

ПРОВ 2010

АКАДЕМИЯ НАУК УССР

ПРОВ 98

ИНСТИТУТ БИОЛОГИИ ЮЖНЫХ МОРЕЙ им. А.О.КОВАЛЕВСКОГО
ОДЕССКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ

УДК 581.526.323 (083.131)
N 1775-В87 от 11.03.87

Г.Г.Миничева

МЕТОДЫ РАСЧЁТА И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
АКТИВНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ВОДОРОСЛЕЙ В ИССЛЕДОВАНИЯХ
МАКРОФИТОБЕНТОСА

Институт Биологии
Южных морей им. А.О.Ковалевского

БИБЛИОТЕКА

№ 123 деп.

Одесса - 1987

КАК ВНИМАТЕЛЬНО ПРОЧИТАТЬ

У водорослей-макрофитов величина внешней поверхности контролирует углеродный обмен [18,19], кроме того удельная поверхность различных макрофитов имеет высокую степень корреляции с интенсивностью фотосинтеза [22]. Данные положения позволяют рассматривать параметры активных поверхностей водорослей, как функциональные показатели, открывая возможность на основании морфометрии макрофитов судить об интенсивности их функциональных процессов.

1475 84

Современные требования, предъявляемые к исследованиям макрофитобентоса, предполагают оценку функциональных параметров на уровнях популяции и сообщества макрофитов [21]. Однако, в настоящее время функциональный подход, реализующийся в различных физиологических и продукционных методиках, чаще всего применяется лишь на уровне структурных элементов или отдельного растения, для уровней - популяция, фитоценоз существует недостаток данных методов оценки.

Проблема недостаточного применения функционального подхода в исследованиях сообществ водорослей на уровне популяции и фитоценоза, а так же неиспользованные в полной мере большие возможности функциональной морфологии макрофитов определили основные задачи наших исследований:

- на основе параметров активных поверхностей водорослей-макрофитов разработать новые показатели и методы оценки популяционного и фитоценотического уровней организации;
- разработать методики определения морфолого- и структурно-функциональных параметров макрофитов и их популяций, разрешающие проблему трудоёмкости, которая является основным тормозом внедрения их в практику исследований;

- на примерах макрофитов северо-западной части Черного моря продемонстрировать возможности и перспективы использования показателей активных поверхностей в исследованиях макрофитобентоса.

Одним из основных морфолого-функциональных параметров макрофитов является удельная поверхность (s/w). Данный параметр был широко и успешно использован на уровнях структурных элементов и отдельного растения для решения ряда задач, связанных с особенностями функционирования сложных иерархически организованных макрофитов [5,6,13,14,17,19,20,21]. На популяционном уровне морфологические параметры макрофитов предлагается рассматривать в форме индекса поверхности популяции (ИПП), который образуется в результате соотношения величины поглощающей поверхности популяции к единице субстрата [21,23]. Для расчетов поглощающей поверхности популяции, в свою очередь, необходимо знать такие структурные показатели популяции, как плотность и численность, определение которых для многих мелких форм макрофитов очень затруднено. В связи с этим данный метод расчета удобно применять только для крупных многолетних водорослей, таких как, цистозира, ламинария, фукус, саргассум. Предлагаемый нами метод позволяет рассчитывать ИПП без учета трудноопределяемых структурных показателей популяции:

$$\text{ИПП} = s/w_{п} \cdot V_{п} \quad (I)$$

где $s/w_{п}$ - удельная поверхность популяции ;

$V_{п}$ - биомасса популяции.

Преимущества данного способа могут стать понятными, только после уяснения сущности показателя - удельной поверхности популяции. Необходимо отметить, что структурно-функциональный по -

1775 8

казатель S/W популяции отличается от ранее широко использованных показателей – удельной поверхности осевых структур (уровень структурных элементов) и удельной поверхности таллома (уровень отдельного растения) тем, что характеризует объект на более высоком уровне организации. Величина удельной поверхности популяции выражает потенциальные функциональные способности различных популяций в зависимости от морфологического строения как талломов, олаивающих популяцию, так и структуры самой популяции.

Рассмотрим три основных этапа определения удельной поверхности популяции.

Первый этап – определение удельной поверхности на уровне структурных элементов. На данном этапе самые большие трудности в определении возникают для макрофитов цилиндрической формы. Прямое определение площади поверхности (S) осевых структур по формуле цилиндра $S = \pi d l$, где d – диаметр слоевища, l – длина слоевища, перерастает в практически неразрешимую задачу для мелких форм макрофитов с диаметром слоевища менее 50 мкм. В этом случае для того, чтобы зафиксировать на аналитических весах достоверную навеску (w) необходимо прямым путём, с помощью микроскопа, измерять l равные сотни тысяч микрон. Очевидно, что трудоёмкость методики прямого измерения не позволяет рекомендовать её широкому кругу специалистов. Существующие методические разработки предлагают определять величину S через зависимость $S=f(w)$ [16]. Основным условием выполнения данной зависимости является постоянство диаметра осевых структур для которых описывается уравнение данной зависимости. Это условие создает необходимость для осей каждого порядка опи-

177
177

сывать уравнение, в этом случае, например, только для одного вида цистозеры необходимо рассчитывать коэффициенты для трёх порядков осевых структур и для каждой возрастной стадии таллома. Работы по прямому расчету удельной поверхности структурных элементов макрофитов цилиндрической формы из отделов Chlorophyta, Rhodophyta, Phaeophyta позволили на основании 1300 прямых измерений построить график описывающий универсальную для макрофитов зависимость $S/W = f(d)$ Рис. I. Аппроксимировав регрессию аллометрической функцией [7,15] можно получить уравнение:

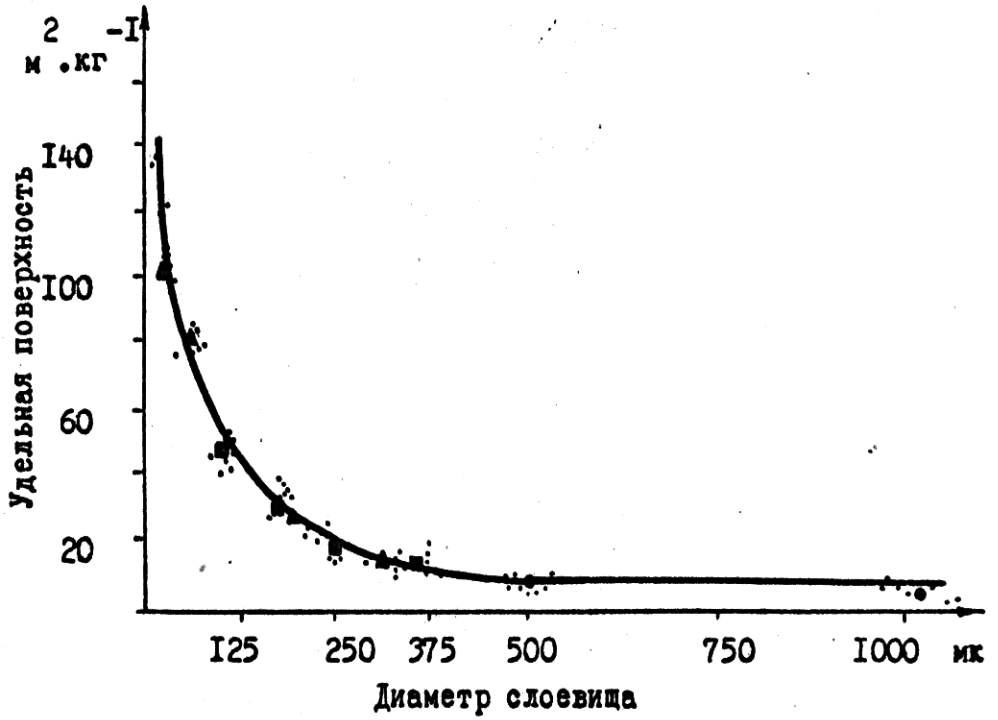
$$S/W = \frac{3334}{d^{0,916}} \quad (2)$$

Данное уравнение практически разрешает проблему трудоёмкости определения удельной поверхности, т.к. измерение среднего диаметра слоевища, для самых мелких форм макрофитов не представляет трудности.

Второй этап - определение удельной поверхности на уровне отдельного растения. Для макрофитов цилиндрической формы данный этап сводится к двум случаям: - диаметр слоевища остается постоянным на протяжении всего таллома; - диаметр осевых структур изменяется. В первом случае речь идет о макрофитах простой цилиндрической формы, например - уроспора, хетоморфа, улотрико, для которых практического различия между определением удельной поверхности на первом и втором этапе не существует. Во втором случае, для макрофитов сложно-цилиндрической формы можно применить следующий алгоритм:

I. Выделить в талломе группы структурных элементов с одинаковым

1775 84
5411



▲ Chlorophyta ■ Rhodophyta ● Phaeophyta

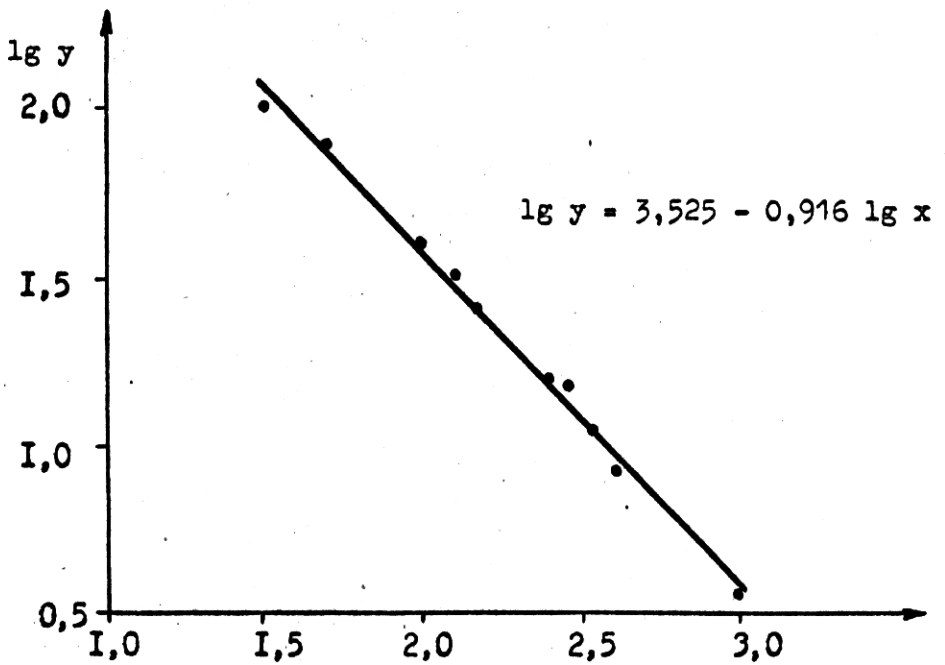


Рис. I. Регрессия зависимости $S/W = f \cdot (d)$ макрофитов цилиндрической формы.

диаметром слоевища - d_1, d_2, \dots, d_n .

II. Используя уравнение (2) рассчитать удельную поверхность каждой группы структурных элементов - $(S/W)_1, (S/W)_2, \dots, (S/W)_n$.

III. Расчленить таллом на группы структурных элементов и определить их вес - w_1, w_2, \dots, w_n .

IV. По пропорции $\frac{S}{W} = \frac{x}{w}$, где $x = \frac{S \cdot w}{W}$ рассчитать

величины внешней поверхности каждой группы - s_1, s_2, \dots, s_n .

V. Вычислить суммарную поверхность и вес таллома -

$$\sum_{i=1}^n s_i \quad ; \quad \sum_{i=1}^n w_i$$

VI. Соотнести поверхность таллома к его весу - $\frac{s}{w}$.

Третий этап - определение удельной поверхности на уровне популяции. Подробная методическая разработка данного этапа для популяций макрофитов простой, сложно-цилиндрической и пластинчатой форм представлена в работе [8]. В работе также проведен анализ показателя в пространстве и времени, на основании чего сделан вывод о возможности использования удельной поверхности в качестве постоянной характеристики функциональных способностей популяций.

Приведем конкретные примеры которые наглядно иллюстрируют информацию заключенную в показателе удельной поверхности популяции. Так один кг водорослей из популяции *Syrtoseira barbata* (Good et Wood) Ag. фотосинтезирует и обменивается с внешней средой площадью поверхности равной порядка $7 - 10 \text{ м}^2$ для популяции *Ulva rigida* Ag. эта величина составляет около 30 м^2 , а для популяции *Urospora penicilliformis* (Roth)

Agesch . - 120-130 м².

В формуле (I) s/w популяции может использоваться в качестве коэффициента при биомассе, если предварительно для района в котором проводятся исследования рассчитаны средние значения величин удельной поверхности популяции. Сочетание удельной поверхности с биомассой позволяет перейти от абстрактных величин потенциальных функциональных способностей вида к конкретной реализации их в экосистеме, в которой происходит его реальное функционирование. К преимуществам данного метода следует отнести простоту и практичность, т.к. s/w популяций для определенного района являются константами, а биомасса наиболее легко определяемый показатель для любых форм и видов макрофитов. Кроме того такой, способ расчета позволяет анализировать ранее полученные значения биомассы с использованием элементов функционального подхода. Внедрение показателя ИПФ в практику фитоценологических исследований макрофитобентоса позволит расширить методический арсенал структурно-функциональным показателем.

Реализация параметров активных поверхностей водорослей на высшем - фитоценотическом уровне организации макрофитобентоса может быть представлена в форме производного структурно-функционального показателя - индекса поверхности фитоценоза (ИПФ):

$$\text{ИПФ} = \sum_{i=1}^n s/w_{п i} \cdot B_{п i}, \quad (3)$$

где $s/w_{п i}$ - удельная поверхность ценопопуляций слагающих фитоценоз ; $B_{п i}$ - биомасса ценопопуляций, слагающих фитоценоз.

Величины данного показателя характеризуют суммарную площадь поверхности ценоза водорослей отнесенную к единице субстрата.

1771

С помощью ИПФ можно сравнивать интенсивность функционирования сообществ водорослей в прибрежных экосистемах. Данный показатель наряду с альгологическим приобретает и экологический смысл, т.к. по его величине можно оценивать не только функционирование макрофитобентоса, но и возможности конкретной экосистемы обеспечивать функционирование определенного количества фотосинтезирующей материи над определенной площадью прибрежной экосистемы.

Использование комплекса рассмотренных показателей, наряду с классическими характеристиками, позволяет раскрывать некоторые существенные моменты состояния и изменений макрофитобентоса, которые зачастую могут маскироваться внешней формой проявления, если в анализе присутствует только оценка структурных параметров. Существование различных величин удельной поверхности, характерных для той или иной популяции водорослей приводит к определенной градации флористического состава исследуемого района, каждый вид получает своеобразный коэффициент, величина которого прямопропорциональна интенсивности функционирования, на которую он способен как элемент биологической структуры. Например, для макрофитов из северо-западной части Черного моря характерен довольно широкий спектр величин удельной поверхности. Предварительные данные, которые могут быть подвергнуты корректировке в ходе дальнейших исследований, сегодня позволяют судить, по крайней мере, о порядке величин удельной поверхности доминирующих популяций макрофитов северо-западной части Черного моря (Табл. I.). Можно предположить, что у таких мелкокорассеченных форм как *Ectocarpus confervoides* (Roth) Le Jolis

1785-17

Таблица I.

№	Популяция	Удельная поверхность $\text{м}^2 \cdot \text{кг}^{-1}$
1.	<i>Ceramium elegans</i>	27
2.	<i>Ulva rigida</i>	33
3.	<i>Enteromorpha linza</i>	35
4.	<i>E. intestinalis</i>	36
5.	<i>Cladophora vagabunda</i>	40
6.	<i>C. albida</i>	80
7.	<i>Porphyra leucosticta</i>	60
8.	<i>Urospora penicilliformis</i>	120-130
9.	<i>Callithamnion corymbosum</i>	150-160

уровень удельной поверхности превысит величину $200 \text{ м}^2 \cdot \text{кг}^{-1}$.
Очевидно, что такая функциональная разнокачественность будет
вносить определенные коррективы, если оценка роли различных
ценопопуляций в ассоциациях макрофитобентоса, или сравнение
фитоценозов различного флористического состава будут основываться
только на величинах биомассы. В холодный период года
в северо-западной части Черного моря распространен комплекс
Porphyra leucosticta - *Urospora penicilliformis* по величине
биомассы доминирующее положение занимает порфира, однако,
у уроспоры коэффициент удельной поверхности популяции более
чем в два раза выше. При расчетах ИПП оказывается, что для
ценопопуляции порфиры характерны средние величины порядка
28-30 ед., а для ценопопуляции уроспоры 39-40 ед. Таким обра-

1775 84

II

зом, уреспора даже при меньших биомассах в функциональном отношении является доминирующим элементом. Аналогичным образом можно проводить сравнительный анализ функциональной роли и значимости как различных фитоценозов, так и их внутренней структуры.

Анализ фитоценозов Одесского залива с использованием индексов поверхности позволил определить средний уровень и границы колебаний данных величин на различных участках сублиторали морского побережья до глубин 3-5 метров. ИПП (в случае моноценозов) и ИПФ в среднем составляют 30-60 ед. В определенные периоды при оптимальном комплексе условий обеспечивающем высокую интенсивность функционирования автотрофов, на тех же участках данная величины может возрасти до 200 ед. Как уже было сказано ИПФ характеризует не только сам фитобентос, по их значениям в определенной мере можно судить об экосистеме, в которой развиваются фитоценозы, получая представление об уровне автотрофного процесса. Чтобы оценить приведенные величины индексов поверхности, характерные для современного состояния прибрежной экосистемы северо-западной части Черного моря, их нужно сравнить с аналогичными показателями для экосистем другого типа. Между морским побережьем и причерноморским лиманом Тилигул существует система замкнутых мелководных соленых водоемов. Их экосистема имеет ряд характерных особенностей - высокий уровень освещенности за счет мелководности, сочетание хорошего перемешивания водных масс с отсутствием прибойной гидродинамики, наличие больших концентраций биогенов и органики: $N O_3 - 13,8 \pm 4,8$ мкг/л, максимум 229,6 мкг/л; $PO_4 - 454,4 \pm$

41-5221

ЖК РАЙОНА ЛЮБЕЦЬ

60,9 мкг/л, максимум 1722,0 мкг/л; $N_{org} - 896,6 \pm 109,1$ мкг/л; $P_{org} - 157,8 \pm 60,0$ (анализы выполнены сотрудником лаборатории гидрохимии ОдоИНБХМ Ю.И.Богатовой). Данный комплекс условий приводит к высокой интенсивности автотрофного процесса, который здесь практически полностью реализуется популяцией *Ulva rigida*, средние значения индексов поверхности колеблются в пределах 150-180 ед., максимальные могут достигать 360 ед. Для сравнения обратимся к имеющимся литературным данным по величинам ИПП, рассчитанными через поглощающую поверхность популяций: для *Sargassum miyabei* - 56 м² на 1 м² субстрата (Японское море), примерно такая же величина ИПП *Cystoseira crinita* (Черное море), ИПП *Fucus vesiculosus* (Баренцево море) и *Laminaria japonica* (Японское море) в 4-5 ниже [23]. Универсальность индексов делает их удобными для сравнения отдаленных экосистем, резко отличающихся по составу растительности, и вместе с тем оценка функционального процесса в одних единицах измерения открывает перспективу их использования при экспертной оценке макрофитобентоса в различных экосистемах.

Интересные результаты можно получить, привлекая показатели активных поверхностей к исследованиям долговременных, сукцессионных изменений макрофитобентоса. Одной из наиболее характерных сукцессий макрофитобентоса происшедшей за последние десятилетия в северо-западной части Черного моря является регрессивная сукцессия сублиторальных фитоценозов известняковых скал и камней, в результате которой произошла полная замена сообщества цистозир ассоциацией церамиума с сокращением биомассы в два раза [3,4]. Данные по изменению биомассы доминантов водо-

1725-12

рослёвых сообществ участвующих, в сукцессионной замене, любезно предоставленные о.н.с. ОдоиНБЮМ Т.И.Ерёменко, были дополнительно проанализированы с помощью показателей удельной поверхности и индексов поверхности. Несмотря на внешние регрессивные проявления сукцессии, выраженные в сокращении флористического состава, уменьшении биомассы - величины активной поверхности церамииума сменившего цистозиру, увеличились вдвое в 80-х годах по сравнению с 60-ми, так как удельная поверхность популяции цистозирры более чем в три раза меньше, чем у популяции церамииума.

Характеристика данной сукцессии предложенными показателями, демонстрирует сущность реакции макрофитобентоса на процесс эвтрофирования. Очевидно, что эвтрофирование, которое привело к увеличению в северо-западной части Черного моря в 2-3 раза содержания минеральных и органических соединений азота и фосфора, а так же концентрации растворенного органического вещества [1], повысило интенсивность функциональных процессов не только фитопланктона [9,10] но и прибрежных макрофитов. Сущностью этого процесса является перестройка структуры макрофитобентоса, в ходе которой получают преимущество макрофиты с более высокими коэффициентами удельной поверхности. Основываясь на данных, характеризующих состояние макрофитобентоса северо-западной части в 60-е годы [2], можно проиллюстрировать высказанное предположение. Если расположить в порядке возрастания удельной поверхности некоторые доминирующие популяции макрофитов характерные для северо-западной части в 60-е и 80-е годы, то можно отметить качественную закономерность - в настоящий период в экосистеме рассматриваемой части Черного моря получают преимущество в

1775-84

И. И. ЕРЕМЕНКО
 ЦИТОЗИРА

развитии популяций с более высокими показателями удельной поверхности (Рис. 2., поз. Б, Г.). Оценка данного процесса с использованием только структурных показателей, главным из которых является биомасса, не позволяет выявить данную закономерность (Рис. 2., поз. А.).

Результаты полученные при анализе размерной структуры фитопланктона западной части Черного моря [II, I2] показали, что эвтрофирование привело к возрастанию показателей развития мелких форм фитопланктона. Уменьшение размеров клеток фитопланктонных водорослей, по существу является увеличением их удельной поверхности. Таким образом можно полагать, что закономерность в соответствии с которой преимущество развития в эвтрофированных водах получают водоросли с высокими показателями активной поверхности является общей для автотрофного звена бентали и пелагиали северо-западной части Черного моря.

Приведенные в работе примеры не ограничивают возможности использования показателей активных поверхностей водорослей в исследованиях как макрофитобентоса, так и самой экосистемы. Данные показатели могут иметь широкую перспективу внедрения в различных направлениях прикладной гидробиологии. Величины ИПФ можно использовать как критерии для определения участков экосистемы с оптимальными условиями функционирования автотрофного звена, при размещении марикультуры. Величины активных поверхностей сообществ водорослей представляют интерес для специалистов занимающихся транспортом и накоплением загрязняющих веществ в экосистеме, а так же для гидробиологов, изучающих микроценозы,

89-511

1775/81

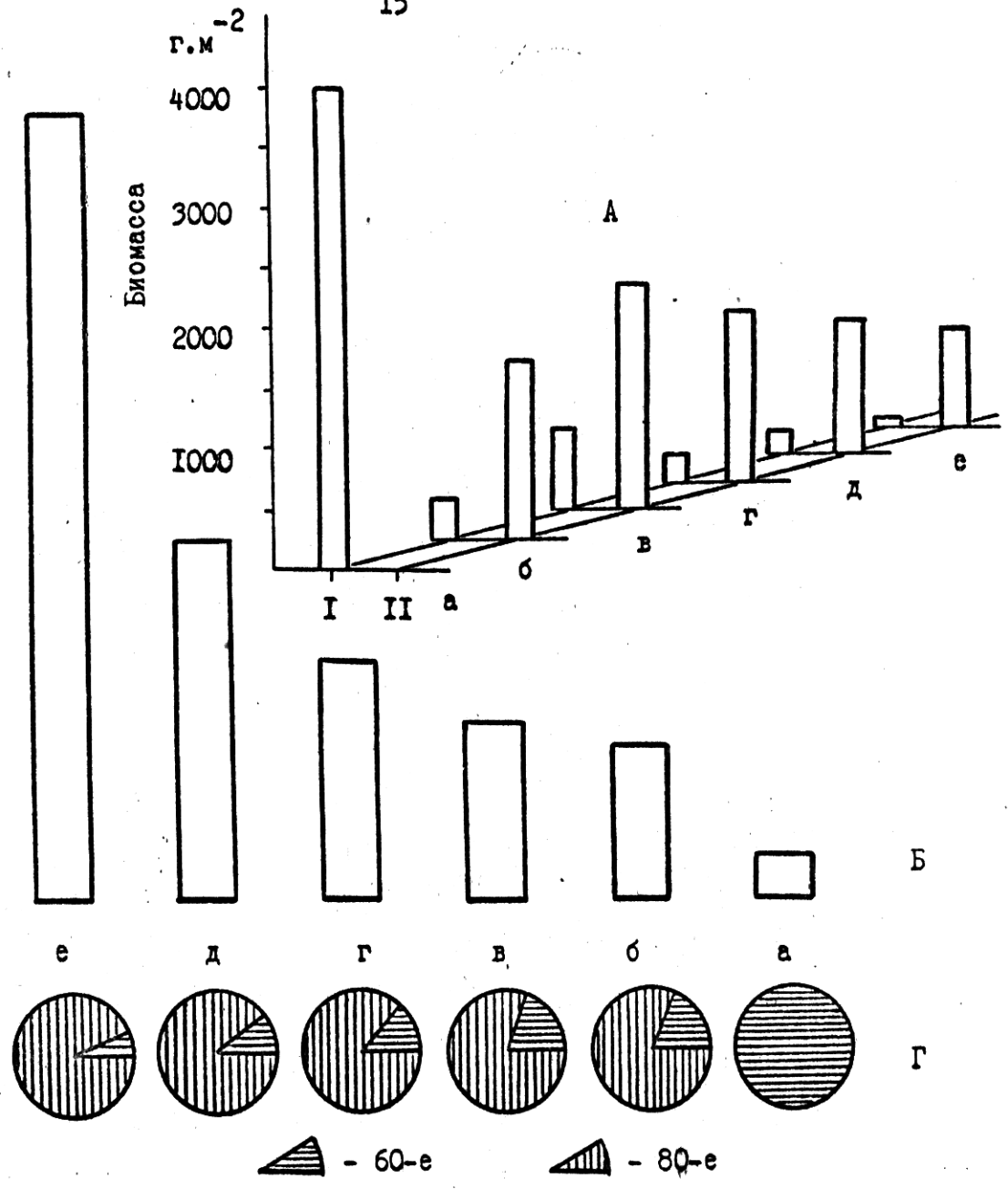


Рис.2. А - сравнительное изменение биомассы (сезонный максимум) в 60-е (I) (Ерёменко Т.И., 1967) и 80-е (II) годы, доминирующих макрофитов северо-западной части Черного моря: а - *Cystoseira barbata*; б - *Ceramium elegans*; в - *Enteromorfa intestinalis*; г - *Cladophora vagabunda*; д - *Porphyra leucosticta*; е - *Urospora penicilliformis*. Б - величины S/W популяций. Г - процентное соотношение биомассы.

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР

т.к. во многих случаях поверхности макрофитов являются субстратом для их развития. Обратнопорциональная зависимость ИПФ и удельной поверхности ценопопуляций слагающих фитоценоз позволит при искусственном выращивании прогнозировать получение биомассы макрофитов в зависимости от морфологического строения талломов. Знание величин удельной поверхности популяций различных макрофитов позволит при активизации процессов самоочищения подбирать виды с оптимальными качествами альгофильтров. Комплекс показателей активных поверхностей может являться базой для выработки рекомендаций в прибрежном гидростроительстве с целью выбора экологически более приемлемых конструкций.

Хочется надеяться, что разрешение вопроса трудоёмкости измерения морфофункциональных параметров водорослей и методы их использования для высших уровней организации макрофитобентоса будет способствовать их внедрению среди специалистов альгологов, гидробиологов и экологов.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. ГАРКАВАЯ Г.П., БУЛАНЯЯ Э.Т., БОГАТОВА Ю.И. Роль речного стока в антропогенном эвтрофировании шельфовой области Черного моря. В кн: Антропогенное эвтрофирование природных вод. Черноголовка, 1983, с. 235-236.
2. ЕРЁМЕНКО Т.И. Макрофитобентос. В кн: Биология северо-западной части Черного моря. К. "Наукова думка", 1967, с.126-145.
3. ЕРЁМЕНКО Т.И. Сукцессии фитобентоса северо-западного побережья Черного моря. Биология моря, 1977, в. 43, с. 45-54.
4. ЕРЁМЕНКО Т.И. Экзодинамические смены донной растительности опресненных морских акваторий. В кн: Природная среда и биологи-

1775 А

- ческие ресурсы морей и океанов. Л. 1984, с. 186.
5. ЗАВАЛКО С.Е. Параметры роста и структура популяции *Cysto - seira crinita* (Desf) Borg в условиях природного градиента подвижности воды. Экология моря 1983, в. 15, с. 30-40.
6. КОВАРДАКОВ С.А., ПРАЗУКИН В.А., ФИРСОВ Ю.К., ПОПОВ А.Е. Комплексная адаптация цистозиры к градиентным условиям. Научные и прикладные проблемы. К. "Наукова думка", 1985, - 216 с.
7. ЛАКИН Г.Ф. Биометрия М., "Высшая школа", 1980, - 291 с.
8. МИНИЧЕВА Г.Г., ЕРЁМЕНКО Т.И. Удельная поверхность, как структурно-функциональная характеристика популяций макрофитобентоса. /методические аспекты/. Деп. в ВИНТИ 2.06.86, №396I-B86, -22 с.
9. НЕСТЕРОВА Д.А. Развитие фитопланктона в северо-западной части Черного моря в весенний, летний и осенний периоды. Биология моря, 1977, в. 43, с. 17-23.
10. НЕСТЕРОВА Д.А. Фитопланктонные сообщества в шельфовой экосистеме. В кн: Системный анализ и моделирование процессов на шельфе Черного моря. Севастополь, 1983, с. 102-106.
11. НЕСТЕРОВА Д.А. Размерная структура фитопланктона западной части Черного моря в летний период. Океанология т. XXVI, №3, 1986, с. 477-480.
12. НЕСТЕРОВА Д.А. ВАСИЛЕНКО Л.С. Размерная характеристика массовых видов фитопланктона западной части Черного моря. Гидробиологического журнал. т. XXII, № 3 с. 16-28: 1986.
13. ПРАЗУКИН А.В. Включение растворенных органических метаболитов в питание водорослей и их регулирующее воздействие на фотосинтез. Биология моря, 1978, № 44, с. 36-45.
14. ПРАЗУКИН А.В. Удельная поверхность осевых структур *Cysto-*

Институт биологии
южных морей Вн СССР
БИБЛИОТЕКА
№ 123 деп

- seira barbata* (Good et Wood) Ag . как регулятор входного потока углерода. Экология моря, 1983, 14, с. 70-75.
15. ТЕРЕНТЬЕВ П.В. , РОСТОВА Н.С. Практикум по биометрии. Из-во Ленинград. Унив. , Л. , 1977, - 151 с.
16. ФИРСОВ Ю.К. Поэтапное определение площади поверхности водорослей с различным строением слоевища. В кн: III Всесоюзное сов. по морской альгологии-макрофитобентосу. К. "Наукова думка" , 1979 , с. 147-149.
17. ФИРСОВ Ю.К. Иерархический структурно-функциональный анализ морской многоклеточной водоросли *Cystoseira barbata* . Автореферат, Севастополь, 1984.
18. ХАЙЛОВ К.М., ХОЛОДОВ В.И., ФИРСОВ Ю.К. ПРАЗУКИН А.В. Морфофизиологический анализ роста *Fucus visiculosus* в условиях водообмена разной интенсивности. В кн: I съезд Советских океанологов. Биология и химия океана, проблемы загрязнения океана, экономика океана. Из-во "Наука" М. 1977, в. II, с. 93-94.
19. ХАЙЛОВ К.М., ХОЛОДОВ В.И., ФИРСОВ Ю.К., ПРАЗУКИН А.В. Морфофизиологический анализ слоевищ *Fucus visiculosus* L . в онтогенезе. Биология моря 1978, № 40, с. 55-62.
20. ХАЙЛОВ К.М. ПАРЧЕВСКИЙ В.П., ФИРСОВ Ю.К., ГРЕЧИНА А.С. Многомерное описание онтогенеза иерархически организованных сообществ морских низших растений. Общая биология, 1981, т. XLII , № 6, с. 868-881.
21. ХАЙЛОВ К.М., ПАРЧЕВСКИЙ В.П. Иерархическая регуляция структуры и функции морских растений. К. "Наукова думка", 1983, -254с.
22. ХАЙЛОВ К.М. Два способа выражения интенсивности фотосинтеза у морских макрофитов в связи с их функциональной морфологией.

Биология моря, 1984, №6, с. 36-40.

23. ХАЙЛОВ К.М., ФИРСОВ Ю.К. Расчет величин ассимиляционной
поверхности *Sargassum miyabei* (*Sargassaceae*) на
разных уровнях организации. Биологический журнал, 1985, № 2,
в. 70, с. 215-221.

1775 87