

ИЗУЧЕНИЕ РАЗВИТИЯ МОРСКОГО ОБРАСТАНИЯ НА МЕДЬСОДЕРЖАЩИХ КРАСКАХ И НЕТОКСИЧНЫХ СУБСТРАТАХ В ТРОПИКАХ

В.А. Карпов, О.П. Полтаруха, Ю.Л. Ковальчук

*Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН
Россия, 119071, Москва, Ленинский пр., 33*

Поступила в редакцию 20.04.02 г.

Изучение развития морского обрастания на медьсодержащих красках и нетоксичных субстратах в тропиках. – Карпов В.А., Полтаруха О.П., Ковальчук Ю.Л. – На морской испытательной станции в г. Нячанг (Вьетнам) проводилось сравнительное изучение сукцессии морского обрастания на поверхности стекла, неокрашенных стальных пластин и стальных пластин, окрашенных противообрастающими медьсодержащими красками. Показано, что развитие сообщества обрастания на исследованных нейтральных поверхностях (стекло, сталь) происходит примерно сходным образом по схеме: микрообрастание – гидроида – *Balanus reticulatus* – *B. variegatus* – *B. reticulatus* – *Saccostrea* sp. Наблюдается определенная сезонная зависимость, что связано с опреснением поверхностного слоя воды во влажный сезон. Формирование сообщества обрастания на окрашенных поверхностях значительно отличается не только скоростью развития, но также последовательностью и характером стадий сукцессии и протекает по схеме: микрообрастание – *B. reticulatus* – *Saccostrea* sp.

Ключевые слова: обрастание, сукцессия, противообрастающие краски, Вьетнам.

A study of the development of marine fouling on the copper containing paints and nontoxic substrates in the tropics. – Karpov V.A., Poltarukha O.P., Kovalchuk Yu. L. – A comparative study of the succession of the sea fouling on the surface of glass, unpainted steel plates and steel plates painted by antifouling copper-containing paints was carried out at the marine testing station in Nha Trang City (Vietnam). The development of a fouling community on the neutral surfaces (glass, steel) concerned is shown to proceed approximately in a similar way according to the scheme: microfouling – hydroids – *Balanus reticulatus* – *B. variegatus* – *B. reticulatus* – *Saccostrea* sp. A certain seasonal dependence is observed that is related to the freshening of the surface water layer during a wet season. The forming of a fouling community on the painted surfaces much varies in not only the rate of development, but as well in the sequence and character of succession stages and proceeds by the scheme: microfouling – *Balanus reticulatus* – *Saccostrea* sp.

Key words: fouling, succession, antifouling paints, Vietnam.

Изучение морского обрастания в тропической зоне имеет важное научное и практическое значение. Это связано с тем, что в тропиках наблюдается максимальная скорость развития и биомасса обрастания, а оседание личинок обрастателей происходит круглогодично. В таких условиях можно за короткий срок наблюдать сукцессию сообщества обрастания, а также проводить ускоренные натурные испытания средств и способов защиты от него. К сожалению, начиная с 1988 г. в России возник значительный разрыв в изучении тропикостойкости различных материалов, в том числе и стойкости к морскому тропическому обрастанию (Карпов и др., 1997). Исследования на морской станции Нячанг (Вьетнам), разворачивающиеся в последнее время, позволяют говорить о ликвидации этого разрыва.

Морская испытательная станция в г. Нячанг (Вьетнам) была создана на базе совместного Российско-Вьетнамского тропического центра и вошла в состав Единой сети климатических испытательных станций России (Карпов, 2000). На сего -

ИЗУЧЕНИЕ РАЗВИТИЯ МОРСКОГО ОБРАСТАНИЯ

дняшний день это – единственная морская испытательная станция России, расположенная в зоне тропического климата. Такое расположение станции создает идеальные условия для изучения морского обрастания. Биомасса и скорость развития обрастания достигают здесь максимально известных значений даже в пределах тропической зоны (Зевина, 1994). Так, скорость обрастания в районе расположения станции в 5 – 6 раз выше, чем в Черном море. Высокая биомасса и скорость развития обрастания связана, в частности, со значительной эвтрофикацией прибрежных вод вследствие сброса стоков г. Нячанга и смыва почвы с прибрежных сельскохозяйственных территорий. Несмотря на широкое распространение и большую биомассу обрастания в исследованном районе, динамика его развития, особенно в сравнении с таковой на противообрастающих покрытиях, изучена крайне слабо. В то же время научная и практическая ценность результатов подобных исследований очевидна.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Динамика развития биоценоза обрастания изучалась на стеклянных (предметные стекла) и стальных пластинах размерами 350×250×2 мм из стали Ст.3, погруженных на глубину 1.0 – 1.5 м. При изучении обрастания токсичных покрытий эти пластины окрашивались системами покрытий, внешний слой которых составляли противообрастающие краски. Контроль – пластины из стали Ст.3. Исследовалась динамика обрастания поверхностей, окрашенных отечественными медьсодержащими красками Шанс-01, Шанс-02, Шанс-03, Шанс-05, ХВ-5286С, ХС-5226 производства АО НПФ «Пигмент» (Санкт-Петербург). Они содержат в качестве биоцида медь в виде закиси Cu_2O (в ХС-5226 – CuO), а в качестве пленкообразующего – перхлорвиниловую смолу и канифоль. Выбор данных красок объясняется тем, что в настоящее время краски на основе соединений меди являются наиболее распространенными в практике борьбы с обрастанием.

Образцы закреплялись в кассетах так, что их плоскость была перпендикулярна дну. Чтобы исключить влияние образцов друг на друга расстояние между соседними образцами в кассете было не менее 10 см. От материала кассеты пластины изолировались резиновыми прокладками. Кассеты размещались на морских плотках. Плоты находились на расстоянии 500 м от ближайшего берега (мыс Чонг). Глубина в месте установки плотов – около 7 м, морское дно – песчаное, местами с примесью ила. Колебания солености составляют 30.10 (влажный сезон) – 34.69 (сухой сезон) при среднегодовой – 32.30⁰/₀₀. Температура воды колеблется в пределах 24.1 – 30.2 при среднегодовой – 28.0°С. Колебания pH – 7.02 – 8.38 при среднегодовой – 8.20. Содержание растворенного кислорода варьирует от 3.20 до 5.96 мл/л при среднегодовом значении 5.16 мл/л. Мутность воды составляет от 5.2 (сухой сезон) до 24.6 мг/л (влажный сезон) при среднегодовом значении 11.7 мг/л. Осмотры образцов производились в течение первых 6 месяцев испытаний еженедельно, затем ежемесячно. При осмотрах визуально определялся характер обрастания.

Для стеклянных пластин биомасса обрастания измерялась при каждом осмотре путем взвешивания пластины с образовавшимся на ней обрастанием. Затем, зная массу пластины, вычисляли биомассу обрастания. Одна из пластин при каж-

дом осмотре полностью очищалась от обрастания, которое изучалось при помощи бинокля и светового микроскопа, разбиралось по группам и взвешивалось. Данная пластина в дальнейших исследованиях не использовалась.

Определение биомассы обрастания на неокрашенных стальных пластинах производилось с начала появления макрообрастания и далее ежемесячно по такой же схеме, как для стеклянных пластин.

Определение биомассы обрастания на окрашенных пластинах производилось с начала появления макрообрастания и далее ежемесячно путем взвешивания пластины с образовавшимся на ней макрообрастанием. Затем, зная массу пластины, вычисляли биомассу обрастания.

РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Обрастание нейтральных субстратов (стеклянных и стальных пластин)

Через 1 неделю экспозиции в биоценозе обрастания стеклянных пластин преобладают диатомовые водоросли, составляющие 93.2% от общей биомассы обрастания. Сопутствующие группы – сине-зеленые водоросли, гидроиды, ювенильные формы усонюгих раков. Через 2 недели ведущей группой в биоценозе становятся гидроиды (преимущественно *Obelia sp.*). Их биомасса достигает 96.5% биомассы обрастания. Через два месяца в биоценозе обрастания преобладают усонюгие раки, главным образом *Balanus reticulatus* Utinomi, 1967 и *Balanus variegatus* Darwin, 1854. При этом наблюдается конкурирующая смена видов. Вначале (возраст сообщества 8 недель) преобладает *B. reticulatus*. Затем на некоторое время (возраст сообщества 12–16 недель) устанавливается доминирование *B. variegatus*. В сообществе возрастом 20 недель вновь доминирует *B. reticulatus*. Более подробно эти сообщества уже описывались нами ранее (Ковальчук, Негашев, 1997). Примерно через 6.5 месяцев экспозиции стеклянные пластины ломались под волновой нагрузкой в связи с нарастанием биомассы обрастания до 9.00–9.05 кг/м².

Обрастание стальных пластин характеризуется большим разнообразием. Здесь найден практически полный комплекс усонюгих раков литорали и сублиторали, велико количество видов гидроидов, мшанок, асцидий. Кроме того, на поверхности этих образцов появляются многочисленные подвижные формы: десятиногие раки, эррантные полихеты, брюхоногие моллюски. Следует сразу оговорить, что конструкция морского стенда, на котором проводились испытания, не позволяет осуществить подъем опытных пластин вместе с подвижными обитателями обрастания. Поэтому количественный учет подвижных форм был невозможен, а качественная оценка их разнообразия и численности могла быть дана только приблизительно. Что касается неподвижных форм, то качественные и количественные показатели динамики обрастания стальных пластин мало отличаются от таковых для стеклянных пластин. Так, после 6 месяцев экспозиции биомасса обрастания стальных пластин составила 9.60–9.70 кг/м². Сообщество обрастания было сходно с описанным для Вьетнама (Зевина и др., 1992) сообществом *B. reticulatus* из обрастания судов. Разрушение неокрашенных стальных пластин вследствие коррозии, а также под воздействием волновой нагрузки происходило через 2 – 3 года в зависимости от силы и интенсивности штормов.

ИЗУЧЕНИЕ РАЗВИТИЯ МОРСКОГО ОБРАСТАНИЯ

Динамика сообщества обрастания во влажный сезон отличается более сильным развитием на начальном этапе сукцессии бактериально-водорослевого комплекса, менее чувствительного к изменениям солености. Развитию слизистой пленки способствует также повышение содержания биогенных элементов в морской воде, связанное с резким увеличением стока с поверхности суши во время сезона дождей. Скорость развития макрообрастания во влажный сезон, наоборот, снижается (Ковальчук, Негашев, 1997). Наблюдается угнетение чувствительных к изменениям солености видов-обрастателей – мшанок, гидроидов, актиний, асцидий, характерных для аналогичных стадий сукцессии во время сухого сезона. Рост биомассы в это время происходит в основном за счет эвригалинных видов усоногих раков и двустворчатых моллюсков. Динамика накопления биомассы обрастания во влажный и сухой период хорошо характеризует эти различия. Так, на стеклянных пластинах, экспонировавшихся во влажный сезон, биомасса обрастания через 1, 2 и 3 месяца экспозиции составила соответственно 0.25, 0.45 и 2.90 кг/м², в то время как для стеклянных пластин, экспонировавшихся в сухой сезон, соответствующие биомассы составляли только 0.15, 0.20 и 2.00 кг/м². Однако уже после четвертого месяца экспозиции стеклянных пластин в сухой сезон биомасса обрастания на них из-за бурного развития макрообрастателей достигла 8.10 кг/м², в то время как биомасса обрастания таких же пластин после их четырехмесячной экспозиции во влажный сезон равнялась только 3.20 кг/м².

2. Обрастание токсичных поверхностей (медьсодержащие противообрастающие покрытия)

Динамика развития обрастания на поверхностях, окрашенных исследованными красками, заметно отличается от того, что наблюдается на нетоксичных субстратах. При этом изменяются не только продолжительность стадий сукцессии, но и сам характер этих стадий. Оседание видов-обрастателей начинается по краям опытной пластины, где концентрация биоцида минимальна, и постепенно распространяется к центру. Слизистая пленка, состоящая в основном из диатомовых водорослей, появляется через 2 – 3 недели экспозиции. Развитие макрообрастания начинается через 6 – 7 месяцев экспозиции. При этом стадия с преобладанием гидроидов, как это наблюдалось на стеклянных или стальных пластинах, отсутствует. Вместо этого начинается оседание баянусов. Однако конкурирующей смены видов, как это происходит при обрастании нетоксичных субстратов, не наблюдается. Сразу же устанавливается доминирование *B. reticulatus*. В качестве сопутствующих групп появляются мшанки, серпулиды и некоторые виды бокоплавов, строящие на поверхности субстрата илистые домики. В некоторых случаях обнаруживаются немногочисленные гидроиды. Поскольку развитие сообщества макрообрастания на испытанных покрытиях занимает длительный период времени – до 1.5 – 2-х лет, проследить сезонную зависимость не представлялось возможным.

Как известно, медьсодержащие краски препятствуют прочному прикреплению баянусов, что наблюдалось и в нашем случае. Часть прикрепившихся баянусов со временем отваливалась, ряд других держались очень непрочно и легко отделялись от субстрата. При этом баянусы не «прорезали» слои краски до по-

верхности металла, как это происходит при обрастании ими нетоксичных (Лебедев, 1978) и даже некоторых токсичных лакокрасочных покрытий (Рудякова, 1981), а оставались прикрепленными к наружному слою краски.

В целом отмечается существенное снижение биоразнообразия в обрастании медьсодержащих красок в сравнении с обрастанием нейтральных поверхностей.

ОБСУЖДЕНИЕ

Сообщество *B. reticulatus*, развивающееся на испытанных противообрастающих покрытиях, является наиболее распространенным сообществом обрастания судов южного Вьетнама (Зевина и др., 1992). Однако в многолетнем обрастании гидротехнических сооружений данного района преобладает другое сообщество, в котором доминирует устрица – *Saccostrea sp.* (Звягинцев, Михайлов, 1988; Зевина и др., 1992). Встречается сообщество *S. sp.* и в обрастании судов, причем биомасса этого сообщества обычно бывает выше, чем биомасса сообщества *B. reticulatus*. В хорошо развитом сообществе *B. reticulatus* в качестве субдоминантного вида, как правило, отмечается *S. sp.*, а в сообществе *S. sp.* субдоминантным видом часто является *B. reticulatus* (Зевина и др., 1992).

Таким образом, есть основания предполагать, что именно сообщество *S. sp.*, а не *B. reticulatus* является климаксным для данного района. К сожалению, проследить сукцессию до стадии *S. sp.* нам не удавалось. Как показали исследования буровых платформ, расположенных в Южно-Китайском море (Зевина и др., 1992), в мелководном, до глубины 5 м обрастании платформ, сроком эксплуатации до 2-х лет, доминируют усонogie раки. Даже в мелководном обрастании платформ, эксплуатировавшихся 4 года, устойчивое доминирование двустворчатых моллюсков еще не установилось. Используемые в нашей работе стальные пластины к этому времени уже разрушались. Стекланные пластины к этому времени, а обычно значительно раньше, ломались под тяжестью обрастателей.

В литературе было высказано мнение (Schuhmacher, 1977), что в тропиках сукцессия сообщества обрастания не заканчивается образованием биоценоза с преобладанием двустворчатых моллюсков, а продолжается дальше и приводит в конечном итоге к формированию сообщества с доминированием кораллов. Однако, как показали последующие наблюдения (Зевина и др., 1992), сообщество с преобладанием кораллов во Вьетнаме формируется только на глубине порядка 10 м, а на меньших глубинах образуется климаксное сообщество с преобладанием двустворчатых моллюсков.

Таким образом, можно утверждать, что конечным этапом развития сообщества обрастания на изученных покрытиях стало образование климаксного сообщества, сходного с таковым на нейтральных субстратах. Этого и следует ожидать, поскольку со временем происходит снижение токсичных свойств противообрастающего покрытия и поверхность становится нейтральной.

Сукцессия сообществ обрастания на различных испытанных нами противообрастающих красках протекает достаточно сходным образом. Это объясняется тем, что они содержат один и тот же биоцид – медь. Известно, что организмы микрообрастания, преимущественно бактерии и диатомовые водоросли, сравнительно мало чувствительны к действию солей меди (Горбенко и др., 1991). Этим можно объяснить то, что микрообрастание на испытанных нами красках развивалось почти так

ИЗУЧЕНИЕ РАЗВИТИЯ МОРСКОГО ОБРАСТАНИЯ

же быстро, как и на нейтральных поверхностях. Аналогичные результаты были получены нами при испытаниях в Черном море в районе Сочи (Полтаруха, 2000) и в Баренцевом море, в районе поселка Дальние Зеленцы Мурманской области.

Что касается макрообрастания, то существенное запаздывание появления макрообрастателей на поверхности медьсодержащих красок свидетельствует о высокой токсичности для них соединений меди. Различия в ходе сукцессии сообществ макрообрастания на нейтральных и покрытых противообрастающими медьсодержащими красками поверхностях объясняются, предположительно, неодинаковой токсичностью соединений меди для различных видов макрообрастателей. Снижение биоразнообразия сообществ обрастания в сравнении с таковым нейтральных субстратов объясняется, очевидно, той же причиной. Выживают только наиболее устойчивые к действию меди виды. Полученные нами данные по сукцессии хорошо согласуются с полученными ранее результатами испытаний медьсодержащих красок в Черном море (Полтаруха, 2000). В обоих случаях по сравнению с сукцессией сообществ обрастания нейтральных поверхностей наблюдается выпадение стадии с преобладанием гидроидов. По-видимому, это говорит о высокой токсичности соединений меди для гидроидов, что не позволяет им доминировать на начальных стадиях сукцессии макрообрастания. Высокая токсичность для гидроидов соединений меди подтверждается литературными данными (Бурыкин, 1998). На более поздних стадиях, когда токсичное действие меди ослабевает, образованию сообществ с преобладанием гидроидов мешает их низкая конкурентоспособность по сравнению с сообществами усоногих раков – баянусов. Известно, что быстро растущие баянусы острыми краями своих домиков подрезают веточки гидроидов. Это, конечно, не мешает гидроидам поселяться на поверхности домиков баянусов, но в данном случае гидроиды по биомассе становятся уже не доминирующей, а сопутствующей группой, что и наблюдалось в нашем случае, как при испытаниях в Южно-Китайском, так и в Черном море. Так же, как и при испытаниях в Черном море (Полтаруха, 2000), обрастание поверхности противообрастающих красок в Южно-Китайском море приводило в конечном итоге к формированию климаксного для данных условий сообщества с доминированием двусторчатых моллюсков.

ВЫВОДЫ

1. В исследованном районе развитие сообщества обрастания на разных нейтральных поверхностях (стекло, сталь) происходит примерно сходным образом по схеме: микрообрастание – гидроиды – *B. reticulatus* – *B. variegatus* – *B. reticulatus* – *S. sp.* При этом наблюдается известная сезонная зависимость, что связано с опреснением поверхностного слоя воды во влажный сезон.

2. Формирование сообщества обрастания на нейтральных и покрытых противообрастающими медьсодержащими красками поверхностях значительно различается не только скоростью развития, но также последовательностью и характером стадий сукцессии (микрообрастание – *B. reticulatus* – *S. sp.*), хотя и приводит к такому же климаксному сообществу. Поскольку развитие обрастания на токсичных поверхностях по сравнению с нейтральными сильно замедляется, влияние сезонных изменений в этом случае проследить не удается.

3. Несмотря на то, что первыми из макрообрастателей на нейтральных субстратах в исследованном районе появляются гидроиды, лимитирующим фактором эффективности противообрастающих медьсодержащих судовых красок является интервал времени до появления баянусов. Следовательно, работы в направлении повышения эффективности медьсодержащих противообрастающих покрытий в условиях южных морей должны быть направлены на повышение устойчивости к баянусам, в данном случае к *B. reticulatus*.

Авторы выражают благодарность сотрудникам Российско-Вьетнамского тропического центра за содействие в проведении работ во Вьетнаме и предоставленную информацию о гидрохимических характеристиках морской среды в районе проведения испытаний, а также директора инженерного центра научно-производственной фирмы «Пигмент» (Санкт-Петербург) В.Д. Запорожец за предоставленные образцы противообрастающих покрытий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Бурькин Ю.Б. Влияние ионов меди на жизненную активность колониального гидроида *Gonothyrea loveni* (Allm, 1859) на разных этапах онтогенеза // Материалы юбил. науч. конф., посвященной 60-летию Беломорской биол. станции им. Н.А. Перцова МГУ им.М.В. Ломоносова. М.: Изд-во МГУ, 1998. С. 22 – 24.

Горбенко Ю.А., Ковальчук Ю.Л., Крышев И.И. Действие противообрастаемых красок на морских объектах. Киев: Наукова думка, 1991. 100 с.

Звягинцев А.Ю., Михайлов С.Р. Обрастание морских судов и гидротехнических сооружений в Южном Вьетнаме // Биология прибрежных вод Вьетнама. Гидробиологические исследования литорали и сублиторали Южного Вьетнама. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1988. С. 137 – 158.

Зевина Г.Б. Биология морского обрастания. М.: Изд-во МГУ, 1994. 136 с.

Зевина Г.Б., Звягинцев А.Ю., Негашев С.Э. Усоногие раки побережья Вьетнама и их роль в обрастании. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1992. 144 с.

Карпов В.А. Результаты исследований Центра климатических испытаний ИПЭЭ РАН в интересах обороны и безопасности страны // Сб. докл. 2-й науч.-практ. конф. «Экологические аспекты защиты техники и материалов. Теория и практика натурных испытаний». М.: ИПЭЭ РАН, 2000. Ч. 1. С. 5 – 7.

Карпов В.А., Самохин Н.Л., Михайлова О.Л., Пелах Р.Л. Концепция системного подхода к проблеме тропикостойкости и тропикализации изделий техники // Сб. докл. науч.-практ. конф. «Экологические проблемы защиты техники и материалов. Теория и практика натурных испытаний». М.: ИПЭЭ РАН, 1997. С. 11 – 19.

Ковальчук Ю.Л., Негашев С.Э. Динамика обрастания в бухте Нячанг Южно-Китайского моря // Сб. докл. науч.-практ. конф. «Экологические проблемы защиты техники и материалов. Теория и практика натурных испытаний». М.: ИПЭЭ РАН, 1997. С. 101 – 105.

Лебедев Е.М. Обрастание, биокоррозия и биоповреждения в морских и пресных водах; вселение и экологическая изменчивость экзоскелетов обрастателей в Черном море // Тр. сов.-амер. симпоз. по программе «Закономерности распределения и экология прибрежных биоценозов». Л.: Наука, 1978. С. 130 – 133.

Полтаруха О.П. Об изучении сукцессии сообщества обрастания на противообрастающих покрытиях // Экология моря. 2000. Вып. 52. С. 39 – 43.

Рудякова Н.А. Обрастание в северо-западной части Тихого океана. М.: Наука, 1981. 68 с.

Schuhmacher H. Initial phases in reef development, studied at artificial reef types off Eilat, (Red Sea) // Helgoländ. Wiss. Meeresuntersuch. 1977. № 30. P. 400 – 411.