления личинок копеподами на начальном этапе выращивания. При этом личинки чрезвычайно быстро росли. После метаморфоза мальков переносят из питомника на рыбоводные предприятия, где их доращивают до коммерческого размера.

Ловить для того, чтобы выращивать

В прибрежной экосистеме бар - это крупный и стремительный хищник. Будучи личинкой, он питается постоянным зоопланктоном (копеподами), а также временным зоопланктоном, в который входят личинки шпрота, сардины, кильки и других рыб. Взрослый бар поедает кормовую рыбу.

Рыба, выращиваемая в условиях аквакультуры, не питается другими рыбами, но, тем не менее, она получает свою долю кормовых рыб вместе с кормами, приготовленными на основе кормовых рыб. И эта доля довольно значительна, потому что интенсивная аквакультура бара требует огромных количеств кормов, для чего необходим массовый вылов кормовых рыб. Действительно, для получения 1 кг бара необходимо затратить 1 кг гранулированных кормов, для производства которых нужно выловить 5 кг кормовой рыбы. Поэтому аквакультура крупной хищной рыбы мобилизовала индустриальное рыболовство кормовой рыбы, что грозит серьёзными экологическими неприятностями. Действительно, перелов кормовой рыбы оставляет без корма крупную хищную рыбу – важнейший морской биоресурс для нашего питания. Таким образом, аквакультура морских рыб (писцекультура) становится конкурентом морского рыболовства.

Сардины, хамса, килька не являются объектами выращивания, они сами прекрасно развиваются в природной среде. В настоящее время развитие индустриальной марикультуры хищной рыбы ведёт к подрыву запасов мелких рыб, употребляемых непосредственно в пищу населением некоторых регионов планеты. Производство крупных рыб с высокой добавленной стоимостью и рассчитанных на потребление ограниченным кругом состоятельных покупателей, фактически уничтожает запасы мелкой и дешёвой рыбы, что противоречит первоначальным целям аквакультуры,

провозглашённым ФАО в 70-ые годы: «поставлять белок населению и ликвидировать голод на планете».

Кроме этого, обеднение биоресурсов за счёт перелова может достигнуть порога, ниже которого обилие промысловых видов уже не восстановится. В сложившейся опасной сверх эксплуатации популяций кормовых рыб, нельзя позволять промысловикам разрушать запасы до состояния, когда морские ресурсы станут невозобновляемыми. Иными словами, нельзя больше пилить сук, за который мы держимся. Необходимо также напомнить, что кормовые рыбы нужны не только нам, но и всей морской экосистеме (рыбам, птицам и морским млекопитающим).

Вегетарианское меню

В настоящее время морская биотехнология ориентирована на получение продуктов из растений. Гранулированные корма для рыбы содержат муку, рыбий жир, витаминные и минеральные добавки, соевый жмых, пшеницу, кукурузу, растительные белки и т.д. К сожалению, корма не содержат жирных кислот, таких как омега-3, которые не синтезируются в организме рыб или человека. Но без таких соединений увеличивается смертность выращиваемых рыб, да и потребители такой рыбы не получают с поедаемой рыбой ценные для здоровья продукты.

Однако, если в будущем планируется удвоение продукции аквакультуры, что необходимо для компенсации снижения выловов рыбы и увеличения численности населения планеты – где в таком случае дополнительно найти муку и рыбий жир для выращиваемой рыбы? Возможно и такое решение: заставить плотоядных рыб стать вегетарианцами. Известно, что мука и растительный жир бедны жирными кислотами, а дефицит омега-3 снижает питательную ценность рыб и создаёт дефицит важных соединений в организме человека. Более того, потребуется найти новые земли для дополнительного выращивания зерновых – культур, требующих много пресной воды, не говоря о химических удобрениях и препаратах для интенсивной агрокультуры. Такое решение только передвинуло бы морские проблемы на землю.

Ловить, чтобы есть

Цель аквакультуры – не заменить рыболовство, а дополнить его другим способом получения рыбной продукции. Такое определение цели открывает перед рыбаками и морскими фермерами надёжное будущее и уважительное

отношение к экологическим проблемам и к мировым проблемам питания. Прежде всего, потребуется перейти к экстенсивным методам аквакультуры, когда рыбы питаются в море обычной морской пищей, а не вносимым в огромных количествах гранулированным кормом, что нарушает природную среду. При таком подходе уменьшается расход рыбной муки. А производство этой муки связано с отходами от переработки рыбы. Например, производство рыбного филе сопровождается огромными отходами.

Если мы хотим сегодня удерживать на постоянном уровне запасы кормовой рыбы в океане и сохранить промысловые виды рыб для их будущего использования, нужно прекратить вылов мелких рыб миллионами тонн для производства муки, которая нужна для выращивания других рыб или свиней. Для получения 1 тонны бара нужно затратить 5 тонн кормовой рыбы. Для того чтобы не совершать таких нонсенов, вместо переработки миллионов тонн одной рыбы в другую рыбу, но объёмами в 5 раз меньшими, нужно уменьшить в 2 раза вылов кормовой рыбы и сделать её доступной для потребления населением. Ведь хорошо известно, что увеличивающееся население нуждается в белках животного происхождения и высокой питательной ценности.

Таким образом «ловить, чтобы есть» стал лозунгом, обеспечивающим будущее, потому что он позволит увеличить количество белка, непосредственно доступного человеку и, в то же время, гарантирует возобновление популяций шпрота, сардин, анчоуса и т.д., которые также нужны и другим животным морской экосистемы. Сегодня неотложной является задача преобразования существующего массового промысла кормовой рыбы в ответственный промысел, ориентированный непосредственно на питание человека и сохранение промысловых ресурсов. Международная организация должна регулировать промысел с учётом общих интересов. Даже, если современная интенсивная аквакультура может обеспечить в короткие сроки свою рентабельность, как для инвесторов, так и смежных организаций (строительство и эксплуатация рыбоводных хозяйств, промысловых судов, перерабатывающих предприятий и т.д.), но на длительный период она, несомненно, не станет выгодной человеку.

И человеку нужно адаптироваться

Последствия потепления климата проявляются в разных местах планеты, причём часто с необратимыми эффектами. Например, на континентах повышение температуры постепенно изменяет зоны, пригодные для сельского хозяйства. Если через десять, пятнадцать или двадцать лет

можно будет выращивать виноград или маслины в Бретани, желательно начинать их высаживать уже сейчас или, по крайней мере, подготовить всё необходимое для их выращивания. Нужно также думать и планировать будущее рыболовство. Действительно, современное состояние биоресурсов, а также прогнозы о состоянии «завтрашнего моря» обязывают рыбаков модифицировать свою деятельность в соответствии с прогнозами. Как компенсировать уменьшение запасов биоресурсов? Какую рыбу они будут ловить через 10-20 лет? Как адаптировать стратегию и методы рыболовства? Как готовить будущих рыбаков к рыболовству будущего? Нужно ли изменить учебные программы учебных заведений? Каким должно быть промышленное судно будущего? И так далее.

Прогнозирование самого себя на будущее облегчит разработку новой концепции морских профессий. Наверняка морской промысловик будет меньше добывать морских биоресурсов, что хорошо для ресурсов, но моряк будет вынужден проводить много времени на суше. Для того чтобы избежать полной переквалификации, как, например, перейти в охранники портов развлечений (*порты для катеров и яхт – примечание переводчика*), рыбак сможет часть своего времени работать по своей основной профессии, а потом заняться дополнительной работой, близкой к основной, например, работать в аквакультуре. Известно, однако, что одна аквакультура не сможет компенсировать падение запасов ресурсов. Существуют и другие направления в морских профессиях, например, альгокультура, занимающаяся выращиванием многоклеточных и одноклеточных водорослей, то есть морских объектов, предназначенных для питания.

Таким образом, человек, как и все живые организмы на планете, должен адаптироваться к новым условиям среды, которые, в значительной степени, созданы им самим.

Глава 11

Личинки моллюсков

Моллюски – это беспозвоночные животные, имеющие мягкое тело, часто защищённое прочной раковиной. В отличие от брюхоногих (рапана, виноградная улитка), обладающих раковиной, головой и ногой, служащей для перемещения, двустворчатые не имеют головы, но обладают раковиной, состоящей из двух створок, соединённых лигаментом. Мидии, устрицы, сердцевидки, морские гребешки называются пластинчатожаберными, потому что их жабры состоят из серии маленьких пластин. Среди пластинчатожаберных встречаются фильтраторы (мидии, устрицы). Другие двустворчатые моллюски снабжены трубчатыми сифонами (двумя трубками). Один сифон всасывающий – он втягивает воду вместе с планктоном, а другой – выпускающий (через него выходят остатки непереваренной пищи и продукты распада). Это закапывающиеся двустворчатые моллюски.

Размножение устриц

Среди двустворчатых - фильтраторов наиболее известны гигантская или выпуклая устрица (*Crassostrea gigas*) и плоская устрица (*Ostrea edulis*). Оба вида одновременно близки и, в то же время – различные, в частности, по способу размножения. Устрица – это последовательный гермафродит, то есть она может менять свой пол от одного сезона размножения к другому (гигантская устрица), либо в течение одного года (плоская устрица). Весной, когда температура воды поднимается выше 10°C, начинается интенсивное формирование половых клеток (ооцитов и сперматозоидов). Гонады увеличиваются в объёме и окрашиваются в светло-кремовый цвет. В этот период плоских устриц называют «очень упитанными», гигантских – «молочными». Одна и та же устрица нерестится несколько раз в течение года. Сезон размножения протекает с июня по сентябрь. Наиболее интенсивный нерест происходит в июне и в июле, когда вода в море становится серебристо-белой от выпущенных половых продуктов.

Гигантская устрица *Crassostrea gigas* не вынашивает своё потомство. Сформировавшиеся в гонадах гаметы вымётываются в море при благоприятных внешних условиях (температура воды выше 20°C и солёность

несколько ниже океанической, то есть недалеко впадает река). Во время нереста самка помахивает створками и вымётывает миллионы яйцеклеток, в то время как самец приоткрывает створки и выпускает тонкую струйку, содержащую сперматозоиды. Одна устрица вымётывает до 100 миллионов женских гамет и ещё больше – мужских гамет. Оплодотворение происходит в воде, после чего начинается деление клеток. Через 24 часа прозрачное яйцо лопается и появляется маленькая личинка размером 60 мкм. Эта первая устричная личинка покрыта ресничками и перемещается, поворачиваясь вокруг своей оси.

Плоская устрица *Ostrea edulis* – вынашивает своё потомство. Самка откладывает яйца вовнутрь, точнее в супрабранхиальную полость, а самец вымётывает мужские гаметы непосредственно в воду. Яйцеклетки оплодотворяются внутри самки по мере поступления мужских гамет с фильтруемой водой. После выклева маленькие личинки остаются внутри самки, где они развиваются в течение 8-10 дней до формирования первой раковинки. На этой стадии самку называют «ардуазной» по причине серой массы сотен тысяч серых личинок, находящихся в инкубаторном кармане. (Примечание переводчика: ардуаза (*ardoise*) – это плитка серого сланца, из которого изготавливают во Франции черепицу, также серого цвета, которая также называется «ардуаза»). При достижении личинками размера 160 мкм они выпускаются в воду, где начинается их пелагическая жизнь.

Жизнь личинки

Маленькая личинка – трохофора – прозрачна и покрыта ресничками; внутренние органы хорошо просматриваются. Кроме вибрирующих ресничек, постепенно появляется велум, напоминающий маленький парус, помогающий личинке плавать и улавливать корм (фитопланктон). После завершения формирования велума, личинка становится велигером. Развиваются створки раковин, а также мускул их закрывающий. Для обоих видов устриц форма личинок на начальной стадии напоминает латинскую букву D, а прямой край раковины – это будущий замок.

Велигеры, в зависимости от вида, плавают в толще воды, переносятся течениями на протяжении 10 дней (плоская устрица) или трёх недель (гигантская устрица). Продолжительность жизни личинки в планктоне зависит от внешних условий: температуры, ветра, течений, количественного и качественного состава пищи. Велигер питается вначале мелкими

микроводорослями, затем, по мере роста и увеличения размеров рта - увеличиваются и размеры его пищи.

Наступает момент метаморфоза, но для его протекания личинка должна, во чтобы это ни стало, прикрепиться к твёрдой поверхности (субстрату). Для выполнения этой задачи, у велума появляется подвижная нога, с помощью которой личинка, ощупывая внешнюю среду, обследует её и выбирает объекты с нужной поверхностью. На этом этапе личинка велигер переходит в стадию педивелигера, размером примерно 300 мкм. На его раковинке появляется тёмное пятно, называемое «глазок» - сенсорный (чувствительный) орган и знак, по которому можно судить о готовности личинки к фиксации на субстрате. С помощью ноги педивелигер может перемещаться и предпринимать попытки окончательного выбора поверхности. Выбрав подходящее место, личинка выделяет цемент, с помощью которого она неподвижно закрепляется на субстрате. Происходит метаморфоз, и личинка превращается в ювенильную особь, не являющуюся больше частью планктона. На этой стадии устричку называют «спат».

Прикрепиться, во что бы то ни стало

«Главная задача личинки старшего возраста, близкой к метаморфозу, - находиться вблизи от подходящего субстрата, в нужное время и, при этом, не быть унесённой течением (или по другой причине) в открытое море, либо в место с неподходящими условиями. Экспериментальные исследования показали, что личинки, готовые к метаморфозу, способны находить субстрат с требуемыми физическими и биологическими свойствами. Представителям нескольких видов морских животных (черви, устрицы, морские жёлуди) были предложены субстраты с различными химическими свойствами. Личинки подопытных животных обладали способностями выбирать нужный субстрат для прикрепления. Известна проблема устрицеводов, собирающих в море устричный спат на коллекторы. Устрицеводам требуются надёжные коллекторы, привлекающие личинок устриц. Иначе личинки окажутся в открытом море, либо на ферме у конкурентов!»

Цитировано по *Plancton*, Gerard Seguin, Jean-Claude Braconnier et Bernard Ekhaïm, coll. «Que sais-je? », no. 1241, PUF, 1997.

Некоторые принципы устрицеводства

В морской природной среде, субстраты, к которым прикрепляются личинки – это обычно скалы, валуны и т.д. В устрицеводстве, в качестве

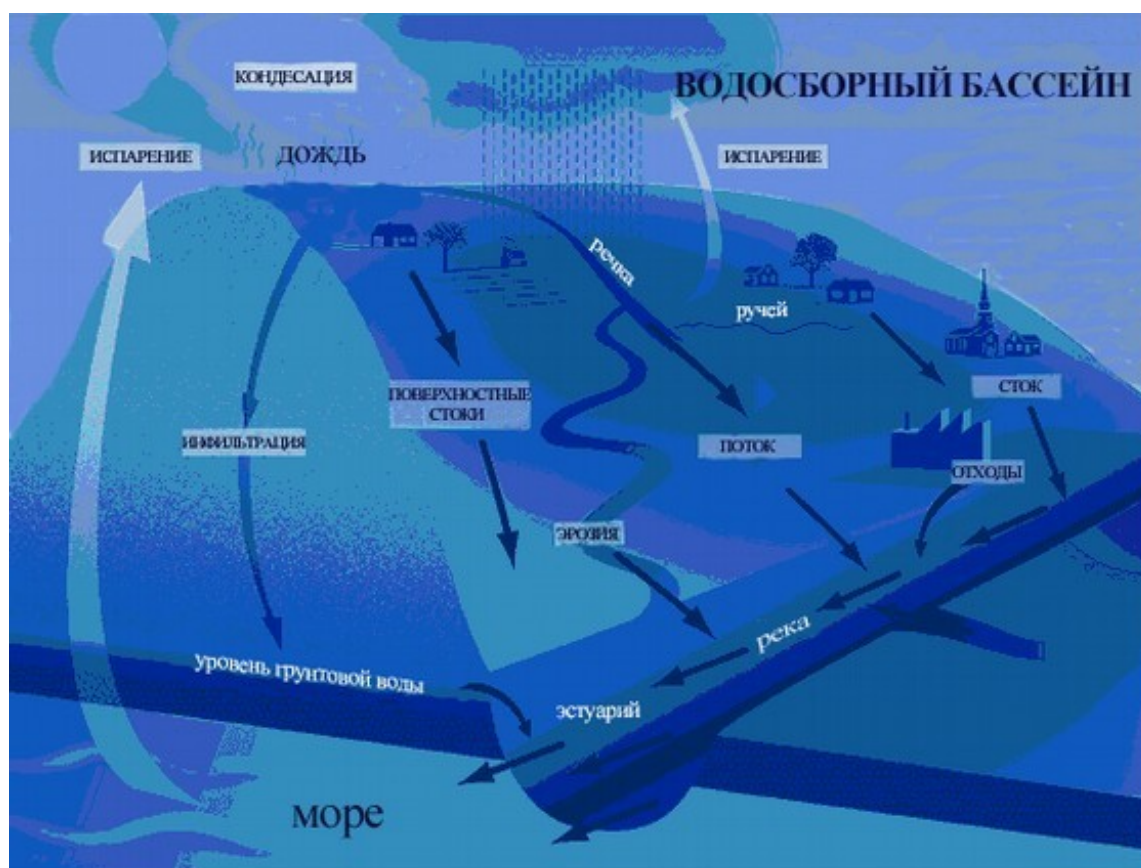
субстратов используют коллекторы, изготовленные из пластических материалов, железных полос, а также из природных материалов, таких как раковины мидий или морских гребешков. Прикрепившись к субстрату, устрица уже не может от него открепиться. К моменту оседания личинок устриц на коллекторы, то есть на субстраты, устрицевод выставляет эти коллекторы в места размножения устриц. Операция сбора устричной молодежи на коллекторы называется каптаж. После завершения оседания устриц на коллекторы и достижения ими размера 1-3 мм, становится возможным их транспорт в места доращивания до коммерческого размера. На раковине морского гребешка может разместиться несколько сотен экземпляров устричного спата. Некоторые устрицеводы из района Морской Шаранты (Charente Maritime), где проводится каптаж спата гигантской устрицы, собирают спат для его доставки в другие районы Франции (Нормандию, Бретань, Средиземное море) или в другие страны для продажи местным устрицеводам.

Устричные парки устраивают в легкодоступных местах, богатых фитопланктоном, желательно в эстуариях, где происходит смешивание морской и пресной вод. Именно там фитопланктон особенно богат, а дно покрыто песком, либо илом. В природе, на участках, без твёрдых субстратов, устрицы не встречаются. Но на коллекторах, благодаря обильному корму, устрицы быстро растут и, при достижении ими 3 см, они становятся достаточно прочными для отделения (детрокажа) их от коллектора. Отделённых устриц собирают в группы и помещают их в устричные садки, напоминающие клетки, в которых, в течение двух лет, происходит их доращивание до коммерческого размера. В садках устрицы питаются, отфильтровывая из воды, различные микроводоросли: диатомовые, хлорофиты, хризифиты.

Враги устриц

Основные враги устриц – это брюхоногие моллюски, просверливающие в раковине устрицы отверстие, через которое, с помощью хоботка, они поглощают мягкие ткани. Устрицами питаются и морские звёзды, которые способны приоткрывать створки устриц и проталкивать внутрь раковины вывернутый желудок. Кроме этих хищников, наносящих большой вред устричному хозяйству, ещё большие неприятности грозят от планктона. Некоторые виды микроводорослей, особенно динофлагеллаты, производят сильные токсины, способные накапливаться в мягких тканях этих фильтраторов, вследствие чего мясо моллюсков становится непригодным для

питания. Некоторые патогенные бактерии проникают иногда во внутренние органы устриц, делая их опасными для потребления. Более того, от загрязнений, производимых сельскохозяйственной, промышленной и просто домашней деятельностью, поступают в море большие количества биогенов, вызывающих эвтрофикацию. В акваториях, подвергнутых эвтрофикации, устрицы остаются без корма и кислорода. И, наконец, в некоторых случаях, причины массовой гибели устриц остаются невыясненными. Именно такая ситуация сложилась и в настоящее время. Случаи невыясненных причин массовой смертности устриц периодически возникают, начиная с 1860 года, то есть со времени функционирования первых устричных хозяйств.



© G. Jublin (schéma téléchargeable sur www.eclm.fr)

Рис. 14. Водосборный бассейн

Можно утверждать, что первопричиной заболевания устриц является низкое качество морской воды. Кроме этого, устриц потребляют в основном в сыром виде, поэтому за их качеством установлен строгий санитарно-бактериологический контроль. Вот почему состояние устрицеводства является надёжным индикатором состояния морской среды. Процветание устрицеводства свидетельствует о хорошем состоянии фитопланктонного сообщества и о высоком качестве морской воды, что возможно только в

случае здорового водосборного бассейна. Реки, впадающие в море, на всём своём протяжении собирают загрязнения со всего водосборного бассейна. Поэтому загрязнения, производимые промышленностью, сельским хозяйством, населёнными пунктами неизбежно оказываются в море.

Личинки в изобилии

Как и ракообразные, моллюски проходят свою личиночную стадию в планктоне, где занимают своё звено в трофической цепи. В течение репродуктивного периода самки моллюсков производят миллионы яйцеклеток и личинок, из которых только несколько десятков особей достигают половой зрелости, а остальные оказываются съеденными хищниками.

Тапесы

Тапесы – это двустворчатые моллюски, выращиваемые во Франции под названием палюрд (palourde). В отличие от устрицы, ведущей неподвижный образ жизни, прикрепившись к скале - тапесы нуждаются в песчаном или илистом грунте, в который они зарываются. Пища тапесов отличается от пищи устриц. Устрицы питаются планктонными и бентосными микроводорослями, а тапесы – только бентосными. Тапесы способны передвигаться с помощью ноги. Иногда они перемещаются вместе с песком, на который воздействуют волны. Несмотря на то, что тапесы – это донные моллюски, их планктонные личинки живут в толще воды.

Моллюски, в зависимости от вида, размножаются в разное время. Например, устрицы размножаются в июне-июле; мидии – с февраля по июль; с июня по сентябрь – морской гребешок; с весны и до осени – тапесы. Хищные брюхоногие моллюски размножаются практически в течение всего года, а их планктонные личинки находятся в планктоне в течение пяти недель. Таким образом, ежегодно, между Пасхой и Праздником Всех Святых (Toussaint) (1 ноября) один или несколько видов моллюсков выпускают в воду миллионы личинок, составляющих пищу личинок рыб и ракообразных, которые растут и развиваются именно в этот период.

Показатель здоровья

Как в случае постоянного зоопланктона (коловратки, копеподы, криль и т. д.), так и зоопланктона временного, различные двустворчатые (устрицы,

кардиумы, мидии, тапесы, морские гребешки и т.д.) зависят от разнообразия фитопланктона. Эстуарии обычно очень богаты моллюсками, потому что там присутствуют многие виды фитопланктона. Однако загрязнение воды может вызвать цветение одного вида микроводорослей и угнетение других, в результате чего преимущество получают личинки моллюска, способного потреблять массовый вид водорослей. Разнообразие временного зоопланктона при этом снижается. Таким образом, качество воды является фактором, определяющим качественный и количественный состав фитопланктона и, следовательно, выживаемость личинок и взрослых моллюсков, отфильтровывающих корм из воды. Итак, если разнообразие фитопланктона высокое – это означает, что состояние водной среды хорошее.

Верно и обратное: отсутствие в акватории двустворчатых моллюсков должно вызывать тревогу. Исключение составляют мидии, которые в отличие от устриц, могут обходиться одним видом водорослей или даже неживым взвешенным органическим веществом (детритом). Поэтому мидии не являются показателями качества воды.

Таким образом, разнообразие моллюсков и ракообразных в акватории свидетельствует о высоком разнообразии фитопланктона, который можно рассматривать в качестве определяющего фактора прибрежного биоразнообразия.

Глава 12

Личинки иглокожих

Название «иглокожие» (*Echinodermata*) происходит от греческих слов *ekhinos*- ёж и *derma* – кожа. Иглокожие – это исключительно морские животные с телом, почти всегда защищённым известковыми пластинами, снабжёнными неподвижными, либо подвижными иглами. Тип иглокожих включает следующие классы: морские звёзды, морские ежи, офиуры, голотурии (морские огурцы), морские лилии.

Жизнь всех этих животных начинается с планктонной личинки, которая развивается в толще воды, внося свой вклад в биоразнообразие планктона и обогащая кормовую базу хищного зоопланктона. В конце личиночного периода все выжившие личинки иглокожих оседают на дно, где они проходят метаморфоз и становятся молодью, а затем взрослыми донными беспозвоночными.

Морской ёж – оригинальное животное

На французском побережье встречаются пять видов морских ежей, среди которых три вида являются съедобными: зелёный ёж, фиолетовый ёж и ёж островов Гланан (Glenan). Узнаваемый по своему внешнему виду, напоминающему плод каштана в своей внешней оболочке, морской ёж представляет собой сложный и оригинальный организм. Действительно, его тело, в отличие от большинства двусторонне симметричных (билатеральных) животных, имеет пятистороннюю симметрию. Его внутренний скелет, называемый панцирем, образует сферическую структуру, состоящую из мелких известковых хрупких пластин, расположенных по лучам. Морской ёж покрыт подвижными иглами, напоминающими ходули. Имеются также и ножки (подии) в виде трубочек, способных удлиняться и сокращаться. Ножки выходят из мелких отверстий в панцире, а на концах ножек имеются присоски, помогающие ежу прикрепляться к различным субстратам. Иглы и ножки одновременно являются органами передвижения и защиты. Морской ёж обладает также педицилляриями, (от лат. *pediculus* – стебелёк, ножка) – мелкими, многочисленными придатками скелета морских ежей, имеющие форму щипчиков, обычно трёх- или двустворчатых, сидящих на гибком стебельке. Некоторые снабжены ядовитыми железами. Служат для защиты и

очистки поверхности тела. Когда морской ёж сидит, прикрепившись к скале, его анальное отверстие находится на верхней стороне тела. Рот расположен на противоположной (нижней) стороне, лишённой иголок, то есть на незащищённой части морского ежа. Во рту находится мощный жевательный аппарат, называемый Аристотелев фонарь, состоящий из пяти зубов. От Аристотелева фонаря отходит внутрь тела пищеварительная трубка.

Как и большинство иглокожих, морские ежи – раздельнополы; оплодотворение – внешнее. Внутренние органы размножения состоят из пяти гонад, образующих гроздь с расходящимися пятью лучами. Эти половые железы составляют съедобную часть морского ежа. Мужские и женские гаметы поступают из гонад в протоки, выходящие наружу вблизи анального отверстия. Самцы и самки неразличимы по внешнему виду. Однако, при выделении гамет во внешнюю среду, пол становится различимым по составу и цвету выделяемых гамет. Яйцеклетки окрашены в оранжевый цвет и выделяются в виде мелких крупинок, в то время как сперматозоиды выделяются в виде жидкой беловатой струйки.

Размножение морских ежей

Самцы и самки обитают на дне, где они выделяют в воду гаметы и в воде происходит оплодотворение. После проникновения сперматозоида в яйцеклетку – сразу начинается сегментация, заключающаяся в последовательном делении клеток внутри яйцеклетки (овулы). Через пять часов яйцо напоминает маленькую шелковицу, называемую морула, которая постепенно превращается в настоящую личинку. Через восемь часов после оплодотворения формируются реснички – первые наружные видимые органы. Личинка на этой стадии, называемая бластулой, способна активно плавать. Постепенно в ней появляются внутренние органы. На стадии «гаструлы» личинка обладает пищеварительным аппаратом и питается микроводорослями. Через 36 часов после оплодотворения, личинка напоминает Эйфелеву башню – характерная форма стадии плутеус. Плутеусы, в процессе роста, изменяют свой внешний вид, округляются и на тринадцатый день становятся эхиоплутеусами.

Через 14 дней начинается метаморфоз, который продолжается в течение нескольких дней. Личинка утолщается, рот и анус перемещаются, появляются первые ножки и педициллярии, а тело принимает вид миниатюрной картофелины. После метаморфоза личинка покидает планктон, становясь донным обитателем (бентосом) размером 1 мм. Ювенильная особь

продолжает расти, затем в ней формируются половые органы, и морской ёж становится взрослой особью.

Прожорливые и полезные

Планктонная жизнь морского ежа продолжается, в зависимости от вида, 3-4 недели. Благодаря размерам своего большого рта (20-30 мкм), личинки морского ежа заглатывают все микроводоросли, находящиеся поблизости, но в особенности хлорофиты (*Dunaliella*, *Tetraselmis*). Молодь, живущая на дне, прячется в расщелинах, под камнями и питается бентосными диатомовыми. По мере роста ежей изменяется и их рацион. Из пожирателей микроводорослей, они становятся пожирателями нитчатых водорослей, затем переходят на ламинариевые, красные водоросли и на многие другие виды макрофитов (многоклеточных водорослей), произрастающих в местах их обитания: в верхней сублиторали и на нижних этажах литорали. Однако морские ежи не ограничиваются макрофитами, они поедают и детрит и мёртвых животных, осуществляя, таким образом, «санитарную уборку».

Морские ежи разделяют роль «уборщиков» с представителями других классов иглокожих, прежде всего с прожорливыми морскими звёздами. Звёзды не ограничиваются поеданием трупов и нападают на живых животных: моллюсков, губок, кораллов, ракообразных и рыб. Например, для того, чтобы добраться до мяса устрицы, морская звезда открывает её створки с помощью присосок на ножках и вводит внутрь раковины свой желудок, который она выпускает через собственный рот. Затем переваривает мясо жертвы и всасывает продукты пищеварения через желудок. Если морская звезда попадёт на устричную ферму, она может там нанести большой урон.

Выполняя очистку морского дна и уничтожая организмы - обрастатели, морские ежи и морские звёзды играют важную роль в обеспечении равновесия среды. Эти иглокожие не допускают накопления органического вещества и развития бактериального (нередко и патологического) населения. Они предупреждают возникновение эпизоотий и обеспечивают донному населению условия для нормального развития. Кроме этого, все иглокожие производят миллионы личинок, обогащающих зоопланктон. Взрослые особи представляют собой лёгкую добычу для многочисленных хищников таких, как птицы, рыбы и ракообразные. Поэтому, если на первый взгляд иглокожие представляются почти бесполезными, то в действительности они в морской экосистеме (где многие виды взаимозависимы) необходимы многим

гидробионтам. Они также вносят важный вклад в биоразнообразие, необходимое для сбалансированного функционирования экосистемы.

***Luidia ciliaris* – хрупкая звезда**

Морские звёзды представляют самую красивую группу (класс) иглокожих и насчитывают они 1500 видов. Их формы разнообразны: у некоторых лучи узкие и заострённые, у других лучи округлены. Встречаются морские звёзды и без лучей. Их диаметры варьируют от одного и до семидесяти сантиметров. Большинство звёзд имеют пять лучей. А *Luidia ciliaris* – это семилучевая морская звезда. Она очень крупная и в то же время – одна из самых уязвимых. Её можно обнаружить вокруг острова Груа (Groix) в Бретани (Франция). Обычно морские звёзды обладают свойством регенерации всего тела из одного оторванного луча. Однако если отрубить у *Luidia ciliaris* хотя бы один луч, она быстро гибнет, потому что она гемофильна, то есть её кровь не сворачивается. Для компенсации хрупкости и ранимости этой морской звезды, она наделена высокой плодовитостью – 50 миллионов яйцеклеток за один нерест. И, тем не менее, *Luidia ciliaris* остаётся редкой морской звездой.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

ОТКРЫТЬ ГЛАЗА НА НЕВИДИМОЕ

Маленькая капля морской воды заселена множеством животных и растений, невидимых невооружённым глазом. Открыв для себя, с помощью микроскопа, этот мир мельчайших созданий, начинаешь думать о величии и бесконечности жизни, представленной планктонными сообществами на бескрайних просторах Мирового океана. Эта плотная и эфемерная жизнь (продолжительностью в несколько часов, дней или недель) постоянно возобновляется. Вся масса планктона планеты может полностью возобновиться в течение нескольких дней. Эта непрекращающаяся продукция лежит в основе всех морских трофических сетей, проявляющихся в виде пищевых цепей. Растительный планктон создаёт органическое вещество, используя минеральные соединения, приносимые в моря реками, стекающими с континентов. Земля кормит море. Море кормит человека, который в течение тысячелетий пользуется этим биологическим богатством.

Морское растительное и животное разнообразие, наблюдаемое во всей водной массе, от больших глубин и до морских птиц, проистекает из разнообразия планктона. Без него, кит не смог бы жить, а попытки спасти китов, не заботясь о сохранении планктона, равносильны попыткам спасения орангутангов без сохранения леса. И планктон, и невидимый лес одновременно являются лёгкими планеты и фабриками пищи для человека. Под поверхностью Океана бурлит жизнь. Наблюдения за планктоном, подобно наблюдениям за птицами, позволяют нам любоваться его необычными (экстраординарными) формами, а также получить оценку его состояния, понять его ранимость от различных воздействий, угрожающих нарушениями сбалансированности процессов в морских экосистемах и, в частности в планктонных сообществах. Главное находится на стыке между землёй и морем – вместилищем отходов деятельности Человека на земле и местом, где качество воды является определяющим. Это качество не только свидетельствует об отсутствии загрязнения, но оно косвенно подтверждает высокое разнообразие фито- и зоопланктона. Сегодня необходимо переместить наше внимание и наш взгляд на невидимое для того, чтобы увидеть океан новым зрением и понять изобилие и ранимость его микроскопической жизни.

«Там где встречается тунец, там есть и анчоус (хамса), потому что тунец идёт за анчоусом» - объясняет старый рыбак. А если добавить, что анчоус «идёт за» планктоном, получим резюме всей трофической цепи. Эти

простые наблюдения в сочетании с научными данными, дают точные знания о взаимодействиях в трофических сетях и позволяют утверждать, что наблюдаемый сегодня планктон, завтра станет белком.

Жизненно необходимый для сегодняшних и будущих сообществ, этот «малый морской народ» должен стать охраняемым объектом ввиду его огромной роли в жизни океанов и в целом на планете. Планктон мог бы быть декларированным как наследие человечества, которым могла бы заниматься Международная комиссия, осуществляющая оптимальные взаимоотношения человека и природы.

Для реализации этой идеи необходимо гражданское понимание и поддержка инициатив по широкой передаче знаний людям и, особенно детям, с тем, чтобы будущие поколения знали о необходимости охраны этого природного ресурса, созданного океаном.

БИБЛИОГРАФИЯ

Livres Книги

- › *Atlas de biologie*, Edition française, Librairie Stock, 1970.
- › *Tout l'univers*, encyclopedie, Hachette, 1961-1970.
- › Gilbert Barnabe, *Aquaculture*, vol. 1 et 2, Tec & Doc Lavoisier, 1989.
- › Anita Conti, *L'Océan, les Bêtes et l'Homme, ou l'Ivresse du risque*, Editions Andre Bonne, 1971.
- › Paul Duvigneaud, *La Synthèse écologique*, Doin, 1980.
- › Christine Ferra (dir.), *Aquaculture*, Vuibert, 2008.
- › Bernard Fischesser et Marie-France Dupuis-Tate, *Guide illustré de l'écologie*, La Martinière / Cemagref Editions, 1996.
- › Jacqueline Goy, *Les Miroirs de Meduse. Biologie et mythologie*, Apogee, 2002.
- › Michel Grelon, *Saintonge. Pays des huotres vertes*, Rupella, 1978.
- › Guy Jacques, *Ecologie du plancton*, Tec & Doc Lavoisier, 2006.
- › Dorothee Koechlin-Schwartz et Michel Boyenval, *Petit guide des rivages*, Fleurus, 1974.
- › Maurice Loir, *Guide des diatomees*, Delachaux et Niestle, 2004.
- › Pierre Mollo, *Aquaculture. 1969 à 1986*, Cempama, 1991.
- › Jean-Marie Pelt et Jean-Pierre Cuny, *La Prodigieuse Aventure des plantes*, Fayard, 1981.
- › Jeanne Poisbeau-Hemery, *Marais salants*, Société des sciences naturelles de l'ouest de la France, Nantes, 1980.
- › Gilbert Ranson, *Les Huotres*, Editions Paul Lechevalier, 1951.
- › Gerard Seguin, Jean-Claude Braconnier et Bernard Ekheim, *Le Plancton*, « Que sais-je ? », n° 1241, PUF, 1997.
- › Eric Seinandre, *La terre m'a souri. Marais salants de la presque-île guirandaise*, photographies de Pascal François, Terre de sel, 2007.
- › Maelle Thomas-Bourgneuf et Pierre Mollo, *L'Enjeu plancton*, Editions Charles Leopold Mayer, 2009.
- › Valerie Tracqui, Françoise Claro, Christian Heinrich et Pascal Robin, *Copain des mers*, Editions Milan, 1982.

Revue Журналы

- › *Baies et rias*, revue de la SRC Bretagne Sud, n° 30, juin 2009.
- › *Eaux et rivières de Bretagne*, special « Littoral », n° 145, automne 2008.
- › *L'Encre de mer*, avec la coopération du Collectif Pêche et Développement, n° 22-23, n° 28-29.
- › *Et la matière reprend vie. Ecologie du plancton*, Institut océanographique de Paris, 1981.

- › *Petit guide du plancton*, Cap vers la nature, février 2010.
- › *Pour la science*, n° 371, septembre 2008.
- › *La Recherche*, special « La mer », n° 355, juillet-août 2002.
- › *Science et Vie*, hors-serie n° 257, decembre 2011.

Films

- › *Climate Change and Marine Ecosystems*, Eur-Oceans Films, 2005-2006.
- › *La Cuisine au plancton*, Jean-Yves Collet et Pierre Mollo, Com On Planet / Oceanopolis / FPH / Plancton et Innovations, 2010.
- › *La Mer feconde*, Geneviève Delbos et Pierre Mollo, 1981.
- › *Origine ocean*, Gerald Calderon, La Geode, 2001.
- › *Planute plancton. Au service des hommes et Planute plancton. L'impact de l'homme*, Jean-Yves Collet, Arte, 2010.
- › *Une mer en ses terres*, Geneviève Delbos et Pierre Mollo, 1983.
- › *Plancton du monde*, Philippe Coyault, Oceanopolis, VO français et anglais, 2012.
- › *Oceans*, Jacques Perrin et Jacques Cluzaud, Galatee Films, 2010.

Sites Internet

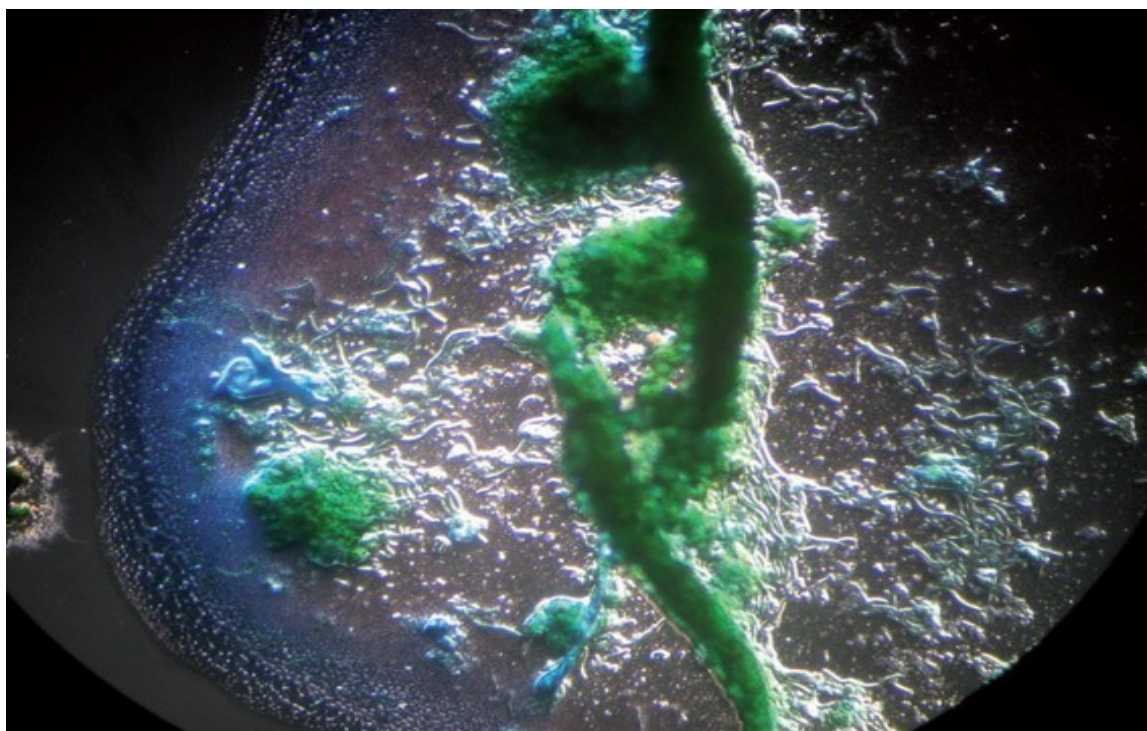
- › Anne Blondel : www.lavieduplancton.over-blog.com
- › CAP 2000 : www.jimdo.com
- › Cap vers la nature : www.cap-vers-la-nature.org
- › Centre scientifique de Monaco : www.centrescientifique.mc/csmfr
- › L'Encre de mer : www.l-encre-de-mer.fr
- › Expedition Tara Oceans : www.oceans.taraexpedition.org/fr
- › Jean-Yves Collet : www.comonplanet.org – www.jeanyvescollet.com
- › Maurice Loir : www.diatomloir.eu
- › Observatoire oceanologique de Villefranche-sur-Mer / universite Pierre et Marie-Curie : www.obs-vlfr.fr
- › Observatoire du plancton, Port-Louis : www.observatoire-plancton.fr
- › Oceanopolis/FPH : www.plancton-du-monde.org
- › Yann Trelu : www.touldour.sitew.com

ФОТОГРАФИИ

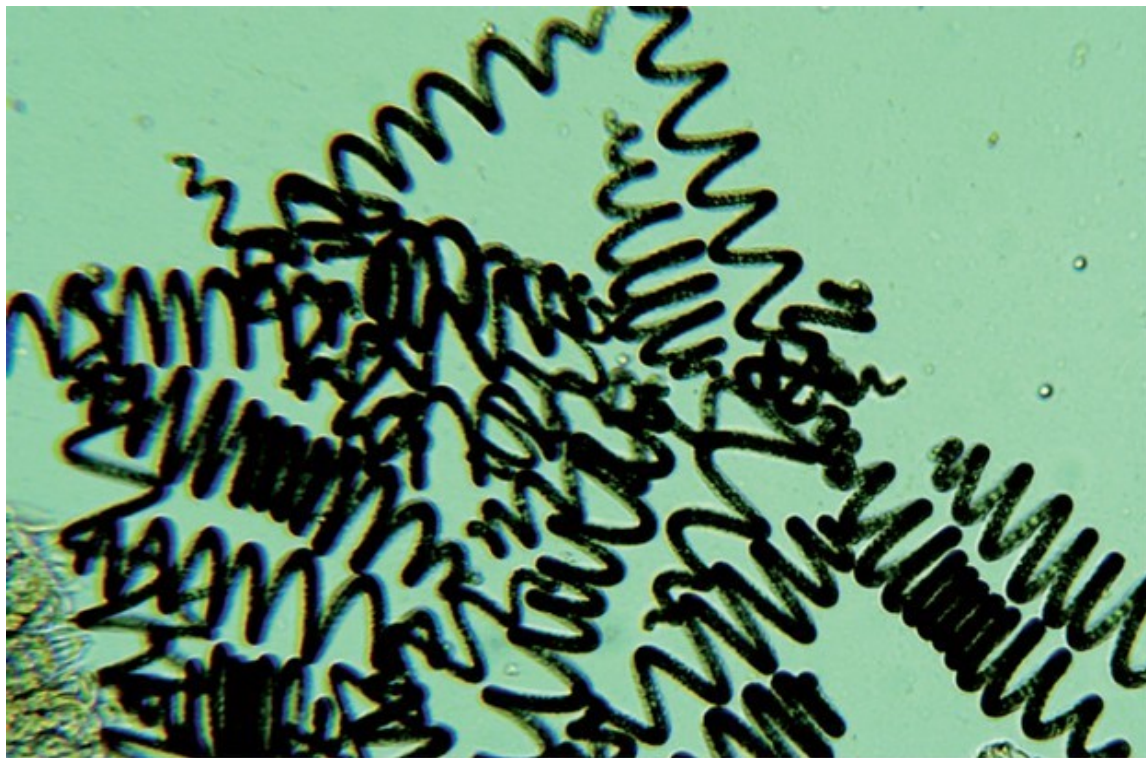
Пруд, окрашенный спирулиной



Спирулина в процессе высушивания



Спирулина озера Чад



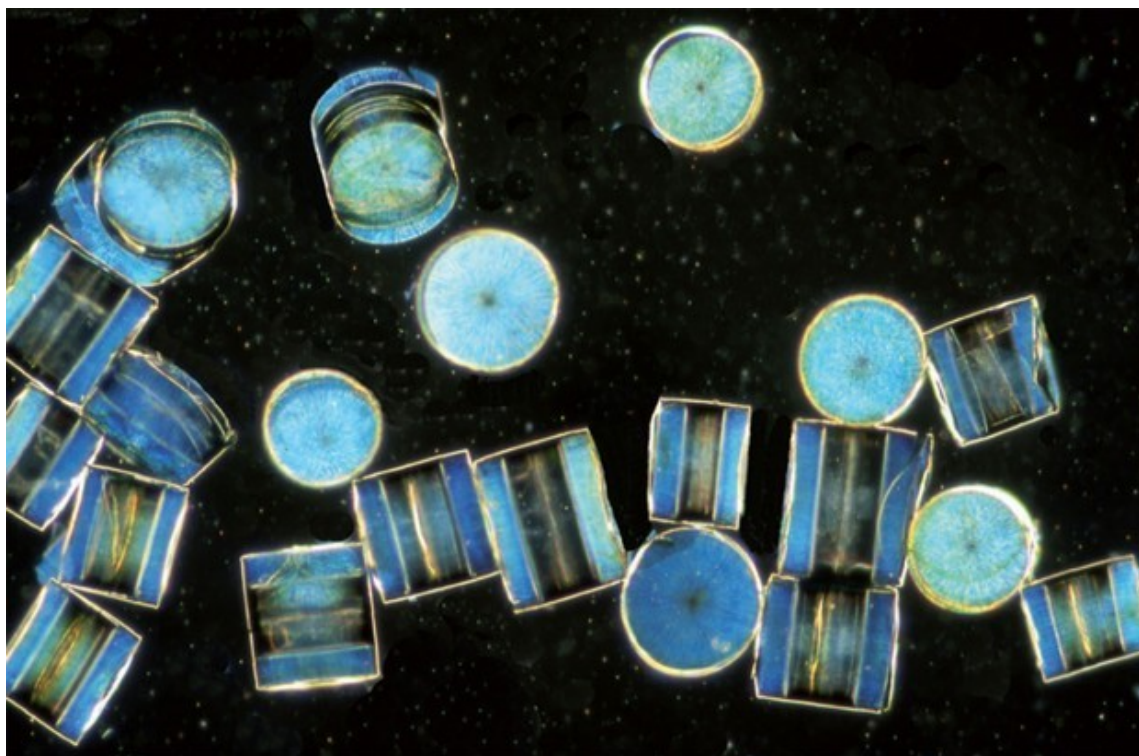
Сбор ностока в Боливии



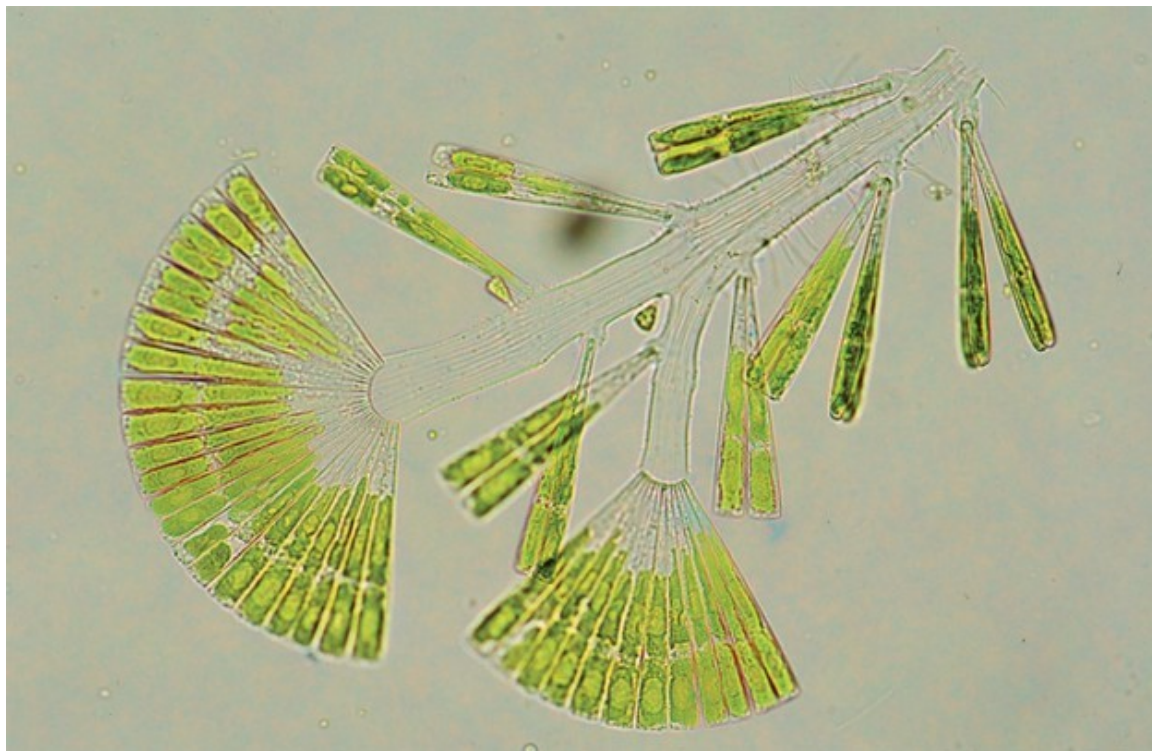
Карьер в диатомитовых скалах



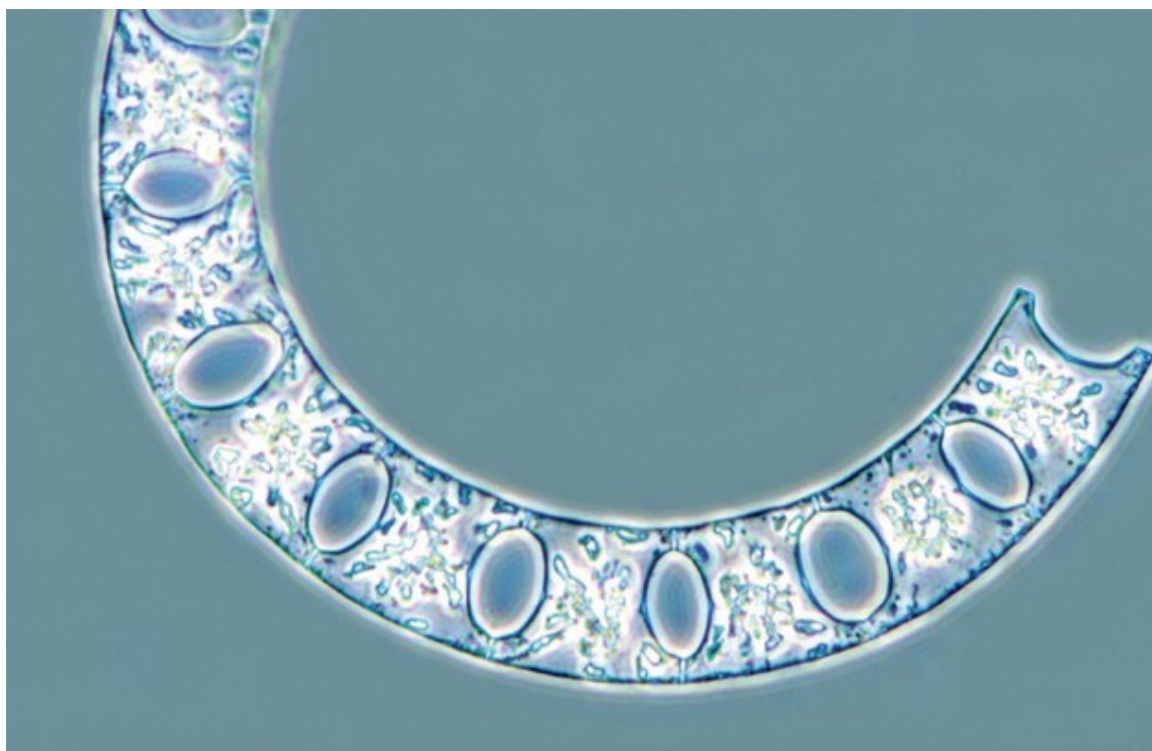
Диатомей *Coscinodiscus wailesii*



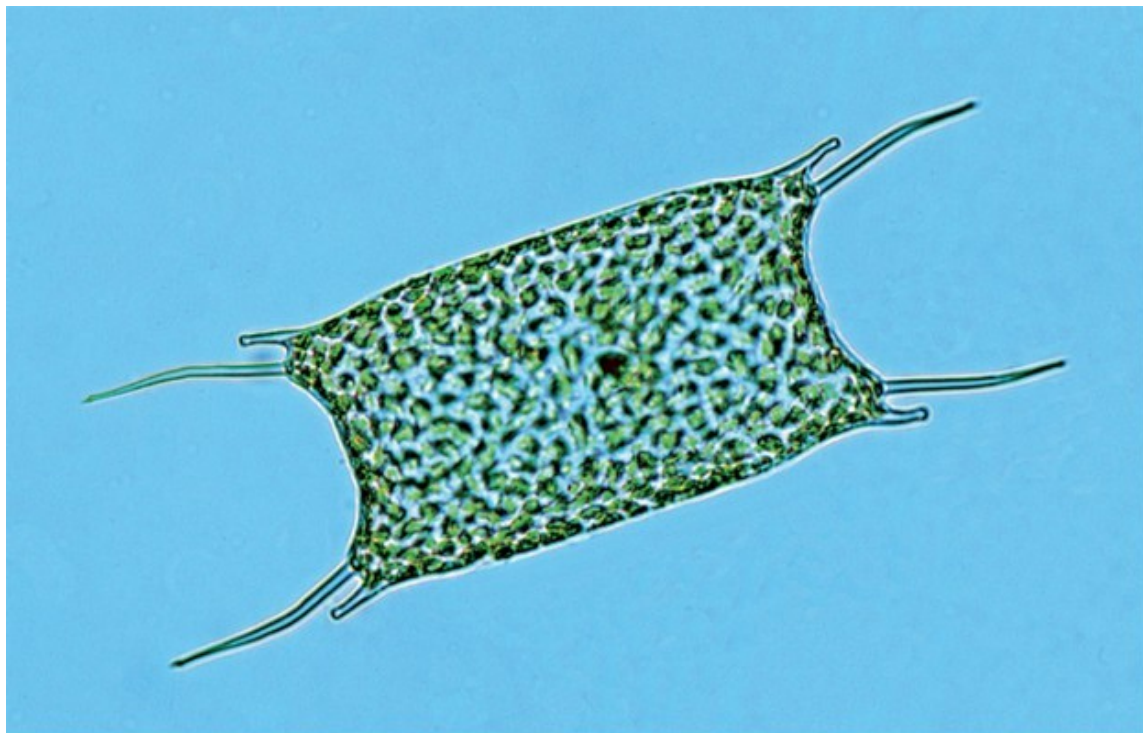
Колония диатомеи *Lustophora*



Колония диатомеи *Chaetoceros*



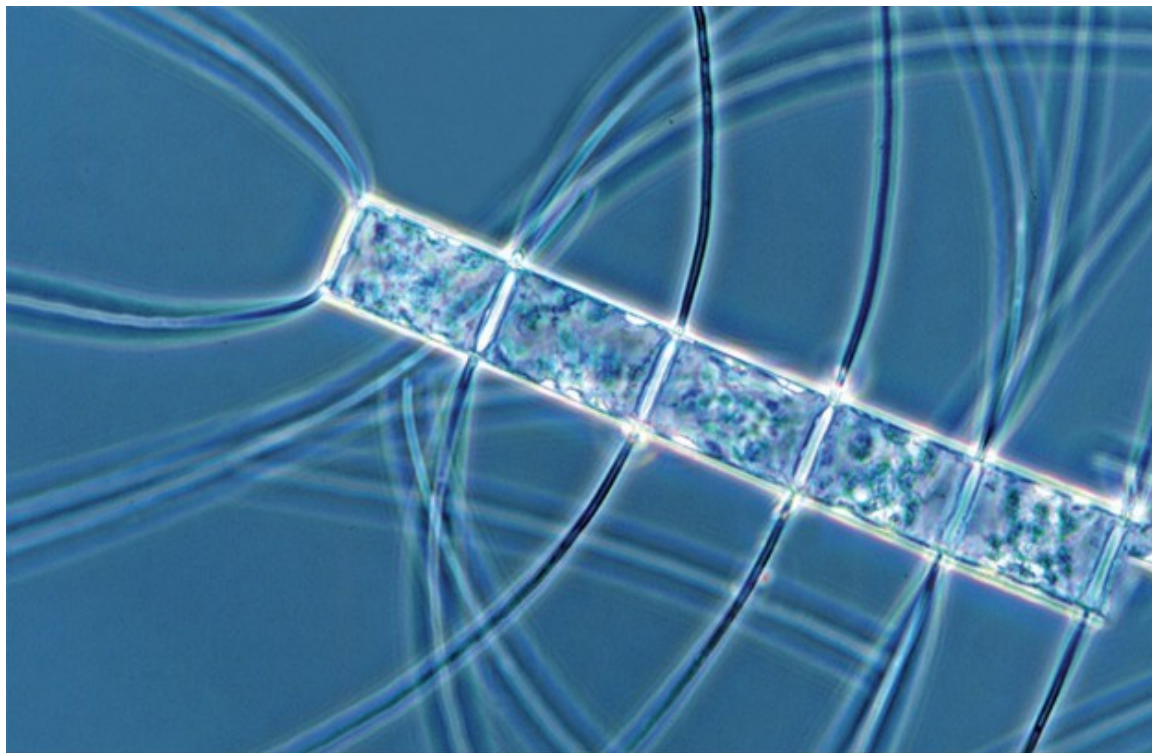
Диатомея *Odontella sinensis*



Клеточное деление диатомеи *Ditylum*



Колония диатомеи *Eucampia zodiacus*



Диатомея *Navicula*



Скалы Этретата (Etretat) - отложения кокколитов



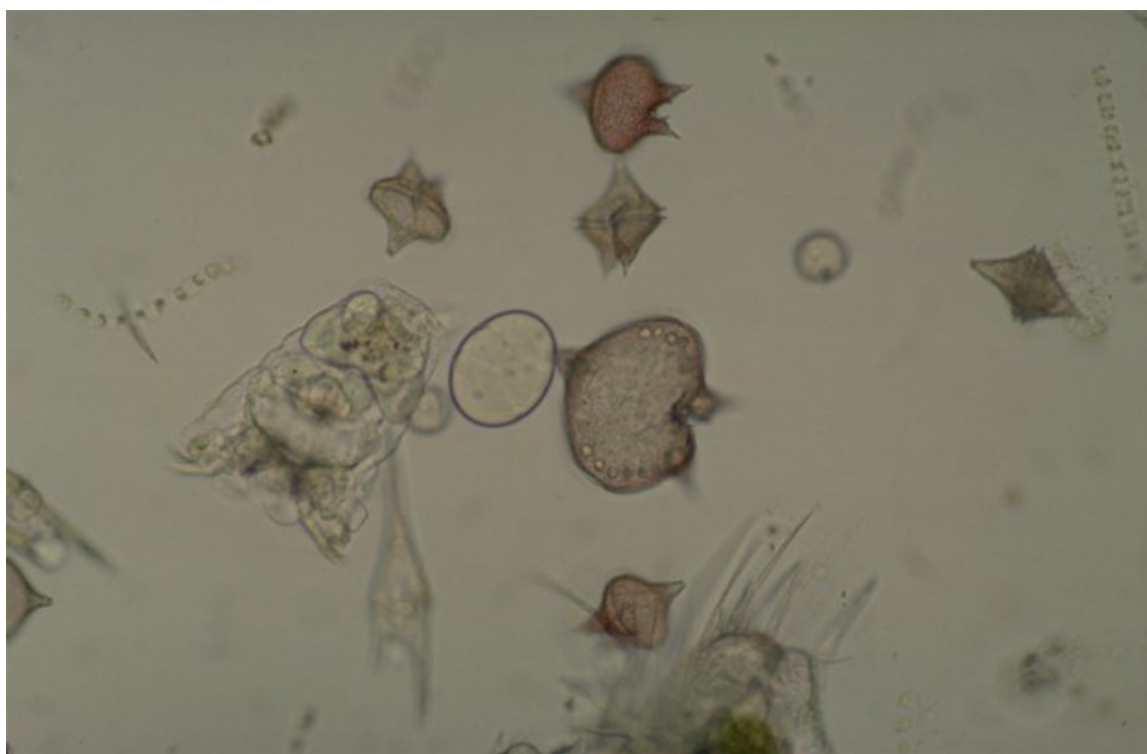
Кокколиты



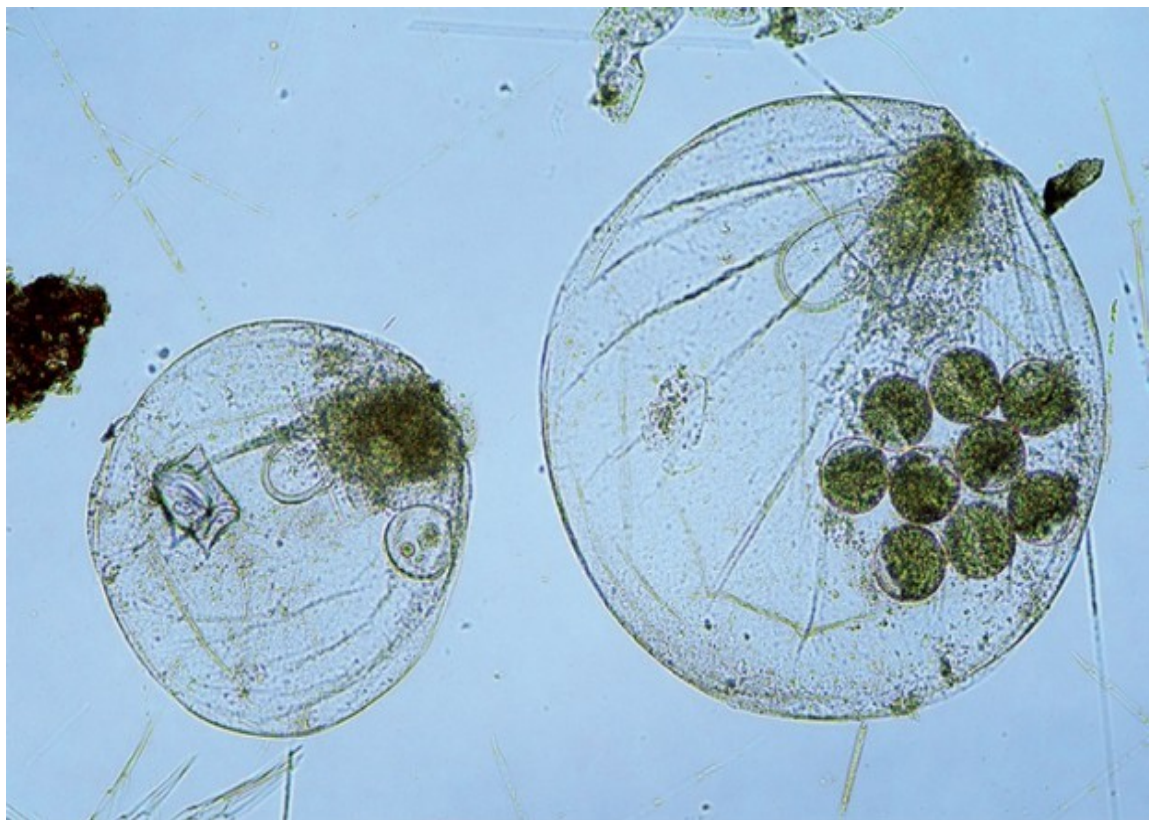
Динофлагеллата *Ceratium furca*



Динофлагеллата *Peridinium*



Динофлагеллата *Noctiluca scintillans*

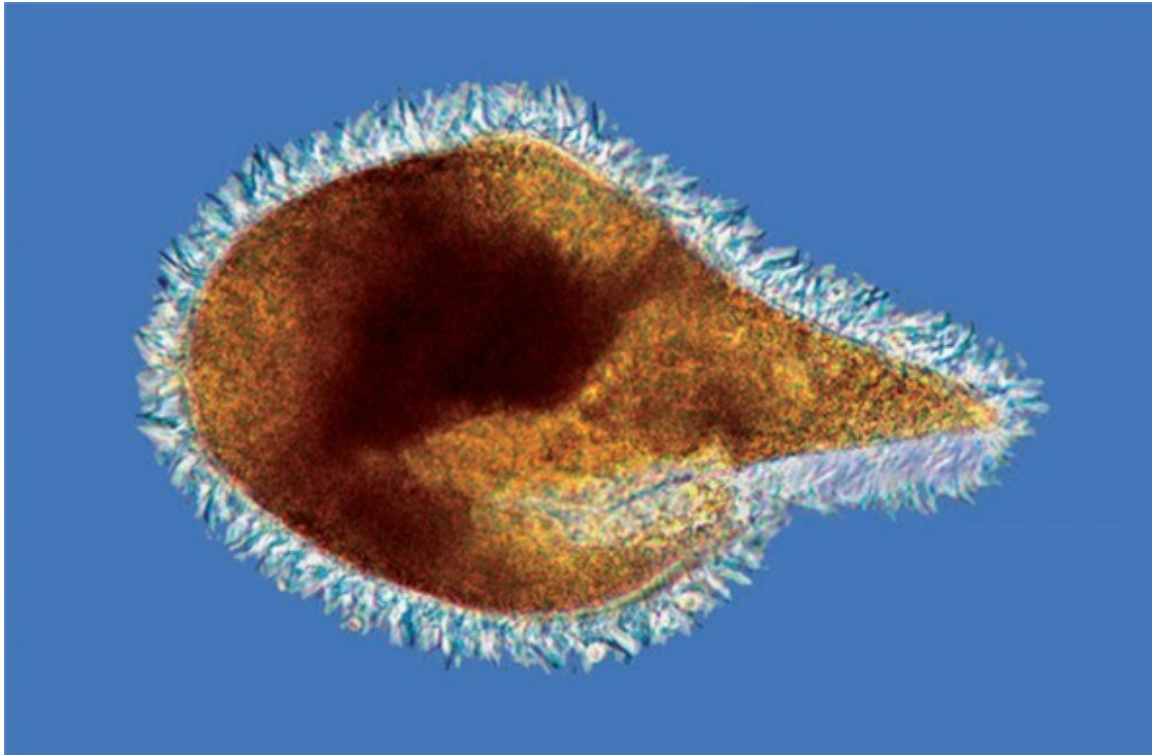


Динофлагеллата *Noctiluca scintillans*



Постоянный зоопланктон

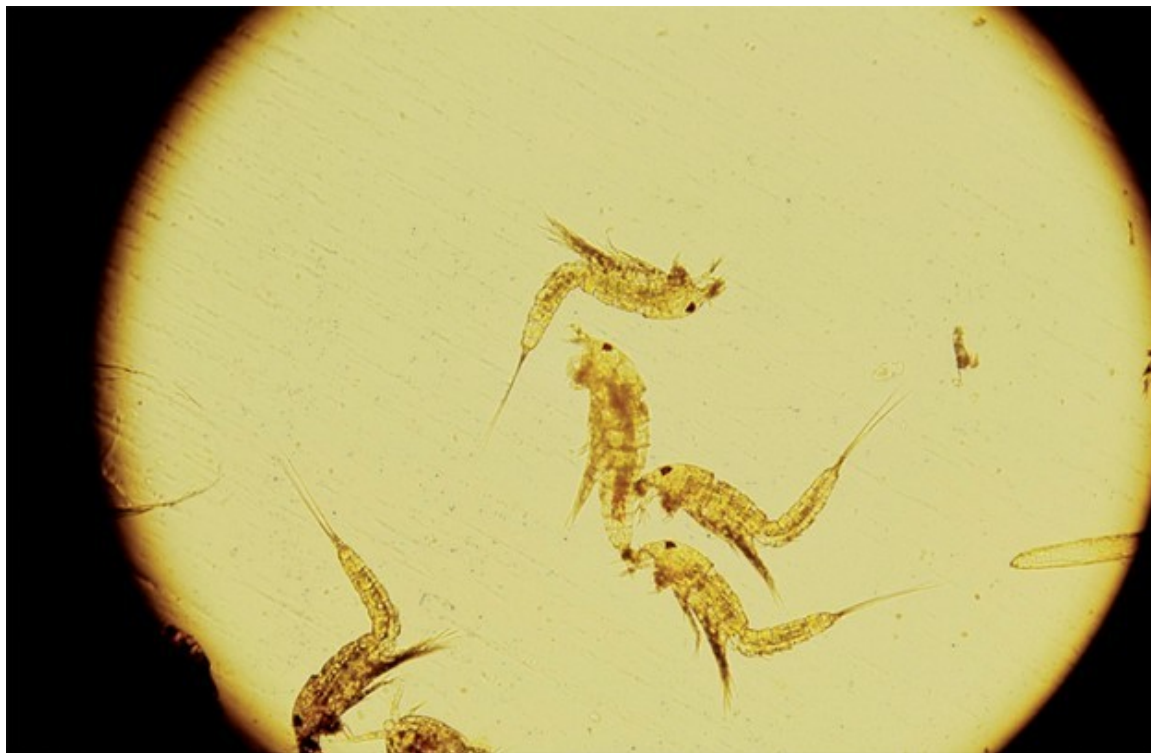
Протозоа *Fabrea salina*



Коловратка и спирулина



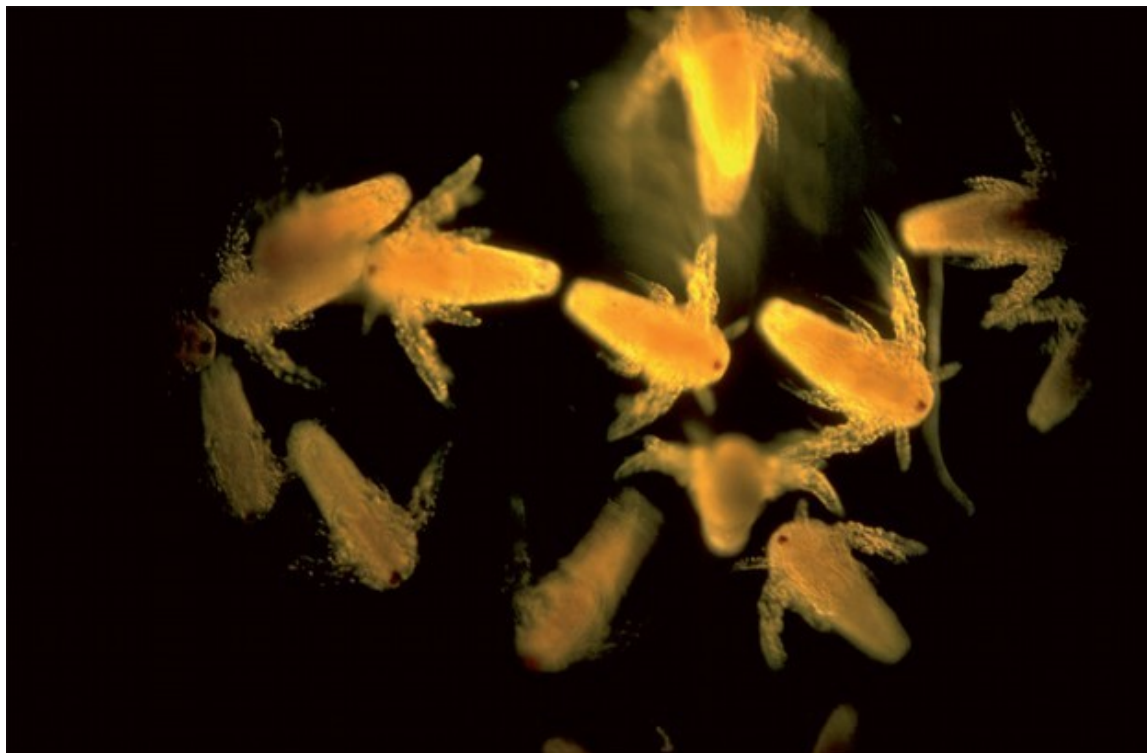
Копеподы с видимым глазным пятном



Взрослые копеподы



Науплиусы *Artemia salina*



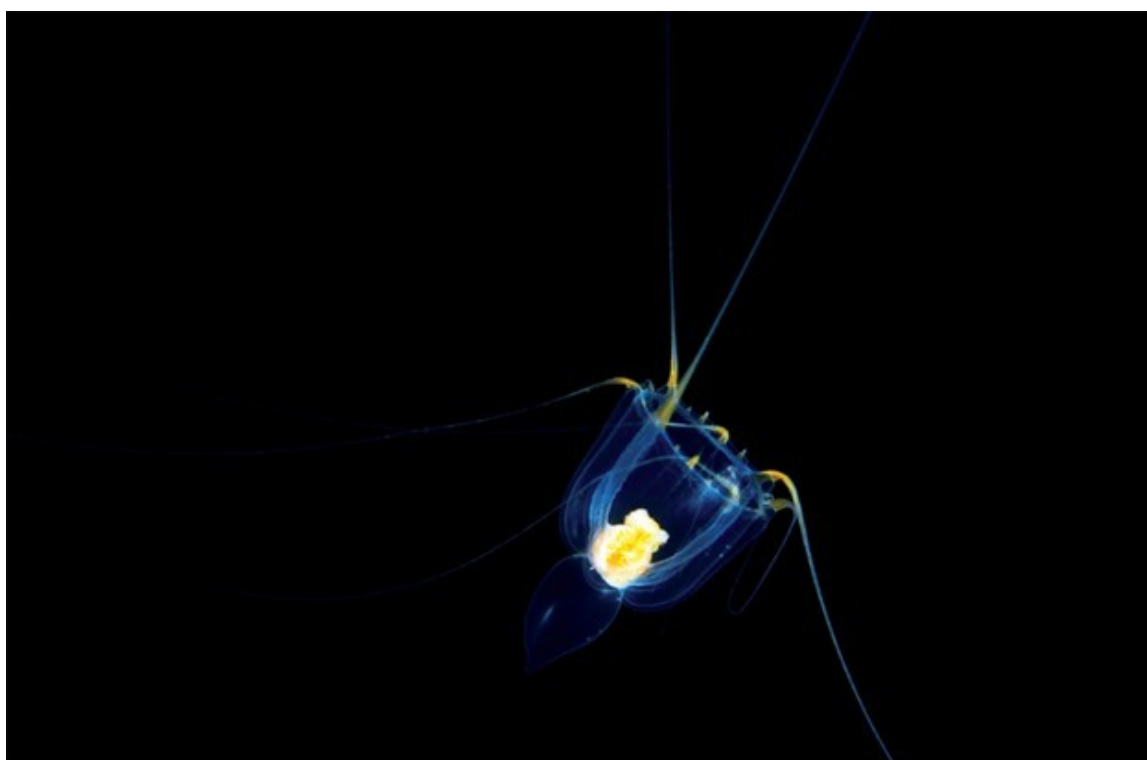
Взрослая *Artemia salina*



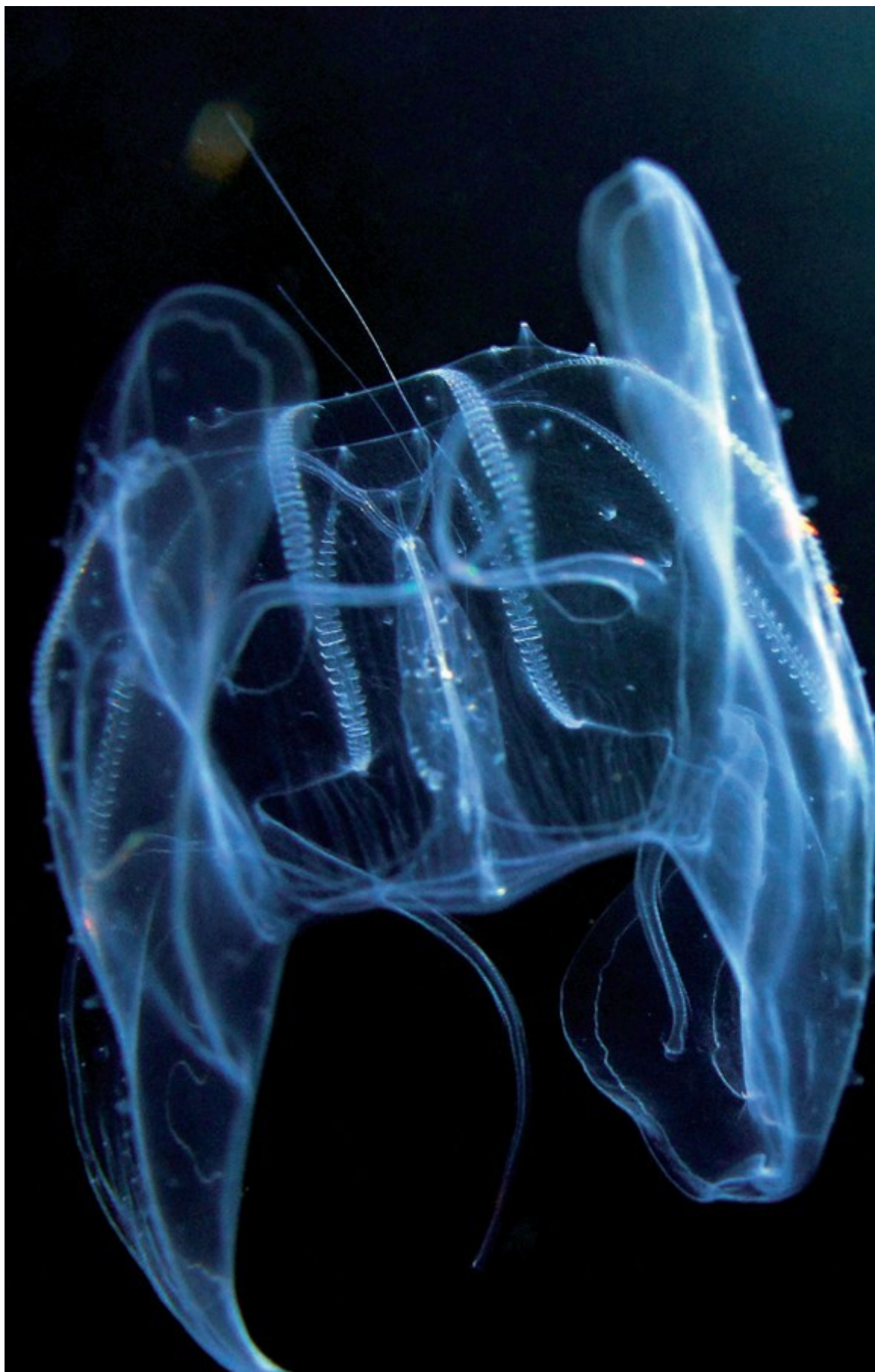
Криль (Мизиды)



Гидромедуза



Гребневик (Желетельные) *Stenophora bolinopsis*

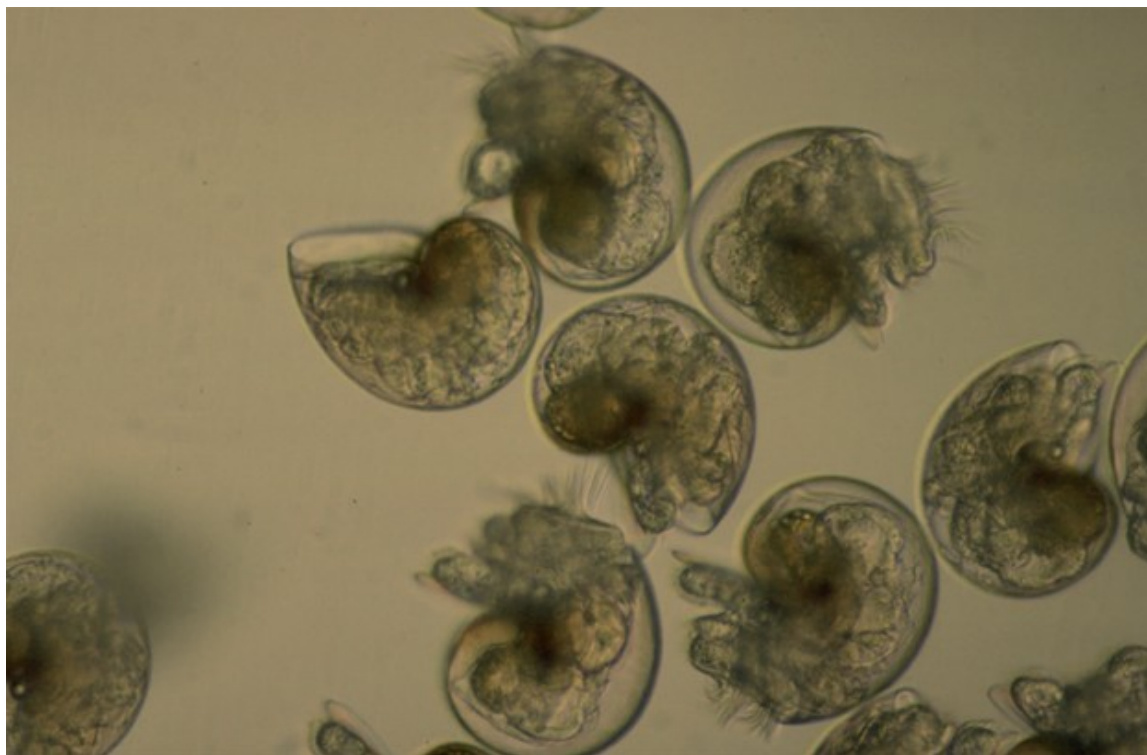


Гребневик (Желетельные), представитель типа *Stenophora*



Временный зоопланктон

Личинки брюхоногих моллюсков



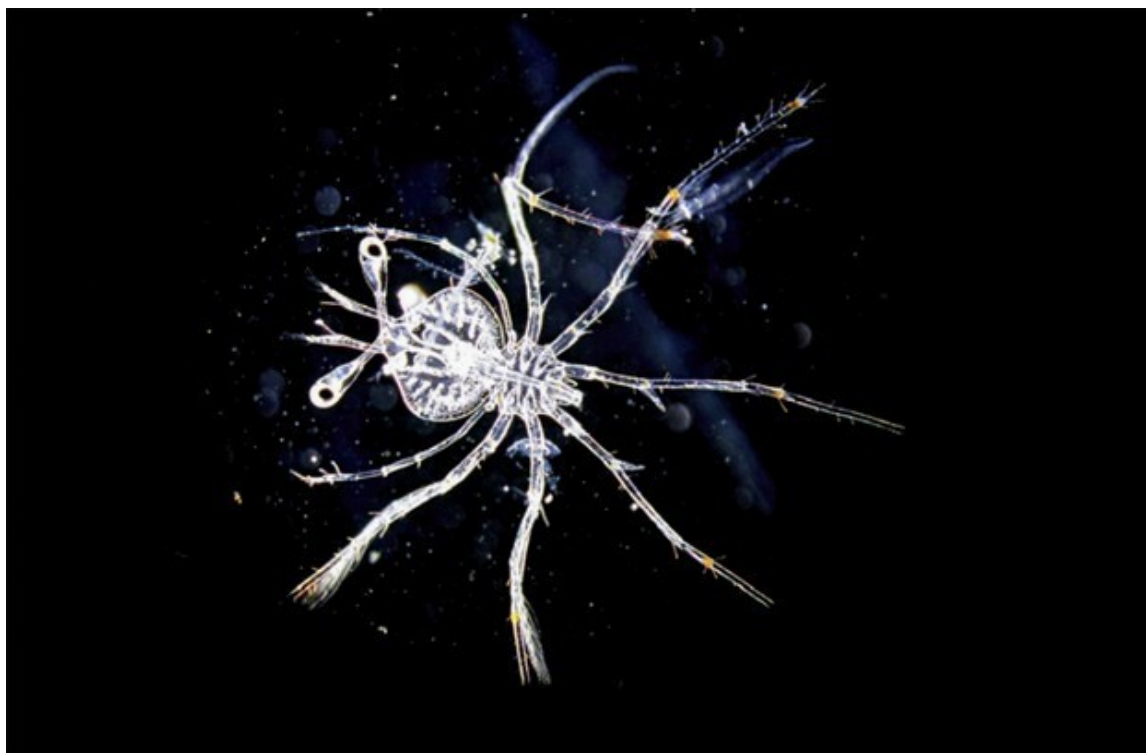
Личинка креветки



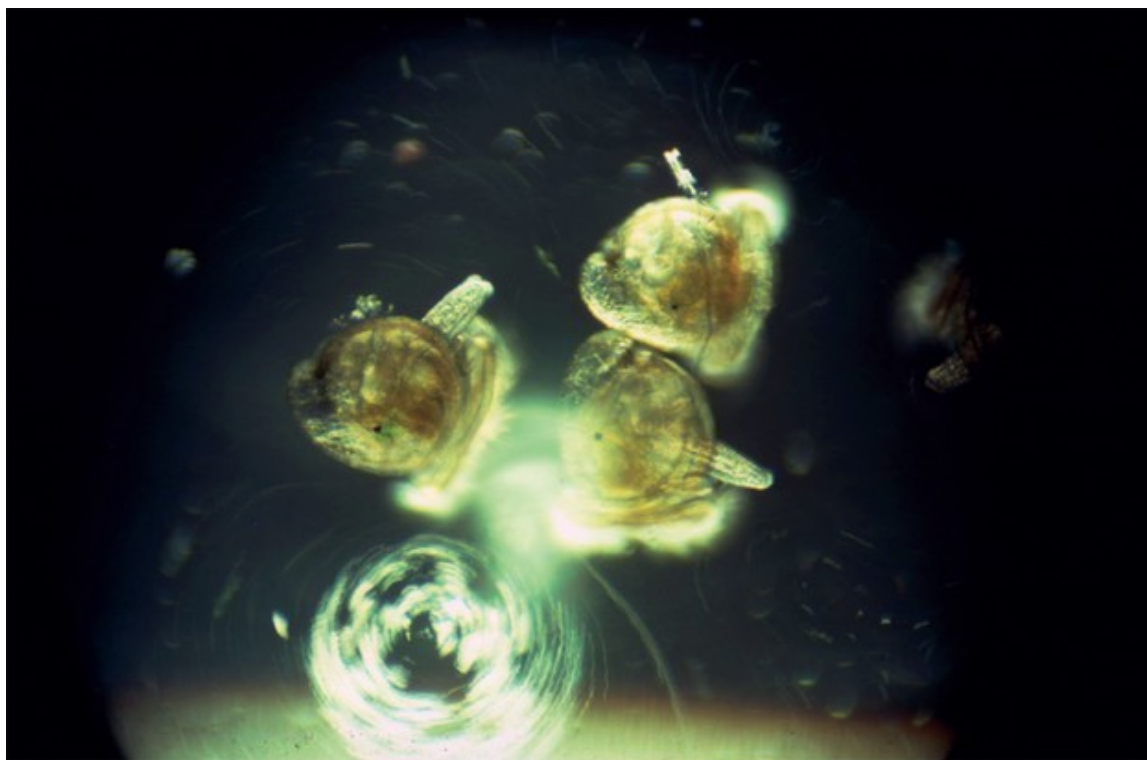
Личинки омара



Личинка лангуста



Личинки устрицы



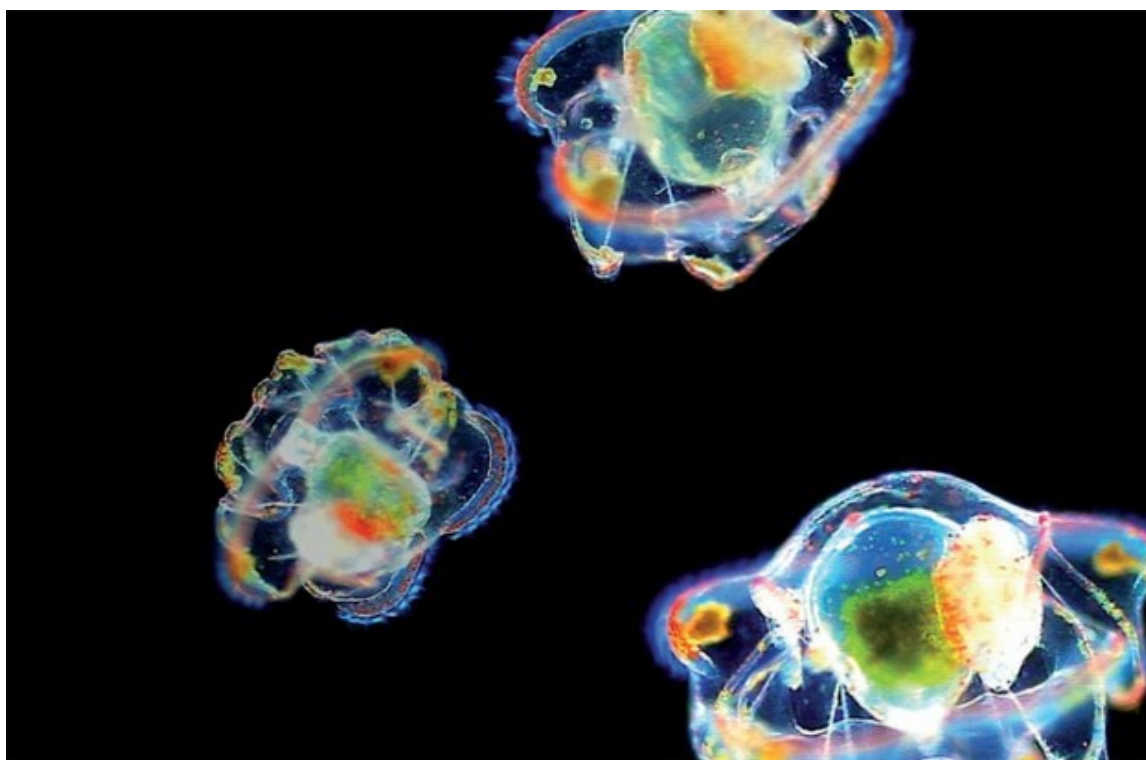
Личинка краба



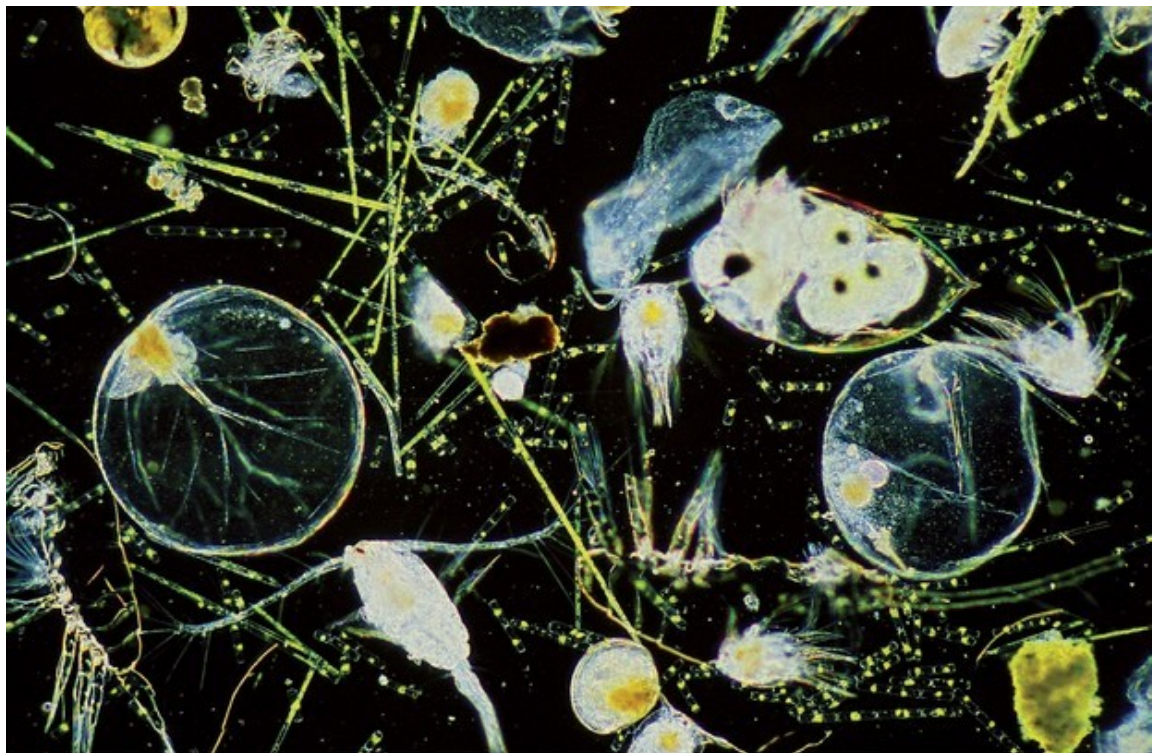
Личинки морского ежа на стадии плутеус



Личинки морского ежа на стадии эхиноплутеус



Большое разнообразие планктона (фито- и зоопланктон)



Солёные болота

Сбор соли, солёные болота Геранды (Guerande)



Салина, окрашенная микроводорослью *Dunaliella salina*



Салины (фото взято из книги Pascal Francols “Terre de sel”)



Электронное издание

Pierre Mollo

Anne Noury

LE MANUEL DU PLANCTON

Пьер Молло

Анн Нури

ПЛАНКТОН

учебное пособие

Перевод с французского

канд. биол. наук В. И. Холодова

Компьютерная вёрстка Л. В. Веселовская

ISBN 978-5-6042938-0-5



9 785604 293805