

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ И МОНИТОРИНГА МОРЁЙ И ОКЕАНОВ

О.В. Копелевич, С.С. Лаппо

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
117997 Москва, Нахимовский проспект, 36
E-mail: oleg@sio.rssi.ru

Современные спутниковые инструменты дают возможность определять основные параметры океана и атмосферы над океаном, требующиеся для контроля глобальных и региональных изменений, происходящих в системе атмосфера-оcean в различных временных и пространственных масштабах. Спутниковые измерения позволяют осуществлять долговременные квазинепрерывные наблюдения, охватывающие весь Мировой океан, однако они имеют определенные ограничения и требуют дополнения и/или верификации данными натурных измерений. Наиболее эффективная система мониторинга основана на продуманном сочетании спутниковых и других видов измерений, в частности, судовых, с использованием комплексных расчетных моделей, ассимилирующих все доступные данные. Важнейшая задача, требующая решения, - развитие методов и средств для комплексного совместного использования разнородных спутниковых данных. Обеспечение морских экспедиционных работ спутниковой информацией в реальном времени дает возможность оперативно планировать судовые исследования, выбирая точки выполнения станций и отбора проб, исходя из океанологических и гидрометеорологических условий на момент проведения исследований.

Введение

Развитие спутниковых методов мониторинга состояния океана и атмосферы открывает новые возможности непрерывного наблюдения за изменениями, происходящими в океане и атмосфере, анализ которых позволяет своевременно обнаруживать и прогнозировать опасные явления и тенденции в региональных и глобальных масштабах с целью их предотвращения или, по крайней мере, смягчения возможных последствий.

Если говорить о глобальных проблемах, то наиболее важная из них – это изменение климата, в частности, глобальное потепление и, соответственно, повышение уровня морей и океанов из-за таяния льдов. Не менее важное значение имеет контроль и прогноз относительно коротких межгодовых и сезонных изменений, наиболее яркий пример которых – явление Эль Ниньо, связанное с более глобальной Южной Осцилляцией. Это явление определяет погодные изменения на всем земном шаре, в частности, такие катастрофические явления как наводнения и засухи.

Климатические изменения определяются изменениями количества солнечного излучения, нагревающей поверхность Земли, и балансом между приходящим коротковолновым солнечным излучением и уходящим длинноволновым. Радиационный баланс существенно зависит от количественного распределения облачности и аэрозоля в атмосфере. Все эти факторы могут контролироваться спутниковыми датчиками.

Спутниковые наблюдения дают возможность осуществлять экологический мониторинг водных акваторий, являясь одним из наиболее экономически эффективных методов мониторинга. Они позволяют получать одновременные изображения всей контролируемой акватории с пространственным разрешением от нескольких метров до нескольких километров и проводить такие наблюдения регулярно в течение многих лет. Данные спутниковых измерений дают возможность оценить важнейшие параметры, предусмотренные требованиями к экологическому мониторингу водных объектов, своевременно обнаруживать происходящие изменения и выявлять их причины.

Ниже рассматриваются существующие возможности и перспективы использования спутниковых методов для исследования и мониторинга морей и океанов, их недостатки и проблемы оптимального использования данных спутниковых наблюдений.

Современные спутниковые инструменты для контроля глобальных и региональных изменений в системе атмосфера-оcean

Чтобы контролировать и прогнозировать изменения климата, необходим постоянный и всеобъемлющий мониторинг климатически значимых параметров атмосферы и океана. Большинство из них можно рассчитывать по данным спутниковых наблюдений:

- параметры облаков;
- содержание аэрозоля;

- радиационный баланс на верхней границе атмосферы и на поверхности океана; поверхностная температура;
- скорость и направление ветра;
- топография поверхности;
- оптические характеристики атмосферы и океана;
- концентрация хлорофилла и первичная продукция.

В 2008 г. в этом перечне должна появиться поверхностная соленость - планируется запуск системы Aquarius из трех микроволновых радиометров (1.413 ГГц; L-band) и скатеррометра для коррекции на поверхностное волнение.

В настоящее время для наблюдения Земли используются как большие спутниковые системы (Earth Observing Satellites), оснащенные несколькими спутниковыми датчиками, позволяющими измерять комплекс разных характеристик, так и малые спутники с одним инструментом.

Большие спутниковые системы

Сейчас на орbitах работают четыре большие спутниковые системы, три из которых запущены НАСА (Terra, Aqua и Aura), и одна европейская (ENVISAT).

На спутнике Aqua (от латинского слова «аqua» - вода) установлен комплекс аппаратуры, нацеленный на получение информации о водном цикле Земли. Спутник был запущен 4 мая 2002 г. (второй после спутника Terra, запущенного 18 декабря 1999 г.) и оснащен шестью приборами для наблюдения океана, атмосферы, суши, ледового и снежного покрытия, земной растительности. Планируемое время его работы – 6 лет, орбита полярная, высота 705 км. Из приборов, установленных на этом спутнике, наибольший интерес для мониторинга состояния океана и атмосферы представляют сканирующий спектрорадиометр MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), усовершенствованный микроволновый сканирующий радиометр AMSR-E (Advanced Microwave Scanning Radiometer – EOS) и прибор CERES (Clouds and the Earth's Radiant Energy System). Три других прибора предназначены главным образом для измерения характеристик атмосферы, их данные частично дублируют данные MODIS.

Сканирующий спектрорадиометр MODIS имеет высокую радиометрическую чувствительность (12 бит) в 36 спектральных каналах в спектральном диапазоне от 0.4 до 14.4 мкм. Каналы 1-2 имеют спектральное разрешение 250 м, каналы 3-7 – 500 м, остальные (8-36) – 1000 м. Размер полосы сканирования 2330 км в поперечном направлении (относительно полета спутника) и 10 км вдоль направления полета; глобальное покрытие обеспечивается каждые двое суток.

По данным измерений рассчитываются различные геофизические параметры, большинство из которых представляют непосредственный интерес для мониторинга состояния океана и атмосферы: аэрозольная оптическая толщина; интегральное содержание водяного пара в атмосфере; оптическая толщина и высота облаков; концентрация хлорофилла *a*; концентрация взвешенных частиц; показатель поглощения морской воды; дневная и ночная температура поверхности океана (обычно используется ночная температура, поскольку на нее не влияет дневной прогрев падающим солнечным излучением). Указанные характеристики представляются данными разного уровня: Level 2 – разрешение 1 км, Level 3 – усредненные данные на сетке с различным разрешением и за разное время (дневные, недельные, месячные средние).

Сканирующий радиометр AMSR-E дает возможность получить информацию о ледовом покрытии и поле ветра, а прибор CERES – о потоках отраженной коротковолновой радиации и уходящей длинноволновой.

Специализированные малые спутники

Среди инструментов, установленных на таких спутниках, следует отметить сканер цвета SeaWiFS, спутниковые альтиметры и скатеррометры.

Спутниковый сканер цвета SeaWiFS предназначен, в первую очередь, для оценки концентрации хлорофилла, ключевой характеристики для оценки биомассы фитопланктона и расчета первичной продукции океанов и морей. Запущен в августе 1997 г., имеет 8 спектральных каналов (412, 443, 490, 510, 555, 670, 765 и 865 нм), полярную орбиту, пространственное разрешение в надир 4.4 км и полосу 1500 км при накоплении информации на борту спутника, а в режиме связи с наземной приемной станцией – 1.1 км и 2800 км. Помимо концентрации хлорофилла, по данным SeaWiFS рассчитываются и многие другие важные характеристики [1-4]. К сожалению, с 2005 г. данные SeaWiFS уже нельзя будет получать в свободном доступе.

Спутниковые альтиметры осуществляют измерения топографии морской поверхности. Это сложная задача, для решения которой требуется, помимо высокоточного альтиметра, целый комплекс обеспечивающей аппаратуры, в частности, несколько систем для отслеживания с очень высокой точностью (2-3 см) орбиты спутника. Результирующая точность измерений расстояния между спутником и океанской поверхностью, после учета атмосферных и приборных эффектов, составляет 3-4 см, а уровень морской поверхности

сти, с учетом изменения высоты орбиты, удается измерять с точностью 4-5 см. Первый спутниковый альтиметр TOPEX/Poseidon был создан по американско-французской программе NASA-CNES (CNES – французское космическое агентство) и выведен на орбиту 10 августа 1992 г. Прибор обеспечивал глобальное покрытие Мирового океана между 66°с.ш. и 66°ю.ш. каждые 10 суток. Второй прибор по этой программе Jason-1 запущен 15 сентября 2001 г.; его конструкция схожа с TOPEX/Poseidon.

Скорость и направление приводного ветра измеряются посредством скаттерометров. Спутниковый скаттерометр представляет собой радар, излучающий в направлении морской поверхности импульсы в микроволновом диапазоне электромагнитных волн и принимающий излучение, рассеянное поверхностью в обратном направлении. По величине принятого сигнала удается оценивать скорость и направление приводного ветра. В настоящее время на орбите работает спутниковый скаттерометр SeaWinds, запущенный на спутнике QuickScat 19 июня 1999 г. и выполняющий измерения в полосе шириной 1800 км с пространственным разрешением 25 км. Точность измерения скорости ветра составляет 2 м/с, направления – 20°. С использованием данных SeaWinds опасные погодные явления удается прогнозировать на 6-12 ч. раньше, чем без этих данных.

Совместный анализ данных по поверхностной температуре и концентрации хлорофилла в Атлантическом океане

Пространственно-временная изменчивость распределений температуры и концентрации хлорофилла в Атлантическом океане (от 60° ю.ш. до 60° с.ш.) изучалась по данным спутниковых сканеров SeaWiFS и MODIS. На рис.1-2 представлены примеры этих распределений в разные месяцы 2003 гг. Совместный анализ распределений показывает, что температура поверхности – не главный фактор, определяющий динамику изменения концентрации хлорофилла. Помимо четко выраженной широтной зональности, на картах рис.1-2 хорошо видна пятнистость распределения областей повышенной концентрации хлорофилла, предположительно связанная с мезомасштабной динамикой вод. В первую очередь, это прибрежные апвеллинги – у побережья Африки и Южной Америки. В течение всего года можно видеть область выноса амазонских вод, увлекаемых на северо-запад Гвианским течением; эти воды могут затем увлекаться на восток Межпасатным противотечением и прослеживаться далеко в открытом океане. Пятна повышенных концентраций хлорофилла в открытых районах океана, предположительно, связаны с фронтальными зонами между течениями и мезомасштабными вихрями.

По спутниковым данным также рассчитывались среднемесячные значения поверхностной температуры и концентрации хлорофилла в северной и южной половинах Атлантического океана и во всей акватории. Между изменениями этих характеристик обнаружен заметный сдвиг фаз. Так в 2003 г. в северной Атлантике среднемесячные величины концентрации хлорофилла были максимальны в мае, а среднемесячная температура достигала максимума в августе-сентябре. В Южной Атлантике среднемесячные величины концентрации хлорофилла были максимальны в ноябре-декабре, а среднемесячная температура достигала максимума в феврале-марте.

Таблица 1. Средние полугодовые и годовые значения концентрации хлорофилла и поверхностной температуры в северной и южной половинах Атлантического океана в 2001-2003 гг. по данным сканеров SeaWiFS и MODIS-Aqua

Год	SST, °C			Chl, мг м ⁻³		
	Северная половина	Южная половина	Вся акватория	Северная половина	Южная половина	Вся акватория
Январь-июнь 2001	-	-	-	0.443	0.313	0.374
Июль-декабрь 2001	-	-	-	0.367	0.345	0.354
2001	-	-	-	0.405	0.329	0.364
Январь-июнь 2002	-	-	-	0.438	0.318	0.378
Июль-декабрь 2002	22.98	16.42	19.68	0.358	0.379	0.367
2002	-	-	-	0.398	0.348	0.372
Январь-июнь 2003	20.18	19.12	19.68	0.430	0.323	0.372
Июль-декабрь 2003	23.35	16.55	19.93	0.358	0.370	0.362
2003	21.77	17.83	19.81	0.394	0.347	0.367

Большую часть площади исследованной акватории, как в северной, так и в южной половинах, занимают теплые ($SST > 20^{\circ}\text{C}$) и малопродуктивные ($\text{Chl} < 0.15 \text{ мг м}^{-3}$) воды. Это воды субтропических антициклических круговоротов, где происходит медленное опускание вод, что обуславливает дефицит биогенных элементов в поверхностном слое и, как следствие, низкую биопродуктивность. Обнаружено хорошее соответствие между изменениями площади, занятой этими водами, и изменениями среднемесячных величин температуры поверхности. Эвтрофные воды ($\text{Chl} > 0.5 \text{ мг м}^{-3}$) занимают наименьшую площадь как в северной, так и южной половинах океана. Однако именно изменения их площади лучше всего согласуется с изменениями среднемесячных значений концентрации хлорофилла.

Спутниковые данные позволяют также оценивать межгодовые изменения различных характеристик. В Таблице 1 представлены средние полугодовые и годовые значения концентрации хлорофилла и поверхности температуры в северной и южной половинах Атлантического океана в 2001-2003 гг. по данным сканеров SeaWiFS и MODIS-Aqua (последние доступны только с июля 2002 г.).

Обращает на себя внимание замечательная стабильность средних величин концентрации хлорофилла как в северной, так и в южной половинах Атлантического океана. Как видно из Таблицы, различия полугодовых средних между 2002 и 2003 гг. находятся в пределах 0.01 мг м^{-3} , а годовых – в пределах 0.005 мг м^{-3} .

Черное море

В Институте океанологии РАН (ИОРАН), начиная с 1998 г., по данным спутникового сканера цвета SeaWiFS рассчитываются для морей России среднемесячные распределения концентрации хлорофилла «а», показателей рассеяния взвешенными частицами и поглощения желтым веществом, характеризующих пространственную и временную изменчивость трех важнейших компонентов содержащегося в морской воде вещества: фитопланктона, взвеси и окрашенного органического вещества [1-3].

В Черном море одна из интересных особенностей, выявившаяся при анализе полученных данных – заметное возрастание яркости выходящего из воды излучения в видимой области спектра в конце мая - июне. Это возрастание хорошо видно на диаграммах, построенным по данным сканера цвета SeaWiFS и показывающих изменение среднемесячных величин показателя рассеяния назад взвешенными частицами b_{bp} в водах Черного моря с 1998 г. [1-3]. Алгоритм расчета величины b_{bp} по спутниковым данным SeaWiFS разработан в Лаборатории оптики океана ИО РАН; эта величина характеризует концентрацию взвешенных в воде частиц [5]. На рис.3 (слева) такие диаграммы с января 1998 по август 2004 г. представлены для восточной части Черного моря. Июньский максимум четко проявляется в обоих рассматриваемых регионах во все годы, но в 2001 г. он наблюдался в мае. Величина максимума изменялась в разные годы: он был очень резко выражен в 2002 г., слабо в 2003 г., и опять стал резче в 2004 г.

На рис.3 (справа) аналогичные диаграммы показывают изменение среднемесячных величин концентрации хлорофилла. Из сравнения рисунков видно, что сезонный ход рассматриваемых величин заметно различается: максимум концентрации хлорофилла в июне, если и наблюдается, то выражен очень слабо и совершенно не сопоставим по величине с максимумом показателя рассеяния b_{bp} . Отсюда следует, что наблюдаемый июньский максимум b_{bp} вряд ли можно объяснить цветением преобладающих в Черном море видов фотосинтезирующего фитопланктона – диатомовых и динофлагеллят.

Относительно причин наблюдаемого максимума показателя рассеяния существует две точки зрения: одна – кокколитофоридное цветение, охватывающее все море, другая – влияние майско-июньского максимума речного стока. Каждая точка зрения имеет свои доводы; очевидно, что разобраться в причинах возникновения наблюдаемого июньского максимума можно лишь в результате комплексного анализа данных как спутниковых наблюдений, так и специально проведенных натурных исследований.

Каспийское море

В Каспийском море один из важнейших результатов, полученных в результате анализа спутниковых данных – обнаружение максимально высоких значений концентрации хлорофилла C_{xL} и показателя рассеяния назад взвешенными частицами b_{bp} , в Южном Каспии в июле-августе 2001 г., связанных с воздействием вселенца-гребневика *Mnemiopsis*. На рис.4 для сравнения показаны среднемесячные распределения концентрации хлорофилла в Каспийском море для сентября 1999 г. и 2001 г. и изменения среднемесячных значений концентрации хлорофилла в Среднем и Южном Каспии с января 1998 г. по декабрь 2002 г. Резкие максимумы значений C_{xL} в Южном Каспии в июле-августе 2001 г., – следствие вселения в Каспийское море в 1998-99 гг. гребневика *Mnemiopsis*. Подобные изменения наблюдались ранее в Черном море после вселения этого гребневика, начиная с лета 1988 г.

В Среднем Каспии такие максимумы тоже наблюдались, но с запозданием примерно на месяц – главный максимум в сентябре. В Северный Каспий гребневик *Mnemiopsis* может заноситься из Среднего Каспия и давать в юго-западной части этого региона значительные вспышки численности со второй половины июля-начала августа. Согласно имеющимся данным натурных исследований, концентрация хлоро-

филла в местах скопления мнепиопсиса увеличивается в 2-3 раза по сравнению с остальными районами Северного Каспия и по сравнению с периодом, предшествующим появлению мнепиопсиса.

Из приведенных диаграмм видно, что в 2002 г. рассматриваемые максимумы в Среднем и Южном Каспии сохранились, но заметно уменьшились по величине. В 2003 г. это уменьшение продолжилось, причем так же резко, как и между 2002 и 2001 гг.

В Таблице 2 сравниваются средние значения концентрации хлорофилла «а», показателей рассеяния взвешенными частицами и поглощения желтым веществом для 2002 и 2003 гг. Видно, что значения всех характеристик во всех регионах уменьшились в 2003 г., по сравнению с 2002 г.

Таблица 2. Изменение средних годовых (для концентрации хлорофилла и показателя рассеяния назад взвешенными частицами) и сезонных (для показателя поглощения желтым веществом) значений биооптических характеристик и их среднеквадратичных отклонений в различных районах Каспийского моря в 2002 и 2003 гг. по данным спутникового сканера цвета SeaWiFS

Год	Северный Каспий	Средний Каспий	Южный Каспий	Все море
	Концентрация хлорофилла, мг м^{-3}			
2002	6.74 ± 1.64	2.42 ± 1.03	3.07 ± 1.26	3.69 ± 1.11
2003	5.92 ± 1.94	1.87 ± 0.64	2.03 ± 0.45	2.89 ± 0.59
Показатель рассеяния назад взвешенными частицами $\times 10^3, \text{м}^{-1}$				
2002	65.9 ± 15.6	9.7 ± 1.9	18.0 ± 4.1	25.9 ± 6.3
2003	57.2 ± 19.2	8.1 ± 1.4	14.0 ± 1.7	21.6 ± 6.0
Показатель поглощения желтым веществом, м^{-1}				
2002	0.252 ± 0.012	0.132 ± 0.017	0.148 ± 0.022	0.167 ± 0.016
2003	0.226 ± 0.018	0.119 ± 0.014	0.119 ± 0.012	0.145 ± 0.012

Наиболее ярко эти изменения выражены для концентрации хлорофилла в Южном Каспии – в полтора раза. Такое уменьшение может свидетельствовать, что экосистема Южного Каспия возвращается к тому состоянию, которое было до вселения гребневика *Mnemiopsis*, однако окончательное суждение можно вывести только на основе комплексного анализа различных факторов, включая погодные изменения, речной сток, динамику вод.

Проблемы оптимального использования спутниковых данных

Построение долговременных серий данных спутниковых наблюдений

Одно из важных преимуществ спутниковых наблюдений – возможность проведения долговременных серий наблюдений. Такие наблюдения дают возможность изучать как сезонную, так и межгодовую изменчивость, но при этом, конечно, требуется, чтобы данные измерений были получены от одних и тех же датчиков по одним и тем же алгоритмам или, по крайней мере, взаимно прокалиброваны. В 2004 г. эта проблема всталла особенно остро, поскольку с 2005 г. данные спутникового сканера SeaWiFS уже не будут в свободном доступе.

Перспективная замена данным SeaWiFS – данные нового сканера MODIS, установленного на спутнике EOS-Aqua. Преимущество этого сканера в том, что он дает данные и по всем биооптическим характеристикам и по поверхностной температуре, которые могут быть дополнены данными о ледовом покрытии, поле ветра и потоках отраженной коротковолновой радиации и уходящей длинноволновой от других приборов на спутнике Aqua - радиометра AMSR-E и CERES.

Выполненное сравнение среднемесячных распределений концентрации хлорофилла в Атлантическом океане по данным сканеров SeaWiFS и MODIS-Aqua для июля-декабря 2002 г. показало хорошее сходство этих распределений. Между средними значениями наибольшее различие наблюдается для северной Атлантики в сентябре ($\sim 0.05 \text{ мг м}^{-3}$), а для южной – в июле и декабре ($\sim 0.06 \text{ мг м}^{-3}$).

Отметим, что аналогичное сравнение для Черного и Каспийского морей дает гораздо худшие результаты. Приведение к соответствию расчетных алгоритмов двух сканеров или, по крайней мере, взаимная калибровка данных – главная задача для стыковки серии данных 1998-2002 гг., полученных сканером SeaWiFS, и последующих лет, начиная со второй половины 2002 г., получаемых сканером MODIS-Aqua.

Необходимость сочетания спутниковых и других видов измерений, в частности, судовых

Алгоритмы, которые применяются для расчета по спутниковым данным физических, биологических и других характеристик океана, требуют их верификации по данным натурных измерений в различных океанологических и гидрометеорологических условиях. Кроме того, необходимо, чтобы квазинепрерывные

спутниковые наблюдения, охватывающие по площади весь океан, но по глубине лишь его поверхностный слой, дополнялись измерениями вертикальных профилей ключевых характеристик в дискретных точках. Привязка спутниковых съемок к реферным точкам судовых измерений позволяет получить по спутниковым данным поля океанологических и атмосферных характеристик с гораздо более высокой точностью, чем без такой привязки, а также верифицировать и усовершенствовать алгоритмы обработки спутниковой информации для дальнейшего использования.

Верификация спутниковых алгоритмов по данным натурных измерений систематически проводится в экспедициях Института океанологии в различных морях и океанах. Эта верификация особенно важна для морей России, имеющих свою специфику, которая не учитывается стандартными алгоритмами обработки спутниковых данных. Так, например, в Баренцевом море стандартный алгоритм определения концентрации хлорофилла по данным сканера цвета SeaWiFS сильно завышает ее значения – примерно в 5 раз в открытых районах моря и 10-12 раз в прибрежной зоне [1-3]. Натурные эксперименты совершенно необходимы для разработки региональных алгоритмов, обеспечивающих наилучшие согласие с данными *in situ*.

Наиболее эффективная система мониторинга основана на продуманном сочетании спутниковых и других видов измерений. В США в настоящее время разрабатывается глобальная интегрированная система, которая включает и свободно плавающие буи для непрерывного мониторинга температуры и солености верхней двухкилометровой толщи океана (3 тысячи буев по всему Мировому океану), и датчики для измерения приливов, и заякоренные буи, и дрифтерные комплексы, и судовые аппаратурные комплексы, которые занимают важное место в этой системе.

Обеспечение морских экспедиционных работ спутниковой информацией

Мониторинг состояния океана и атмосферы на основе сочетания спутниковых и судовых наблюдений подразумевает совместную обработку спутниковых и судовых данных, для чего необходима система передачи данных, и в первую очередь, спутниковых данных на судно. Обеспечение научно-исследовательских экспедиционных работ спутниковой информацией в реальном времени позволяет оперативно планировать судовые исследования, выбирая точки выполнения станций и отбора проб исходя из океанологических и гидрометеорологических условий на момент проведения исследований. В настоящее время на нескольких судах ИОРАН установлены морские терминалы спутниковой связи Fleet77, которые могут быть использованы для создания судового комплекса получения спутниковой информации.

Спутниковый терминал Fleet77 поддерживает глобальное покрытие в режимах MPDS (пакетная передача данных, когда пользователь платит не за время работы, а только за количество переданной информации) и ISDN (высокоскоростная передача данных и голоса). Он предназначен для использования на крупных торговых и научно-исследовательских судах и оснащен встроенной Глобальной морской системой связи для обеспечения безопасности на море – ГМССБ. Терминал адаптирован для работы в морских условиях и может эксплуатироваться при бортовой качке до $\pm 25^\circ$, килевой – до $\pm 15^\circ$ и рыскании судна до $\pm 8^\circ$, при скорости его движения до 30 узлов и изменениях курса до $\pm 12^\circ/\text{с}$. Антенна оборудована автоматическим слежением за спутником, имеет удобный интерфейс для подключения и обслуживания и размещена в радиопрозрачном колпаке для защиты от неблагоприятных условий внешней среды.

Испытания комплекса прошли осенью 2004 г. в трансатлантическом рейсе НИС «Академик Сергей Вавилов» в Атлантическом океане. Спутниковые данные от сканера MODIS принимались в Москве в Лаборатории оптики океана ИО РАН, обрабатывались, специально подготавливались для передачи на судно и помещались на ftp. Оттуда они забирались в удобное для связи время, а с судна передавалась оперативная информация в ИОРАН. Из-за облачной погоды передавались лишь осредненные недельные карты распределения температуры поверхности океана, концентрации хлорофилла, показателя рассеяния назад взвешенными частицами и аэрозольной оптической толщины. За время экспедиции было проведено более 35 сеансов связи; уверенный прием и передача были обеспечены на протяжении всей экспедиции.

Заключение

Основной вывод, который следует из проведенного выше рассмотрения, состоит в том, что современные спутниковые инструменты дают возможность рассчитывать основные параметры, необходимые для исследования и мониторинга океана и атмосферы над океаном, и спутниковые наблюдения могут быть основой глобальной системы мониторинга Мирового океана. Наиболее эффективная система мониторинга должна базироваться на комплексном использовании данных, получаемых разными спутниковыми датчиками, и натурных измерений, а также комплексных расчетных моделей, ассимилирующих все доступные данные.

Литература

1. Копелевич О.В., Буренков В.И., Ерикова С.В. и др. Биооптические характеристики морей России по данным спутникового сканера цвета SeaWiFS // CD-ROM. М.: ИО РАН, 2002.
2. Kopelevich, O.V., Burenkov V.I., Sheberstov S.V. et al. Some results of bio-optical monitoring of the Russian Seas by SeaWiFS satellite data // Proceedings of II International Conference “Current Problems in Optics of Natural Waters”. St.Peterburg, September, 2003. P. 149-154.
3. Kopelevich O.V., Burenkov V.I., Vazyulya S.V. et al. Bio-optical characteristics of the seas of Russia from data of the SeaWiFS satellite ocean color scanner // CD-ROM. M. SIO RAS. 2003.
4. Буренков В.И., Ерикова С.В., Копелевич О.В. и др. Оценка пространственного распределения взвеси в водах Баренцева моря по данным спутникового сканера цвета океана SeaWiFS // Океанология, 2001. Т. 41. № 5. С. 653-659.

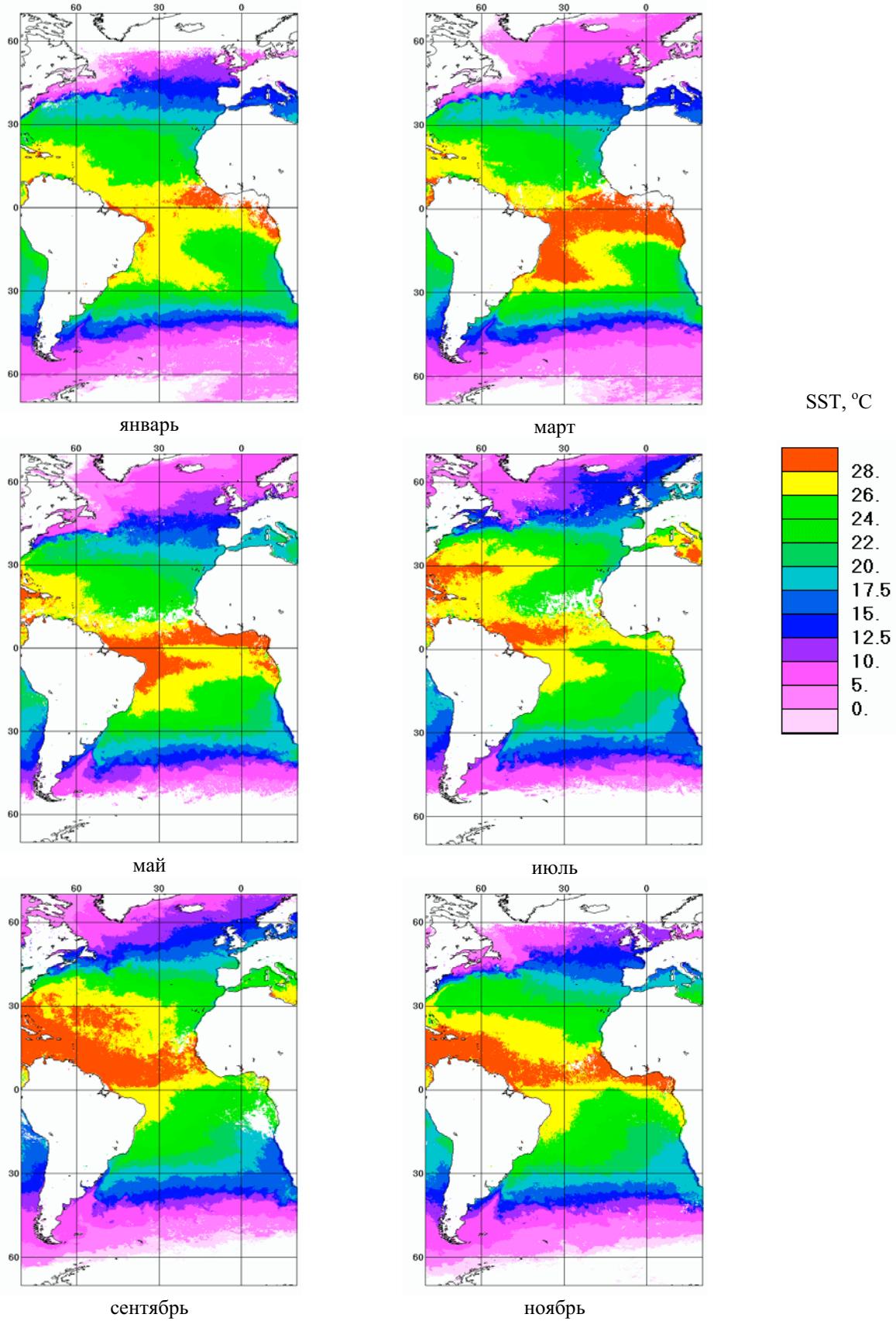


Рис.1. Распределения температуры поверхности Атлантического океана в разные месяцы 2003 г. по данным спутникового сканера цвета MODIS-Aqua

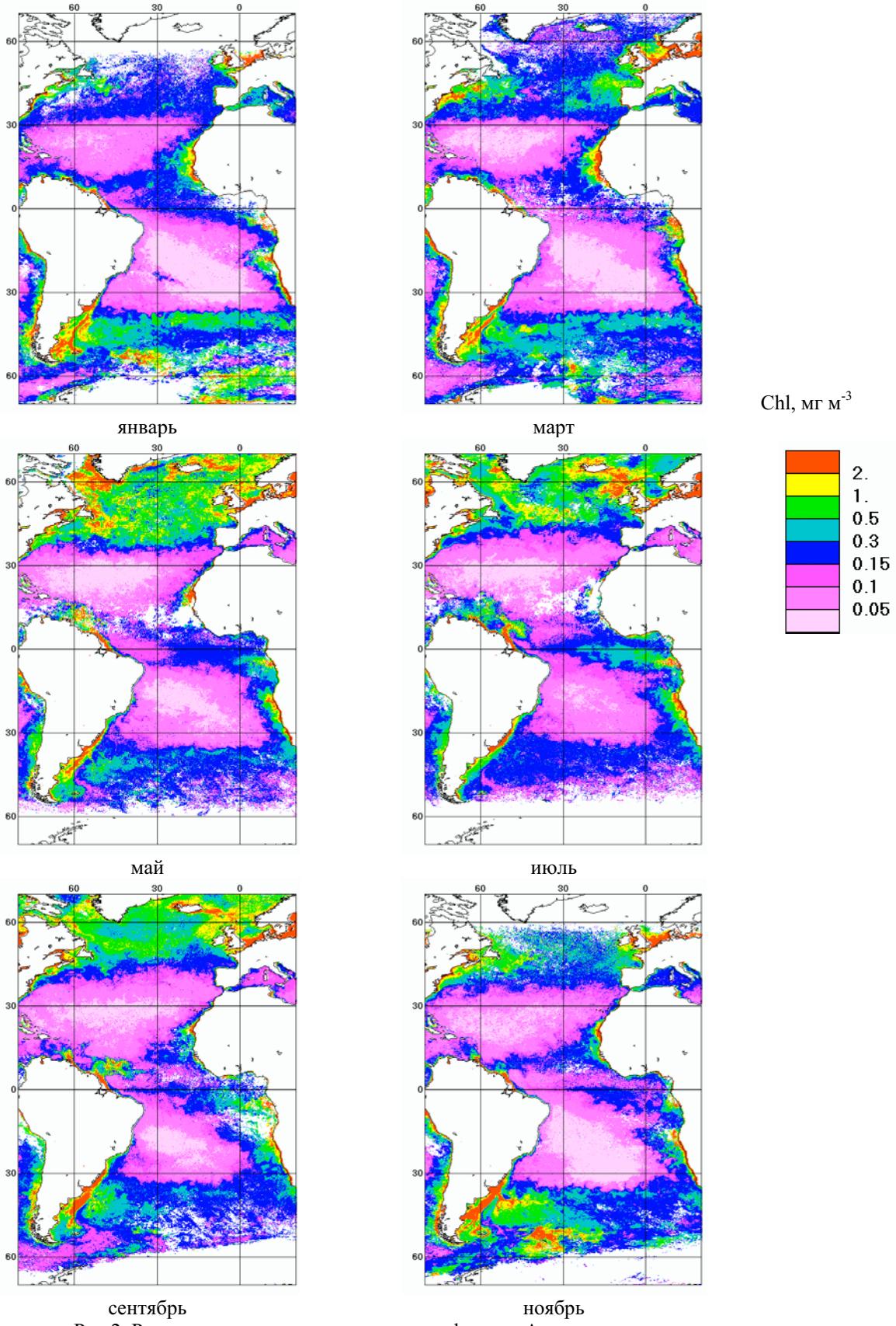
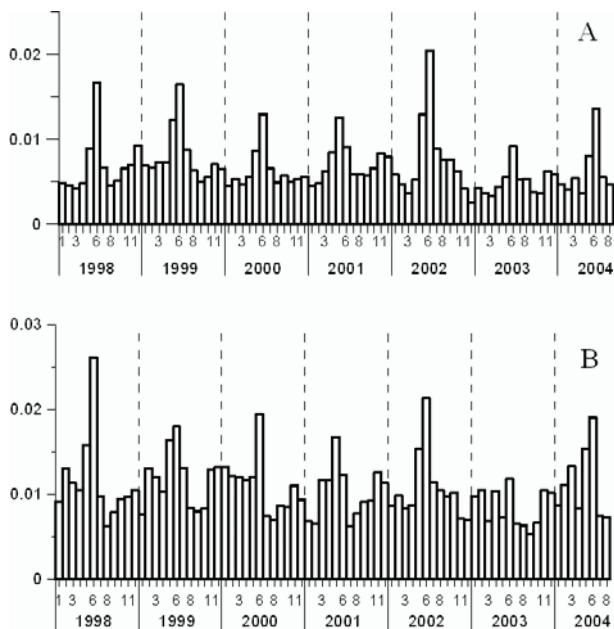
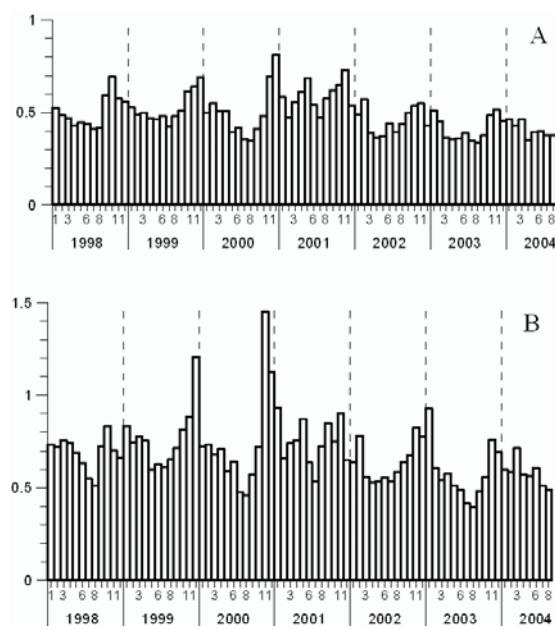


Рис.2. Распределения концентрации хлорофилла в Атлантическом океане в разные месяцы
в 2003 г. по данным спутникового сканера цвета SeaWiFS.



Показатель рассеяния назад
взвешенными частицами



Концентрация хлорофилла

Рис.3. Диаграммы изменения среднемесячных величин показателя рассеяния назад взвешенными частицами b_{bp} (слева) и концентрации хлорофилла (справа) в восточной части Черного моря с января 1998 по август 2004 гг., построенные по данным спутникового сканера цвета SeaWiFS посредством алгоритма ИОРАН [3].
А - восточный открытый район; Б - восточный и южный шельф (глубина меньше 200м)

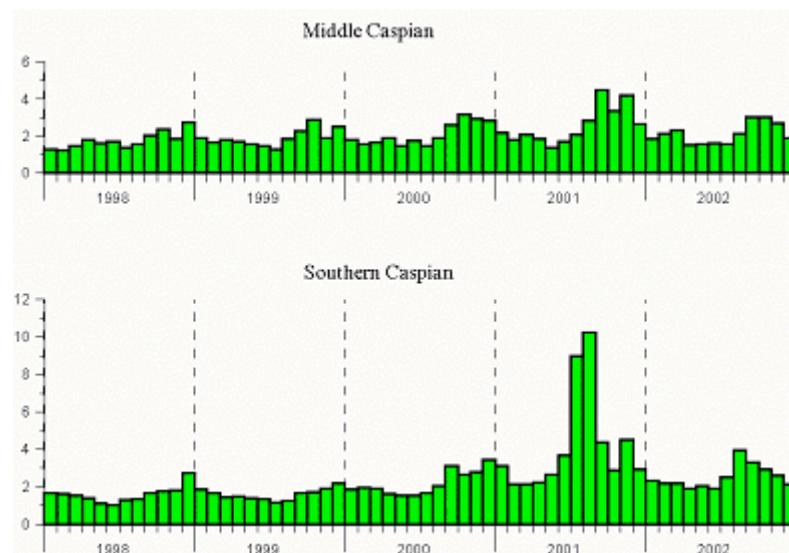
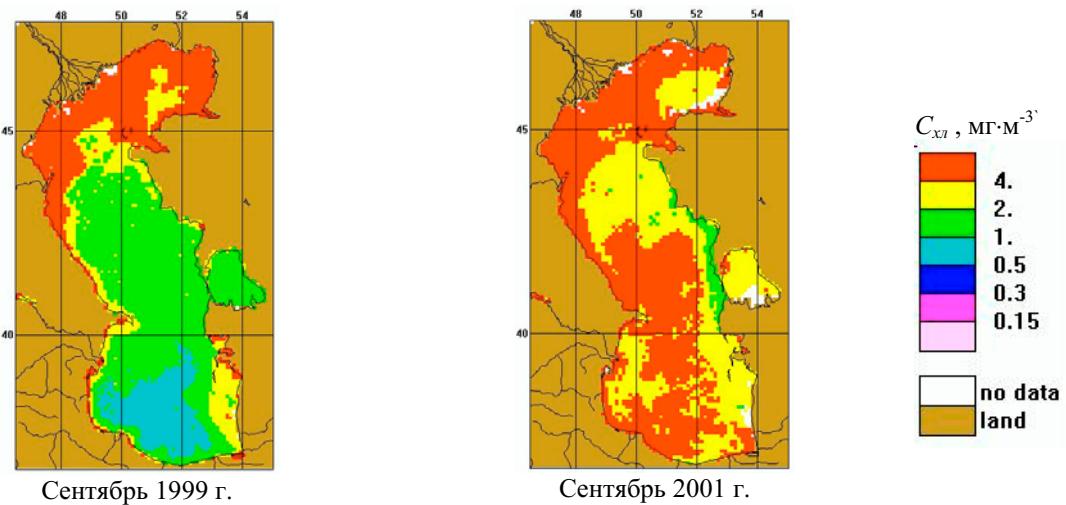


Рис.4. Межгодовые изменения концентрации хлорофилла в Каспийском море в 1998-2002 гг.