Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2014. Т. 11. № 4. С. 346–350

Исследование биооптических характеристик вод Карского моря с использованием данных спутниковых и судовых измерений

Д.И. Глуховец [1, 2], Ю.А. Гольдин [1]

[1]Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, 117997, Россия
[2]Московский физико-технический институт (государственный университет)
Долгопрудный, 141700, Россия
E-mail: glukhovets@ocean.ru

Для акватории Карского моря проведено сопоставление данных спутникового сканера цвета MODIS и данных судовых измерений, полученных в 125-м рейсе НИС «Профессор Штокман» (август-сентябрь 2013 г.). Выполнена валидация стандартного и регионального алгоритмов определения концентрации хлорофилла-А: сравнение полученных результатов с концентрацией, измеренной в рейсе, показало, что использование стандартного алгоритма MODIS дает сильное отклонение. Результат применения регионального алгоритма существенно ближе к данным судовых измерений. Проанализирована величина ошибки регионального алгоритма от интенсивности флуоресценции окрашенной части РОВ. Показано хорошее совпадение положений фронтальных разделов, зарегистрированных по спутниковым и судовым данным. Продемонстрировано наличие сильной антикорреляции солености и интенсивности флуоресценции окрашенной части РОВ в области опресненных вод, таким образом, эффективным индикатором влияния речного стока на поверхностный слой является и интенсивность флуоресценции РОВ. Продемонстрированы возможности использования спутниковых данных для исследования мезомасштабных динамических процессов. Данные спутникового скаттерометра ASCAT преобразованы в векторные карты скорости и направления приводного ветра с использованием программы Matlab. Выполненная работа показала эффективность совместного использования данных спутниковых и судовых измерений.

Ключевые слова: валидация спутниковых алгоритмов, биооптические характеристики, флуоресцентные измерения, Хл-А, РОВ, приводный ветер, динамика речного стока.

Введение

Среди основных особенностей Карского моря следует отметить сильное влияние материкового стока на поверхностный слой воды, в результате которого значительную часть акватории занимают опресненные воды; границы области опресненных вод проявляются в виде фронтальных зон и резких фронтов; в зоне влияния материкового стока наблюдается сильная мезомасштабная изменчивость пространственного распределения концентрации хлорофилла-А (Хл-А), растворенного органического вещества (РОВ), взвеси и других параметров, определяющих распространение солнечного излучения в водной толще (Буренков, Васильков, 1994; Буренков и др., 2010; Буренков, Гольдин, Кравчишина, 2010; Зацепин и др., 2010; Кузнецова и др., 2013; Kopelevich et al., 2013). Высокая концентрация окрашенной части РОВ приводит к значительным ошибкам в работе стандартных алгоритмов определения концентрации Хл-А. Частая облачность над акваторией Карского моря существенно ограничивает возможность получения спутниковых данных сканеров цвета, работающих в видимом диапазоне. В связи с этим построить синоптические изображения достаточно больших районов моря удается редко. Поэтому при построении карт возникает необходимость использовать осреднение за несколько дней, недель или даже месяц. Кроме того, большую часть года Карское море покрыто льдами.

Все это необходимо учитывать при использовании спутниковых данных для исследования Карского моря. Подходы, обсуждаемые в работе, основаны на сопоставлении спутниковых и судовых измерений. Работа посвящена совместному использованию этих данных, обеспечивающему возможность комплексного исследования труднодоступного региона Карского моря. Работа базируется на результатах 125-го рейса НИС «Профессор Штокман» в Карское море (август-сентябрь 2013 г.), где были выполнены натурные измерения различных характеристик морской воды.

Методы и аппаратура

Для проведения судовых исследований пространственного распределения характеристик поверхностного слоя морской воды использовался проточный измерительный комплекс, разработанный в Лаборатории оптики океана (ЛОО) ИО РАН. Он обеспечивает непрерывные измерения на ходу судна интенсивностей флуоресценции Хл-А, окрашенной части РОВ, солености и температуры. В состав измерительного комплекса входит также лазерный спектрометр ЛС-2, используемый для нормировки интенсивностей флуоресценции. Абсолютные значения концентрации Хл-А, полученные в рейсе флуоресцентным методом, были предоставлены А.Н. Ступниковой (ИО РАН).

Для построения карт распределения концентраций Хл-А, взвешенного вещества и температурных карт Карского моря использовались видимые и ИК изображения спектрорадиометра MODIS, полученные со спутника Aqua-MODIS. Для обработки этих данных применялись стандартный алгоритм MODIS, региональный алгоритм, разработанный по результатам измерений в 59 рейсе НИС «Ак. М. Келдыш» ЛОО ИО РАН (Кузнецова и др., 2013), и программа Satellite Monitoring of Caspian Sea, разработанная в ЛОО ИО РАН (Sheberstov, Lukyanova, 2007). Для построения карт скорости и направления приводного ветра использовались данные импульсного скаттерометра ASCAT.

Результаты

Выполнена валидация стандартного и регионального алгоритмов определения концентрации Хл-А. Для этого по всем данным сканера цвета Aqua-MODIS, полученным с 31 августа по 01 октября 2013 г., построена карта распределения концентрации Хл-А. Сравнение полученных результатов с концентрацией, измеренной в рейсе, показало, что использование стандартного алгоритма MODIS дает сильное отклонение. Результат применения регионального алгоритма существенно ближе к данным судовых измерений.

Возникающие погрешности связаны с влиянием РОВ. Проанализирована величина ошибки от интенсивности флуоресценции окрашенной части РОВ.

Выполнено сопоставление характера мезомасштабной пространственной изменчивости концентрации Хл-А, полученной по спутниковым и судовым данным, которое показало хорошее качественное совпадение положений фронтальных разделов (*рис. 1*). Количественные расхождения обусловлены пространственной изменчивостью концентрации РОВ.

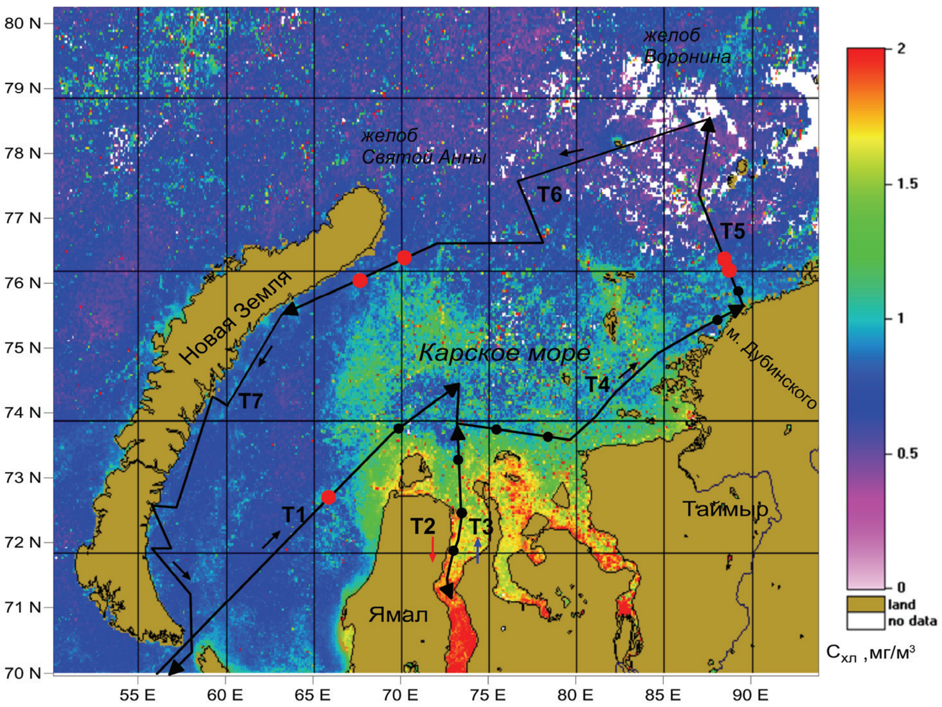

Рис. 1. Распределение концентрации Хл-А, построенное по данным MODIS с 31 августа по 1 октября 2013 г., и маршрут рейса. Положение фронтов, зарегистрированных проточной системой, показано кружжками (красные – внешние фронты, черные - внутренние)

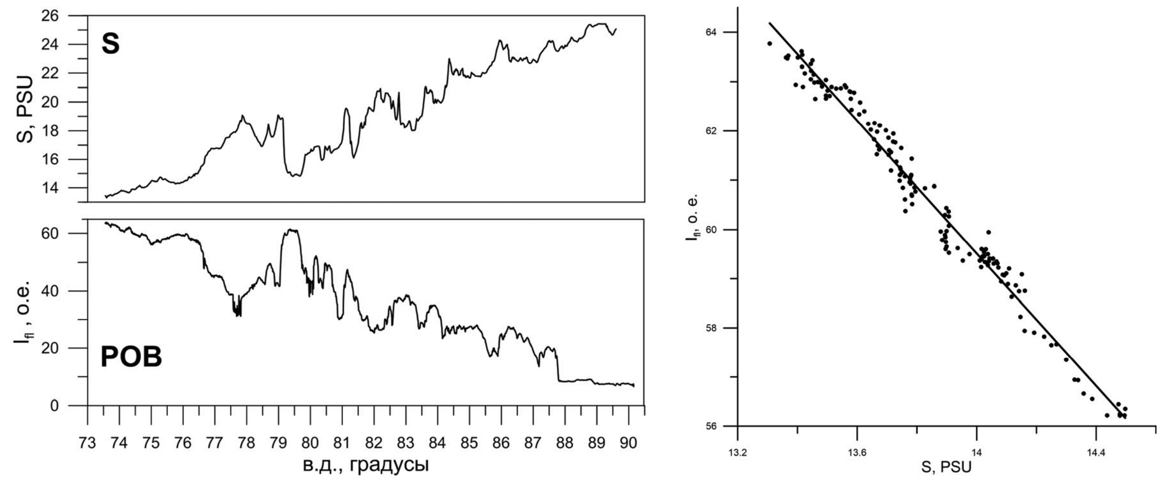

Рис. 2. Распределение солености (S) и интенсивности флуоресценции РОВ на разрезе Т04, показанном на рис. 1 (слева). Диаграмма рассеяния между S и интенсивностью флуоресценции РОВ для начального участка разреза Т04 от 73,56° в.д. до 75,04° в.д. (справа). Для приведенного участка квадрат коэффициента корреляции R^2 = 0,98

Продемонстрировано наличие сильной антикорреляции солености и интенсивности флуоресценции окрашенной части РОВ в области опресненных вод (*рис. 2*). Это обусловлено тем, что обе характеристики определяются процессами разбавления. Вне области, занятой опресненными водами, указанной антикорреляции не наблюдается. Таким образом, эффективным индикатором влияния речного стока на поверхностный слой является и интенсивность флуоресценции РОВ. Создание регионального алгоритма, определяющего концентрацию окрашенной части РОВ, позволит привлекать спутниковые данные для исследования структуры и динамики области вод, подверженных влиянию материкового стока.

Продемонстрированы возможности использования спутниковых данных для исследования мезомасштабных динамических процессов. Для временного интервала от момента таяния льдов до начала ледостава (май-ноябрь 2013 г.) удалось построить 7 карт концентрации Хл-А, усредненных за неделю, каждая из которых практически полностью покрывает акваторию моря. Они позволяют наблюдать распространение речных стоков Оби и Енисея от устьевых областей до берегов Новой Земли.

Приводный ветер – один из основных факторов, влияющих на распространение опресненных вод. Данные спутникового скаттерометра ASCAT преобразованы в векторные карты скорости и направления приводного ветра с использованием программы Matlab. Построены ежедневные карты, которые будут использованы при моделировании распространения речного стока по акватории Карского моря в 2013 г.

Выполненная работа показала эффективность совместного использования данных спутниковых и судовых измерений.

Авторы благодарят А.Н. Ступникову за предоставление данных прямых измерений концентрации Хл-А, С.В. Шеберстова за помощь в обработке спутниковых изображений.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №14-17-00681), предоставленного через Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН.

Литература

1. *Буренков В.И., Васильков А.П.* О влиянии материкового стока на пространственное распределение гидрологических характеристик вод Карского моря // Океанология. 1994. Т. 34. № 5. С. 652-661.
2. *Буренков В.И., Гольдин Ю.А., Артемьев В.А., Шеберстов С.В.* Оптические характеристики вод Карского моря по судовым и спутниковым наблюдениям // Океанология. 2010. Т. 50. № 5. С. 716-729.
3. *Буренков В.И, Гольдин Ю.А, Кравчишина М.Д.* Распределение концентрации взвеси в Карском море в сентябре 2007 г. по судовым и спутниковым данным // Океанология. 2010. Т. 50. № 5. С. 842-849.
4. *Зацепин А.Г., Завьялов П.О., Кременецкий В.В., Поярков С.Г., Соловьев Д.М.* Поверхностный опресненный слой в Карском море // Океанология. 2010. Т. 50. № 5. С. 698-708.
5. *Кузнецова О.А., Копелевич О.В., Шеберстов С.В., Буренков В.И., Мошаров С.А, Демидов А.Б.* Оценка концентрации хлорофилла в Карском море по данным спутникового сканера MODIS-Aqua // Исследование Земли из космоса. 2013. № 5. С. 21-31.
6. *Kopelevich O.V., Goldin Yu.A, Artemiev V.A., Shatravin A.V.* Optical structure of the Kara Sea waters from data of the ship measurements in 2011. // Proceedings of VII International Conference «Current Problems in Optics of Natural Waters». Saint Petersburg. 2013. P. 67–71.

7. *Sheberstov S.V., Lukyanova E.A.* A system for acquisition, processing, and storage of satellite and field bio-optical data // Proceedings of IV international conference "Current problems in optics of natural waters". Nizhny Novgorod. 2007. P. 179-183.

A study of the bio-optical properties of the Kara Sea using satellite data and shipboard measurements

D.I. Glukhovets[1,2], Yu.A. Goldin[1]

[1]P.P. Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow 117997, Russia
[2]Moscow Institute of Physics and Technology (State University), Dolgoprudny 141700, Russia
E-mail: glukhovets@ocean.ru

The goal of this paper is to compare satellite (MODIS) and shipboard measurements acquired during the 125-th R/V Professor Shtokman scientific expedition (August-September 2013) in the Kara Sea. We have performed a validation of the standard and regional algorithms in order to estimate the chlorophyll-A concentration. Comparison of the algorithm results with the ship measurements shows a significant discrepancy to the standard MODIS algorithm. The results of the regional algorithm show a better match to the ship measurements. We have also analyzed the error bar of the regional algorithm depending on the colored DOM fluorescence intensity. A strong similarity between the registered front positions detected by the satellite and ship data was revealed. A strong anticorrelation between salinity and fluorescence intensity of the colored DOM in desalinated water took place, therefore the colored DOM fluorescence intensity served as an effective indicator of the river flow influence on the surface layer. The satellite data were demonstrated to significantly contribute to the study of mesoscale dynamic processes. The satellite data of ASCAT scatterometer were converted into near-water wind vector maps using Matlab. This work proves the advantages of joint satellite and shipboard data analysis.

Keywords: validation of the satellite algorithms, bio-optical properties, fluorescent measurements, chlorophyll-A, DOM, near-water wind, river flow dynamics.

References

1. Burenkov V.I., Vasilkov A.P., O vliyanii materikovogo stoka na prostranstvennoe raspredelenie gidrologicheskikh kharakteristik vod Karskogo morya (Influence of river discharge on spatial distribution of hydrological characteristics in the Kara Sea), *Okeanologiya*, 1994, Vol. 34, No. 5, pp. 652-661.
2. Burenkov V.I., Goldin Yu.A., Artemiev V.A., Sheberstov S.V., Opticheskie kharakteristiki vod Karskogo morya po sudovym i sputnikovym nablyudeniyam (Optical Characteristics of the Kara Sea Derived from Shipborne and Satellite Data), *Okeanologiya,* 2010, Vol. 50, No. 5, pp. 716-729.
3. Burenkov V.I, Goldin Yu.A, Kravchishina M.D., Raspredelenie kontsentratsii vzvesi v Karskom more v sentyabre 2007 g. po sudovym i sputnikovym dannym (The distribution of the suspended matter concentration in the Kara Sea in September 2007 based on ship and satellite data), *Okeanologiya*, 2010, Vol. 50, No. 5, pp. 842-849.
4. Zatsepin A.G., Zavyalov P.O., Kremenetskii V.V., Poyarkov S.G., Soloviev D.M., Poverkhnostnyi opresnennyi sloi v Karskom more (Surface Desalinated Layer in the Kara Sea), *Okeanologiya*, 2010, Vol. 50, No. 5, pp. 698-708.
5. Kuznetsova O.A., Kopelevich O.V., Sheberstov S.V., Burenkov V.I., Mosharov S.A, Demidov A.B., Otsenka kontsentratsii khlorofilla v Karskom more po dannym sputnikovogo skanera MODIS-Aqua (Estimation of chlorophyll concentration in the Kara Sea from data of MODIS-Aqua satellite scanner), *Issledovanie Zemli iz kosmosa*, 2013, No. 5, pp. 21–31.
6. Kopelevich O.V., Goldin Yu.A, Artemiev V.A., Shatravin A.V., Optical structure of the Kara Sea waters from data of the ship measurements in 2011, *Proceedings of VII International Conference "Current Problems in Optics of Natural Waters"*, Saint Petersburg, 2013, pp. 67–71.
7. Sheberstov S.V., Lukyanova E.A., A system for acquisition, processing, and storage of satellite and field biooptical data, *Proceedings of IV international conference "Current problems in optics of natural waters"*, Nizhny Novgorod, 2007, pp. 179-183.