

## ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛЬНОГО ПРОГРЕВА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ МОРЕЙ КАРСКОГО И ЛАПТЕВЫХ В 2007 И 2008 гг.

науч. сотр. Р.Е.ВЛАСЕНКОВ, мл. науч. сотр. А.В.СМИРНОВ,  
д-р физ.-мат. наук А.П.МАКШТАС

ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, e-mail: vre@otto.nw.ru

*На основе данных натурных исследований, выполненных в доступных для плавания акваториях морей Карского и Лаптевых, получены оценки пространственного распределения взвешенного вещества в поверхностном слое морей и рассчитаны коэффициенты ослабления фотосинтетически-активной радиации (ФАР). Приведены оценки толщины верхнего квазигомогенного слоя и потенциального прогрева поверхностного слоя морей приходящей солнечной радиацией.*

*Ключевые слова:* Карское море, море Лаптевых, фотосинтетически-активная радиация (ФАР), квазигомогенный слой, радиационный прогрев.

### ВВЕДЕНИЕ

Данные об оптических свойствах верхнего слоя моря являются необходимым компонентом для описания перераспределения коротковолновой радиации в моделях биохимических процессов и оценок интенсивности обмена парниковыми газами [9]. Знание этих характеристик позволяет оценить роль приходящей солнечной радиации в формировании теплового режима поверхностного слоя замерзающих морей в летний период [1, 13]. Информация о пространственной изменчивости показателей ослабления солнечной радиации в верхнем слое моря необходима также для совершенствования алгоритмов интерпретации спутниковых наблюдений [19, 20].

Исследования, проведенные в период Международного Полярного года в ходе экспедиций на НИС «Иван Петров» в 2007 и 2008 гг. в морях Карском и Лаптевых, позволили получить новые данные о распределении взвесей и гидрооптических характеристиках исследованных акваторий [4], а также выполнить предварительные расчеты потенциального радиационного прогрева верхнего перемешанного слоя морей.

### МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Натурные исследования оптических характеристик верхнего слоя моря были проведены с борта НИС «Иван Петров» в августе–ноябре 2007 и 2008 гг. в доступных для плавания акваториях морей Карского и Лаптевых (рис. 1). В общей сложности за два года натурных исследований было выполнено более чем 600 гидрологических станций и произведен отбор около 700 проб воды для определения концентрации взвеси в приповерхностном и придонном слоях исследованных акваторий.

Основные натурные данные в ходе экспедиций были получены при помощи гидрозонда «Sea-Bird SBE19plus», снабженного датчиками температуры, солености и мутности, розетты, укомплектованной батометрами Нискина для отбора проб воды, диска Секки и автоматической метеорологической станции «Vintage-Pro».

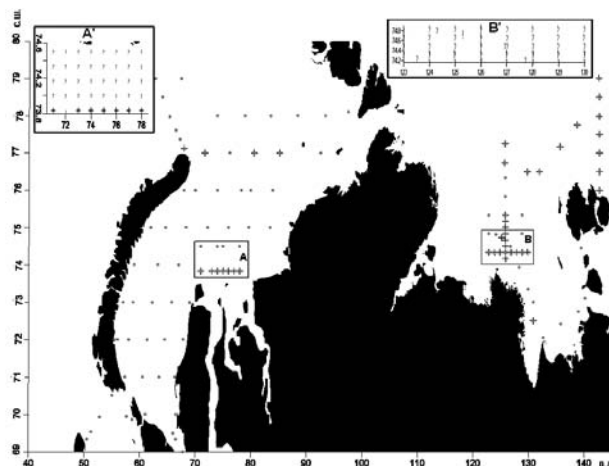


Рис. 1. Местоположение гидрологических станций, выполненных в ходе экспедиций на НИС «Иван Петров» в 2007 и 2008 гг.

Пробы воды отбирались батометрами Нискина в поверхностном и придонном слоях моря в период выполнения гидрологических станций. Для определения концентрации взвешенного вещества применялся метод фильтрации с использованием мембранных фильтров «GF/F» и последующего взвешивания проб при помощи весов «Sartorius Master Pro LA-230S-0CE».

Приведенные в работе [2] эмпирические зависимости между концентрацией взвесей и коэффициентом ослабления фотосинтетически-активной радиации (ФАР) были использованы для создания детальных карт распределения этих параметров в исследуемых морях Российской Арктики.

#### РАСЧЕТ ПОТЕНЦИАЛЬНОГО ПРОГРЕВА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ МОРЕЙ КАРСКОГО И ЛАПТЕВЫХ В 2007 И 2008 гг.

Прогрев и охлаждение верхнего слоя моря определяются процессами радиационного и турбулентного теплообмена на границе атмосфера – море, поглощением коротковолновой радиации в морской толще и потоком тепла от нижележащих слоев воды. В настоящей работе предпринята попытка оценить потенциальный прогрев верхнего квазиоднородного слоя моря вследствие коротковолновой радиации. Поскольку ослабление проникающей солнечной радиации в морской воде зависит от количества взвешенного вещества, для получения коэффициента ослабления ФАР ( $A$ ,  $1/м$ ) мы использовали эмпирическую зависимость данного параметра от концентрации взвешенного вещества ( $C$ ,  $мг/л$ ), полученную в работе [2]:

$$A = 0,1317C + 0,2282,$$

где  $C$  – значение концентрации взвеси, полученное по данным мутности и осредненное от поверхности моря до глубины 10 м. Результаты расчетов приведены на картах пространственного распределения значений коэффициента ослабления фотосинтетически-активной радиации в морях Карском и Лаптевых (см. рис. 2).

Рис. 2 демонстрирует ярко выраженную пространственную изменчивость коэффициента ослабления ФАР в центральных частях морей Карского и Лаптевых, обусловленную как сильной изменчивостью погодных условий и, соответственно, ветрового перемешивания, так и различной интенсивностью переноса взвесей, в основном обусловленной речным стоком.

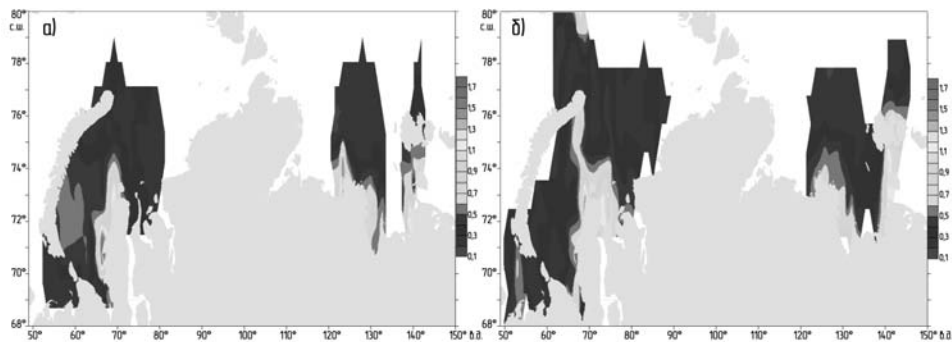


Рис. 2. Пространственное распределение коэффициента ослабления ФАР (1/м) в 2007 (а) и 2008 (б) гг.

Для определения радиационного нагрева верхнего квазиоднородного слоя моря предварительно были рассчитаны толщины перемешанного слоя  $h$ . Расчет проводился по методу, основанному на том, что за максимальную глубину слоя  $h$  принималась глубина  $z$ , для которой разность температур между измеренной на данной глубине  $T(z)$  и температурой слоя потенциального ветрового перемешивания  $T(z_0)$ ,  $\Delta T(z) = T(z) - T(z_0)$ , превышала некоторую наперед заданную величину. На основе работы [10] и анализа гидрологических данных были приняты значения  $z_0=5$  м и  $\Delta T = 0,2$ К. Результаты расчетов приведены на рис. 3.

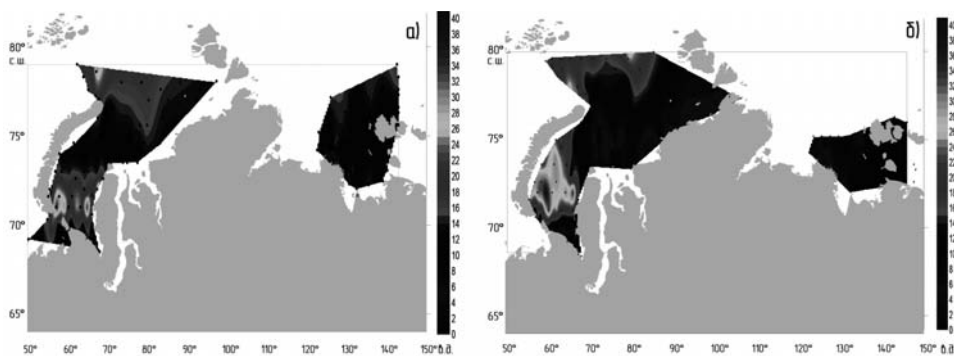


Рис. 3. Толщина перемешанного слоя (м) в 2007 (а) и 2008 (б) гг.

Радиационный прогрев поверхностного перемешанного слоя был рассчитан по формуле:

$$\Delta t = \frac{\Delta E}{C_p m} = \frac{\Delta E}{C_p \rho h},$$

где  $\Delta E = E \Delta T$ ,  $E$  – коротковолновая радиация, поглощенная перемешанным слоем,  $T$  – временной интервал в секундах,  $C_p$  – коэффициент удельной теплоемкости морской воды,  $\rho$  – плотность воды,  $h$  – толщина перемешанного слоя.

Значение коротковолновой радиации, поглощенной перемешанным слоем, было рассчитано по формуле:

$$E = E_0(1 - \alpha)(1 - \exp^{-Ah}),$$

где  $E_0$  – проходящая солнечная радиация,  $\alpha$  – альbedo поверхности моря,  $A$  – коэффициент ослабления ФАР,  $h$  – толщина перемешанного слоя.

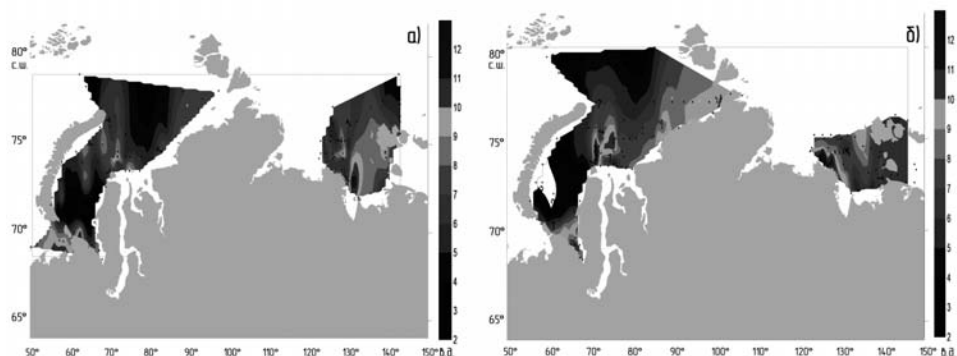


Рис. 4. Потенциальный радиационный прогрев верхнего перемешанного слоя (К) в августе 2007 (а) и 2008 (б) гг.

Для расчетов были использованы средние для исследованных акваторий за август значения приходящей солнечной радиации ( $E_0 = 129 \text{ Вт/м}^2$ ), заимствованные из «Атласа Океанов» (1980) и постоянное значение альбеда поверхности воды, равное  $= 0,15$ , принятое для поверхностного слоя в статье [15].

Пространственные распределения потенциального радиационного прогрева исследуемого района в августе месяце представлены на рис. 4. Как видно из рисунка, максимальный потенциальный прогрев наблюдался вблизи устьевых участков рек и в прибрежной зоне, которые характеризуются минимальной толщиной слоя перемешивания и низкой прозрачностью воды. Одной из интересных особенностей данного распределения является малый прогрев центральной части Карского моря, обусловленный значительной прозрачностью верхнего квазигомогенного слоя и его большой толщиной. Последнее, вероятно, обусловлено специфической циркуляцией вод данного района.

Разумеется, представленные выше результаты и оценки являются приближенными. Планируется дальнейшее изучение пространственно-временного распределения гидрооптических характеристик морей Российской Арктики.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Расчеты потенциального радиационного прогрева верхнего перемешанного слоя, основанные на гидрологических данных и измерениях концентрации взвешенного вещества, полученные в ходе экспедиций на НИС «Иван Петров» в 2007 и 2008 гг., показали его высокую пространственно-временную изменчивость. Данные результаты могут быть использованы для контроля гидродинамических моделей арктических шельфовых морей.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богородский П.В., Макитас А.П. К вопросу о формировании снежиц в Арктическом бассейне // Метеорология и гидрология. 1996. № 8. С. 72–80.
2. Власенков Р.Е., Макитас А.П. Гидрооптические характеристики морей Лаптевых и Восточно-Сибирского // Проблемы Арктики и Антарктики. 2008. № 3 (80). С. 38–47.
3. Власенков Р.Е., Макитас А.П. Гидрооптические характеристики морей Карского и Лаптевых (в печати).
4. Ерлов Н.Г. Оптическая океанография. М.: Мир. 1970. 223 с.
5. Шифрин К.С. Введение в оптику океана. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 278 с.

6. Anoshkin A.F., Popov I.E., Ushakov I.E. TRANSDRIFT Shipboard Scientific Party. Hydrooptical measurements in the Laptev Sea: spatial distributions of light attenuation and chlorophyll fluorescence // Reports on Polar Research. 1995. Vol. 196. P. 178–186.
7. Blough N.V., Zafiriou O.C., Bonilla J. Optical absorption spectra of water from the Orinoco River outflow: Terrestrial input of colored organic matter to the Caribbean. // J. Geophys. Res. 1993. Vol. 98. P. 2271–2278.
8. Blough N.V. Photochemical processes // Encyclopedia of Ocean Science / J.Steele, S.Trope, K.Turekin, Eds. London. Academic Press. 2001. P. 2162–2172.
9. Blough N.V. Del Vecchio R. Chromophoric DOM in the coastal environment // Biogeochemistry of marine dissolved organic matter / D.A.Hansell, C.A.Carlson Eds. London. Academic Press. 2002. P. 509–545.
10. De Boyer Montegut C., Madec G., Fischer A.S., Lazar A., Iudicone D. Mixed layer depth over the global ocean: An examination of profile data and a profile-based climatology // J. Geophys. Res., 2004. Vol. 109, C12003, doi:10.1029/2004JC002378
11. Jacovides C.P., Tymvios F.S. Asimakopoulos D.N. Theofilou K.M. Pashiardes Global photosynthetically active radiation and its relationship with global solar radiation in the Eastern Mediterranean basin // Theor. Appl. Climatol. 2003. Vol. 74. P. 227–233.
12. Kahru M., Mitchell B.G. Seasonal and nonseasonal variability of satellite-derived chlorophyll and dissolved organic matter concentration in the California Current. // J. Geophys. Res. 2001. Vol. 106. P. 2517–2529.
13. Makshatas A.P., Korsnes R. Distribution of solar radiation in the Barents Sea marginal ice zone during summer // J. Geophys. Res. 2001. Vol. 106. P. 2531–2543.
14. Neale P.J., Keiber D.J. Assessing biological and chemical effects of UV in the marine environment: Special weighting functions // Causes and Environmental Implications of Increased UV-B Radiation / R.E.Hester, R.M.Harrison, Eds. The Royal Soc. of Chemistry, Cambridge, UK. Issues in Environmental Science and Technology. 2000. Vol. 14. P. 61–83.
15. Payne R.E. Albedo of the sea surface / J. Atmos. Sci. 1972. Vol. 29. P. 959–970.
16. Reimnitz E., Kassens H., Eicken H. Sediment transport by Laptev Sea ice // Report of Polar Research. Russian-Germany Cooperation: «Laptev Sea System». 1995. № 176. P. 71–77.
17. Sathyendranath S., Platt T., Caverhill C.M., Warnock R.E., Lewist M.R. Remote sensing of oceanic primary production: computations using a spectral model // Deep-Sea Res. 1989. Vol. 36. № 3. P. 431–453.
18. Stedmon C.A., Markager S., Kaas H. Optical properties and signatures of chromophoric dissolved organic matter (CDOM) in Danish coastal waters // Estuarine Coastal Shelf Sci. 2000. Vol. 51. P. 267–278.
19. Woerd van der H., Pasterkamp R. Mapping of the North Sea turbid coastal waters using SeaWiFS data. // Can. J. Remote Sensing. 2004. Vol. 30. № 1. P. 44–53.
20. Wozniak B., Dera J., Majchrowski R., Kaczmarek S., Ostrowska M., Koblentz-Mishke O.I. Model for the in vivo spectral absorption of algal pigments. Part I. Mathematical apparatus // Oceanologia. 2000. Vol. 42(2). P. 177–190.

R.E.VLASENKOV, A.P.MAKSHTAS

## HYDROOPTICAL CHARACTERISTICS OF THE KARA AND LAPTEV SEAS

*Based on the data of experimental investigations executed in open waters of the Kara and Laptev Seas on the board of research vessel «Ivan Petrov» in 2007 and 2008 the spatial distributions of suspended matter had been obtained and attenuation coefficients for photo-synthetic radiation (PAR) had been calculated. The estimations of upper mixed layer depths and its potential radiation heating are presented.*

**Keywords:** Kara sea, Laptev sea, photo-synthetic radiation (PAR), upper mixed layer, radiation heating.