

СВЯЗЬ ПЕРВИЧНОЙ ПРОДУКЦИИ С ИНТЕНСИВНОСТЬЮ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ

Для анализа связи между величинами первичной продукции в эвфотическом слое и количеством солнечной энергии, падающей на единицу поверхности моря, использованы полуаналитическая модель и физиологические параметры, характерные для черноморского фитопланктона. Показано, что при различных концентрациях хлорофилла в поверхностном слое и неравномерном распределении хлорофилла с глубиной значения первичной продукции изменяются с изменением плотности светового потока нелинейно. Эффективность фотосинтеза на единицу поверхности увеличивается с уменьшением светового потока, достигающего поверхности, что связано с замедлением фотосинтеза в поверхностном слое.

Известно, что свет является одним из основных факторов, контролирующих процесс фотосинтеза в море. С повышением плотности светового потока скорость фотосинтеза возрастает до некоторой максимальной величины, после чего наблюдается торможение процесса фотосинтеза. Форма связи между фотосинтезом и светом хорошо известна, и для ее математического описания часто используются гиперболические уравнения, требующие, как минимум, два или три параметра в случае угнетения фотосинтеза [2, 11]. Основными параметрами, определяющими зависимость фотосинтез – свет, являются максимальная скорость и начальный наклон кривых. Во многих работах показано, что параметры кривой фотосинтез – свет, контролируются светом, температурой, содержанием биогенных элементов и часто зависят от видового состава фитопланктона [1, 9, 14]. Зная фотосинтетические параметры фитопланктона, содержание хлорофилла и распределение света в воде, можно рассчитать величину валовой первичной продукции. Это послужило основой для развития моделей, позволяющих оценивать непрерывную скорость изменения фотосинтеза с глубиной по спутниковым наблюдениям [11]. Однако по этим моделям невозможно оценить, как будут изменяться величины первичной продукции на единицу поверхности моря от плотности светового потока. В то же время для понимания закономерностей, определяющих уровень первичной продукции в слое фотосинтеза, необходимо учитывать оптические свойства воды и интенсивность солнечной радиации. В данном случае оптический аспект в исследовании первичной продукции выступает весьма отчетливо. В частности, при сравнении величин первичной продукции в разных районах он приобретает значение количественного показателя, характеризующего энергетическую эффективность процесса фотосинтеза в морских экосистемах.

Цель настоящей работы – исследовать форму связи между величинами первичной продукции на единицу поверхности и количеством солнечной энергии, достигающей поверхности моря. Для решения этой задачи используются полуаналитическая модель и физиологические параметры, полученные для черноморского фитопланктона.

Эскиз модели. В основу рассматриваемой модели положена зависимость фотосинтез-свет, и для ее математического описания используется уравнение, предложенное Платом с соавторами [12]:

$$P^B = P_s^B (1 - \exp[-\alpha^B I / P_s^B]) \exp[-\beta^B I / P_s^B], \quad (1.1)$$

где P^B – скорость ассимиляции углерода, нормированная на единицу хлорофилла, мгС (мг Хл а)⁻¹ сут.⁻¹;

I – плотность светового потока, падающего на поверхность моря, мольЕ м⁻²сут.⁻¹;

α^B – угол наклона кривой фотосинтез-свет, отражающий эффективность фотосинтеза, мгС (мг Хл а)⁻¹ ч⁻¹ (мольЕ м⁻²)⁻¹;

β^B – параметр, характеризующий ингибирование фотосинтетической реакции, мгС (мг Хл а)⁻¹ сут.⁻¹(мольЕ м⁻²)⁻¹;

P_s^B – множитель, связанный с максимальной относительной скоростью фотосинтеза (P_{max}^B , мгС мгХл⁻¹ сут.⁻¹), следующим тождеством:

$$P_m^B = P_s^B (\alpha^B / [\alpha^B + \beta^B]) (\beta^B / [\alpha^B + \beta^B])^{\beta/\alpha}.$$

Принято, что плотность светового потока, падающего на поверхность моря, уменьшается с увеличением глубины по логарифмическому закону:

$$I_z = R \cdot I_0 \cdot \exp(-k \cdot z) \quad (1.2)$$

где I_0 – плотность светового потока, достигающего поверхности моря; R – коэффициент отражения света поверхностью моря; k – коэффициент диффузного ослабления света морской водой в области ФАР, м⁻¹; z – глубина, м. Для модельных расчетов принято, что коэффициент диффузного ослабления света не изменяется в слое фотосинтеза и связан с концентрацией хлорофилла отношением:

$$k_{cp} = A \cdot X_{l0}^B \quad (1.3)$$

где X_{l0} – концентрация хлорофилла a в поверхностном слое, мг м⁻³; A и B – некоторые коэффициенты пропорциональности, определенные экспериментально и равные 0,129 и 0,43 [6]; k_{cp} – средний коэффициент диффузного ослабления света в эвфотическом слое. Глубина эвфотического слоя, где ФАР составляет 1 % от света, падающего на единицу поверхности, определена как $4,6/k_{cp}$.

Функция Гаусса использована для описания вертикального распределения хлорофилла:

$$X_l(z) = (h) / (\sigma(2\pi)^{0.5}) \cdot \exp(-((z - z_m)^2) / (2 \cdot \sigma^2)). \quad (1.4)$$

Где h , σ , z_m – коэффициенты, отражающие характеристики кривой. Их численные значения получены из анализа большого количества данных в период температурной стратификации вод в Черном море [7]:

$$h = (55,73 \pm 1,40) X_{l0}^{0,56 \pm 0,008}, \text{ при } 0,02 \leq X_{l0} \leq 70;$$

где h – общее содержание хлорофилла в слое максимума, мг м⁻²; X_{l0} – концентрация хлорофилла в поверхностном слое, мг м⁻³.

$$z_m = 11,1 \pm 0,75 - (10,46 \pm 0,45) \ln X_{l0} \text{ при } 0,02 \leq X_{l0} \leq 70;$$

где z_m – глубина максимума хлорофилла, м. Показатель ширины максимума хлорофилла (σ) принят равным 20 м.

Если в уравнение (1.1) подставить уравнения (1.2) и (1.4), то скорость фотосинтеза на глубине z ($P(z)$, мгС м⁻³ сут.⁻¹) будет равна:

$$P(z) = X_l(z) \cdot P_s^B (1 - \exp[-\alpha^B (I_0 \cdot \exp(-k_{cp} \cdot z)) / P_s^B]) \exp[-\beta^B \cdot I_z / P_s^B] \quad (1.5)$$

Интегрируя скорость фотосинтеза по глубине, получаем величину первичной продукции на единицу поверхности моря $P = \int_0^N P(z) dz$, мгС м⁻² сут⁻¹.

Для моделирования интегральной продукции фитопланктона в зависимости от интенсивности света, падающего на поверхность моря, рассмотрим варианты, при которых свет изменяется от 5 до 80 мольЕ м⁻² сут⁻¹, концентрация хлорофилла *a* в поверхностном слое – от 0,2 до 10 мг м⁻³. Для простоты моделирования допускается, что значения параметров зависимости фотосинтез-свет (α^B, β^B) при этих условиях остаются постоянными и равны соответственно 0,1 и 0,05 мгС (мг Хл *a*)⁻¹ ч.⁻¹ (Вт м⁻²)⁻¹, а P_{\max}^B изменяется от 1 до 10 мгС мгХл⁻¹ ч.⁻¹.

Результаты. Вариант 1. Рассмотрим условия, когда концентрация хлорофилла и коэффициент диффузного ослабления света не изменяются с глубиной. Максимальная интенсивность фотосинтеза и начальный угол кривой фотосинтез-свет равны 5 мгС мгХл⁻¹ ч.⁻¹ и 0,1 мгС (мг Хл *a*)⁻¹ ч.⁻¹ (Вт м⁻²)⁻¹, длительность светового периода – 12 ч. При принятых допущениях первичная продукция увеличивается гиперболически с ростом плотности светового потока и концентрации хлорофилла (рис. 1 а, б).

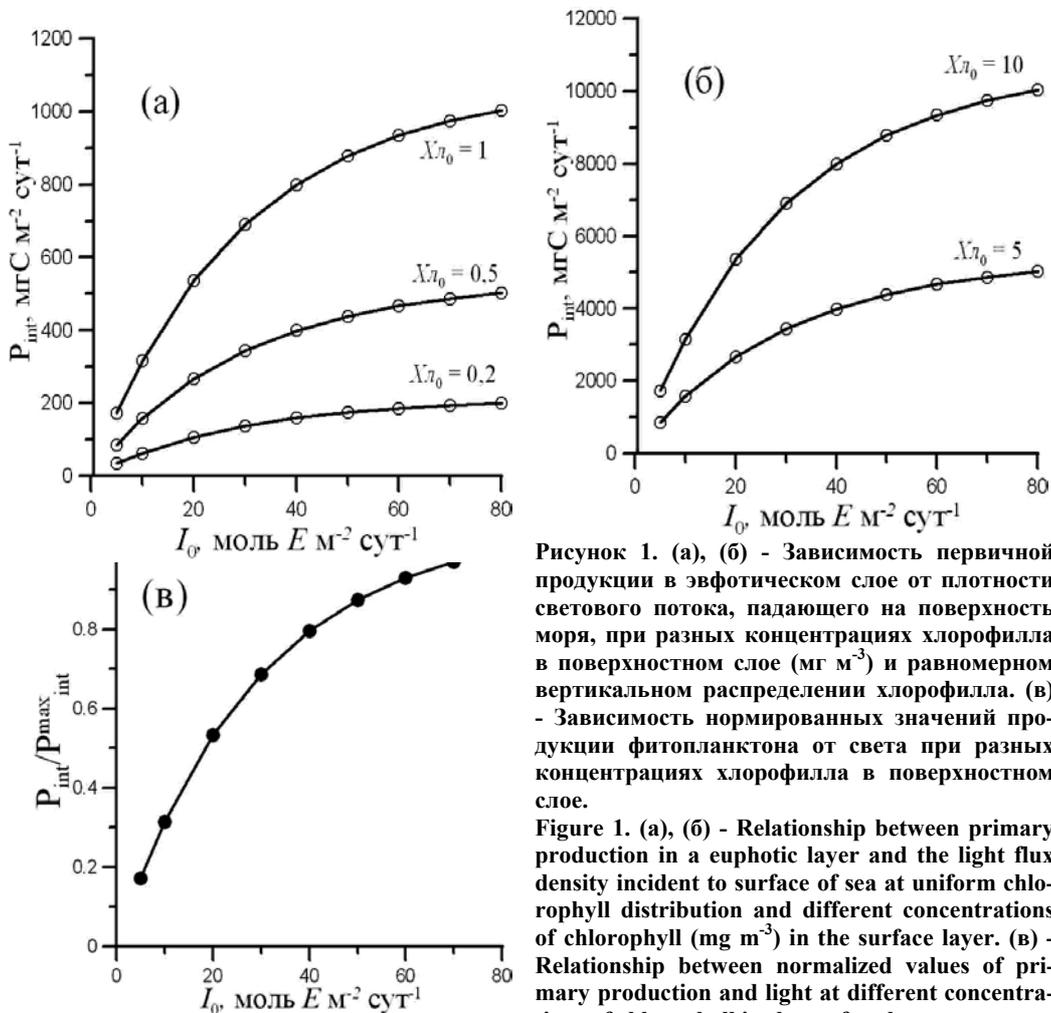


Рисунок 1. (а), (б) - Зависимость первичной продукции в эвфотическом слое от плотности светового потока, падающего на поверхность моря, при разных концентрациях хлорофилла в поверхностном слое (мг м⁻³) и равномерном вертикальном распределении хлорофилла. (в) - Зависимость нормированных значений продукции фитопланктона от света при разных концентрациях хлорофилла в поверхностном слое.

Figure 1. (a), (б) - Relationship between primary production in a euphotic layer and the light flux density incident to surface of sea at uniform chlorophyll distribution and different concentrations of chlorophyll (mg m⁻³) in the surface layer. (в) - Relationship between normalized values of primary production and light at different concentrations of chlorophyll in the surface layer.

Для сравнения кривые были нормализованы на максимальные значения скорости фотосинтеза, наблюдаемые при высокой интенсивности света (рис. 1 в). Как видно, начальный наклон кривых не зависит от концентрации хлорофилла, а световое насыщение фотосинтеза наблюдается при одинаковой плотности светового потока – 28 мольЕ м⁻²сут⁻¹.

Вариант 2. Рассмотрим случай, когда наблюдается неравномерное распределение хлорофилла по формуле (1.4), а коэффициент диффузного ослабления света изменяется по (1.3). Численные значения P_{\max}^B , α^B и β^B приняты, как в варианте 1. При этих условиях значения первичной продукции уменьшаются в 5 – 6 раз, по сравнению с первым вариантом (рис. 2). В отличие от варианта 1, величины светового насыщения фотосинтеза (I_k) зависят от концентрации хлорофилла и его вертикального распределения. С уменьшением концентрации хлорофилла снижается коэффициент диффузного ослабления света и, соответственно, повышаются значения I_k . При высокой концентрации хлорофилла снижается доля света, проникающего на глубину, что ведет к уменьшению величины светового насыщения фотосинтеза.

Из проведенных расчетов следует, что концентрация хлорофилла и его вертикальное распределение влияют на величину интегрального фотосинтеза и величины I_k . При принятых допущениях, характерных для вод с температурной стратификацией, величины первичной продукции на единицу поверхности будут изменяться с изменением плотности светового потока, падающего на поверхность моря, от 24 до 32 мольЕ м⁻²сут⁻¹. В летний период I_0 изменяется от 8 до 30 мольЕ м⁻²сут⁻¹, т.е. только в яркие солнечные дни интенсивность солнечной радиации не будет влиять на первичную продукцию в водном столбе.

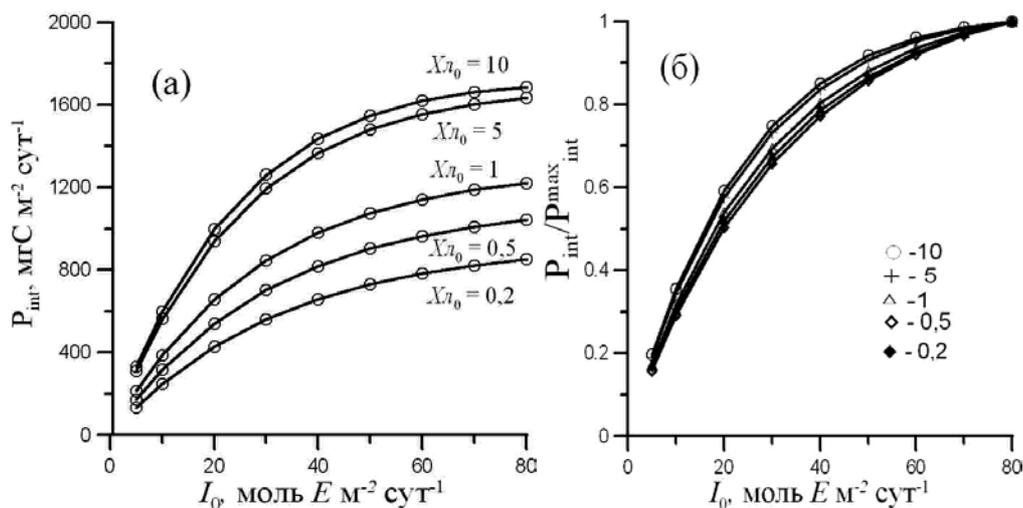


Рисунок 2. (а) - Зависимость первичной продукции в эвфотическом слое от плотности светового потока, падающего на поверхность моря, при разных концентрациях хлорофилла в поверхностном слое (мг м⁻³) и одномодальном вертикальном распределении хлорофилла. (б) - Зависимость нормированных значений продукции фитопланктона от света при разных концентрациях хлорофилла в поверхностном слое.

Figure 2. (a) - Relationship between primary production in a euphotic layer and the light flux density incident to surface of sea at unimodal chlorophyll distribution and different values of chlorophyll (mg m⁻³) in the surface layer. (б) - Relationship between normalized values of primary production and light at different concentrations of chlorophyll in the surface layer.

Вариант 3. Рассмотрим условия, при которых максимальная интенсивность фотосинтеза изменяется в широких пределах (от 1 до 10 мгСмгХл⁻¹ сут.⁻¹), а остальные параметры, остаются как в варианте 2. Примеры изменения первичной продукции в стратифицированном столбе воды показаны на рис. 3.

При высоких значениях P_{\max}^B кривые в широких пределах концентрации хлорофилла и падающей интенсивности света приближаются к линейной зависимости (рис. 3 а). Нормированные значения при всех концентрациях хлорофилла близки, что может свидетельствовать о сходных начальных углах наклона кривых фотосинтез-свет и лимитировании общей продукции светом (рис. 3 б). С уменьшением значений P_{\max}^B с 10 до 1 мгС/(мгХл сут) величины I_k и уровень продукции снижаются, сокращается квазилинейный участок кривой и наблюдается торможение процесса фотосинтеза.

Максимальные значения светонасыщения фотосинтеза наблюдаются при низких концентрациях хлорофилла и высоких значениях P_{\max}^B , минимальные - при высокой концентрации хлорофилла и низкой фотосинтетической активности. Наглядно изменение значений I_k можно представить с помощью множественной регрессии:

$$I_k = 7.1 - 3.88 \cdot X_L + 28.6 \cdot P_{\max}^B.$$

Как видно, значения I_k в большей степени зависят от максимальной интенсивности фотосинтеза, чем концентрации хлорофилла.

Зависимость отношения общей продукции фитопланктона к хлорофиллу от света. Эффективность фотосинтеза на единицу поверхности моря можно определить как [5]:

$$\psi = P_{\text{tot}} / (X_{L_{\text{tot}}} \cdot I_0),$$

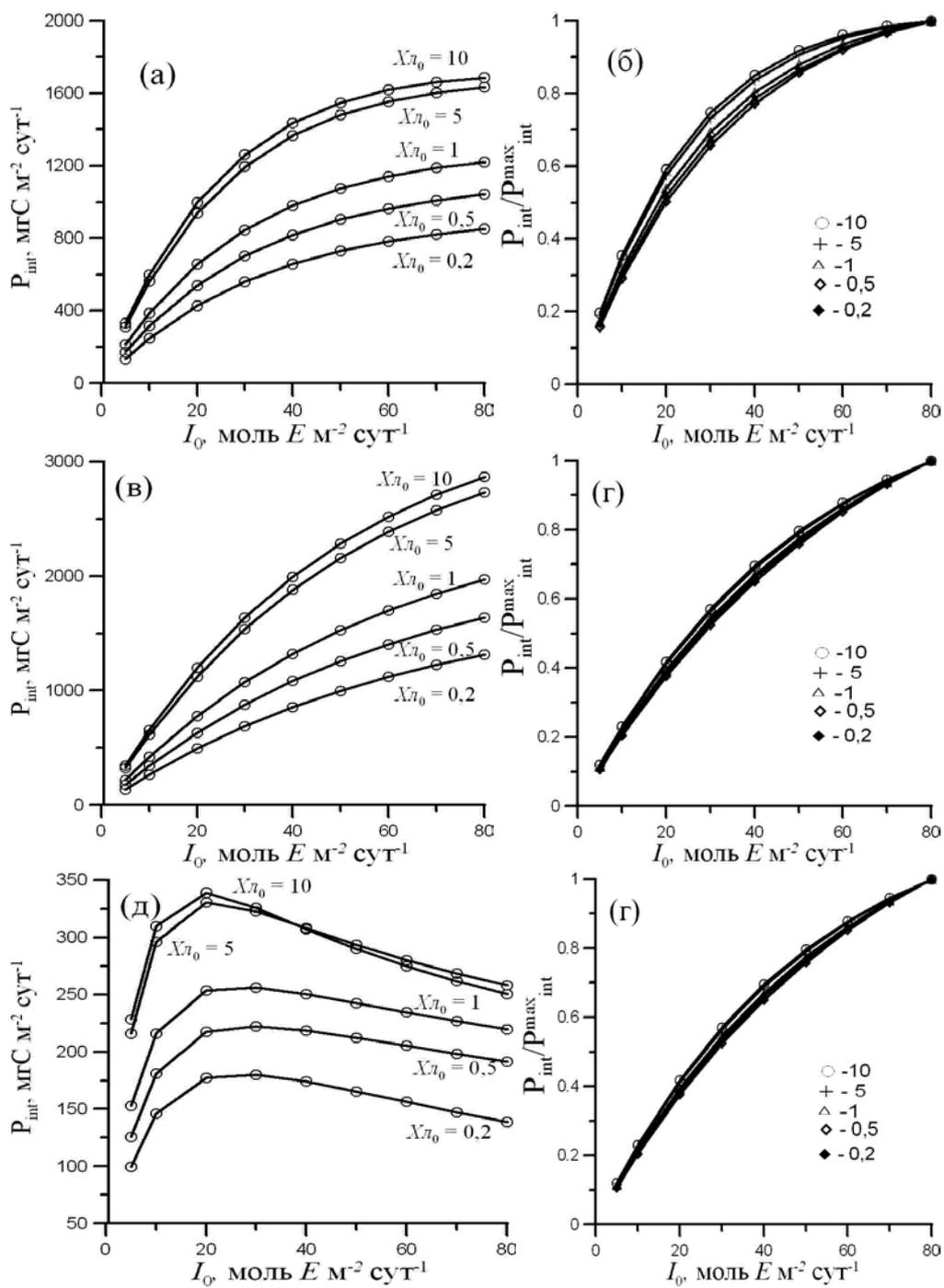
где P_{tot} – суточная первичная продукция от поверхности до основания эвфотической зоны, $X_{L_{\text{tot}}}$ – интегрированная концентрация хлорофилла от поверхности до основания эвфотической зоны, I_0 – плотность светового потока, интегрированная за сутки.

На рис. 4 приведены зависимости общей интенсивности фотосинтеза ($P_{\text{tot}}/X_{L_{\text{tot}}}$) от света. Связь между отношением P_{tot} к $X_{L_{\text{tot}}}$ и светом по форме похожа на гиперболические кривые которые различаются по начальному углу наклона и величине максимума. При высоких значениях концентрации хлорофилла и P_{\max}^B значения ψ максимальны и достигают 1.6 гС г⁻¹Хл моль⁻¹ фотонов, при минимальных значениях P_{\max}^B они снижаются до 0,1 гС г⁻¹Хл моль⁻¹ фотонов. Как видно, эффективность фотосинтеза в зоне фотосинтеза в большей степени зависит от фотосинтетической активности хлорофилла, чем от интегральной концентрации хлорофилла в столбе воды.

Рисунок 3. Зависимость первичной продукции (мгС м⁻² сут⁻¹) от интенсивности света, падающего на поверхность моря, концентрации хлорофилла (мг м⁻³) и максимальной фотосинтеза (мгС мг хл а⁻¹ час⁻¹); (а, в, д) - изменение абсолютных и (б, г, е) - нормированных значений первичной продукции; (а), (б) - $P_{\max}^B = 5$, (в), (г) - $P_{\max}^B = 10$, (д), (е) - $P_{\max}^B = 1$.

Figure 3. Relationship of primary production (mgC m⁻² d⁻¹) on intensity of light, concentration of chlorophyll (mg m⁻³) and maximal photosynthesis (mgC mg chl a⁻¹ h⁻¹); (а, в, д) - change of absolute and (б, г, е) - normalized values of primary production; (а), (б) - $P_{\max}^B = 5$, (в), (г) - $P_{\max}^B = 10$, (д), (е) - $P_{\max}^B = 1$.





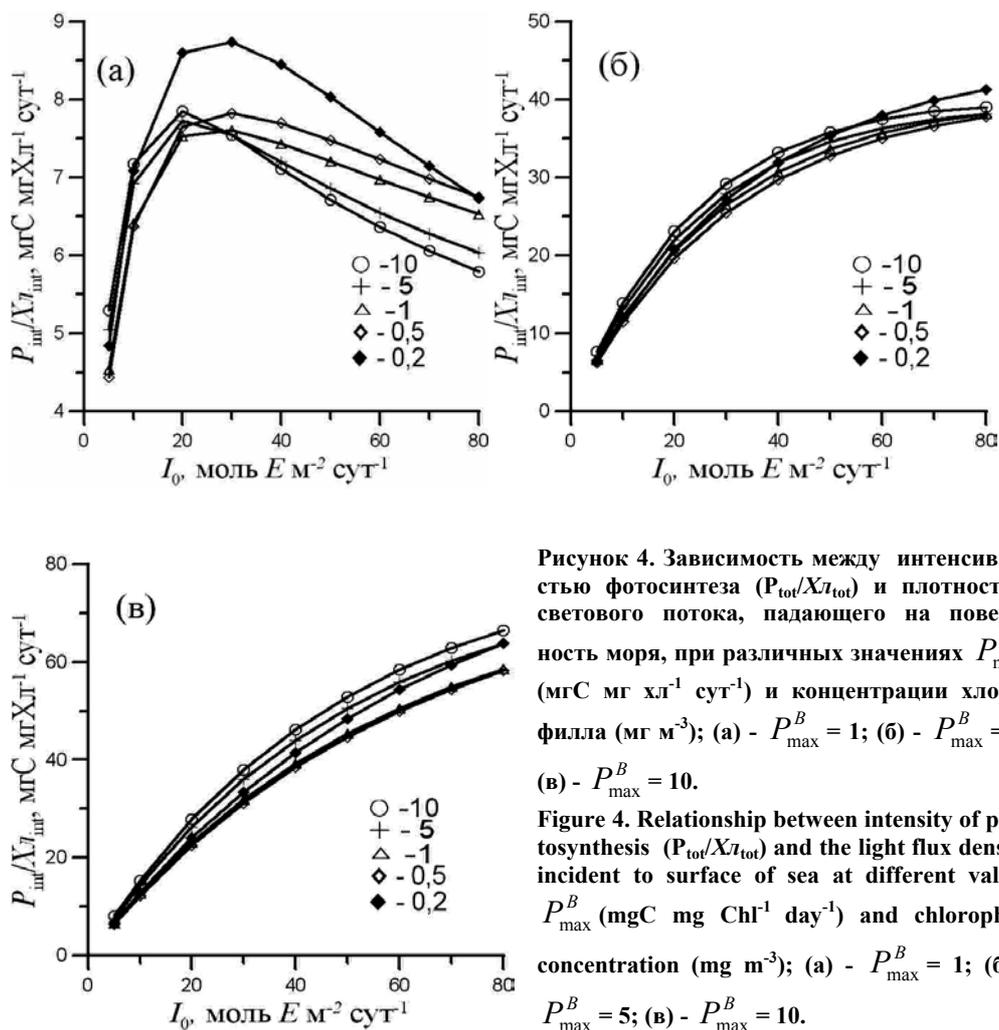


Рисунок 4. Зависимость между интенсивностью фотосинтеза (P_{tot}/X_{tot}) и плотностью светового потока, падающего на поверхность моря, при различных значениях P_{max}^B ($\text{мгС мг хл}^{-1} \text{сут}^{-1}$) и концентрации хлорофилла (мг м^{-3}); (а) - $P_{max}^B = 1$; (б) - $P_{max}^B = 5$; (в) - $P_{max}^B = 10$.

Figure 4. Relationship between intensity of photosynthesis (P_{tot}/X_{tot}) and the light flux density incident to surface of sea at different values P_{max}^B ($\text{mgC mg Chl}^{-1} \text{day}^{-1}$) and chlorophyll concentration (mg m^{-3}); (а) - $P_{max}^B = 1$; (б) - $P_{max}^B = 5$; (в) - $P_{max}^B = 10$.

Из проведенных расчетов также следует, что коэффициент Ψ повышается с уменьшением количества света, падающего на поверхность (рис. 5). При P_{max}^B , равном 10, величина Ψ в широком диапазоне интенсивностей света различается только в 2 раза, в то время как при низких значениях P_{max}^B эти различия достигают порядка величин (рис. 5). Одна из причин этих различий обусловлена тем, что при низких значениях P_{max}^B и постоянной величине α^B наблюдается замедление процесса фотосинтеза в поверхностном слое, приводящее к уменьшению P_{tot} . В целом, результаты расчетов показывают, что эффективность фотосинтеза в эвфотической зоне величина не постоянная и зависит от интенсивности фотосинтеза фитопланктона, которая контролируется факторами среды.

Обсуждение. Как известно [13], первичная продукция на единицу поверхности может быть выражена в некоторой общей форме при допущении, что нет торможения

процесса фотосинтеза при высокой интенсивности света и наблюдается вертикальная однородность фитопланктона и оптических свойств водном столбе:

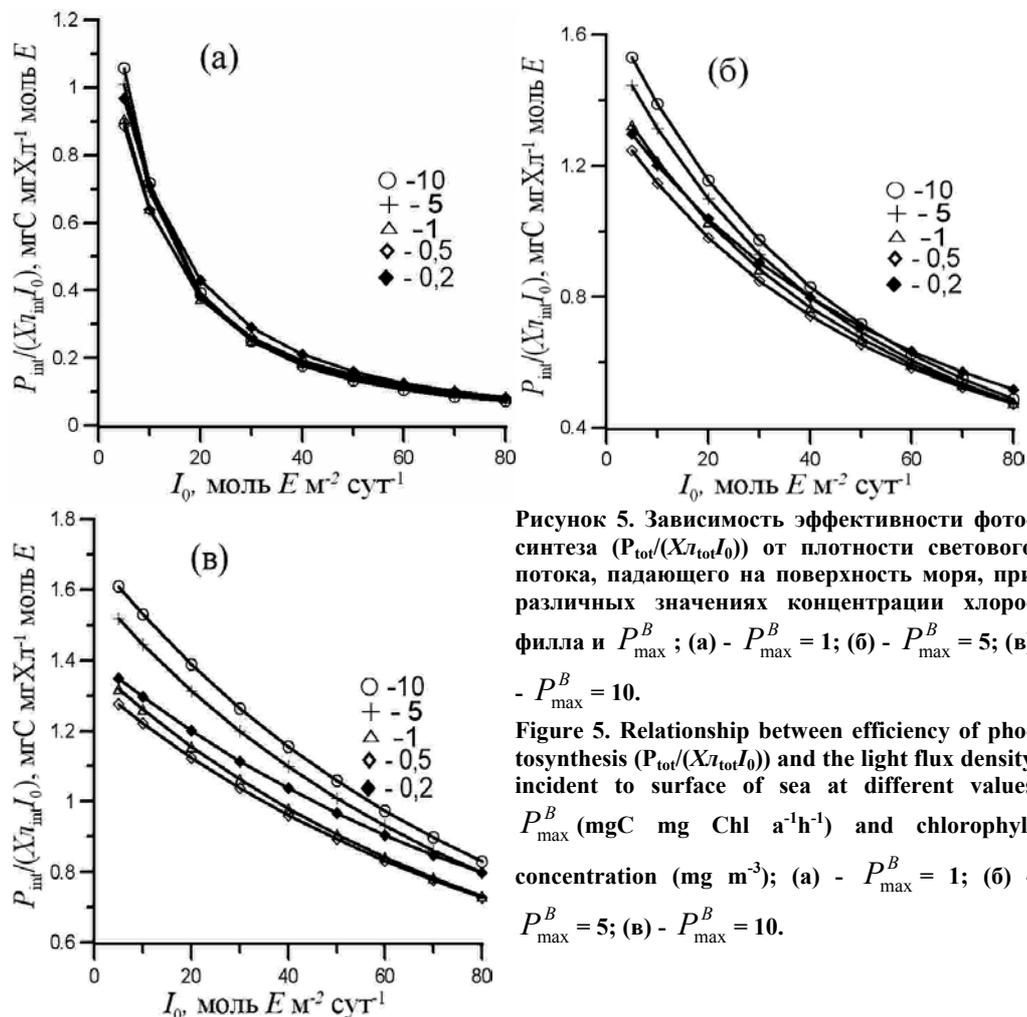


Рисунок 5. Зависимость эффективности фотосинтеза ($P_{tot}/(X_t I_0)$) от плотности светового потока, падающего на поверхность моря, при различных значениях концентрации хлорофилла и P_{max}^B ; (а) - $P_{max}^B = 1$; (б) - $P_{max}^B = 5$; (в) - $P_{max}^B = 10$.

Figure 5. Relationship between efficiency of photosynthesis ($P_{tot}/(X_t I_0)$) and the light flux density incident to surface of sea at different values P_{max}^B ($\text{mgC mg Chl a}^{-1} \text{h}^{-1}$) and chlorophyll concentration (mg m^{-3}); (а) - $P_{max}^B = 1$; (б) - $P_{max}^B = 5$; (в) - $P_{max}^B = 10$.

$$\int_0^{z,1\%} P = (P_m / K) \cdot f(\alpha \cdot I_0 / P_m),$$

или

$$\int_0^{z,1\%} P = (P_m / K) \cdot f(I_*),$$

где P_m - максимальная скорость фотосинтеза; α - угол наклона кривой фотосинтез-свет; K - коэффициент диффузного ослабления света; I_0 - количество солнечной энергии, достигшее поверхности моря; $I_* = I_0 / I_k$, I_k - величина светового насыщения фотосинтеза; $I_k = P_m / \alpha$. Как видно, зависимость интегральной продукции от света можно описать двумя фотосинтетическими параметрами и одним оптическим.

При принятых допущениях продукция фитопланктона на единицу поверхности увеличивается прямо пропорционально количеству световой энергии, падающей на по-

верхность моря. Подобный характер зависимости получен нами в варианте 1. Отсутствие фотоингибирования фотосинтеза и однородность эвфотического слоя обычно наблюдаются в зимний период в Черном море, когда интенсивность света, падающего на поверхность моря, изменяется в среднем за сутки от 6 до 26 мольЕ, и свет контролирует общую продукцию фитопланктона. Летом инсоляция в несколько раз выше, слой фотосинтеза стратифицирован по температуре, наблюдается неравномерное распределение хлорофилла и торможение процесса фотосинтеза у поверхности. При значениях I_k 10 – 20 мольЕ связь общей продукции фитопланктона с плотностью светового потока соответствует гиперболической зависимости, при $I_k < 10$ наблюдается угнетение общей продукции фитопланктона при высоких интенсивностях света.

По данным, полученным в прибрежных и открытых районах океана, между общей продукцией фитопланктона в эвфотическом слое, нормированной на интегральное количество хлорофилла в этом слое, и солнечной радиацией, падающей на поверхность моря, наблюдалось линейное отношение [8, 10]. Угол наклона прямой варьировал от 0,35 до 0,66 и в среднем составил 0,4 гС моль⁻¹Е м⁻² гХл⁻¹. Эти значения получены для районов с относительно высокой концентрацией биогенных элементов. Исследования, выполненные в других районах [3], показали, что Ψ варьирует от 0,1 до 10 и в среднем в 3 раза выше, по сравнению с данными, приведенными в [13]. На основании измерений, выполненных в районе континентального склона в юго-восточной части северной Америки, авторы [15] сделали заключение, что значения Ψ примерно в 3 раза выше, чем в обобщении, выполненном в [13]. В целом, эти данные указывают на некоторую региональную вариабельность эффективности фотосинтеза на единицу поверхности. На основании обобщения собственных и литературных данных, приведенных выше, Фальковский и Равен [4] нашли, что значения Ψ увеличиваются с уменьшением количества солнечной энергии, падающей на поверхность моря, и они ниже в водах с низкой концентрацией биогенных элементов. Максимальные значения Ψ достигают 1.0 – 1.5, минимальные – 0,1 – 0,4 гС моль⁻¹Е м⁻² гХл⁻¹. К таким же результатам приводят модельные расчеты, выполненные нами. Они показывают, что параметры β и I_k вносят существенный вклад в общую вариабельность Ψ . Вариабельность Ψ может зависеть от многих условий. Плат [10] предполагает, что эффективность фотосинтеза на единицу поверхности равна произведению интегральной концентрации хлорофилла в эвфотической зоне (С), удельного поглощения света хлорофиллом (a^*), квантового выхода фотосинтеза (η), интенсивности света, падающей на поверхность (I_0), глубины эвфотической зоны (Γ) и коэффициенту диффузного ослабления света (К).

$$\psi = C \cdot a^* \cdot \eta \cdot I_0 \cdot \Gamma \cdot K.$$

Как видно, для рассмотрения источников вариабельности значений Ψ необходим анализ изменения плотности светового потока с глубиной и эффективностью его поглощения фитопланктоном, которая зависит от факторов среды и видового состава водорослей.

Заключение. Анализ формы связи между величинами первичной продукции на единицу поверхности и количеством солнечной энергии, достигающей поверхности моря, показал, что линейный характер между ними наблюдается при равномерном вертикальном распределении фитопланктона и отсутствии торможения скорости фотосинтеза в поверхностном слое. Если учитывать угнетение скорости фотосинтеза при высокой интенсивности света, то связь между общей продукцией фитопланктона и светом, достигающим поверхности, будет нелинейной. В течение всего года свет контролирует интегральную продукцию в широких пределах. Максимальные значения плотности светового потока, при которой фотосинтез не зависит от света, наблюдаются при низких кон-

центрациях хлорофилла и высоких значениях интенсивности фотосинтеза, минимальные – при высокой концентрации хлорофилла и низкой фотосинтетической активности фитопланктона. Эффективность фотосинтеза в эвфотической зоне величина непостоянная, она увеличивается с уменьшением плотности светового потока, падающего на поверхность моря. Уменьшение эффективности фотосинтеза при высокой значении падающей радиации связано с угнетением интенсивности фотосинтеза в поверхностном слое. Для анализа изменений эффективности фотосинтеза на единицу поверхности необходимо учитывать вертикальное распределение плотности светового потока, поглощение света пигментами и эффективность его ассимиляции в процессе фотосинтеза.

1. *Финенко З. З., Чурилова Т. Я., Сосик Х. М., Бастюрк О.* Изменчивость фотосинтетических параметров фитопланктона в поверхностном слое Черного моря // *Океанология*. - 2001. – **41**, № 6. - С. 1 - 16.
2. *Торнли Дж. Г.М.* Математические модели в физиологии растений. - К.: Наук. думка, 1982. - 310 с.
3. *Campbell J.W., O'Reilly J.E.* Role of satellites in estimating primary productivity on the northwest Atlantic continental shelf // *Cont.Shelf.Res.*- 1988. – **8**. - P. 179 - 204.
4. *Falkowski P.G., Raven J.A.* Aquatic photosynthesis. - Blackwell, Oxford. – 1997. – 360 p.
5. *Falkowski P.G.* Light-shade adaptation and assimilation numbers // *J.Plankton Res.* - 1981.- **3**, №2. - P. 203 - 216.
6. *Finenko Z. Z., Churilova T. Ya., Parkhomenko A.* Photosynthetic characteristics of phytoplankton in the western Black Sea during the autumn bloom // 1st Biannual scientific conference. Black Sea ecosystem 2005 and beyond. May 2006 Istanbul, Turkey. – 2006. - P. 62.
7. *Finenko, Z. Z., Churilova T. Ya., Lee R. I.* Dynamics of the Vertical Distributions of Chlorophyll and Phytoplankton Biomass in the Black Sea // *Oceanology* – 2005. - **45**, Suppl. 1. - P. 112 – 126.
8. *Geider R., Osborne B.* Algal photosynthesis. Routledge, Chapman & Hall, Inc. - 1992. – 251 p.
9. *Maranon E., Holligan P.M.* Photosynthetic parameters of phytoplankton from 50° N to 50° S in the Atlantic Ocean // *Mar.Ecol.Prog.Ser.* - 1999. - **176**. - P. 191 - 203.
10. *Platt T.* Primary production of the ocean water column as a function of surface light intensity: algorithms for remote sensing // *Deep_Sea. Res.* - 1986. – **33**, №2. - P. 149 - 163.
11. *Platt T., Caverhill C., Sathyendranath S.* Basin-scale estimates of Oceanic primary production by remote sensing: The North Atlantic // *J.Geophys.Res.* - 1991. - **96**, №8. - P. 147 - 159.
12. *Platt T., Gallegos C.L., Harrison W.G.* Photoinhibition of photosynthesis in natural assemblages of marine phytoplankton // *J.Mar.Res.* - 1980. – **38**, №4. - P. 687 - 701.
13. *Platt T., Sathyendranath S., Caverhill C. M., Lewis M.* Ocean primary production and available light: further algorithms for remote sensing // *Deep-Sea Res.* - 1988. – **35**, №6. - P. 855 - 879.
14. *Sathyendranath S., Longhurst A., Caverhill C.* et al. Regionally and seasonally differentiated primary production in the North Atlantic // *Deep-Sea Res.* - 1995. – **42**, №10. - P. 1773 - 1802.
15. *Yoder J.A., Atkinson L.P., Bishop S.S.* et al. Phytoplankton dynamics within Gulf Stream intrusions on the Southeastern United States continental shelf during summer 1981// *Cont. Shelf Res.* - 1985. - **4**. - P. 611 - 635.

Институт биологии южных морей НАНУ,
г. Севастополь

Получено 01. 07. 2006

I. V. KOVALEVA

RELATIONSHIP OF PRIMARY PRODUCTION WITH INTENSITY OF SUN IRRADIANCE.

Summary

For the analysis of relationship between the values of primary production in the euphotic layer and the amount of sun energy incident to surface used a semianalytical model and physiological parameters for Black sea phytoplankton. It is shown that at different concentrations of chlorophyll in a surface layer and not uniform distribution of chlorophyll with a depth, the values of primary production change with the change of light not linearly. On unit of surface is efficiency of photosynthesis increased with decreased of light flux density incident to surface that is related to deceleration of photosynthesis in a superficial layer.