

**Модельное исследование пространственного
распределения интегральной массы фитопланктона в
районе Западно-Камчатского шельфа по данным
дистанционного зондирования**

*С.Я. Пак, А.И. Абакумов
ИАПУ ДВО РАН, г. Владивосток*

Район Западно-Камчатского шельфа является одним из наиболее важных промысловых районов. Оценка перспектив развития отрасли в данном регионе неотъемлемо связано с исследовательской задачей всесторонней оценки ресурсного потенциала соответствующего участка Охотского моря. Фитопланктон является базовым звеном в анализе этой проблемы с точки зрения трофических взаимосвязей. Для оценки его состояния используется модель функционирования фитопланктона в зависимости от глубины. Рассматривается стационарный вариант модели, предполагающий ряд допущений, а именно то, что процесс происходит в фиксированный момент времени, иными словами, в неподвижном столбе воды. Таким образом, гидрологические эффекты нивелируются.

$$\frac{dy}{dx} = \left[\frac{d\mu}{dx} - e(y) \right] y, \quad \frac{dz}{dx} = vp(y, y_0)z, \quad \frac{dI}{dx} = -k(y, z)I. \quad (1)$$

Система вида (1) представляет собой общий вид стационарной модели, основанной на концепции функции приспособленности [1]. Гипотеза состоит в том, что удельная скорость увеличения биомассы фитопланктона совпадает со скоростью роста растительного сообщества, стремящегося занять наиболее благоприятную для жизнедеятельности нишу. Здесь $y(x)$ – плотность биомассы фитопланктона (г/м^3); $z(t, x)$ – плотность массы минеральных веществ (г/м^3); $I(t, x)$ – освещенность поверхности океана и ее распределение по глубине x . $\mu(z, I, \theta) = \mu_0 \cdot \mu_z(z) \cdot \mu_I(I) \cdot \mu_\theta(\theta)$, $e(y)$ – удельная скорость элиминации фитопланктона. Коэффициент μ_0 – максимально возможная скорость роста фитопланктона, $\mu_z(z) = z/(z_0 + z)$, где z_0 – константа полунасыщения по биогенному питанию; $\mu_I(I) = I/(I_0 + I)$, I_0 – константа полунасыщения по освещенности; $\mu_\theta(\theta) = \exp\left(-\frac{(\theta - \theta_{opt})^2}{2\tau^2}\right)$, θ_{opt} – оптимальная для роста фитопланктона температура водной среды, τ – интервал толерантности.

Модель биомасс (1), помимо вышеупомянутой гипотезы, подразумевает механизм обратного влияния плотности биомассы фитопланктона на концентрацию биогенных элементов; $p(y, y_0) = \frac{y_0}{y+y_0}$, где y_0 – константа полунасыщения по фитопланктону, ν – максимально возможная скорость пополнения минерального вещества; $k(t, z, y, z) = k_0 + k_1 y + k_2 z$, где k_0 – коэффициент общей мутности воды, k_1 – коэффициент затенения фитопланктоном, k_2 – коэффициент затенения минеральными веществами [2].

При построении оценок фитопланктонного изобилия в районе Западно-Камчатского шельфа мы располагали некоторой контактной информацией о параметрах среды, в которой функционирует фитопланктон. Соответствующие данные были получены путем проведения мониторинга окружающей среды в прикамчатском районе Охотского моря на стационарных станциях отбора проб в июне-июле 2015 года [3]. В числе прочих измерения касались концентраций биогенных веществ на нескольких глубинных горизонтах [3, с. 156-157], что позволило исключить второе соотношение из системы (1) и рассматривать распределение минеральных веществ в качестве внешней функции наряду с распределением температуры по глубине.

Помимо температурных показателей и концентраций биогенов в число проб, проанализированных после отбора на стационарных станциях, вошли концентрации хлорофилла на трех глубинах [3, с. 113], которые использовались для верификации параметров системы (1).

Полученные в результате оптимизации функционала невязки значения были использованы для решения задачи Коши на участке с 54° по 59° с.ш. и со 154° по 157° в.д. со спутниковой информацией за полугодовой период в качестве начальных данных. Распределение температуры по глубине задано кусочно-линейной функцией, моделирующей динамику сезонного термоклина. Параметры температурной функции выбраны в соответствии с описанием движения ядра водных масс, приведенным в работе [4, с. 208].

Вертикальные распределения биомассы фитопланктона, полученные посредством решения системы (1) представлены на рисунке 1. Выбранный период годового цикла соответствует сезону, когда водный слой свободен от ледяного покрова и, следовательно, доступен для спутниковой обработки.

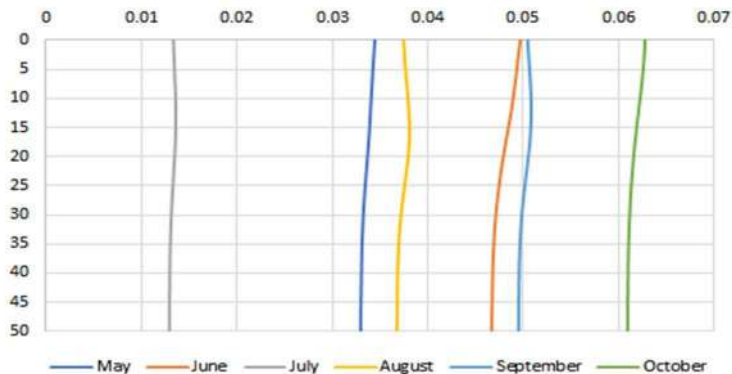


Рисунок 1 – Вертикальные распределения удельной биомассы фитопланктона ($\text{г}/\text{м}^3$) в период с мая по октябрь 2015 г., усредненные ежемесячно

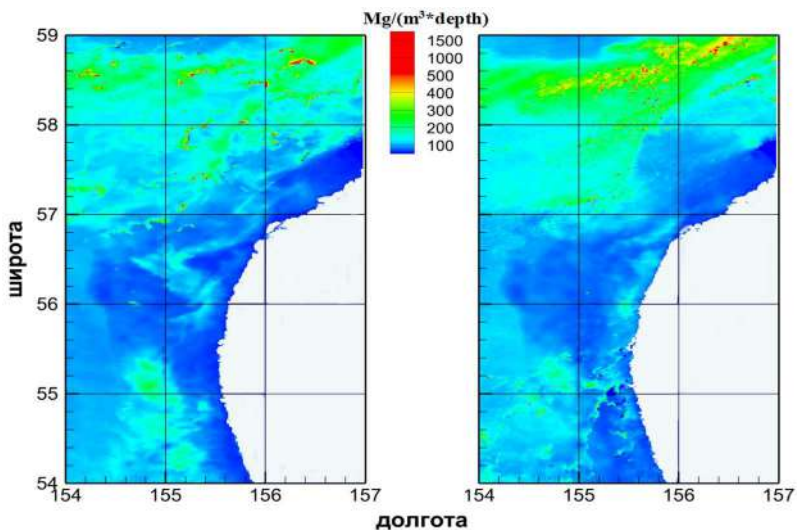


Рисунок 2 – Пространственное распределение интегральной массы хлорофилла в августе (слева) и сентябре (справа) 2015 года

Визуальное представление вертикальных профилей фитопланктона показывает преобладающие значения его концентраций в более холодные месяцы (сентябрь, октябрь) по отношению к более теплым летним месяцам, что объясняется подавляющим большинством холоднлюбивых видов в составе растительного сообщества наблюдаемой части

Охотского моря. Пространственное распределение интегральной массы хлорофилла, представленное на рисунке 2, демонстрирует аналогичное превосходство объемов репродукции при низких температурных условиях. Это подтверждается результатами мониторинга гидробионтов, изложенными в [3, с. 203-209].

Работа поддержана грантом Российского фонда фундаментальных исследований № 18-01-00213.

Работа поддержана грантом Комплексной программы фундаментальных научных исследований «Дальний Восток» (проект № 18-5-051).

Библиографический список

1. Полуэктов Р.А., Пых Ю.А., Швытов И.А. Динамические модели экологических систем. Л.: Гидрометеиздат, 1980. 286 с.
2. Svetlana Ya Pak, Alexander I. Abakumov. Mapping of Model Estimates of Phytoplankton Biomass from Remote Sensing Data // Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. Springer, Cham. 2019. Pp 73–79.
3. Мониторинг состояния окружающей среды на Западно-Камчатском лицензионном участке в 2015-2016 гг.: информ. бюл. Красноярск - Петропавловск-Камчатский, 2015. 376 с.
4. Лучин В.А., Круц А.А. Характеристики ядер водных масс Охотского моря // Изв. ТИНРО. 2016. Т. 184. С. 204–218.

УДК 528.88

Оценка качества воды в озёрах Ямала по спутниковым данным

А.А. Перевозчикова¹, Л.А. Хворова,¹ Н.М. Ковалевская²
¹АлтГУ, г. Барнаул; ²ИВЭП СО РАН, г. Барнаул

Потепление климата и таяние многолетнемерзлых грунтов ведут к возникновению и усилению таких деструктивных и опасных процессов, как заболачивание, термокарстовые просадки (термокарст – процесс неравномерного проседания почв и подстилающих горных пород вследствие вытаивания подземного льда), формирование и исчезновение озёр.

Снижение прочности многолетнемерзлых пород сопровождается ростом экономических и экологических ущербов на предприятиях ответственного нефтегазового комплекса, так как большинство газовых месторождений и значительная часть месторождений нефти в Западной Сибири располагаются в зоне вечной мерзлоты.