

Анализ динамики мезомасштабных структур в акватории Норвежского моря по данным дистанционного зондирования и гидрологических съёмок

А. А. Романов, А. А. Романов

*АО «Российские космические системы», Москва, 111250, Россия
E-mail: romanov@spacecorp.ru*

В рамках комплексного научно-производственного эксперимента в Норвежском море в 1997 г. была проведена серия специальных исследований по изучению и анализу динамики мезомасштабной изменчивости поверхности океана по результатам гидрологической съёмки и на основе спутниковой информации. Получить новые сведения и дополнить результаты эксперимента удалось за счёт использования данных спутникового альтиметра КА TOPEX/Poseidon. В результате анализа данных гидрологической съёмки по микрополигону, а также подспутниковым полигонам № 2 и № 3 был выявлен ряд образований в поверхностном слое исследуемой акватории, которые одновременно проявлялись на распределениях аномалии морской поверхности, полученных по данным спутниковой альтиметрии и радиолокационных съёмок. На основе исследования динамики вихревой структуры на микрополигоне № 2 с учётом декадных, среднемесячных и среднесезонных распределений аномалий высоты морской поверхности в регионе было сделано предположение о её квазистационарном характере. Анализ контактной и дистанционной информации о состоянии поверхностного слоя океана на подспутниковом полигоне № 3 позволил изучить характер регистрируемых по данным спутниковой альтиметрии вихревых структур, проявляющихся на распределении физических характеристик среды для горизонта 20 м и существенно слабее выраженных для поверхностных распределений температуры и солёности.

Ключевые слова: спутниковая альтиметрия, радиолокация, гидрология, мезомасштабные структуры, дистанционное зондирование океана, температура поверхности океана, результаты эксперимента «Норвежское море – 97», гидрология

Одобрена к печати: 20.02.2019

DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-2-207-217

Введение

В 1997 г. в Норвежском море был проведён комплексный научно-производственный эксперимент (далее — эксперимент), направленный на исследование проблем валидации данных ДЗЗ, а также изучение гидрофизических условий этого промыслового района (Романов, 1998; Романов, Сапожников, 1998; Romanov, 1998). В результате общего анализа данных было показано, что выявленные по измерениям радиометра и радиолокатора космического базирования структурные явления на поверхности океана подтверждаются данными спутникового альтиметра и наблюдаются на картах гидрологической и акустической съёмки, проведённых научно-исследовательским судном во время эксперимента (Романов, Романов, 2018а, б).

Наряду с комплексным исследованием открытой части Норвежского моря было проведено несколько специализированных гидрологических съёмки, синхронизированных с пролётами радиолокационных и метеорологических ИСЗ. Основными задачами указанной части эксперимента являлись: проведение анализа динамики морской поверхности исследуемой акватории, изучение мезомасштабной изменчивости региона и исследование кросс-корреляций гидрологических спутниковых и гидроакустических измерений для изучения потенциала промысловых работ с учётом выявленных явлений.

В силу неблагоприятных погодных условий (общего состояния облачности и сильного ветра) и практически полного отсутствия спутниковых данных, детальный сравнительный анализ большого объёма информации по микрополигонам, на которых проводились гидрологические исследования, непосредственно после завершения эксперимента ранее не проводился (Романов, Сапожников, 1998).

В работах (Романов, Романов, 2018а, б) в качестве дополнительного источника информации о состоянии динамики морской поверхности использовались альтиметрические данные КА TOPEX/Poseidon (Physical Oceanography Distributed Active Archive Center (PODAAC), <https://podaac.jpl.nasa.gov>), пересчитанные в соответствии с методиками, представленными в исследованиях (Куницын, Романов, 2004; Романов и др., 2004; Шевченко, Романов, 2004; Venada, 1993). Появление этих данных позволило вернуться к решению указанных задач и дополнить выводы проведённого эксперимента.

В настоящей работе впервые представлены результаты сравнительного анализа динамики мезомасштабных структур, выявленных по данным гидрологической съёмки (распределения температуры поверхности, солёности и концентрации хлорофилла) в приповерхностном слое Норвежского моря, аномалий высоты морской поверхности по данным КА TOPEX/Poseidon и радиолокационной съёмки, проведённой над акваториями подспутниковых полигонных измерений в рамках комплексного эксперимента.

Подспутниковые полигонные съёмки

Подспутниковые полигонные съёмки в рамках общей программы эксперимента в Норвежском море в 1997 г. проходили в несколько этапов (Романов, Романов, 2018а, б). Всего было проведено четыре специализированные съёмки: одна — на начальной стадии комплексного эксперимента и три — на финальной. В результате эксперимента были восстановлены карты распределения температуры поверхности океана, солёности и концентрации хлорофилла в приповерхностном слое.

Специально для анализа информации заказывались радиолокационные данные высокого разрешения с КА ERS-2, кроме того, проводился непрерывный мониторинг акватории средствами метеорологических аппаратов (Романов, Романов, 2018а, б). Позже дополнительно анализировались данные спутниковой альтиметрии.

В период с 14.07.1997 по 17.07.1997 была проведена съёмка на микрополигоне (таблица). Её основной задачей стала регистрация состояния толщи морской поверхности на границе норвежской экономической зоны, по которой проходит стрежень Североатлантического течения. Контактные данные дополнялись космической съёмкой в ИК- и микроволновом диапазонах спектра.

Характеристики подспутниковых съёмок

Фаза эксперимента	Даты проведения съёмок	Информация ДЗЗ
Микрополигон	14.07.1997–17.07.1997	ERS-2 от 09.07.1997 NOAA от 08.07.1997 TOPEX/Poseidon
Подспутниковый полигон № 1	19.07.1997–21.07.1997	ERS-2 от 19.07.1997 TOPEX/Poseidon
Подспутниковый полигон № 2	21.07.1997–23.07.1997	ERS-2 от 22.07.1997 TOPEX/Poseidon
Подспутниковый полигон № 3	23.07.1997–25.07.1997	ERS-2 от 25.07.1997 NOAA от 25.07.1997 TOPEX/Poseidon

На завершающей стадии эксперимента (с 19.07.1997 по 25.07.1997) были проведены три контактные съёмки, подкреплённые информацией дистанционного зондирования от КА ERS-2, NOAA и TOPEX/Poseidon. Задачей подспутниковых исследований указанной фазы эксперимента стала регистрация динамически активных структур на поверхности океана контактными средствами измерений и спутниковыми методами с последующим анализом возможных взаимных корреляций.

К сожалению, данные гидрологической съёмки, выполненной научно-исследовательским судном в период с 19.07.1997 по 21.07.1997, для последующего анализа результатов эксперимента были недоступны.

Анализ информации, полученной на микрополигоне

Гидрологическая съёмка на микрополигоне выявила наличие высокодинамичных образований в регионе исследований. На распределении температуры поверхности океана присутствуют три вихревых образования с положительной температурной аномалией, достигающей $0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$. Кроме того, выявляется слабая антициклоническая структура с координатами центра $1,75^{\circ}$ в. д. и $65,5^{\circ}$ с. ш., амплитуда температуры поверхности от центра к периферии образования составляет не более $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$.

В целом аналогичная картина наблюдается и при анализе информации, полученной от радиолокатора с синтезированной апертурой ERS-2 и спутникового альтиметра TOPEX/Poseidon. К сожалению, общая ветровая обстановка в регионе исследований не позволила получить высококонтрастное радиолокационное изображение, тем не менее на представленном снимке можно отчётливо выделить вихревую структуру с координатами центра $1,5^{\circ}$ в. д., 65° с. ш. и радиусом $60\text{--}80$ км наряду с фронтальной структурой, что соответствует общему характеру распределения температуры поверхности (рис. 1).

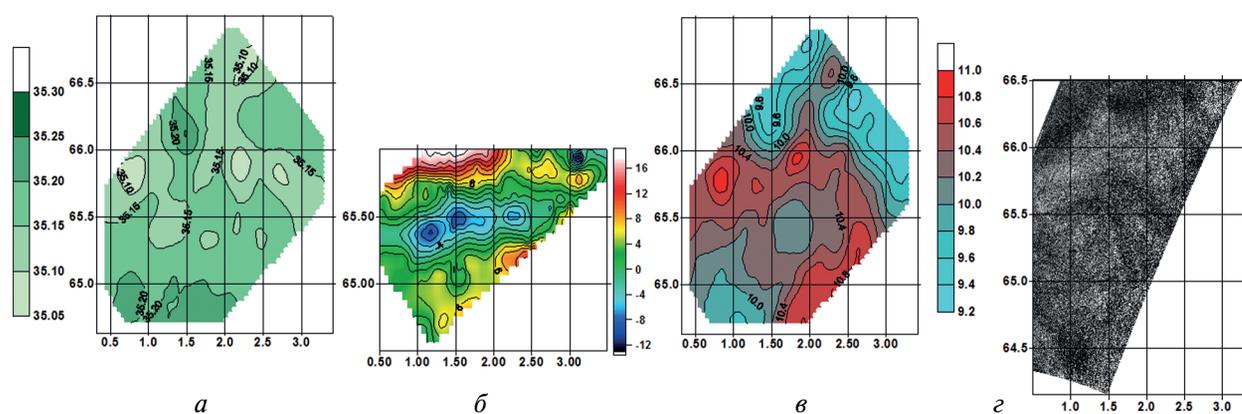


Рис. 1. Результаты гидрологической и спутниковых съёмок за 14.07.1997–17.07.1997. Распределение: а — солёности (‰); б — аномалий высоты поверхности (см); в — температуры ($^{\circ}\text{C}$); з — радиолокационное изображение микрополигона (09.07.1997)

На карте аномалии морской поверхности (см. рис. 1) различается группа циклонических структур с амплитудой порядка $6\text{--}8$ см, по характеру совпадающая с образованиями, наблюдаемыми на результатах гидрологической съёмки. Слабая антициклоническая структура в центральной части микрополигона не регистрируется на распределении аномалии высоты морской поверхности, по всей видимости, в силу большого времени накопления информации с учётом изомаршрутного цикла альтиметрического КА.

Общий характер циркуляции на микрополигоне по данным спутниковой альтиметрии совпадает с информацией, представленной на распределениях температуры и солёности поверхности океана, построенных по данным контактных измерений.

Анализ информации, полученной на полигоне № 2

Достаточно полный анализ информации по подспутниковому полигону № 2 был проведён в работе (Романов, Романов, 2018а). Показаны соответствия структур, зарегистрированных по результатам альтиметрической и радиолокационной съёмок, а также гидрологической съёмки, проведённой посредством буксируемого комплекса AquaShuttle (Левашов, 1999).

Циклоническая вихревая структура с координатами центра 4° в. д., 65,5° с. ш. была зарегистрирована и по результатам съёмки погружным комплексом NeilBrown (Левашов и др., 1997) (рис. 2).

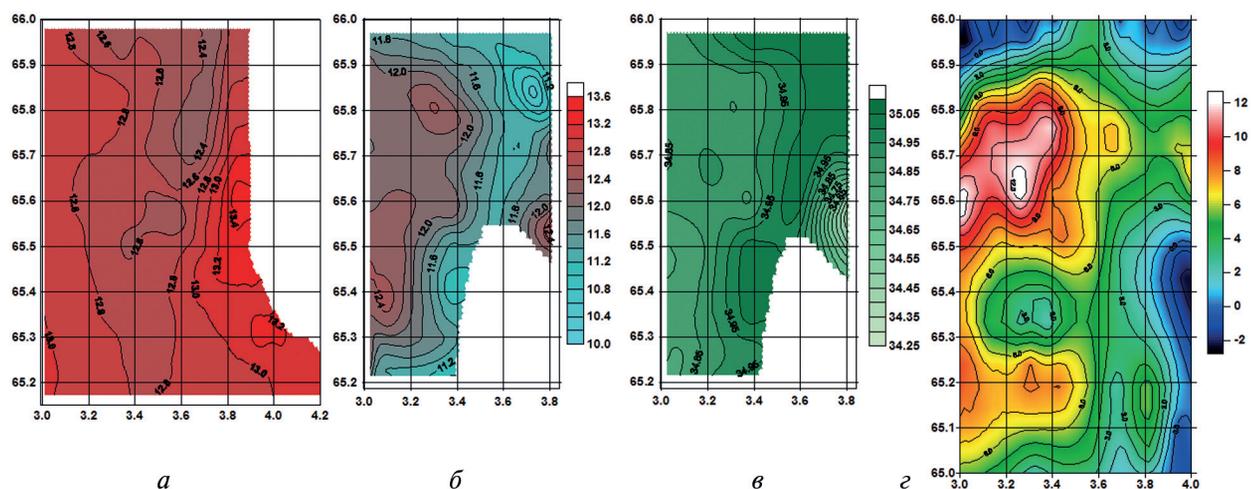


Рис. 2. Результаты гидрологической съёмки подспутникового полигона № 2 за 21.07.1997–23.07.1997: а — температура поверхности (°C); распределение на горизонте 10 м: б — температуры поверхности океана (°C), в — солёности (‰); г — аномалии высоты поверхности (см)

Анализ распределения температуры показывает наличие существенного перепада значений от центра к периферии вихря, причём распределения температуры и солёности на глубине 10 м подтверждают развитие аномалии. Глубина структуры составляет до 30 м в соответствии с одновременными измерениями комплекса AquaShuttle (Романов, Романов, 2018а, б). На альтиметрической съёмке указанная циклоническая структура также различается достаточно хорошо.

Кроме того, наблюдается структура с координатами центра 3,3° в. д., 65,35° с. ш. и радиусом 100–120 км, которая отсутствует на распределении температуры на поверхности, но чётко различается на горизонте 10 м. Анализ данных гидрологической съёмки показал, что в этой же области исследований наблюдалось существенное повышение концентрации скоплений скумбрии (Романов, Романов, 2018а, б).

С учётом наличия непрерывного ряда альтиметрических наблюдений для данного региона за период с 1992 по 2003 г. была проанализирована динамика изменений значений аномалий высоты морской поверхности исследуемой части акватории Норвежского моря (рис. 3, см. с. 211). Анализ 10-дневных распределений аномалий морской поверхности по региону показал, что вихревая структура с координатами центра 4° в. д., 65,5° с. ш. и радиусом 30–50 км наблюдалась в регионе непрерывно в период с 1995 по 1999 г. 25 июля ±6 дней, что позволило предположить квазистационарный характер выявленного образования.

Подтверждением данного предположения могут служить среднемесячные и среднесезонные распределения аномалий высоты морской поверхности, построенные за весь период альтиметрических наблюдений КА TOPEX/Poseidon (рис. 4, см. с. 212).

Учитывая общий годовой ход уровня исследуемой акватории Норвежского моря, можно видеть, что циклоническая вихревая структура с координатами центра 4° в. д., 65,5° с. ш. начинает формироваться в начале весеннего периода и в апреле достигает своего максимума.

В летний период с учётом перестройки общего режима циркуляции амплитуда изменения уровня несколько снижается, и в начале лета уровень поверхности в регионе становится практически равномерным (изменения амплитуды высоты поверхности не превышают нескольких сантиметров). Несмотря на это, в июле, августе и сентябре наблюдается указанная циклоническая вихревая структура с амплитудой уровня 1–2 см, что сравнимо с общей динамикой уровня поверхности в обозначенный период.

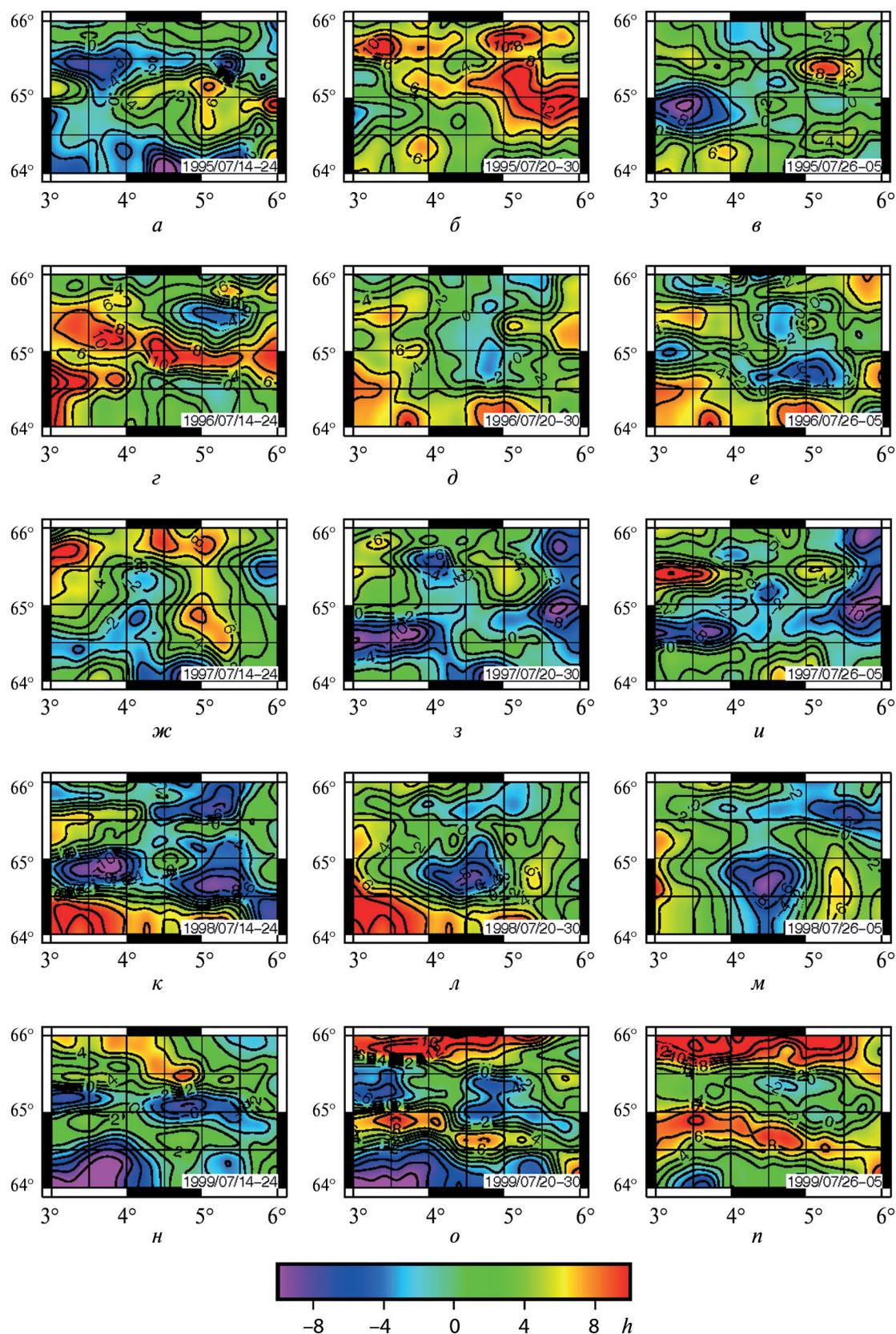


Рис. 3. Декадные распределения аномалий высоты морской поверхности по данным КА TOPEX/Poseidon (см): а — 14.07.1995–24.07.1995; б — 20.07.1995–30.07.1995; в — 26.07.1995–05.08.1995; г — 14.07.1996–24.07.1996; д — 20.07.1996–30.07.1996; е — 26.07.1996–05.08.1996; ж — 14.07.1997–24.07.1997; з — 20.07.1997–30.07.1997; и — 26.07.1997–05.08.1997; к — 14.07.1998–24.07.1998; л — 20.07.1998–30.07.1998; м — 26.07.1998–05.08.1998; н — 14.07.1999–24.07.1999; о — 20.07.1999–30.07.1999; п — 26.07.1999–05.08.1999

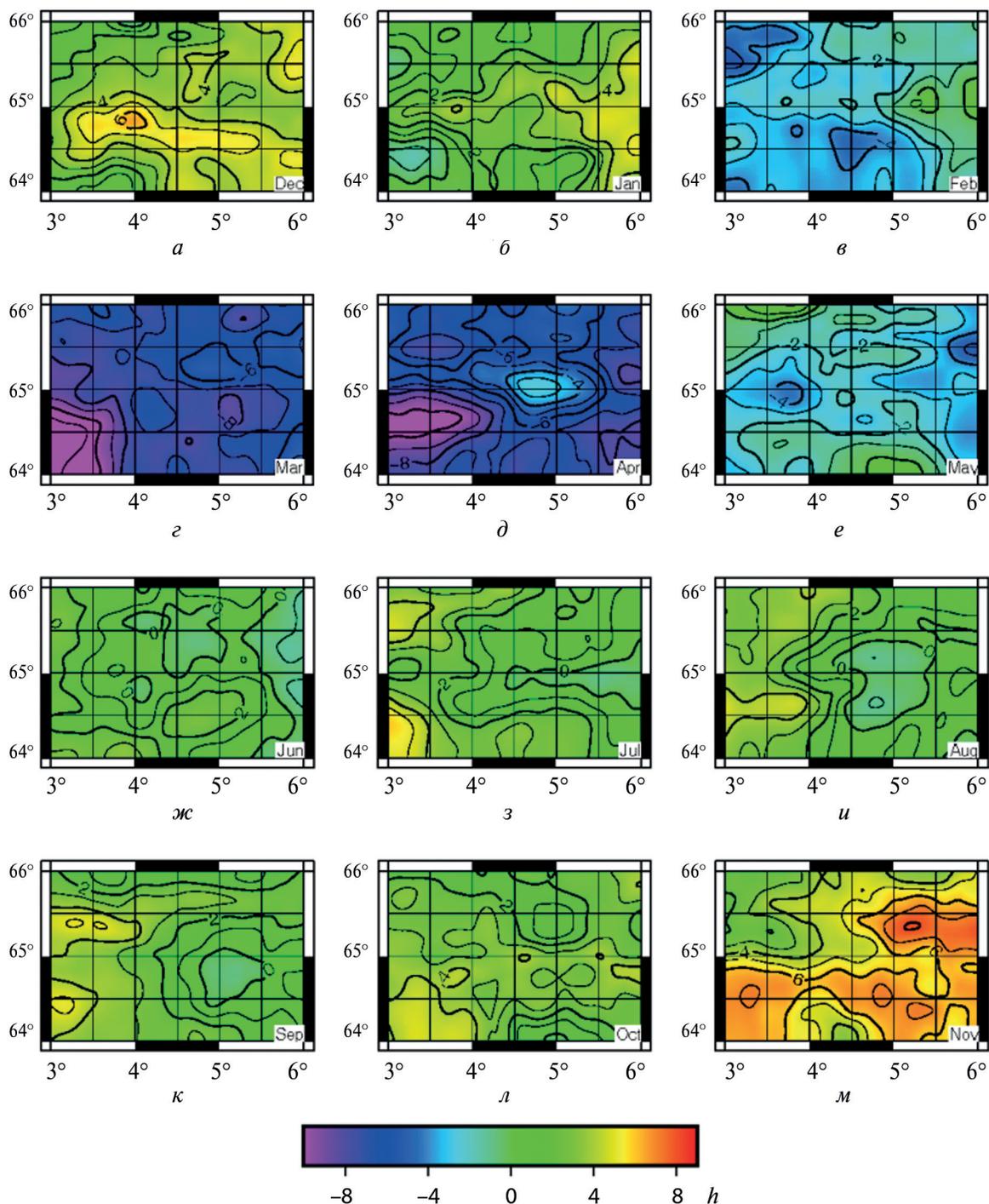


Рис. 4. Среднемесячные распределения аномалий высоты морской поверхности по данным КА TOPEX/Poseidon (см): а — декабрь; б — январь; в — февраль; г — март; д — апрель; е — май; ж — июнь; з — июль; и — август; к — сентябрь; л — октябрь; м — ноябрь

Данная динамическая структура регистрируется на среднесезонных распределениях аномалий высоты морской поверхности, что может служить дополнительным подтверждением квазистационарного характера вихревого образования (рис. 5, см. с. 213). Анализ распределений показывает наличие циклонической структуры в регионе исследований даже с учётом сезонных изменений уровня исследуемой акватории.

Значение температуры от центра к периферии вихря изменяется в пределах от 12 до 13 °С, что наряду с выносом питательных веществ, по всей видимости, способствует повышенной концентрации морских гидробионтов (Романов, Романов, 2018а, б).

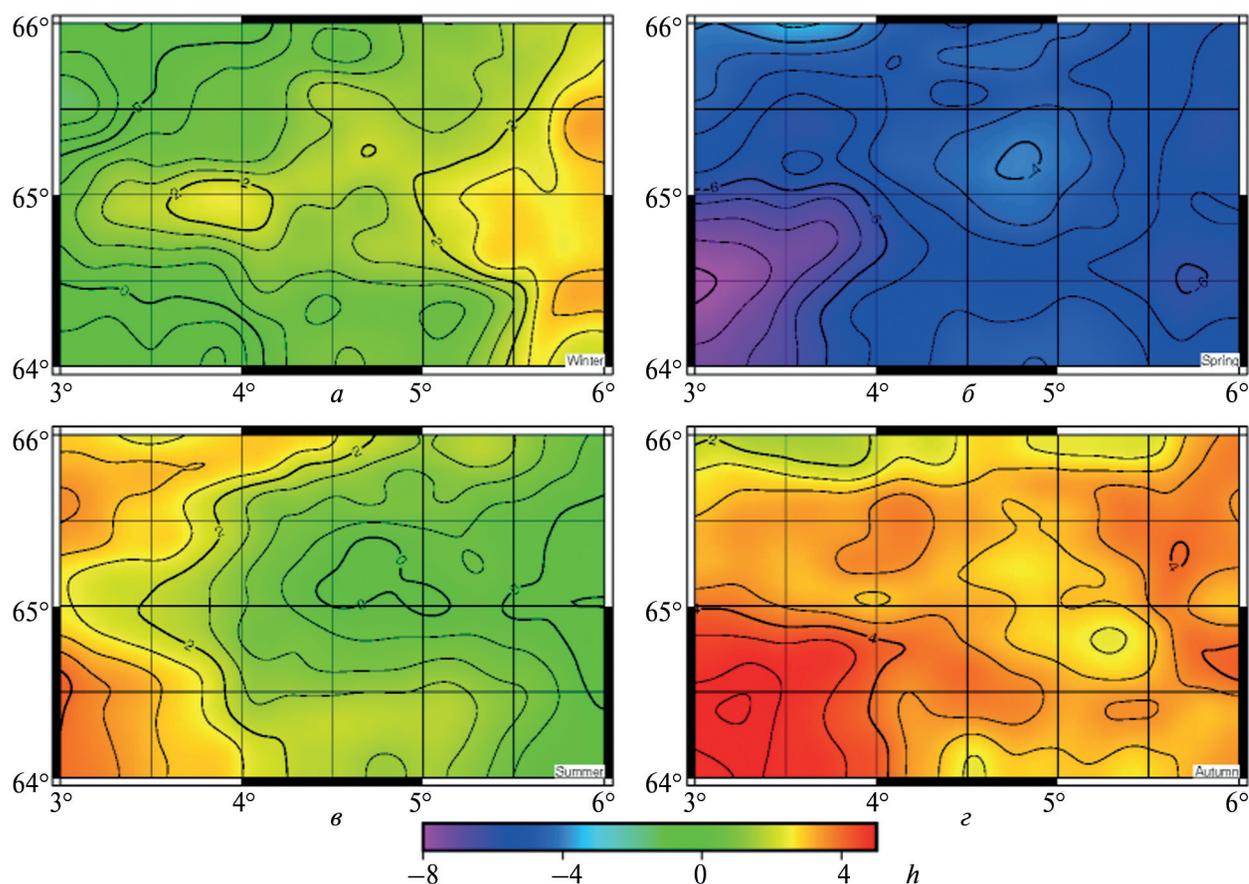


Рис. 5. Среднесезонные распределения аномалий высоты морской поверхности по данным КА TOPEX/Poseidon (см): а — зима; б — весна; в — лето; г — осень

Анализ информации, полученной на полигоне № 3

Распределение температуры поверхности океана, полученное по данным гидроакустической съёмки в регионе подспутниковой полигона № 3, показывает наличие небольших по амплитуде температуры вихревых образований с координатами центра основного вихря $2,2^\circ$ в.д., $65,3^\circ$ с.ш. и диаметром около 30–40 км (рис. 6, см. с. 214). С ростом глубины амплитуда изменения температуры и солёности возрастают (на поверхности — не более нескольких десятых долей градуса) до $0,5–0,8^\circ\text{C}$, группа циклонических и антициклонических образований становится хорошо различимой, кроме того, структуры присутствуют и на пространственном распределении концентрации хлорофилла на глубине 20 м.

Анализ распределения аномалий высоты морской поверхности показывает, что в регионе исследований присутствуют несколько циклонических и антициклонических структур с координатами центров $2,5^\circ$ в.д., $65,75^\circ$ с.ш.; 2° в.д., $65,25^\circ$ с.ш.; $2,5^\circ$ в.д., $65,25^\circ$ с.ш., а также циклонический вихрь с координатами центра $1,5^\circ$ в.д., $65,7^\circ$ с.ш.

Характер изменения физических величин от центра к периферии вихрей в целом соответствует ранее выявленным закономерностям и совпадает с общими представлениями о динамике температуры и солёности в регионе. Циклоническим образованиям соответствуют вихри с тёплой и распреснённой водными массами, антициклоническим — более холодные и солёные (см. рис. 6).

Необходимо подчеркнуть, что на распределении аномалий высоты морской поверхности удалось распознать структуры, которые хорошо различимы на распределениях гидрофизических величин, полученных для горизонта 20 м, при этом результаты гидрологической съёмки характеристик поверхности океана показывают наличие более слабой температурной аномалии (см. рис. 6). При этом распределение концентрации хлорофилла указывает и на

присутствие вихревой структуры в северо-западной области региона (как и альтиметрическое распределение), тогда как на температуре и солёности для рассматриваемого горизонта эта структура практически неразличима.

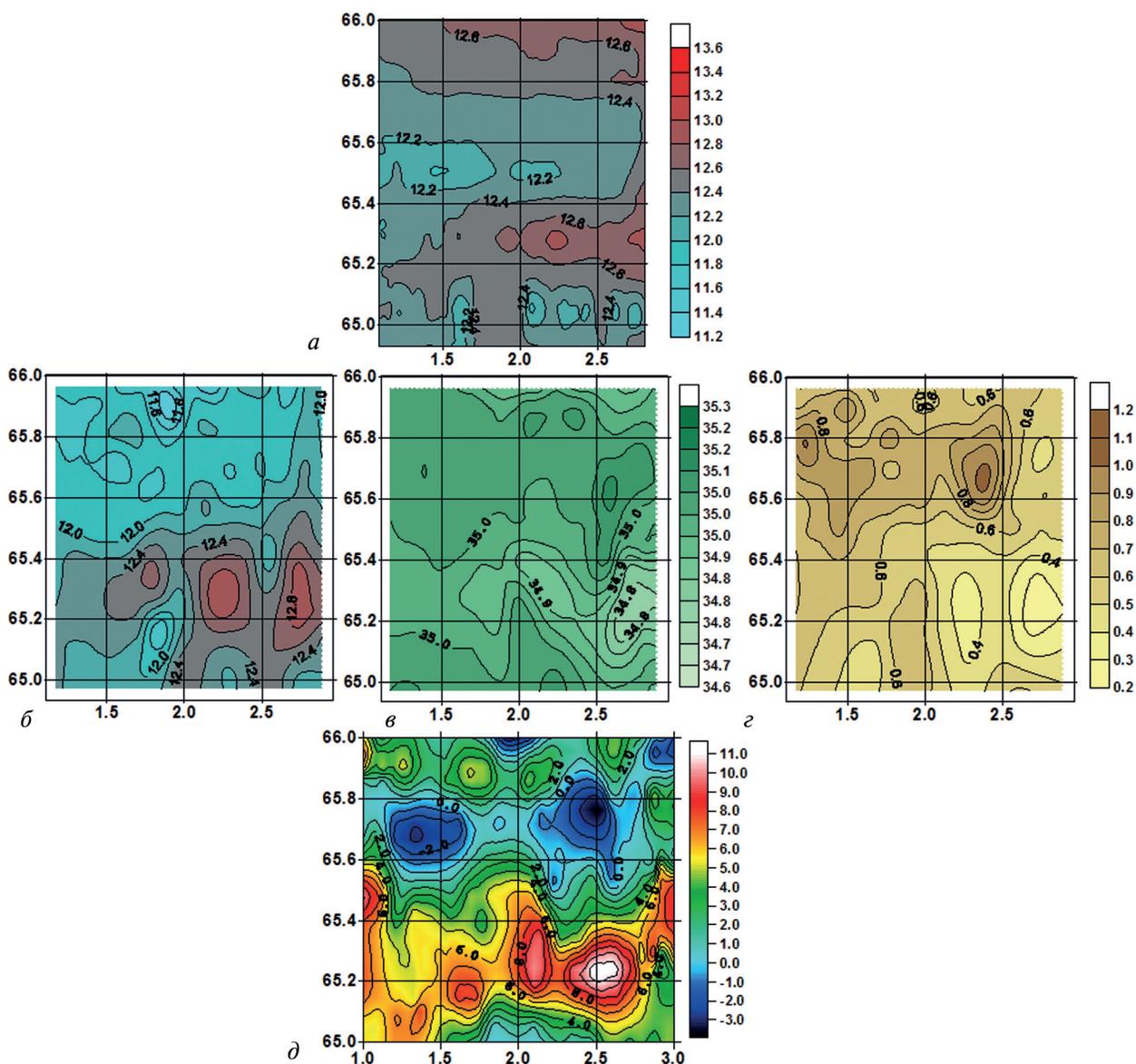


Рис. 6. Результаты комплексной съёмки на подспутниковом полигоне № 3 (23.07.1997–25.07.1997): а — температура поверхности океана (°С); распределение на горизонте 20 м: б — температуры поверхности океана (°С), в — солёности (‰), г — концентрации хлорофилла (мкг/л); д — аномалии высоты морской поверхности (см)

Заключение

В заключение следует отметить, что применение информации спутниковой альтиметрии позволило по новому интерпретировать результаты эксперимента в Норвежском море, проведённого в 1997 г., особенно в части анализа динамики и изучения мезомасштабной изменчивости исследуемой акватории на этапе микрополигонных измерений.

Впервые с момента завершения эксперимента были проанализированы результаты гидрологической съёмки на микрополигоне совместно с данными дистанционного зондирования: радиолокационной съёмкой региона и распределением высоты поверхности океана,

полученным по данным спутниковой альтиметрии. Выявленные структуры на поверхности акватории показывают общий характер наблюдаемой циркуляции как по данным спутниковых измерений, так и в результате проведённой гидрологической съёмки региона.

В результате анализа информации по подспутниковому полигону № 2 показано, что структура, регистрируемая по радиолокационным и инфракрасным данным дистанционного зондирования и подтверждаемая анализом гидроакустических съёмок (Романов, Романов, 2018а, б), отлично распознаётся по результатам проведённых гидрологических исследований. Кроме того, выявлен квазистационарный характер указанного образования, что подтверждается анализом декадной, а также месячной и сезонной изменчивости исследуемой акватории, определённым по данным полного цикла измерений КА TOPEX/Poseidon в период с 1992 по 2003 г.

В результате анализа гидрологической и альтиметрической информации по подспутниковому полигону № 3 было выявлено несколько структур циклонического и антициклонического характера. Вихревые образования хорошо прослеживаются на поверхности океана по данным спутниковой альтиметрии, однако на распределении температуры поверхности океана по данным гидрологических измерений они распознаются слабо. Анализ распределений температуры, солёности и концентрации хлорофилла, полученных по результатам гидрологической съёмки, однозначно выявляет наличие аналогичных структур (по данным спутниковой альтиметрии) в приповерхностном слое акватории на глубине 20 м.

Авторы выражают искреннюю признательность Г. В. Шевченко за неоценимую помощь при расчёте значений приливной составляющей по акватории Норвежского моря.

Литература

1. *Куницын В. Е., Романов А. А.* Восстановление карт поверхности океана методом локальной сплайн аппроксимации с хаотично расположенными узлами // Радиотехника и электроника. 2004. Т. 49. № 4. С. 466–480.
2. *Левашов Д. Е.* «Аквашатл» — следующий этап инструментального обеспечения отраслевых НИС // Рыб. хоз-во. 1999. № 6. С. 42–44.
3. *Левашов Д. Е., Сапожников В. В., Жаворонков А. И., Воронков А. П.* Анализ современного состояния зондирующей и буксируемой океанологической аппаратуры (итоги международной выставки “Oceanology International-96”) // Океанология. 1997. Т. 37. № 1. С. 155–160.
4. *Романов А. А.* Результаты научно-производственного эксперимента «Норвежское море’97» // Рыб. хоз-во. 1998. № 4. С. 33–35.
5. *Романов А. А., Романов А. А.* (2018а) Комплексный анализ данных гидрологической съёмки и информации дистанционного зондирования для оценки промысловой обстановки в акватории Норвежского моря // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 4. С. 200–213.
6. *Романов А. А., Романов А. А.* (2018б) Норвежское море – 1997: Основные результаты комплексного научно-производственного эксперимента. М.: ИКИ РАН, 2018. 311 с.
7. *Романов А. А., Сапожников В. В.* Комплексный научно-производственный эксперимент в Норвежском море с использованием космических, авиационных и судовых средств (НИС «Академик Борис Петров», 2 июля – 1 августа 1997 г.) // Океанология. 1998. Т. 38. № 3. С. 466–472.
8. *Романов А. А., Шевченко Г. В., Седаева О. С.* Сезонные колебания уровня Охотского моря по данным береговых мареографных станций и спутниковой альтиметрии // Исследование Земли из космоса. 2004. № 6. С. 59–72.
9. *Шевченко Г. В., Романов А. А.* Определение характеристик прилива в Охотском море по данным спутниковой альтиметрии // Исследование Земли из космоса. 2004. № 1. С. 49–62.
10. *Benada R.* PO.DAAC merged GDR (T/P) users handbook. Rep. JPL D-11007. Pasadena: Jet Propul. Lab., 1993. P. 111.
11. *Romanov A.* The Preliminary Results of Seatruth Experiment “NorSea’97” // Proc. 2nd Intern. Workshop on Ocean Color. Berlin. 1998. P. 125–127.

Assessment of mesoscale dynamics in the Norwegian Sea from remote sensing and hydrological survey data

A. A. Romanov, A. A. Romanov

Russian Space Systems JSC, Moscow 111250, Russia

E-mail: romanov@spacecorp.ru

A series of special surveys of ocean surface mesoscale dynamics was conducted on the basis of hydrological and remote sensing data in the framework of a complex experiment conducted in the Norwegian Sea in 1997. New information supplementing the results of the experiment was derived from TOPEX/Poseidon satellite altimetry data. According to the analysis of hydrological survey data on a micropolygon and satellite data on polygons #2 and #3, certain surface structures were revealed that could be recognized both in satellite altimetry height anomaly distribution and in synthetic aperture radar images. Complex assessment of vortex dynamics in polygon #2 taking into account decadal, monthly and seasonal distributions of sea surface height anomaly, suggests a quasistationary character of the observed structures. Analysis of the remote and contact measurements of ocean surface layer at polygon #3 allowed investigating the properties of vortices registered by satellite altimetry data that were well manifested in physical parameter distributions at the depth of 20 meters and much less so in surface distributions of temperature and salinity.

Keywords: satellite altimetry, SAR, sea surface temperature, hydrology, mesoscale structures, remote sensing, Norwegian Sea'97 experiment results

Accepted: 20.02.2019

DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-2-207-217

References

1. Kunitsyn V. E., Romanov A. A., Vosstanovlenie kart poverkhnosti okeana metodom lokal'noi spline aproksimatsii s khaotichno raspolozhennymi uzlamy (Sea surface height maps reconstruction by means of local spline approximation method with arbitrary nodes distribution), *Radiotekhnika i elektronika*, 2004, Vol. 49, No 4, pp. 466–480.
2. Levashov D. E., “AquaShuttle” — sleduyuchshii etap instrumental'nogo obespecheniya otraslevykh NIS (AquaShuttle — the next step of instrumental science vessel equipment), *Rybnoe khozyaistvo*, 1999, No. 6, pp. 42–44.
3. Levashov D. E., Sapozhnikov V. V., Zhavoronkov A. I., Voronkov A. P., Analiz sovremennogo sostoyaniya zondiruyuchshei apparatury: itogi mezhdunarodnoi vystavki “Oceanology International'96” (The analysis of the contemporary state of the science equipment: results of “Oceanology International'96” exhibition), *Okeanologiya*, 1997, Vol. 37, No. 1, pp. 155–160.
4. Romanov A. A., Resul'taty nauchno-proizvodstvennogo eksperimenta “Norvezhskoe more'97” (The results of the complex experiment “Norwegian sea'97”), *Rybnoe khozyaistvo*, 1998, No. 4, pp. 33–35.
5. Romanov A. A., Romanov A. A. (2018a), Kompleksnyi analiz dannykh gidrologicheskoi s'emki i informatsii distantsionnogo zondirovaniya dlya otsenki promyslovoi obstanovki v akvatorii Norvezhskogo morya (Assessment of fishing conditions in the marine environment of Norwegian sea through an integrated analysis of hydrological and remote sensing data), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2018, Vol. 15, No. 4, pp. 200–213.
6. Romanov A. A., Romanov A. A. (2018b), *Norvezhskoe more – 1997: Osnovnye resul'taty kompleksnogo nauchno-proizvodstvennogo eksperimenta* (“Norwegian sea – 97”: The major results of comprehensive experiment), Moscow: IKI RAN, 2018, 311 p.
7. Romanov A. A., Sapozhnikov V. V., Kompleksnyi nauchno-proizvodstvennyi eksperiment v Norvezhskom more s ispol'zovaniem kosmicheskikh, aviatsionnykh i sudovykh sredstv (NIS “Akademik Boris Petrov”, 2 iyulya – 1 avgusta 1997 g.) (Multidisciplinary scientific and practical experiment in the Norwegian sea using satellite, airborne and ship means of research), *Okeanologiya*, 1998, Vol. 38, No. 3, pp. 466–472.
8. Romanov A. A., Shevchenko G. V., Sedaeva O. S., Sezonnnye kolebaniya urovnya Okhotskogo morya po dannym beregovykh mareographnykh stantsii i sputnikovoi altimetrii, *Issledovanie Zemli iz kosmosa*

- (The seasonal variations of Okhotsk sea level on the basis of coastal gauges stations and satellite altimetry data), 2004, No. 6, pp. 59–72.
9. Shevchenko G. V., Romanov A. A., *Opređenje kharakteristik priliva v Okhotskom more po dannym sputnikovoi altimetrii* (Tide characteristics determination on the basis of satellite altimetry data in Okhotsk sea), *Issledovanie Zemli iz kosmosa*, 2004, No. 1, pp. 49–62.
 10. Benada R., *PO.DAAC merged GDR (T/P) users handbook*, Rep. JPL D-11007, Pasadena: Jet Propul. Lab., 1993, p. 111.
 11. Romanov A., The Preliminary Results of Seatruth Experiment “NorSea’97”, *Proc. 2nd Intern. Workshop on Ocean Color*, Berlin, 1998, pp. 125–127.