

УДК 551.46.09.628.5

Г.Г.Миничева, Н.Е.Гусликов, О.А.Ковтун

**ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ МОРСКОГО
МИКРО- И МАКРОФИТОПЕРИФИТОНА НА
ТВЕРДЫХ СУБСТРАТАХ РАЗЛИЧНОГО ТИПА**

Гидротехническое строительство и другие виды хозяйственной деятельности в морских береговых зонах связаны с внесением в водную среду как природных, так и антропогенных субстратов. Поиск дешевых и технологичных материалов расширил круг традиционно используемых субстратов, таких как железобетон, гранит, известняк, новым материалом — резиной (в форме отработанных автомобильных покрышек) [1, 8]. В связи с этим приобрели актуальность исследования отношения различных группировок морских организмов, в том числе и водорослей, к этому новому антропогенному материалу.

Размещение в прибрежных водах любых твердых субстратов создает дополнительные биотопы для развития перифитона. На небольших глубинах, в хорошо освещенных горизонтах, твердый субстрат в первую очередь используется автотрофными организмами, функционирование которых оказывает существенное влияние на процесс первичного продуцирования органического вещества.

В морских прибрежных экосистемах двумя основными компонентами фитоперифитона являются одноклеточные и многоклеточные микро- и макроводоросли. При исследовании этих двух группировок растительности, существенно отличающихся по своей биологической организации, используются различные, иногда трудно сопоставимые методы, вследствие чего они искусственно изучаются раздельно. Реально же в природе сообщества микро- и макроводорослей образуют функционально единую структуру автотрофного компонента биоценоза обрастания.

В данной работе сделана попытка одновременно решить две задачи: установить соотношение роли микро- и макроводорослей в формировании сообществ фитоперифитона как единого целого в евтрофных условиях северо-западной части Черного моря и выявить особенности формирования и отношение фитоперифитона к четырем субстратам (известняк, гранит, бетон, резина), наиболее широко используемым при гидростроительстве на морском побережье.

Материал и методика исследований. Экспериментальные исследования проводили в прибрежной зоне Одесского залива с июня по октябрь 1995 года. Образцы с упомянутыми субстратами были размещены на специальном полигоне в неподвижном состоянии на глубине 3 м. Пробы водорослей, в необходимой для статистики повторяемости, отбирали в течение первых двух месяцев с интервалом две недели, далее — один раз в месяц. Всего выполнено девять съемок для количественного учета сообществ микро- и макроводорослей.

© Миничева Г.Г., Гусликов Н.Е., Ковтун О.А., 1998



Отбор и обработку проб одноклеточных и колониальных водорослей проводили по общепринятой в альгологических исследованиях методике [2]. Продукцию диатомовых водорослей рассчитывали на основе объема клеток [7].

При исследовании макроводорослей наряду с общепринятыми фитоценологическими методами [3, 4] был использован комплекс морфо-функциональных показателей, связанный с параметрами поверхности многоклеточных водорослей [5]. Продукцию сообществ макрофитов определяли с помощью модели, описывающей формирование структуры и функции макрофитосообществ при различной интенсивности автотрофного процесса [6].

Результаты исследований и их обсуждение

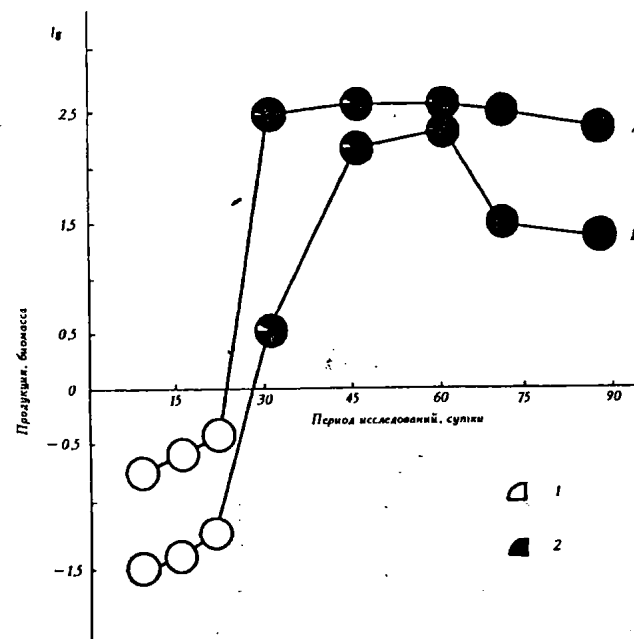
Видовой состав микросообществ биоценоза обрастания включал 31 вид диатомовых водорослей (Bacillariophyta), из которых 4 вида представляли класс Centrophyceae, 27 — класс Pennatophyceae. Доминировали в микробрастании субстратов всех четырех типов *Tabularia fasciculata* (Ag.) Williams et Round, *Melosira moniliformis* (O. Müll.) Ag., *Licmophora gracilis* (Ehrl.) Grun., *Navicula pennata* var. *pontica* Mer., *Cocconeis scutellum* Ehrl. Макроводоросли отличались меньшим видовым разнообразием: из 12 обнаруженных видов 5 представляли отдел зеленых водорослей (Chlorophyta), 7 — отдел красных водорослей (Rhodophyta). Из них постоянными ценообразующими компонентами обрастания являлись: *Enteromorpha intestinalis* (L.) Link., *Cladophora vagabunda* (L.) Noek, *Ceramium elegans* Duct., *Polysiphonia denudata* (Dillw.) Kütz.

Через неделю после внесения твердых субстратов в морскую среду произошло формирование полной флористической структуры сообществ микроводорослей. Начало колонизации субстратов макрофитами наблюдалось лишь спустя месяц после погружения субстратов. Полная флористическая структура сообществ макроводорослей сформировалась через 1,5—2 месяца. Таким образом, на протяжении первого месяца биоценоз фитообрастания был представлен только сообществами микроводорослей.

Морфолого-физиологические особенности микро- и макрофитов являются причиной существенного отличия показателей удельной скорости образования ими первичной продукции. Водоросли, входящие в состав сообществ микрофитоперифитона, характеризуются мелкими размерами, короткими циклами развития, высокой функциональной активностью, связанной с интенсивным метаболизмом. В частности, 1 кг массы микроводорослей осуществляет обменные процессы с внешней средой через фотосинтезирующую поверхность, достигающую 500—1000 м². Представители сообществ макрофитоперифитона характеризуются значительно более низкой интенсивностью физиологических процессов: тот же показатель удельной поверхности макрофитов Одесского побережья составляет всего от 20 до 100—150 м²·кг⁻¹.

Разница в функциональной активности является причиной того, что удельная скорость роста и образования вещества у микрофитов по сравнению с макрофитами в среднем выше в 17—20 раз. Однако, несмотря на более высокую физиологическую активность, мелкие размеры и, соответственно, несравнимо более низкая биомасса приводит к тому, что продукция вещества с единицы субстрата у микросообществ по абсолютной величине гораздо ниже, чем у макроводорослей. Если диапазон продукции микробрастаний твердых субстратов на экспериментальном полигоне за пятимесячный период составил 0,150—2,00 г·м⁻²·мес⁻¹, то эта же вели-

чина для макросообществ колебалась в пределах 100—1000. В целом же динамика продукционного процесса фитоперифитона такова, что на первом этапе формирования обрастания, в течение первого месяца после погружения субстратов в морскую среду, продукция образуется только за счет функционирования сообществ микроводорослей; в последующем, после начала роста макроформ, роль микрофитов в образовании органического вещества резко сокращается, и в дальнейшем продукция образуется за счет функционирования многоклеточных водорослей (рис. 1).

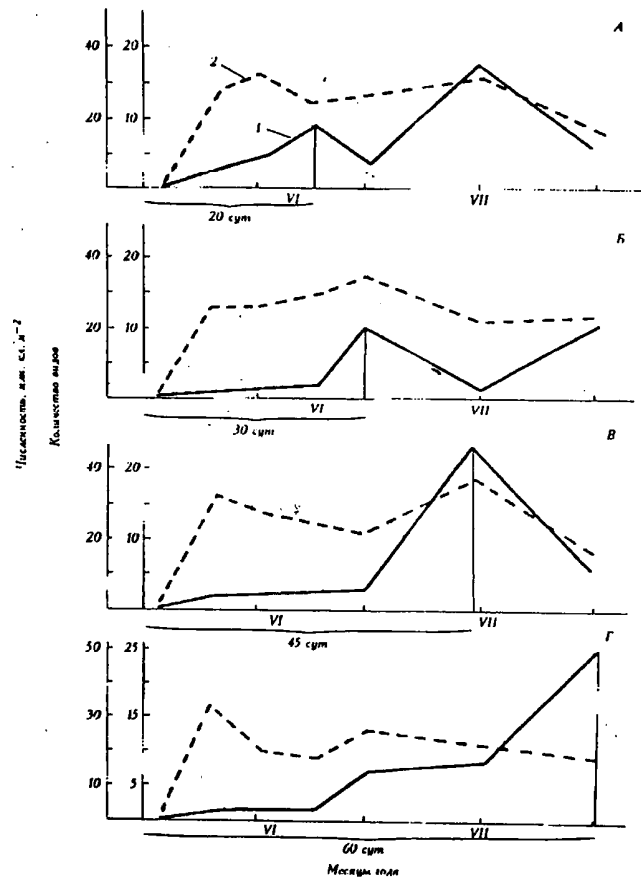


1. Формирование продукции (А) и биомассы (Б) сообществ микро- (1) и макрофитоперифитона (2) в Одесском заливе.

Аналогичный процесс наблюдается и при формировании биомассы фитоперифитона — установлении соотношения в ней роли микро- и макросообществ.

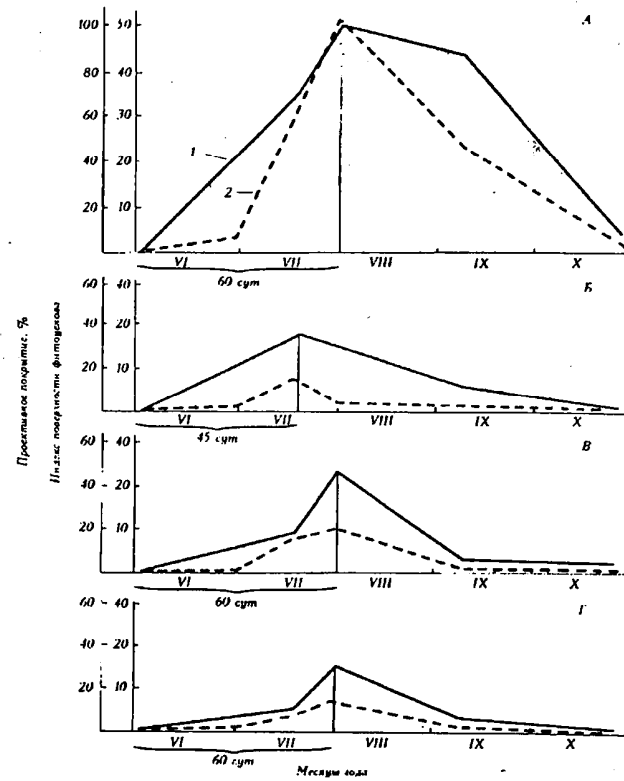
В среднем вклад в продукцию фитоперифитона за трехмесячный период соотносится для макро- и микроформ соответственно как 99,7 и 0,3 %, вклад в биомассу — как 99,1 и 0,9 %.

Высокий динамизм сообществ микроводорослей, связанный с их короткими жизненными циклами, позволил зафиксировать разницу в периоде формирования максимальной плотности альгоценоза на четырех типах исследованных субстратов. Динамика численности микросообществ носила



2. Динамика численности (1) и видового состава (2) сообществ микрофитов на различных типах субстрата: известняк (А), резина (Б), бетон (В), гранит (Г).

ярко выраженный колебательный характер: после каждого пика максимальной плотности происходил обрыв клеток, сопровождавшийся понижением численности и, соответственно, биомассы. Период образования первой максимальной плотности можно использовать как характеристику ско-



3. Динамика проективного покрытия (1) и ИПФ (2) макрофитов на различных типах субстрата: резина (А), бетон (Б), гранит (В), известняк (Г).

рости заселения микросообществами исследуемых субстратов. Наиболее короткий период — 20 сут характерен для заселения известнякового субстрата. Для образования максимальной плотности обрастания на резине и бетоне необходимо соответственно 30 и 45 сут; наиболее медленно происходит заселение гранита — 60 сут (рис. 2). Данный порядок соответствует благоприятности заселения различных субстратов сообществами микроперифитона. Если разница в скорости освоения микроводорослями рассматриваемых субстратов отличалась в 3 раза (известняк — 20, гранит — 60 сут), то разница в абсолютной величине максимальной плотности по-

селения микрофитов имела более сглаженный характер (гранит — 51, бетон — 45, известняк — 49 млн. кл·м², за исключением резиновых покрышек, для которых зафиксирована значительно более низкая максимальная численность — 22 млн. кл·м²). Очевидно, это связано с особенностями фактуры резинового субстрата: достаточно гладкая поверхность резиновых покрышек способствует легкому обрыву клеток и затрудняет формирование высокой плотности сообщества.

При развитии сообществ многоклеточных водорослей на резиновом субстрате наблюдается прямо противоположный эффект. По величине проективного покрытия поверхности субстрата макрофитами и по индексу поверхности фитоценоза (ИПФ), который отражает интенсивность функционирования растительного сообщества, резиновые покрышки обладают преимуществом перед известняком, бетоном, гранитом (рис. 3). Суммарные величины биомассы за пятидесятый период на известняковом, бетонном, гранитном и резиновом субстратах относились соответственно как 1,0:1,4:2,0:11,0, продукция — как 1,0:1,3:1,5:2,3. С одной стороны, это свидетельствует о том, что резиновый субстрат, наряду с традиционно применяемыми в гидростроительстве материалами хорошо используется растительными компонентами обрастания в качестве биотопа. С другой стороны, при условии высокого уровня трофности экосистемы внесение в прибрежную зону большого количества резиновых покрышек может вызвать эффект вторичного загрязнения за счет попадания в морскую среду отмершей растительной биомассы, которая обильно на них развивается.

По скорости заселения макрофитами твердых субстратов резина преимущественно не имеет. Данные исследований свидетельствуют о том, что макрофиты менее чувствительны к качеству субстрата, чем микрофиты. Период, за который происходит формирование структуры сообщества макрофитов, характеризующегося максимальной интенсивностью функционирования, практически у всех исследованных субстратов имеет одинаковую продолжительность (резина, гранит, известняк — 60, бетон — 45 сут, см. рис. 3), что указывает на сходство предпочтительности сообществами макрофитоперифитона рассматриваемых субстратов.

Заключение

Процесс формирования фитообрастания твердых субстратов в условиях морских евтрофных экосистем можно условно подразделить на три этапа: 1) первый месяц, в течение которого автотрофный процесс протекает исключительно за счет функционирования сообществ одноклеточных водорослей; 2) второй месяц — это переходный период, когда доминирующая роль в продуцировании органического вещества смещается к сообществам макроводорослей; 3) последующий период, когда до 99 % первичной продукции создается за счет функционирования макрокомпонента биоценоза обрастания.

Наиболее быстро среди исследованных субстратов заселяется сообществом микрофитов известняк (20 сут), медленнее всех — гранит (60 сут), промежуточное положение занимают резина (30 сут) и бетон (45 сут). Предпочтение различных субстратов микрофитами имеет значение только на первых этапах их заселения.

Формирование устойчивого биоценоза фитообрастания с доминантной ролью сообществ макроводорослей на всех исследованных субстратах происходит за практически одинаковый период — 1,5–2 месяца.

За такой же период на резиновых покрышках формируется сообщество макрофитов, интенсивность функционирования которого в среднем в два раза выше, чем на субстратах, традиционно используемых в морском гидростроительстве. Для морских экосистем с высоким уровнем трофности это может иметь нежелательные экологические последствия, связанные с эффектом вторичной евтрофикации прибрежных зон, вызываемой избытком отмершей растительной биомассы.

**

Досліджено відносно роль мікро- і макрокомпонентів рослинного обрастання чотирьох субстратів (залізобетон, граніт, вапняк, гумові шини), які застосовуються в гідротехнічному будівництві в морських прибережних зонах. Встановлено, що протягом першого місяця автотрофний процес переважно внаслідок розвитку і функціонування угруповань мікроводоростей. Після двох місяців формування фітоценозу первинна продукція на 99 % забезпечується ценозами базатоксичних водоростей. При підвищеному рівні продукції таких ценозів, що формуються на поверхнях, що обрастають в умовах евтрофованих екосистем, може виникати ефект вторинного забруднення прибережних зон моря.

**

Relative role of micro- and macro-components of the phytofouling on four patterns (limestone, enforced concrete, granite, rubber tire-covers) using in the sea-shore hydrotechnical construction had been examined. In the first month of the fouling the autotrophic process is executed by the functioning of microalgae communities. Over two months after the formation of phytocommunity the primary production process is executed on 99 % by seaweeds communities. The more higher values of the production of seaweeds communities, which are formed on rubber tire-cover in eutrophicated ecosystems can promote secondary pollution effect on the sea coastal zones.

**

1. Вышкварцев А.И., Лебедев Е.Б. Экспериментальный риф из изношенных шин в бухте Новгородская залива Посёта (Японское море) // Искусственные рифы для рыбного хозяйства. — М., 1990. — С. 27–31.
2. Диатомовые водоросли СССР. Ископаемые и современные. — Л., 1974. — Т. 1. — 400 с.
3. Еременко Т.И. Методы изучения морского фитобентоса // Руководство по методам биологического анализа донных отложений. — Л.: Гидрометеиздат, 1980. — С. 166–176.
4. Калугина-Гутник А.А. Фитобентос Черного моря. — Киев: Наук. думка, 1975. — 247 с.
5. Миничева Г.Г. Методические рекомендации по определению комплекса показателей, связанных с поверхностью водорослей-макрофитов / АН УССР. Одесское отд. Ин-та биол. южных морей. — Препр. — Одесса, 1987. — 22 с.
6. Миничева Г.Г. Структурно-функциональные особенности формирования сообществ морских бентосных водорослей // Альгология. — 1993. — 3, № 1. — С. 3–12.
7. Финенко Э.З. Общие закономерности роста и фотосинтеза водорослей // Первичная и вторичная продукция морских организмов. — Киев: Наук. думка, 1982. — С. 35–44.
8. Явнов С.В. Монтаж и постановка искусственных рифов в прибрежных водах залива Петра Великого Японского моря // Искусственные рифы для рыбного хозяйства. — М., 1990. — С. 40–56.

Одесский филиал Института биологии южных морей НАН Украины,
Одесский государственный университет

Поступила 11.02.97