

А.Б.Зотов, Е.М.Руснак

Одесский филиал Института биологии южных морей НАН Украины, г.Одесса

**СВЯЗЬ ИНДЕКСОВ ПОВЕРХНОСТИ СООБЩЕСТВ
С ВАЛОВОЙ ПЕРВИЧНОЙ ПРОДУКЦИЕЙ,
КОНЦЕНТРАЦИЕЙ ХЛОРОФИЛЛА «А», ЧИСЛЕННОСТЬЮ,
БИОМАССОЙ И ПОВЕРХНОСТЬЮ СООБЩЕСТВ ФИТОПЛАНКТОНА**

Приведены зависимости между значениями индексов поверхности сообществ (ИП_С) фитопланктона прибрежной зоны северо-западной части Черного моря, ряда прилегающих водоемов и соответствующими значениями первичной продукции и концентрации хлорофилла «а». Проанализировано влияние температурного фактора на характер данных зависимостей. Рассмотрена взаимосвязь ИП_С и валовой первичной продукции с количественными показателями фитопланктонных сообществ – численностью, биомассой и поверхностью.

Методологической основой развития направления морфо-функциональной экологии водной растительности послужило существование тесной взаимосвязи между размерно-морфологическими особенностями строения водных растений и их продукционными свойствами. Важной задачей в рамках данного направления является количественное описание характера взаимосвязи между морфоструктурной организацией автотрофного объекта водных экосистем и его продукционными возможностями на различных уровнях организации.

Характер взаимосвязи между параметрами поверхности и функциональными показателями морских многоклеточных водорослей был подробно описан для уровней структурных элементов, отдельного растения и популяции [1 – 4]. Была выявлена взаимосвязь между размерами клеток и удельной продукцией монокультур фитопланктона [5].

Дальнейшее развитие и применение морфо-функционального подхода для оценки пелагической растительности требует выявления характера зависимости между морфо-функциональными параметрами фитопланктона и его продукционными характеристиками на уровне сообщества.

Один из основных показателей комплекса морфо-функциональных показателей фитопланктона [6] – индекс поверхности сообщества (ИП_С) – был разработан для оценки экологической активности фитопланктонного сообщества, развивающегося в кубическом метре водной толщи. (Под сообществом подразумевается совокупность всех клеток различных видов, зафиксированных в пробе фитопланктона.) Данный показатель характеризует продукционные свойства фитопланктонного сообщества на основании морфометрических параметров составляющих его клеток.

Значения ИП_С могут использоваться при сравнительном анализе не только сообществ фитопланктона с различным таксономическим составом и количественными параметрами, но также и сообществ планктонной и бентосной растительности. Это позволяет оценивать вклад макро- и микроформ

автотрофного звена в продукционные параметры прибрежных экосистем. Еще одним полезным качеством ИП_С является то, что он предоставляет дополнительные возможности для поиска взаимосвязей между структурной и морфо-функциональной организацией фитопланктона.

Использование предлагаемого показателя в качестве характеристики валовых продукционных параметров фитопланктона требует изучения взаимосвязи между ИП_С и функциональными параметрами сообщества, полученными методом прямого измерения. В связи с этим задачей исследования послужил поиск характера взаимосвязи между ИП_С одноклеточных водорослей и их функциональными показателями (валовой первичной продукции и концентрацией хлорофилла «а»).

Материал и методика. Материалом для анализа зависимости между ИП_С и валовой первичной продукцией (ВПП) послужили результаты 82 параллельных измерений данных показателей, выполненных в прибрежной зоне северо-западной части Чёрного моря (8 проб) и прилегающих водоемах (Тилигульском, Сухом, Куяльницком, Шаболатском, Днестровском, Хаджибейском лиманах, водоемах Каролино-Бугазской косы, лимане Бурнас) (74 пробы) в 2000 – 2003 гг.

Материалом для анализа взаимосвязи между ИП_С и концентрацией хлорофилла «а» послужили 65 проб фитопланктона, отобранных в прибрежной акватории Одесского залива (ст.8 Большого Фонтана), на протяжении различных сезонов 2000 г.

Распределение значений ИП_С в море и лиманах различной трофности анализировалось на основе 177 проб, отобранных в северо-западной части Черного моря, и 145 проб, отобранных в озерах и лиманах северо-западного Причерноморья, на протяжении различных сезонов 1999 – 2003 гг.

Первичные данные обрабатывались с использованием компьютерной программы «Альголог», разработанной в Одесском филиале Института биологии южных морей НАН Украины [7]. Программа позволяет рассчитывать количественные показатели (численность, биомассу, поверхность), а также комплекс морфо-функциональных показателей фитопланктона (удельную поверхность популяции, удельную поверхность таксономического отдела, удельную поверхность сообщества, ИП_С).

Суммарная численность (N_c) и биомасса (B_c) клеток фитопланктона в пробе рассчитывалась по стандартной методике [8].

Поверхность сообщества S_c , рассчитывалась по формуле:

$$S_c [m^2 \cdot m^{-3}] = \sum_{i=1}^n (S_{кл} \cdot N_{гр.одн.кл}),$$

где i – количество групп одноразмерных клеток в сообществе.

Для расчета значений ИП_С использовался следующий алгоритм.

В пробе фитопланктона выделялись группы одноразмерных клеток. Используя метод «объемной полноты» [9], рассчитывались значения объема $V_{кл}$ и площади поверхности $S_{кл}$ клеток фитопланктона, составляющих группы одноразмерных клеток. На основании равенства: $V_{кл} \cdot \rho = W_{кл}$, где $\rho = 1$, поверхность клетки соотносилась к ее массе: $(S/W)_{кл} [mкм^2 \cdot мг^{-1}] = S_{кл}/W_{кл} = S_{кл}/V_{кл}$. С целью возможности сопоставления показателей поверхности одноклеточных и многоклеточных водорослей значение удельной поверхности клетки

приводилось к размерности $[м^2 \cdot кг^{-1}]$ по формуле:

$$(S/W)_{кл} [м^2 \cdot кг^{-1}] = S_{кл}/W_{кл} \cdot 1000.$$

Для всех групп одноразмерных клеток, встреченных в пробе, рассчитывались значения $(S/W)_{гр.одн.кл}$ по формуле:

$$(S/W)_{гр.одн.кл} = (\sum_{i=1}^n (S/W)_{кл})/n = (S/W)_{кл},$$

где i – количество одноразмерных клеток одного вида в пробе фитопланктона. По стандартной методике [8] вычислялась численность водорослей в группах одноразмерных клеток $N_{гр.одн.кл}$ и суммарная численность клеток фитопланктона в пробе N_c . Удельная поверхность сообщества вычислялась по формуле:

$$(S/W)_c = (\sum_{i=1}^n ((S/W)_{гр.одн.кл} \cdot N_{гр.одн.кл})) / N_c,$$

где i – количество групп одноразмерных клеток в сообществе. По стандартной методике [8] рассчитывалась суммарная биомасса клеток в пробе B_c в размерности $[кг \cdot м^{-3}]$:

$$B_c [кг \cdot м^{-3}] = B_c [мг \cdot м^{-3}] / 10^6.$$

Значение ИП_с рассчитывалось по формуле:

$$ИП_c [м^{-1}] = (S/W)_c \cdot B_c.$$

Валовая первичная продукция $[мгO_2 \cdot л^{-1} \cdot сут^{-1}]$ фитопланктона определялась *in situ* скляночным методом в кислородной модификации [10] с суточной экспозицией.

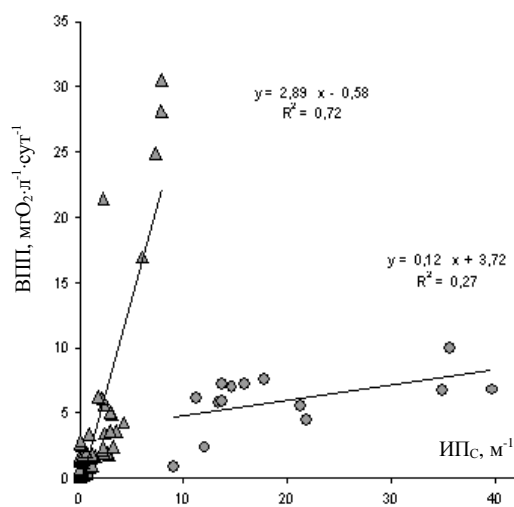
Результаты измерения валовой первичной продукции фитопланктона были любезно предоставлены м.н.с. ОФ ИнБЮМ НАНУ А.Ю.Гончаровым.

Концентрацию хлорофилла «а» $[мг \cdot м^{-3}]$ определяли спектрофотометрическим методом [11].

Результаты и обсуждение.

Взаимосвязь индексов поверхности сообщества и валовой первичной продукции фитопланктона. При анализе зависимости между ИП_с и валовой первичной продукцией фитопланктона ($ВПП = f(ИП_c)$), в интервалах ИП_с от 0 до $9 м^{-1}$ и $> 9 м^{-1}$ выявлены два выраженных скопления ВПП (рис.1). При значениях ИП_с, близких к $9 м^{-1}$, выявлен максимум ВПП ($30,58 мгO_2 \cdot л^{-1} \cdot сут^{-1}$), что соответствует численности фитопланктона (147227 млн. кл. $м^{-3}$) в состоянии «цветения». При превышении $9 м^{-1}$ происходит резкое снижение значений ВПП сообществ (до $0,89 мгO_2 \cdot л^{-1} \cdot сут^{-1}$), не сопровождающееся снижением численности (197727 млн. кл. $м^{-3}$).

В целом показатели развития фитопланктона, соответствующие значениям ИП_с $> 9 м^{-1}$, значительно превышают показатели, соответствующие значениям ИП_с от 0 до $9 м^{-1}$. Так (для массивов данных, используемых при анализе взаимосвязи $ВПП = f(ИП_c)$), среднее значение численности сообществ N_c фитопланктона, соответствующие значениям ИП_с $> 9 м^{-1}$, превышает значение аналогичного показателя, соответствующего значениям ИП_с от 0 до $9 м^{-1}$ в 17,9 раз; биомассы B_c в 12,5 раз; поверхности S_c в 18,5 раз.



Р и с . 1 . Связь ИП_С с ВПП фитопланктона.
 △ – ИП_С от 0 до 9 м⁻¹, ● – ИП_С > 9 м⁻¹.

вышают 8,79 м⁻¹. При этом 80 % значений ИП_С распределяются в диапазоне от 0 до 1 м⁻¹. Значения ИП_С > 9 м⁻¹ были отмечены для озер и лиманов северо-западного Причерноморья. При этом лишь 23 % значений ИП_С, полученных для этих водоемов, превышает 9 м⁻¹. Таким образом, «цветение» фитопланктона, соответствующее значениям ИП_С > 9 м⁻¹, было отмечено исключительно в высокопродуктивных водоемах закрытого или полузакрытого типа.

Явление резкого спада валовых продукционных показателей при высоких количественных показателях фитопланктона («цветении» воды) фиксировалось и ранее в озерах и лиманах северо-западного Причерноморья с высоким уровнем трофности. В литературных источниках приведены примеры резкого снижения первичной продукции (с 12,5 до 2 – 3 мгО₂·л⁻¹·сут⁻¹) в Сассыкском водохранилище и Днепро-Бугском лимане. Эти явления наблюдались на фоне превышения концентраций сестона, «основную массу которого составляли водоросли», величин 50 и 100 г·м⁻³ [12, 13].

Причиной этого явления может быть резкое снижение физиологической активности доминирующей популяции «цветения». Известно, что увеличение плотности популяции фитопланктона сопровождается уменьшением удельной фотосинтетической активности, концентрации хлорофилла и фосфора в расчете на клетку, снижением скорости метаболических процессов [14 – 16]. Обнаружено снижение удельной первичной продукции при увеличении суммарной площади поверхности фитопланктонного сообщества [17]. При наибольшей численности доминирует процесс отмирания популяции:

Т а б л и ц а 1. Средние показатели развития фитопланктона для диапазонов ИП_С от 0 до 9 м⁻¹ и свыше 9 м⁻¹.

ИП _С	ВПП, мгО ₂ ·л ⁻¹ ·сут ⁻¹	N _с , × 10 ⁶ м ⁻³	B _с , мг·м ⁻³	S _с , м ² ·м ⁻³
0 < ИП _С ≤ 9 м ⁻¹	4,51	76591,41	587,70	0,71
ИП _С > 9 м ⁻¹	6,25	1368507,07	7357,52	13,09

При этом изменчивость средних значений валовой первичной продукции, соответствующих диапазонам ИП_С от 0 до 9 м⁻¹ и > 9 м⁻¹, составляет 1,4 раза (табл.1).

Высокие значения показателей N и B свидетельствуют о соответствии значений ИП_С > 9 м⁻¹ сообществам фитопланктона, находящимся в состоянии максимума количественного развития.

Особый интерес представляет район, в котором зафиксированы значения ИП_С > 9 м⁻¹. Анализ распределения ИП_С в прибрежной зоне северо-западной части Черного моря показал, что значения данного показателя не пре-

количество живых клеток может снижаться до 1 % [18]. Максимальные показатели численности и биомассы популяции соответствуют минимальным значениям удельной поверхности, что свидетельствует о снижении ее функциональной активности [19].

Таким образом, величины $ИП_C > 9 \text{ м}^{-1}$ соответствуют сообществам фитопланктона, находящимся в состоянии максимума количественного развития и, следовательно, функционального спада. Данные значения $ИП_C$ характерны для лиманов или водоемов закрытого типа, в которых близость граничных поверхностей [20], ограниченный объем и слабый водообмен с морем создают условия для концентрации фитопланктона, значительно превышающей аналогичные показатели морских сообществ. В связи с характером зависимости $ВПП = f(ИП_C)$ было принято условное разделение значений $ИП_C$ по диапазонам от 0 до 9 м^{-1} и свыше 9 м^{-1} .

Коэффициент корреляции между значениями $ВПП$ и $ИП_C$ в диапазоне от 0 до 9 м^{-1} составил 0,87; при значениях $ИП_C > 9 \text{ м}^{-1}$ 0,54.

Значения первичной продукции были получены в различные сезоны года при разной температуре среды, оказывающей значительное влияние на скорость протекания физиологических процессов фитопланктона. Для анализа роли этого фактора были выделены следующие диапазоны изменений температуры среды, соответствующие физиологической активности фитопланктона: 0 – 10; 10 – 18 и 18 – 28 °С.

Для всех температурных диапазонов была получена прямая зависимость между $ИП_C$ и первичной продукцией, которая описывается линейной функцией. Значения коэффициента детерминации r^2 для различных диапазонов изменялись от 0,64 до 0,94 (рис.2).

Начальный угол наклона температурных трендов для диапазона $ИП_C$ от 0 до 9 м^{-1} , увеличивается

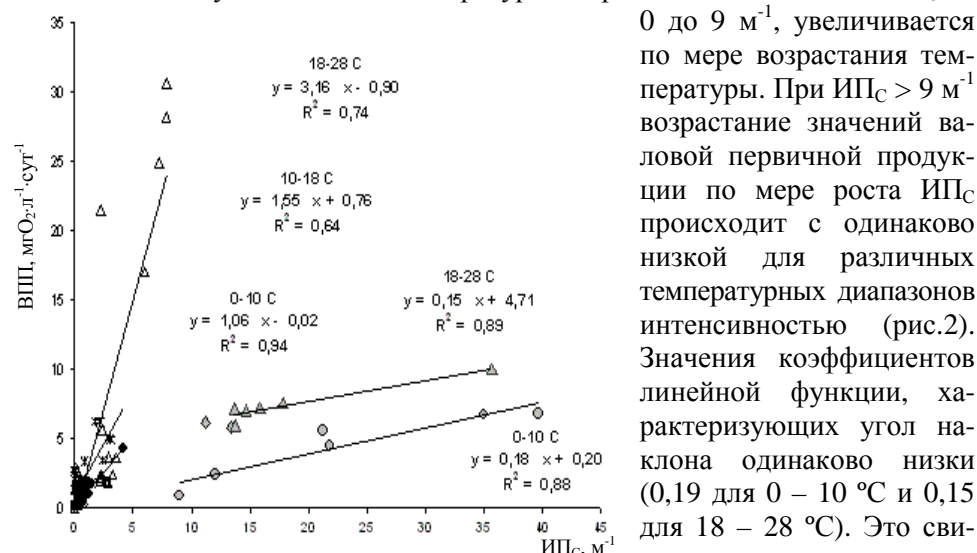


Рис. 2. Связь $ИП_C$ с $ВПП$ фитопланктона для различных температурных диапазонов.

$T = 0 - 10 \text{ °C}$ (● – $ИП_C$ от 0 до 9 м^{-1} , ● – $ИП_C > 9 \text{ м}^{-1}$);
 $T = 10 - 18 \text{ °C}$ (ж – $ИП_C$ от 0 до 9 м^{-1} , ◆ – $ИП_C > 9 \text{ м}^{-1}$);
 $T = 18 - 28 \text{ °C}$ (Δ – $ИП_C$ от 0 до 9 м^{-1} , ▲ – $ИП_C > 9 \text{ м}^{-1}$).

по мере возрастания температуры. При $ИП_C > 9 \text{ м}^{-1}$ возрастание значений валовой первичной продукции по мере роста $ИП_C$ происходит с одинаково низкой для различных температурных диапазонов интенсивностью (рис.2). Значения коэффициентов линейной функции, характеризующих угол наклона одинаково низки (0,19 для 0 – 10 °С и 0,15 для 18 – 28 °С). Это свидетельствует о соответствии значений $ИП_C > 9$ сообществам, находящимся в состоянии функционального спада.

Взаимосвязь индексов поверхности сообщества и концентрации хлорофилла «а». Зависимость концентрации хлорофилла «а» $K_{хл«а»} = f(\text{ИП}_C)$ отражает внутригодовую изменчивость фитопланктона (2000 г.) на ограниченном участке морской акватории (р-н ст.8 Большого Фонтана). Все значения ИП_C для исследуемого массива данных распределены в диапазоне от 0 до 9 м^{-1} .

Максимальная величина индекса поверхности сообщества фитопланктона составила 8,7 м^{-1} , 65 % значений ИП_C распределены в диапазоне от 0 до 1 м^{-1} . $K_{хл«а»}$ изменялась от 0 до 7,53 $\text{мг}\cdot\text{м}^{-3}$. Значение коэффициента корреляции между концентрацией хлорофилла и индексом поверхности сообщества составило 0,7. В результате распределения значений $K_{хл«а»}$ по температурным диапазонам были выявлены линейные зависимости. Значения коэффициента детерминации изменялись от 0,62 до 0,86 (рис.3).

Анализ взаимосвязи между индексами поверхности сообществ и продукционными показателями фитопланктона (ВПП и $K_{хл«а»}$) показал высокий уровень корреляции между данными показателями при высоких значениях коэффициента детерминации. Это позволяет рассматривать ИП_C в качестве характеристики экологической активности фитопланктона, соответствующей интенсивности потока вещества и энергии, проходящего через сообщество, развивающееся в кубическом метре водной толщи.

Взаимосвязь индексов поверхности сообщества с численностью, биомассой и поверхностью сообщества. Распределение значений N_c , B_c и S_c представлено по мере возрастания ИП_C от 0 до 9 м^{-1} и $> 9 \text{ м}^{-1}$ (для массива данных, используемого при анализе зависимости $\text{ВПП} = f(\text{ИП}_C)$) (рис.4).

Достоверной взаимосвязи между численностью и индексом поверхности сообщества фитопланктона не выявлено. (График зависимости $N_c = f(\text{ИП}_C)$ приводится с целью сравнительного анализа с зависимостями $B_c = f(\text{ИП}_C)$ и $S_c = f(\text{ИП}_C)$ (рис.4, а)).

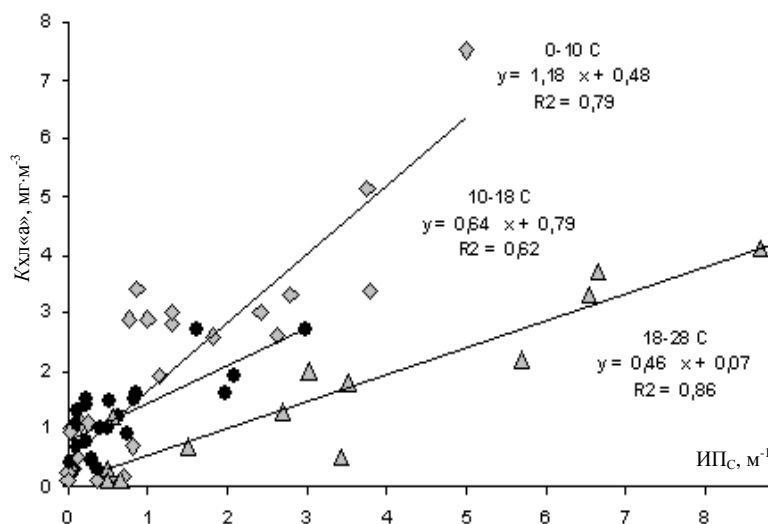


Рис. 3. Связь ИП_C с $K_{хл«а»}$ фитопланктона для различных температурных диапазонов. \blacklozenge – $T = 0 - 10 \text{ }^\circ\text{C}$; \bullet – $T = 10 - 18 \text{ }^\circ\text{C}$; \blacktriangle – $T = 18 - 28 \text{ }^\circ\text{C}$.

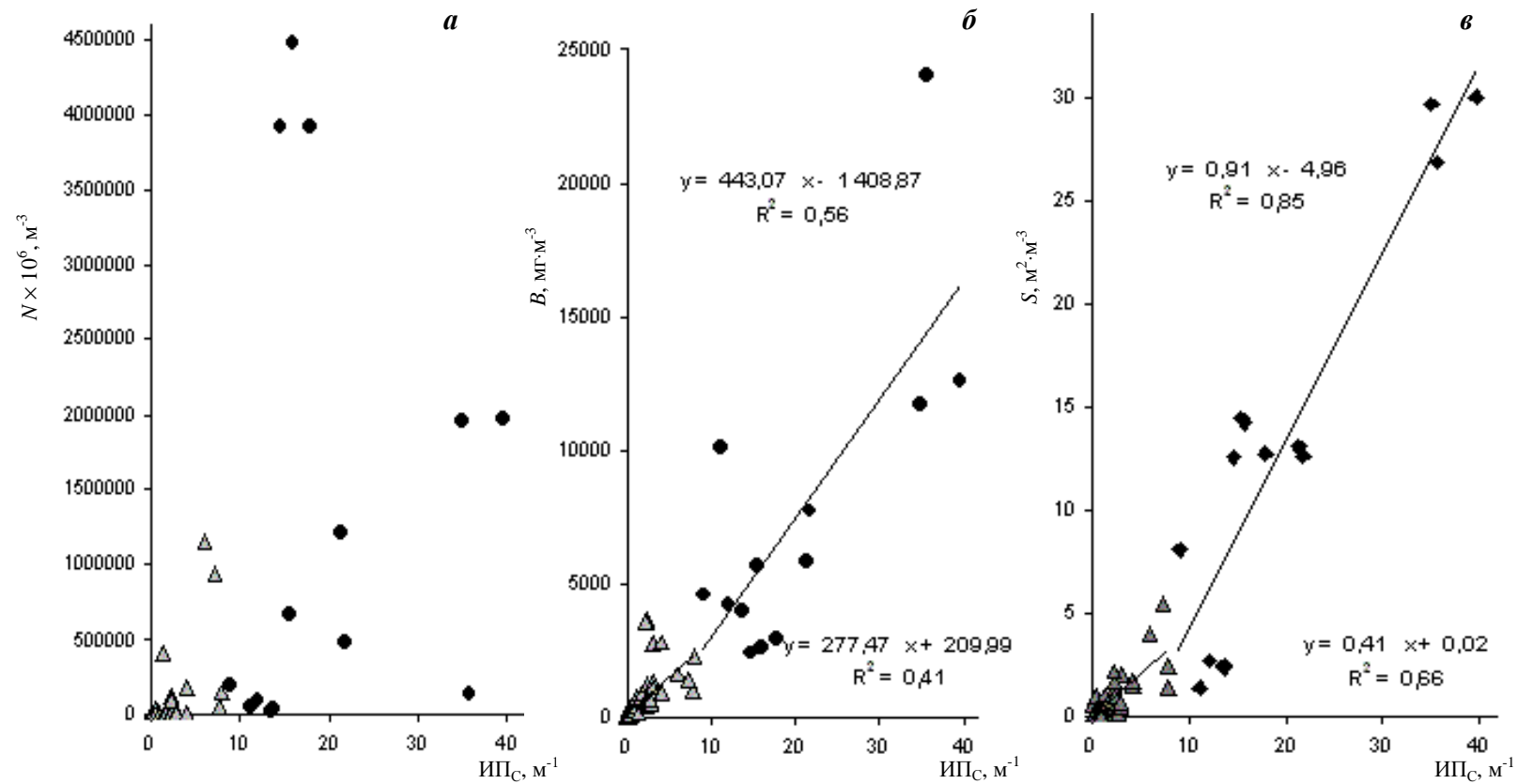


Рис. 4. Связь ИПс с численностью N_c (*a*), биомассой B_c (*б*) и поверхностью S_c (*в*) сообщества фитопланктона.
(a) и *(б)*: \blacktriangle – ИПс от 0 до 9 M^{-1} , \bullet – ИПс > 9 M^{-1} ; *(в)*: \blacktriangle – ИПс от 0 до 9 M^{-1} , \blacklozenge – ИПс > 9 M^{-1} ;

Зависимости $B_c = f(\text{ИП}_C)$ и $S_c = f(\text{ИП}_C)$ характеризуются поступательным возрастанием значений B_c и S_c в диапазонах ИП_C от 0 до 9 м^{-1} и $> 9 \text{ м}^{-1}$. При этом, наиболее высокие значения коэффициента детерминации выявлены для зависимости $S_c = f(\text{ИП}_C)$ (рис.4).

Таким образом, анализ зависимостей $N_c = f(\text{ИП}_C)$, $B_c = f(\text{ИП}_C)$ и $S_c = f(\text{ИП}_C)$ показал, что индекс поверхности сообщества наиболее взаимосвязан с суммарной поверхностью сообщества S_c и не связан с численностью N_c .

Это естественно определяется различным «уровнем» взаимосвязи рассмотренных показателей с продукционными параметрами сообществ. Так, Ю.Каменир [21] подчеркивает, что в широком размерном диапазоне фитопланктонных организмов численность и биомасса не являются адекватными показателями потока энергии, а «более всего для этой цели подходит, видимо, суммарная поверхность клеток».

Отсутствие взаимосвязи между численностью и продукционными показателями закономерно обусловлено тем, что возрастание численности может сопровождаться как возрастанием, так и снижением размеров клеток, составляющих сообщество, и, следовательно, их продукционных возможностей.

Биомасса более тесно взаимосвязана с продукционными показателями в связи с тем, что увеличение биомассы сообщества сопровождается закономерным увеличением производимой ею первичной продукции. Еще одним фактором, определяющим показатели валовой первичной продукции, является функциональная активность клеток в сообществе, которую отражает показатель $(S/W)_c$. (Следует отметить, что при расчете значений ИП_C этот показатель используется в качестве функционального коэффициента при биомассе. Следовательно, дисперсия в зависимости $B_c = f(\text{ИП}_C)$ определяется изменчивостью значений $(S/W)_c$, варьирующих в пределах двух порядков).

Поверхность сообщества является биохимическим контуром, через который осуществляется поступление в клетку вещества и энергии. В связи с этим, данный показатель возможно использовать в качестве параметра, на который производится расчет обменных функций, связанных с интенсивностью различных абиотических факторов.

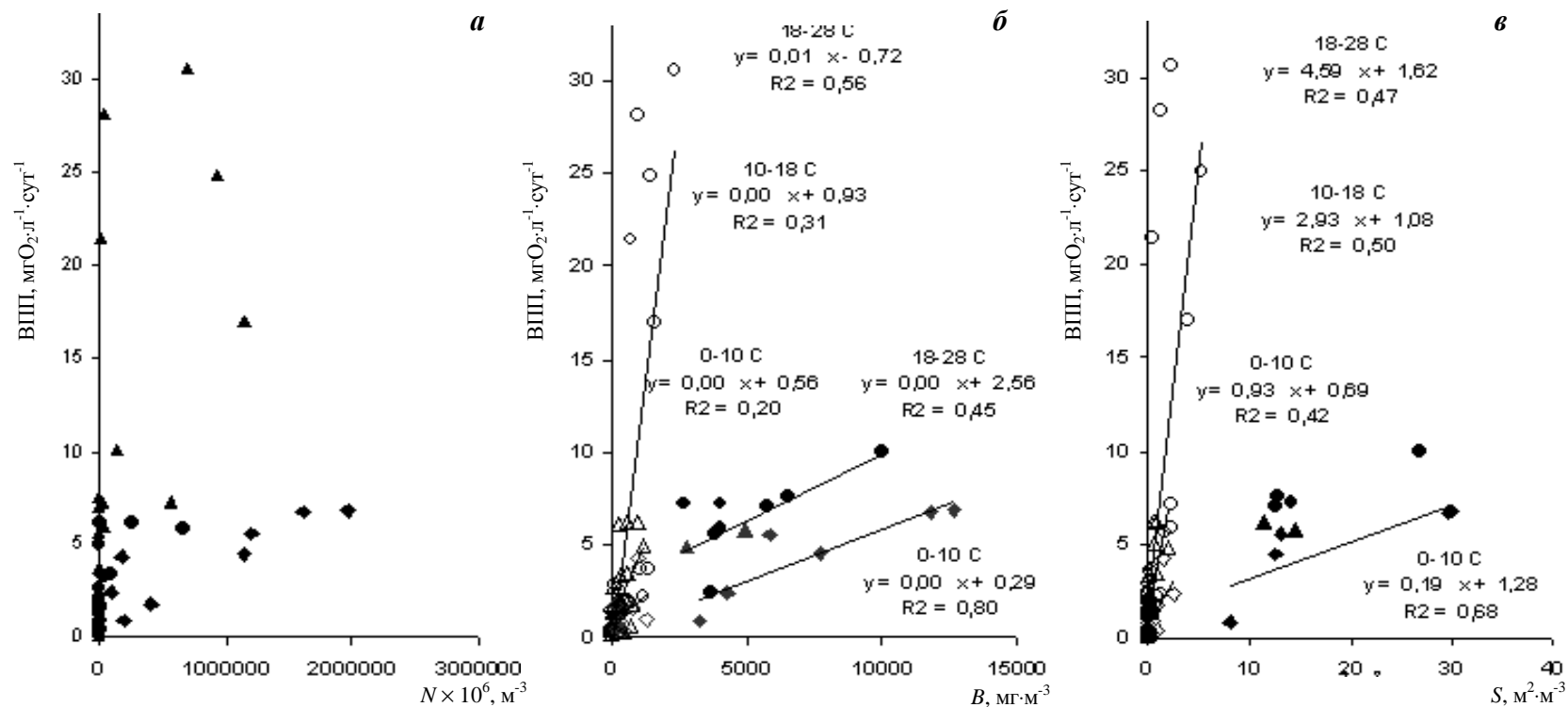
В отличие от него, индекс поверхности сообщества отражает интегральную структурно-функциональную реакцию сообщества на комплекс абиотических факторов, что обуславливает его тесную связь с продукционной функцией.

Эти положения нашли подтверждение при анализе зависимостей между ВПП и показателями сообществ фитопланктона N_c , B_c , S_c (для массива данных, используемого при анализе зависимости $\text{ВПП} = f(\text{ИП}_C)$) (рис.5).

Достоверной взаимосвязи между численностью и валовой первичной продукцией не выявлено (рис.5, а).

Зависимости $\text{ВПП} = f(B_c)$ и $\text{ВПП} = f(S_c)$ характеризуются резким снижением величин валовой первичной продукции по мере возрастания биомассы и поверхности сообществ, аналогичным отмеченному для зависимости $\text{ВПП} = f(\text{ИП}_C)$ (рис.5, б, в). Для зависимости $\text{ВПП} = f(B_c)$ снижение ВПП наблюдается при значениях B_c , превышающих $2300 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-3}$ (рис.4, б; 5, б), для зависимости $\text{ВПП} = f(S_c)$ при значениях S_c , превышающих $7 \cdot \text{м}^2 \cdot \text{м}^{-3}$ (рис.4, в; 5, в).

Анализ этих зависимостей для различных температурных диапазонов по-



Р и с . 5 . Связь численности N_c (а), биомассы B_c (б) и поверхности S_c (в) сообщества с ВПП фитопланктона.

(а): \blacklozenge – $T = 0 - 10 \text{ }^\circ\text{C}$; \bullet – $T = 10 - 18 \text{ }^\circ\text{C}$; \blacktriangle – $T = 18 - 28 \text{ }^\circ\text{C}$;

(б): $T = 0 - 10 \text{ }^\circ\text{C}$ (\blacklozenge – B от 0 до $2300 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-3}$, \blacklozenge – $B > 2300 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-3}$); $T = 10 - 18 \text{ }^\circ\text{C}$ (\triangle – B от 0 до $2300 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-3}$, \bullet – $B > 2300 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-3}$); $T = 18 - 28 \text{ }^\circ\text{C}$ (\square – B от 0 до $2300 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-3}$, \bullet – $B > 2300 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-3}$);

(в): $T = 0 - 10 \text{ }^\circ\text{C}$ (\blacklozenge – S от 0 до $7 \text{ м}^2 \cdot \text{м}^{-3}$, \blacklozenge – $S > 7 \text{ м}^2 \cdot \text{м}^{-3}$); $T = 10 - 18 \text{ }^\circ\text{C}$ (\triangle – S от 0 до $7 \text{ м}^2 \cdot \text{м}^{-3}$, \bullet – $S > 7 \text{ м}^2 \cdot \text{м}^{-3}$); $T = 18 - 28 \text{ }^\circ\text{C}$ (\square – S от 0 до $7 \text{ м}^2 \cdot \text{м}^{-3}$, \bullet – $S > 7 \text{ м}^2 \cdot \text{м}^{-3}$).

зволил выявить значения коэффициентов детерминации. Зависимость $ВПП = f(S_c)$ характеризуется более высокими, по сравнению с зависимостью $ВПП = f(B_c)$, значениями данных показателей. При этом они оказались значительно ниже, полученных для зависимости $ВПП = f(ИП_c)$ (рис.5, б, в).

Анализ зависимостей $ВПП = f(ИП_c)$, $ВПП = f(S_c)$, $ВПП = f(B_c)$ и $ВПП = f(N_c)$, показал, что из четырех структурных показателей сообществ фитопланктона ($ИП_c$, S_c , B_c , N_c) наиболее взаимосвязан с валовой первичной продукцией $ИП_c$, наименее – N_c .

Выводы. В интервалах $ИП_c$ от 0 до $9 м^{-1}$ и $> 9 м^{-1}$ выявлены два выраженных скопления $ВПП$. При значениях $ИП_c$, близких к $9 м^{-1}$, выявлен максимум $ВПП$ ($30,58 мгО_2 \cdot л \cdot сут$), что соответствует численности фитопланктонного сообщества ($147227 млн. кл \cdot м^{-3}$) в состоянии «цветения». При превышении $9 м^{-1}$ происходит резкое снижение значений $ВПП$ сообществ (до $0,89 мгО_2 \cdot л \cdot сут$), не сопровождающееся снижением численности ($197727 млн. кл \cdot м^{-3}$). Это свидетельствует о снижении функциональной активности клеток доминирующей популяции.

Высокий уровень корреляции (в диапазоне от 0 до $9 м^{-1}$) $ИП_c$ с продукционными показателями – валовой первичной продукцией ($0,84$) и концентрацией хлорофилла «а» ($0,70$) – позволяет рассматривать данный показатель в качестве характеристики экологической активности фитопланктона.

Сравнительный анализ зависимостей между валовой первичной продукцией и структурными показателями сообществ фитопланктона – численностью, биомассой, поверхностью и индексом поверхности сообщества $ИП_c$ – показал, что наименее взаимосвязана с валовой первичной продукцией численность, а наиболее – $ИП_c$. При этом индекс поверхности сообщества наиболее взаимосвязан с поверхностью сообщества и не связан с численностью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хайлов К.М., Парчевский В.П. Иерархическая регуляция структуры и функции морских растений.– Киев: Наукова думка, 1983.– 253 с.
2. Хайлов К.М., Празукин А.В., Ковардаков С.А., Рыгалов В.Е. Функциональная морфология морских многоклеточных водорослей.– Киев: Наукова думка, 1992.– 280 с.
3. Миничева Г.Г. Показатели поверхности водорослей в структурно-функциональной оценке фитобентоса: Автореф. дис. ... канд. биол. наук.– Севастополь, 1989.– 19 с.
4. Миничева Г.Г. Связь морфологических и продукционных показателей у пластинчатой водоросли *Porphyra leucosticta* Thur. // Экология моря.– 1991.– 37.– С.45-49.
5. Никонова С.Е. Удельная поверхность культур одноклеточных водорослей, как характеристика их функциональной активности // Эколого-физиологические исследования водорослей и их значение для оценки состояния природных вод.– Ярославль, 1996.– С.158-159.
6. Миничева Г.Г., Зотов А.Б., Косенко М.Н. Методические рекомендации по определению комплекса морфо-функциональных показателей одноклеточных и многоклеточных форм водной растительности. Препринт.– Одесса: ОФ ИнБЮМ, 2003.– 37 с.

7. *Зотов А.Б., Дятлова М.С., Макаров А.В.* Расчет показателей поверхности фитопланктона с помощью компьютерной программы // *Экология моря.*– 2003.– 64.– С.99-104.
8. *Нестерова Д.А.* Методические рекомендации по сбору и обработке морского фитопланктона.– Одесса: ОФ ИнБЮМ, 1988.– 19 с.
9. *Киселев И.А.* Методы исследования фитопланктона // *Жизнь пресных вод СССР.*– т.4, №1.– М.-Л., 1956.– 234 с.
10. *Винберг Г.Г.* Первичная продукция водоёмов.– Минск: Изд-во АН БССР, 1960.– 407 с.
11. *Руководство по методам биохимического анализа морской воды и донных отложений.*– Л.: Гидрометиздат, 1980.– С.100-105.
12. *Харченко Т.А., Иванов А.И. и др.* Биопродуктивность и качество воды Сасыкского водохранилища в условиях его опреснения.– Киев: Наукова думка, 1990.– С.192-193.
13. *Оксиук О. П., Иванов А.И., Журавлева П.А. и др.* Цветение воды и зарастание Днепро-Бугского лимана в аспекте их влияния на качество воды.– *Депон. рук. № 6521.*– М.: ВИНТИ, 1983.– 67 с.
14. *Кобленц-Мишке И.О., Ведерников В.И.* Ориентировочное сопоставление первичной продукции и количества фитопланктона на поверхности океана // *Океанология.*– 1973.– т.13, вып.1.– С.75-84.
15. *Хайлов К.М., Бурлакова З.П., Ланская Л.А., Лаврентьев Н.Н.* О связи органотрофии морских одноклеточных водорослей с плотностью их экспериментальных популяций и индивидуальной массой клеток // *Биология моря.*– 1977.– вып.42.– С.61-68.
16. *Парчевский В.П., Бурлакова З.П., Крупаткина Д.К., Кирикова В.П.* Многомерный анализ взаимоотношений фитопланктон – среда в Севастопольской бухте // *Экология моря.*– 1980.– 1.– С.21-28.
17. *Гончаров А.Ю.* Скорости ассимиляционных потоков углерода в сообществе фитопланктона // *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа.*– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2003.– вып.9.– С.250-254.
18. *Сеничева М.И.* Динамика популяции *Skeletonema costatum* в Севастопольской бухте // *Экология моря.*– 1980.– 1.– С.11-15.
19. *Миничева Г.Г., Зотов А.Б.* Особенности внутривидовой изменчивости удельной поверхности фитопланктона Одесского региона (Черное море) // *Экология моря.*– 2003.– 63.– С.46-52.
20. *Айзатуллин Т.А., Лебедев В.Л., Хайлов К.М.* Океан. Активные поверхности и жизнь.– Л.: Гидрометеиздат, 1979.– 192 с.
21. *Kamenir Yu.G.* Дополнительные свидетельства того, что обилие фитопланктона может ограничиваться не только биогенами. Further evidence of nonnutrient constraints on phytoplankton abundances // *Limnol. Oceanogr.*– 1992.– 37, №3.– С.681-683.

Материал поступил в редакцию 28.02.2005 г.