

МОДЕЛЬНЫЕ ОЦЕНКИ СЕЗОННОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ ОХОТСКОГО МОРЯ В РАЙОНЕ ЗАПАДНО-КАМЧАТСКОГО ШЕЛЬФА ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

С.Я. Пак, А.И. Абакумов
Институт автоматизации и процессов управления ДВО РАН,
г. Владивосток

Исследуется биопродуктивность участка моря в районе Западно-Камчатского шельфа. Для оценки первичной продукции используется вертикальная модель распределения фитопланктона в столбе воды под единичной поверхностью. Моделирование внешних функций и верификация параметров модели осуществляются на основе анализа проб *in situ*. Для оценки продуктивного потенциала наблюдаемого объекта привлечены данные спутникового мониторинга.

Ключевые слова: математическое моделирование, дистанционное зондирование, хлорофилл, ассимиляционная функция, фитопланктон.

MODEL ESTIMATES OF SEASONAL PRODUCTIVITY OF THE OKHOTSK SEA AREA IN WEST KAMCHATKA SHELF FROM REMOTE SENSING DATA

S.Ya. Park, A.I. Abakumov
Institute of Automation and Control Processes FEB RAS,
Vladivostok

The biological productivity of the sea area in West Kamchatka shelf is investigated. A vertical model of distribution of phytoplankton in a water column under a single surface is used to estimate primary production. Modeling of external functions and verification of model parameters are carried out on the basis of *in situ* samples analysis. Satellite monitoring data were used to assess the productive potential of the observed object.

Keywords: mathematical modeling, remote sensing, chlorophyll, assimilation function, phytoplankton.

Западно-Камчатский район Охотского моря традиционно является одним из наиболее важных промысловых объектов Дальнего Востока России. Жизнеспособность большинства представителей морской биоты, в том числе промысловых видов, зависит не только от концентрации фитопланктона, являющегося основой кормовой базы, но и от стабильности его воспроизводства. Важно оценить показатели скоростей роста, параметры влияния факторов внешней среды, в первую очередь, температуры, освещенности, регулярности притока биогенов, изменение темпов воспроизводства в зависимости от вариаций климата, в условиях избытка/дефицита минерального питания. Мы прибегли к приемам

математического моделирования с тем, чтобы верифицировать построенные динамические системы на основе натуральных измерений в совокупности с данными спутниковых наблюдений (Aleksanin et al., 2012). Это дает возможность строить прогноз на предстоящий временной период, а также анализировать наиболее вероятные сценарии функционирования заданной экосистемы.

Особенностью северных морей является сосредоточение основной биомассы фитопланктона в подповерхностном слое, недосягаемом для спутниковой обработки (Кукси, 1964). Поэтому для оценки интегральной концентрации растительных микроорганизмов в столбе воды под единицей поверхности используется вертикальная модель биомасс:

$$dy/dx = [d\mu/dx - e(y)]y, \quad dl/dx = -k(y,z)I . \quad (1)$$

Здесь $y(x)$ – плотность биомассы фитопланктона (г/м^3); $I(x)$ – освещенность поверхности океана и ее распределение по глубине x ; $k(y,z)$ – удельная скорость (по глубине) затухания света в воде; $\mu(z,I,\theta)$ – удельная скорость роста биомассы фитопланктона за счет потребленных минеральных веществ; $e(y)$ – удельная скорость элиминации биомассы фитопланктона из-за поедания зоопланктоном и иных причин смертности.

Варианты модели, используемые нами ранее, включали уравнение для удельной массы биогенов в зависимости от глубины (Пак, Абакумов, 2014; Abakumov, Izrailsky, Park, 2015). В данном случае мы отказались от него в пользу аппроксимации распределения минеральных веществ методом сплайн-интерполяции на основании данных работы (Мониторинг состояния ..., 2015). Контактные измерения на базе станций с известными координатами позволяют промоделировать распределение основных элементов питания вблизи каждой станции посредством гладкой функции. Распределение температуры по глубине задается внешней кусочно-линейной функцией, построенной в соответствии с материалами (Лучин, Круц, 2016). Данные дистанционного зондирования о поверхностной концентрации хлорофилла, температуре и освещенности используются в качестве начальных данных для восстановления значений хлорофилла во всем фотическом слое. Интегрирование по глубине полученного решения дает представление о продуктивном потенциале заданного географического района моря.

Для оценки непосредственно объемов первичной продукции под единичной водной площадью используется представление ее в виде произведения концентрации хлорофилла на ассимиляционную функцию (Platt, Caverhill, Sathyendranath, 1991), параметры которой верифицируются с помощью вышеупомянутых данных (Мониторинг состояния ..., 2015).

Список литературы:

Кукси М.С. Вертикальное распределение фитопланктона в Новосибирском водохранилище // Водоросли и грибы Западной Сибири. Ч. 1. Новосибирск, 1964. С. 43-55.

Лучин В.А., Круц А.А. Характеристики ядер водных масс Охотского моря // Изв. ТИНРО. 2016. Т. 184. С. 204–218.

Мониторинг состояния окружающей среды на Западно-Камчатском лицензионном участке в 2015-2016 гг.: информ. бюл. Красноярск - Петропавловск-Камчатский, 2015. 376 с. Режим доступа: <https://www.kamgov.ru/document/file/download?id=33507> (дата обращения: 07.09.18).

Пак С.Я., Абакумов А.И. Модельный способ восстановления состояния фитопланктона в вертикальном столбе воды по спутниковым данным о поверхностном слое // Информатика и системы управления. 2014. № 3 (41). С. 23-32.

Abakumov A., Izrailsky Yu., Park S. Functioning of the phytoplankton in seas and estimates of primary production for aquatic ecosystems // Developm. Environment. Modelling. 2015. Vol. 27. P. 339–349.

Aleksanin A.I., Kim V., Orlova T.Y. et al. Phytoplankton of the Peter the Great Bay and its remote sensing problem // Oceanology. 2012. Vol. 52, N 2. P. 219-230.

Platt T., Caverhill C., Sathyendranath S. Basin-scale estimates of oceanic primary production by remote sensing: The North Atlantic // Journal of Geophysical Research: Oceans (1978–2012). 1991. Vol. 96, Is. C8. P. 15147-15159.