

М.Н. Соколова

ДОННОЕ НАСЕЛЕНИЕ ГЛУБОКОВОДНЫХ ТРОФИЧЕСКИХ ОБЛАСТЕЙ ОКЕАНА И ВОЗМОЖНЫЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ МАССОВОЙ ДОБЫЧИ ЖЕЛЕЗО-МАРГАНЦЕВЫХ КОНКРЕЦИЙ

Трофологические исследования позволили выделить на ложе Тихого океана глубоководные трофические области, различающиеся по составу макробентоса и условиям его питания (Соколова, 1979). Выделены три эвтрофные области: Приконтинентальная с наиболее благоприятными условиями питания, Океаническая и Экваториальная с менее благоприятными условиями и две олиготрофные области - Северная и Южная с неблагоприятными, пессимальными условиями. Олиготрофные условия создаются под антициклоническими круговоротами низкопродуктивных поверхностных вод, где вследствие низкого содержания органического вещества на дне ограничено распространение и преобладание крупных беспозвоночных - детритофагов, питающихся из осадка. Так, например, голотурии, морские звезды, ежи и двустворчатые моллюски из детритофагов приурочены в своем распространении к периферическим частям океана и к экваториальной зоне с благоприятными условиями питания. В олиготрофных областях они встречаются редко (в 6-17% траловых проб) или не встречаются совсем.

У беспозвоночных - сестонофагов, питающихся из воды, частота встречаемости в олиготрофных областях заметно выше, чем у детритофагов и составляет до 58% (Соколова, 1986). В число сестонофагов включены все многоклеточные беспозвоночные, питающиеся из придонного слоя воды либо взвесью, либо живыми или мертвыми организмами, либо и теми, и другими, т.е. относящиеся к разным трофическим уровням, но объединенные своей независимостью от пищевых качеств осадка.

Трофическая группировка сестонофагов хорошо развита в макробентосе эвтрофных областей, где сестонофаги находятся в более благоприятных условиях питания по сравнению с олиготрофными областями, но вместе с тем могут испытывать недостаток твердого субстрата для своего прикрепления.

В олиготрофных областях среди сестонофагов преобладают беспозвоночные эпифауны, нуждающиеся в твердом субстрате для прикрепления. На эпифану приходится более половины массы сестонофагов в 70% проб из олиготрофных областей и в

30% проб из смежных эвтрофных областей. Именно она служит основным объектом рассмотрения в силу специфики условий для прикрепления, создающихся в центральных частях океана. В их число входят губки, кишечнополостные, полихеты, двустворчатые моллюски, усонogie раки, мшанки, брахиоподы и асцидии. Неприкрепляющиеся беспозвоночные составляют так называемую эпифауну мягких грунтов, которая в рассматриваемых регионах находится в меньшинстве и специально не обсуждается.

Преобладанию прикрепленных форм среди сестонофагов в центральных частях океана способствует избыток твердого субстрата, создающегося за счет железо-марганцевых конкреций. Литологофациальные типы донных отложений с максимальными рудными концентрациями конкреций по своему расположению в значительной мере совпадают с олиготрофными областями (Мурдмаа и др., 1976). Здесь при низких скоростях осадконакопления конкреции, различающиеся по форме, чаще всего лежат на дне одним сплошным слоем (Скорнякова, 1986). Их размеры колеблются от 0,5 до 10 см в диаметре. В Тихом океане в северной зоне рудных концентраций конкреции покрывают в среднем 32% площади дна, в южной - около 50%. В северной области они образуют скопления до 18 кг/м^2 , в южной - $50-70 \text{ кг/м}^2$. На периферии экваториального радиолярного пояса концентрации конкреций составляют около $5-10 \text{ кг/м}^2$.

В центральных частях океана конкреции используются беспозвоночными для прикрепления чаще, чем другие виды твердого субстрата (пемза, лава, спикулы губок и зубы третичных акул) (Соколова, 1986). Это предпочтение конкреций связано прежде всего с их обилием. Кроме того они, очевидно, имеют некоторые преимущества перед прочими видами твердого субстрата. Будучи выступами над поверхностью осадков, конкреции создают микроусловия повышенных скоростей придонных движений воды у своей поверхности, что препятствует осаждению на них сверху частиц взвеси, имеющих тенденцию смываться в промежутки между конкрециями. Повидимому, с этим связано расположение беспозвоночных, населяющих поверхность конкреций. На плиткообразных конкрециях из проб в Южной олиготрофной области прослежено, что многие организмы эпифауны (губки, серпулиды, мшанки и сцифоидные полипы) располагаются по краю верхней поверхности конкреций. По мере уменьшения размеров конкреционных плиток, беспозвоночные сдвигаются все ближе к верхнему углу и затем переходят на боковые поверхности плиток. Этим организмы "маркируют" участки, где они находят для себя наиболее благоприятные условия питания, связанные, в частности, с оседанием взвеси между конкрециями.

Чаще, чем все многоклеточные, на поверхности конкреций встречаются одноклеточные беспозвоночные с аглютированными раковинками. Сравнение числа их находений в разных трофических областях не проводили. Частота их встречаемости на конкрециях по данным 64 траловых и дночерпательных проб составляет 84%. Большинство из них, по-видимому, относится к Xenophyophoria. Наиболее широко распространены формы с трубчатыми и корковыми раковинками. На одной конкреции, как правило, находится по несколько различных раковинок, но при этом большая часть поверхности конкреций все же остается незанятой. Лишь в отдельных случаях одна крупная корковая форма может покрывать большую часть поверхности, как бы "одевая" конкрецию сплошной пленкой в чехол.

При сборе и обработке проб удавалось неоднократно наблюдать плазму этих простейших как на живом, так и на фиксированном материале. Большинство аглютированных раковинных построек одноклеточных на конкрециях отличается хрупкостью, в число их входят и те, в которых наблюдалась плазма. Это позволяет предполагать, что опустевшие раковинки недолговечны и в массовом количестве сохраняться не могут. Судя по всему, поселения одноклеточных на конкрециях являются ныне процветающими, и простейших можно считать самой характерной группой эпифауны конкреций.

Сравнение многоклеточных эпифауны олиготрофных и эвтрофных областей показывает, что фауна олиготрофных областей в общем не специфична. Ее составляют группы, которые есть и в эвтрофных областях. Это видно из сопоставления частоты встречаемости представителей 15 основных систематических групп сестонофагов эпифауны разного систематического ранга в олиготрофных и смежных с ними эвтрофных областях (рис.1).

Для расчета частоты встречаемости использованы 84 траловые пробы, из них 67 проб отечественных экспедиций и 17 проб экспедиций на "Челленджере". Траловые пробы из отечественных сборов промыты через газ с ячеей диаметром 0,45 мм.

Как следует из рис.1., в олиготрофных областях представлены все группы, встречающиеся в эвтрофных условиях. При этом число находений в обеих олиготрофных областях, по сравнению с эвтрофными, ощутимо снижается у анатипатарий, актиний, брахиопод и двустворчатых моллюсков-арцид. Сильно заметна общая тенденция к снижению частоты встречаемости в Южной олиготрофной области по сравнению с Северной. Она проявляется не только у названных четырех групп, но еще у серпулид и морских уток из прикрепляющихся

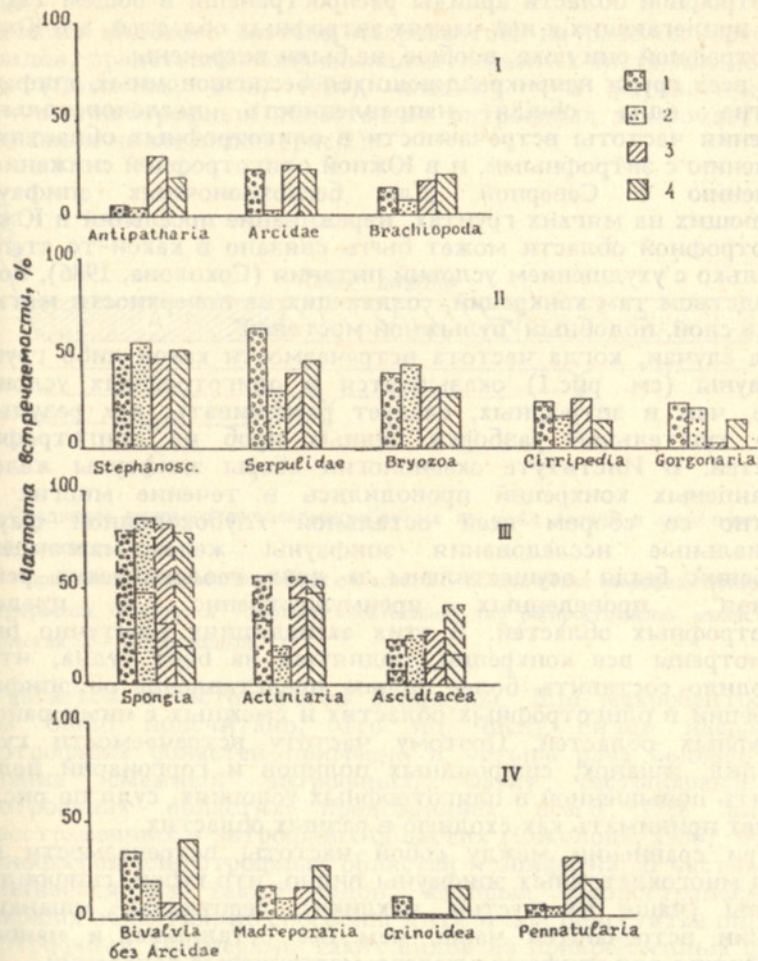


Рис.1. Частота встречаемости основных групп сестонофагов в разных трофических областях Тихого океана в % (по траловым уловам):

I, II - формы, прикрепленные к твердому субстрату; III - формы, прикрепленные и неприкрепленные или с неопределенным типом прикрепления (окантурены штриховой линией); IV - формы, вообще, неприкрепляющиеся или представленные неприкрепляющимися в исследованном материале; I - северная олиготрофная; 2 - южная олиготрофная; 3 - экваториальная эвтрофная; 4 - океаническая эвтрофная.

форм. Сильнее всего это выражено у арцид. В Северной олиготрофной области арциды распространены в общем так же, как в прилегающих к ней частях эвтрофных областей, а в Южной олиготрофной они пока, вообще, не были встречены.

У всех групп неприкрепляющихся беспозвоночных эпифауны заметна одна общая направленность последовательного снижения частоты встречаемости в олиготрофных областях по сравнению с эвтрофными, и в Южной олиготрофной снижение по сравнению с Северной. Для беспозвоночных эпифауны, обитающих на мягких грунтах, изреживание поселений в Южной олиготрофной области может быть связано в какой-то степени не только с ухудшением условий питания (Соколова, 1986), но и с господством там конкреций, создающих на поверхности мягкого осадка слой, подобный "булыжной мостовой".

Те случаи, когда частота встречаемости какой-либо группы эпифауны (см. рис.1) оказывается в олиготрофных условиях выше, чем в эвтрофных, следует расценивать, как результат более тщательной разборки бедных проб из олиготрофных областей. В Институте океанологии сборы эпифауны железомарганцевых конкреций проводились в течение многих лет попутно со сбором всей остальной глубоководной фауны. Специальные исследования эпифауны железомарганцевых конкреций были осуществлены в двух геологических рейсах "Витязя", проведенных преимущественно в пределах олиготрофных областей. В этих экспедициях поштучно были просмотрены все конкреции, поднятые на борт судна, что и позволило составить более полное представление об эпифауне конкреций в олиготрофных областях и смежных с ними районах эвтрофных областей. Поэтому частоту встречаемости губок, серпулид, мшанок, сцифоидных полипов и горгонарий нельзя считать повышенной в олиготрофных условиях, судя по рис.1, а следует принимать как сходную в разных областях.

При сравнении между собой частоты встречаемости всех групп многоклеточных эпифауны видно, что губки, сцифоидные полипы (чаще их пустые чехлики), серпулиды, мшанки и актинии встречаются чаще, чем все остальные, и наиболее характерны для эпифауны железомарганцевых конкреций.

По данным Тиля (Thiel et al., 1989) представители тех же самых систематических групп многоклеточных составляют эпифауну конкреций на южной периферии эвтрофной экваториальной области (7°ю.ш.; 88°з.д.) в Перуанской котловине. При обследовании дна с помощью корера и мультикорера Тиль обнаружил, что на конкрециях с убывающей частотой встречаются губки, полихеты-серпулиды, сцифоидные полипы (обычно пустые чехлики), брахиоподы, мшанки, а также

единичные асцидии, актинии, двустворчатые моллюски, морские уточки.

Анализ видового состава макробентоса на базе выборки из 132 видов, представляющих двенадцать разных систематических групп (Соколова, 1978, 1984), показал, что фаунистическое отличие олиготрофных областей от эвтрофных заключается в уменьшении числа видов (рис.2).

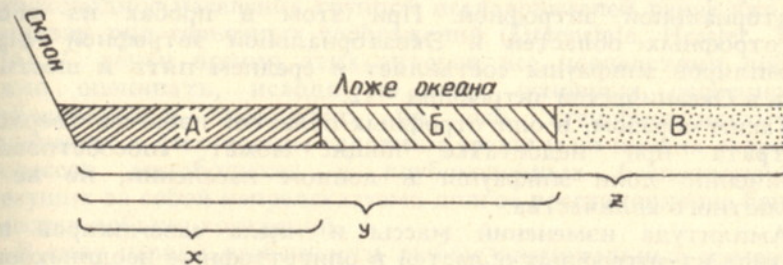


Рис.2. Обеднение видового состава макробентоса на ложе океана в зависимости от условий питания:

А - приконтинентальная эвтрофная область; Б - океаническая эвтрофная область; В - олиготрофная область; X - приконтинентальный тип распространения видов; Y - океанический; Z - панталассный.

Это касается и сестонофагов эпифауны. Для макробентоса в целом было подсчитано, что по числу видов население олиготрофных областей примерно в четыре раза беднее, чем население смежных эвтрофных. Фауну сестонофагов в олиготрофных областях представляет всего 17% видов, распространенных в эвтрофных областях (Соколова, 1986). Фауна сестонофагов олиготрофных областей и эпифауна, в частности, складывается из таких видов, которые распространены в эвтрофных областях, но способны жить и при недостатке пищи в олиготрофных. Примерами таких видов из прикрепленных форм могут служить антипатария *Bathypates lyra*, двустворчатый моллюск *Asar asperula*, полихета-серпулида *Placostegus ornatus*, морская уточка *Scalpellum abyssorum*, брахиопода *Pelagodiscus atlanticus*.

В олиготрофных областях наблюдается и количественное обеднение населения (Соколова, 1986). Эпифауна железомарганцевых конкреций составляет 30-50% массы траловых уловов. Однако при этом средняя величина массы эпифауны не достигает даже 200 мг. Немногом выше она в смежной эвтрофной Экваториальной области, где на северной периферии в

радиоляриевой зоне средняя масса эпифауны в улове трала составляет более 300 мг. В соседней Океанической эвтрофной она оказывается больше 1 г. Однако при этом в обеих эвтрофных областях доля эпифауны от общей массы траловых уловов снижается до 10%.

Из общего числа экземпляров в траловых уловах на долю беспозвоночных эпифауны приходится около 50% в Южной олиготрофной области и 30% в Северной олиготрофной и Экваториальной эвтрофной. При этом в пробах из обеих олиготрофных областей и Экваториальной эвтрофной число экземпляров эпифауны составляет в среднем пять и шесть и лишь в Океанической эвтрофной - 12.

Таким образом, в олиготрофных областях избыток твердого субстрата при недостатке пищи может способствовать увеличению доли эпифауны в донном населении, но не ее абсолютного количества.

Амплитуда изменений массы и числа экземпляров при переходе из эвтрофных областей в олиготрофные неодинакова в разных группах. Суммарная масса в пробе уменьшается у губок и серпулид от сотен до десятков миллиграммов; у горгонарий, актиний, брахиопод и асцидий от 1-2 г или сотен до нескольких миллиграммов в пределах одного десятка; у арцид от 1 г или сотен миллиграммов до десятков миллиграммов. Число экземпляров в пробе уменьшается от десятка и более до единиц у серпулид, арцид и асцидий. Не замечено ощутимого изменения количества экземпляров в пробах у губок, горгонарий, актиний и брахиопод (хотя суммарная масса представителей каждой группы заметно ниже в пробах из олиготрофных областей).

Сопоставление средней массы и числа экземпляров прикрепленных беспозвоночных показывает, что масса отдельных экземпляров в олиготрофных областях меньше, чем в эвтрофных (Соколова, 1986; Sokolova, 1990). Иными словами, экологические различия между эпифауной олиготрофных и эвтрофных областей заключаются в уменьшении индивидуальной массы беспозвоночных, обитающих при пессимальных условиях питания.

Обеднение эпифауны происходит на фоне обеднения остального населения в тех же регионах. Снижение количественных показателей всего макробентоса центральных областей океана видно и по траловым, и по дночерпательным пробам. Траловый макробентос в целом характеризуется низкой массой уловов, малым числом экземпляров и низкой индивидуальной массой беспозвоночных. В олиготрофных областях средняя масса одного экземпляра составляет менее 1 г в 93% траловых уловов, а число экземпляров - менее 25 в 92% уловов. Биомасса дночерпательного бентоса здесь в среднем

0,019-0,031 г/м². В смежных эвтрофных областях макробентос богаче. В экваториальной области в ее северном радиоляриевом поясе, биомасса дночерпательного бентоса составляет в среднем 0,206 г/м² (Соколова, 1986). Средняя масса одного экземпляра в траловых уловах из Океанической и Экваториальной области менее 1 г в 79% уловов, а число экземпляров менее 25 только в 52% уловов.

О возможном воздействии добычи конкреций на глубоководное население группой исследователей ранее уже был высказан ряд серьезных соображений (Greenslate, Hessler, Thiel, 1974). С точки зрения этих авторов все последствия добычи нужно оценивать, исходя из двух основных особенностей глубоководного населения: из его стенобионтности по отношению к физическим условиям среды и из низких скоростей процессов метаболизма у глубоководных беспозвоночных, влекущих за собой непредсказуемо долгое восстановление бентоса в местах добычи конкреций.

В силу первой особенности любые значительные изменения физических условий, неизбежные при разработке конкреций, должны сильно подействовать на бентосное сообщество. Резкое удаление нескольких миллиметров поверхностного слоя осадка, превращение его во взвесь представляет собой, несомненно, значительное изменение физических условий среды обитания бентоса. Очевидно, что в зоне контакта системы добычи конкреций и осадка, произойдет практически полное уничтожение организмов бентоса, в осадке смогут сохраниться лишь некоторые бактерии. За пределами этого сравнительно небольшого участка будет создана зона загрязнения, которая окажется на несколько порядков больше и которую займет огромный шлейф взмученного осадка. Примерами естественных явлений такого же порядка могут служить случаи выпадения пепла и турбидиты, покрывающие дно слоем осадка толщиной свыше 10 см на пространстве более 10 км² и захоранивающие все живое на этой площади дна. Особенно чувствительны к взмучиванию осадка оказываются сестонофаги, так как при взмучивании неизбежно засорение чужеродным материалом их пищеводывательных аппаратов. Для очистки от засорения необходимы дополнительные энергетические затраты, приводящие к гибели, поскольку животные не могут компенсировать эти затраты из-за ограниченности доступной пищи.

Подобные ситуации были прослежены на мелководье в заливе Бацшар (Rhoads, Young, 1970). Там при неустойчивости поверхностного слоя осадка и последующем его взмучивании сестонофаги испытывали сильнейший стресс из-за забивания их фильтрующего аппарата ч погребения под оседающей взвесью

только что осевших личинок. Кроме того осевшая взвесь служила препятствием для оседания новых личинок.

Такая ситуация является своего рода моделью, которая показывает, что именно сестонофаги, распространенные в районах рудных скоплений конкреций, окажутся наиболее уязвимыми при их добыче.

Заключение

При массовой добыче железо-марганцевых конкреций, связанной с соскребанием и взмучиванием осадков, наибольший ущерб будет нанесен макробентосу в районе добычи. Если такой район будет расположен в одной из олиготрофных областей, окажется уничтоженным беднейшее население; в случае расположения района в одной из смежных эвтрофных областей, погибнет более богатое население (Соколова, 1989).

Однако еще большая опасность с точки зрения охраны окружающей среды подстерегает процветающий макробентос, удаленный от районов добычи. Это касается не только эвтрофных районов, смежных с олиготрофными. При подъеме и промывке конкреций на значительном расстоянии от дна течения способны обеспечить дальний разнос илистого материала, ведущий к увеличению скорости осадконакопления в районах, расположенных вдали от мест добычи.

В результате может быть нанесен урон донным сообществам и населению пелагиали в высокопродуктивных районах; шлейфы взмученного осадка могут воспрепятствовать процветанию горных экосистем и промыслу на подводных горах.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Мурдмаа И. О., Скорнякова Н. С., Агапова Г. В. Фациальная обстановка распространения железо-марганцевых конкреций в Тихом океане // Железо-марганцевые конкреции Тихого океана : Труды ИО АН СССР. - Т.109. - М.: Наука, 1976. - С.7-25.

Скорнякова Н. С. Локальные вариации полей железо-марганцевых конкреций, гл. III // Железо-марганцевые конкреции центральной части Тихого океана: Труды ИОАН СССР. - Т.122. - М.: Наука, 1986. - С.109-179.

Соколова М. Н. Трофическая классификация типов распространения глубоководного макробентоса // Докл. АН СССР. - Т.241, N 2. - 1978. - С.471-474.

Соколова М. Н. О глобальном распространении трофических областей на ложе океана // Докл. АН СССР. - Т.246, N 1. - 1979. - С.250-252.

Соколова М. Н. О видовом составе населения глубоководных донных трофических областей: Труды ИО АН СССР. - Т.119. - М.: Наука, 1984.

Соколова М. Н. Питание и трофическая структура глубоководного макробентоса. - М.: Наука, 1986. - 207 с.

Соколова М. Н. Донное население глубоководных олиготрофных областей океана и возможные экологические последствия массовой добычи железо-марганцевых конкреций // География Мирового океана на службе рационального использования морских ресурсов. / Тез. докл. IV Всес. конф. по геогр. Мирового океана. (Калининград, сентябрь 1989 г.). - Л., 1989. - С.188-189.

Green slate J., Hessler R. R., Thiel H. Manganese nodules are alive and well on the sea floor // Proceedings of Marine Technology Society (Tenth Annual Conference). - 1974. - P.171-181.

Rhoads D. C., Young D. K. The influence of depositfeeding organisms on sediment stability and community trophic structure // J. Mar. Res. - 1970. - Vol.28. - P.150-178.

Sokolova M. N. On size structure of the deep-sea macrobenthos // Progress in Oceanography and Deep-Sea Research. - 1990. - Vol.24, N 1, Part 2A.

Thiel H., Schriever G. Cruis Rep. Discol 1, SONNE-cruise 61 / Inst. für Hydrobiol. und Fischereiwissensch. Der Univ. - Hamburg, 1989. - 70 p.

УДК 574.9:577.472(26);591.5

А. Н. Голиков

НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ПРИРОДНЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И АНТРОПОГЕННЫЙ СТРЕСС

В связи с продолжающимся серьезным ухудшением экологической ситуации на планете и усилением антропогенных воздействий на природные экосистемы следует подробно рассмотреть современное состояние естественных сукцессии экосистем на фоне их эволюционных преобразований. При этом важно различить природные и антропогенные сукцессии экосистем, выражающиеся в смене состава существующих видов и биоэнергетических свойств составляющих их популяций, и эволюцию экосистем, определяющуюся коренной перестройкой биотопической и биоценотической составляющих экосистем за счет природных глобальных изменений климата и видообразования, приводящего к появлению генетически новых руководящих видов в биоценозах. Эволюция и последующие сукцессии экосистем носят, как правило, циклический характер с определенным своеобразием каждого цикла. Очевидно, что антропогенные изменения экосистем носят спорадический характер и только ускоряют или замедляют сукцессионные процессы, что часто приводит к деградации экосистем.