# Комплексный анализ данных гидрологической съёмки и информации дистанционного зондирования для оценки промысловой обстановки в акватории Норвежского моря

### А.А. Романов, А.А. Романов

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

В 1997 г. в Норвежском море впервые в мире был проведён комплексный научно-производственный эксперимент по оценке биопродуктивности акватории мирового океана с привлечением различных средств сбора океанографической и промысловой информации: научно-исследовательских и промысловых судов, специализированного самолёта-лаборатории и ряда космических аппаратов.

В работе представлены результаты комплексного анализа информации, полученной на основе «контактных» и «дистанционных» измерений. Приведён сравнительный анализ карт аномалий высоты морской поверхности и изображений радиолокатора с синтезированной апертурой, размещённого на борту KA ERS-2, и карт распределения температуры поверхности океана, рассчитанных по данным KA серии NOAA. Показано, что основные структуры, выделяемые по информации бортовых радиолокаторов с синтезированной апертурой и инфракрасного радиометра, совпадают с данными карт аномалий морской поверхности, а также подтверждаются судовыми «контактными» измерениями.

В условиях отсутствия информации о промысловой обстановке в норвежской экономической зоне проводится совместный анализ гидроакустической съёмки с борта научно-исследовательского судна, данных гидрологических характеристик поверхности и толщи водных масс исследуемой акватории и дистанционного зондирования без привлечения сведений о видовом и размерном составе промысловых объектов. Подтверждается характер поведения морских гидробионтов, концентрирующихся на периферии мезомасштабных образований.

**Ключевые слова:** спутниковая альтиметрия, радиолокация, гидрология, комплексный анализ, дистанционное зондирование океана, результаты эксперимента «Норвежское море-97», промысловая океанография

> Одобрена к печати: 01.06.2018 DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-4-200-213

#### Введение

Проблема валидации данных, получаемых различными средствами дистанционного зондирования Земли, всегда стояла перед научным сообществом и потребителями указанной информации, особенно в промысловой океанологии. Действительно, охватить морскую акваторию комплексными измерениями различных параметров поверхности и толщи воды достаточно сложно: требуется много времени и ресурсов, поскольку традиционно подобные исследования организуются при помощи научно-исследовательских судов (НИС), оборудованных специальной аппаратурой.

В этом смысле применение спутниковых или авиационных средств дистанционного зондирования мирового океана для получения карт температуры поверхности, аномалий высоты и динамики морской поверхности, распределения первичной биопродуктивности и т.д. всегда выглядело очень заманчивым, поскольку стоимость получения информации (по сравнению со стоимостью организации экспедиционных работ) является крайне низкой. Кроме того, космические аппараты позволяют получать информацию практически глобально и в режиме, близком к режиму реального времени.

При этом постоянно возникал вопрос об интерпретации полученных данных дистанционного зондирования, т.е. по переходу от дистанционно измеренных энергетических характеристик излучения водной поверхности к конкретным физическим параметрам морской среды, а следовательно, и к оценкам рыбопромысловых характеристик исследуемого региона.

Концептуально для того, чтобы провести оценку биопродуктивности океана с использованием информации дистанционного зондирования, необходимо ответить на два основных вопроса: как влияют физико-химические характеристики деятельного слоя на биологические факторы (питательные вещества, корм и собственно промысловые скопления) и каким образом эти же характеристики участвуют в формировании сигналов, регистрируемых измерительной аппаратурой, размещённой на удалённых носителях.

В попытке решения указанных вопросов в 1997 г. был проведён комплексный научнопроизводственный эксперимент «Норвежское море-97» (далее — Эксперимент), в рамках которого были осуществлены одновременные съёмки одной и той же акватории Норвежского моря при помощи различных средств зондирования: с борта научно-исследовательского судна, самолётного носителя и ряда космических аппаратов (Романов, 1998; Романов, Сапожников, 1998; Romanov, 1998).

В рамках настоящей работы обсуждаются вопросы комплексного анализа и интерпретации данных дистанционного зондирования океана совместно с контактной информацией, полученной с борта НИС, без учёта данных самолёта-лаборатории, с целью выявления общих закономерностей исследуемых параметров морской среды.

#### Краткое описание Эксперимента

Эксперимент в Норвежском море в 1997 г. проводился в два основных этапа: подготовительный и финальный. На подготовительном этапе обосновывались географические районы акватории Норвежского моря для проведения комплексных исследований на финальной части Эксперимента. По данным предварительной судовой съёмки, а также с использованием данных ДЗЗ (с космических аппаратов (КА) серии NOAA и радиолокационной съёмки с КА ERS-2) выделялись области так называемых градиентных зон (т.е. областей изменения физических параметров среды, например температуры), вихревых структур (локальных минимумов или максимумов морской поверхности) и пр., потенциально характеризующих районы повышенной биологической продуктивности.

С учётом подготовительной работы была разработана общая схема Эксперимента (*puc. 1*, см. с. 202). Для проведения финального этапа Эксперимента был выбран регион открытой части Норвежского моря (OЧHM) — так называемого «декольте» Норвежского моря. Это было обусловлено несколькими причинами. Во-первых, формирование океанографической обстановки в данном регионе определяло в конечном итоге поведение промысловых скоплений скумбрии: она могла выходить либо в открытую часть Норвежского моря, либо в исключительную экономическую зону Норвегии. Развитие такой обстановки определяется поведением двух мощнейших течений, также сходящихся в данной части Норвежского моря: Полярного и Северо-Атлантического. В зависимости от преобладания того или другого и возникала благоприятная либо неблагоприятная ситуация с промыслом скумбрии в ОЧНМ.

Финальный этап Эксперимента включал проведение исследовательской океанографической съёмки с использованием контактных измерительных средств НИС «Академик Борис Петров», оснащённого буксируемым измерителем температуры и солёности AquaShuttle (Левашов, 1999), погружаемым СТD-зондом Neil Brown (Левашов и др., 1997), аппаратурой для осуществления гидроакустической съёмки SIMRAD (Левашов и др., 1997) и некоторыми другими приборами, информация от которых не рассматривается в рамках данной работы.

Кроме того, одновременно с традиционной океанографической съёмкой акватории Норвежского моря осуществлялось зондирование региона с борта KA: радиометром AVHRR спутников NOAA-12 и 14 для получения карт температуры поверхности океана; радиолокатором с синтезированной апертурой спутника ERS-2 — для карт структуры волнения и динамики поверхности океана, а также альтиметром KA Topex/Poseidon для получения карт аномалий высоты морской поверхности.



*Рис. 1.* Схема проведения Эксперимента. Курс НИС «Академик Борис Петров» на этапе непрерывного зондирования буксируемым прибором. Многоугольниками с номерами обозначены регионы съёмок космическим аппаратом ERS-2. Чёрные точки — позиции глубоководных гидрологических станций

Вся собранная информация (как «контактная», т.е. полученная с борта НИС, так и «дистанционная», принятая с борта КА) обрабатывалась до получения значений соответствующих физических величин с целью составления промыслового прогноза на последующие сутки, которые с минимальной задержкой доводились капитанам судов рыболовного флота, осуществлявшего непосредственный промысел скумбрии в указанном регионе исследований.

#### Обработка данных дистанционного зондирования

Для использования в последующем совместном анализе информации сохранялись все изображения с КА серии NOAA, которые соответствовали выбранным полигонам в акватории Норвежского моря. Приём данных осуществлялся на приёмной станции ИКИ РАН. Полученная информация проходила необходимую предобработку и переводилась в географическую проекцию, а затем калибровалась в терминах радиационной температуры (Kondranin et al., 1997; Romanov et al., 2001). Изображения NOAA географически привязывались и обрабатывались с помощью программного обеспечения Erdas Imagine (Романов, Матвеев, 1998). Обработка состояла в идентификации тех участков изображения, на которых наблюдалась поверхность океана, не покрытая облаками. Методика обработки изображений КА NOAA представлена в работах (Kondranin et al., 1997; Romanov et al., 2001).

Изображения с ERS-2 (Litovchenko et al., 1998a, b, 1999) изначально предоставлялись в виде файлов в трёх вариантах: с размером пиксела 100 м (основной формат данных), с размером пиксела 200 м и географической координатной сеткой для предварительного визуального анализа.

Для интерпретации в среде Erdas Imagine производилась географическая привязка радиолокационных изображений и их обработка, включавшая устранение поперечного тренда, связанного с вариациями угла падения, повышение контраста и сглаживание скользящим окном. Две последних операции позволяли подчеркнуть слабоконтрастные мезомасштабные образования на поверхности акватории. Поперечный тренд устранялся по кривой, получаемой из реальных значений изображения путём осреднения значений яркости в каждом столбце дальности по всем строкам азимута (Litovchenko et al., 1998a, b, 1999).

Восстановление карт аномалий высоты морской поверхности осуществлялось по данным альтиметра космического аппарата Topex/Poseidon, предоставленным центром PO.DAAC (https://podaac.jpl.nasa.gov). Расчёт значений физической величины осуществлялся при помощи стандартной методики, представленной в работе (Benada, 1993), за исключением применения приливной поправки.

База данных MGDR-В содержит значения приливных поправок, рассчитанных по моделям CSR 3,0 (Eanes, Bettadpur, 1995) и FES 95,2 (Le Provost et al., 1995). В соответствии с результатами исследований (Романов и др., 2004; Шевченко, Романов, 2004) для дальневосточного региона Российской Федерации можно сделать вывод, что эти модели не всегда дают адекватные реальности значения приливной составляющей, особенно в прибрежных регионах мирового океана.

Поэтому при расчётах карт аномалий высоты поверхности океана в Норвежском море использовалась методика, представленная в работах (Романов и др., 2004; Шевченко, Романов, 2004), где используется механизм непосредственного устранения величин приливных составляющих из альтиметрических измерений. Для применения указанного подхода была создана специализированная база данных измерений КА Topex/Poseidon.

С учётом общей ситуации с облачностью над подспутниковыми полигонами, а также прочих доступных данных ДЗЗ в комплексном анализе использовались радиолокационные изображения KA ERS-2 за 19 и 22 июля 1997 г., изображение с KA NOAA от 25 июля 1997 г. и карты аномалий морской поверхности, построенные за периоды 14–24, 17–27 и 20–30 июля 1997 г.

## Описание данных Д33 по региону исследований

На *рис. 2* и *3* (см. с. 204) представлены изображения с КА ERS-2 за 19 и 22 июля 1997 г. Ситуация 19 июля 1997 г. достаточно благоприятна для осуществления съёмки. Здесь, однако, имеет место сильный тренд дисперсии радиолокационного сигнала по дальности — в дальней зоне контрасты значительно ниже, чем в ближней. Просматриваются отдельные фрагменты структуры течений и вихревых образований, например в регионе  $64^{\circ}30'-65^{\circ}30'$  с. ш. и  $4^{\circ}00'-4^{\circ}30'$  в.д. Средний уровень радиолокационного сигнала составляет -10...15 дБ (Litovchenko et al., 1999).

С учётом неблагоприятной ветровой обстановки практически вся левая часть радиолокационного изображения от 22 июля 1997 г. недоступна для анализа. Тем не менее на *рис. 3* можно чётко выделить вихревую структуру в регионе с координатами  $65^{\circ}-65^{\circ}30'$  с. ш. и  $3^{\circ}30'-4^{\circ}30'$  в.д. Изображение от 22 июля 1997 г. характеризуется наибольшими контрастами, которые достигают 10 дБ при очень низком среднем уровне (около 20 дБ) (Litovchenko et al., 1999). На *рис. 3* легко наблюдается ветровой фронт, расположенный примерно вдоль 4° в.д. К западу от фронта имеют место штилевые условия, при которых радиолокационный сигнал, а следовательно, и его контрасты практически полностью отсутствуют (Litovchenko et al., 1999).

На *рис.* 4 представлен фрагмент изображения открытой поверхности воды за 25 июля 1997 г. (4-й канал NOAA). К сожалению, наибольшая часть изображения была закрыта облаками, но отдельные фрагменты оказались доступными для анализа. На *рис.* 4 видны вихревые образования в структуре пространственного распределения температуры поверхности, по местоположению совпадающие с рингом, представленным на *рис.* 3.



Рис. 2. Изображение водной поверхности с КА ERS-2 (19.07.1997)









#### Данные об аномалиях высоты морской поверхности в регионе исследований

КА Topex/Poseidon был запущен в 1992 г. На сегодняшний момент можно говорить о том, что именно с запуском этого аппарата началась новая эра в исследованиях динамики океана. Информация альтиметра, размещённого на этом и последующих космических аппаратах (серия KA Jason, Envisat, Sentinel-3), активно использовалась и продолжает применяться в различных исследованиях на протяжении последних 30 лет.

Альтиметр — это активный прибор, излучающий импульс в надир и измеряющий время между ушедшим и отражённым от водной поверхности сигналом. По измерениям времени восстанавливается значение высоты над уровнем океана (Шевченко, Романов, 2008). В настоящее время разрабатываются более сложные приборы для получения «альтиметрических изображений», т. е. двумерных массивов информации наподобие традиционных данных ДЗЗ, в которых в каждом элементе двумерной сцены будет содержаться информация о высоте водной поверхности (https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/s/swot).

Также как и изображения радиолокаторов, информация альтиметров не зависит от наличия облачности в подспутниковых областях и может быть получена в любое время дня или ночи. Однако есть определённые отличия от традиционных данных дистанционного зондирования поверхности.

Информация с альтиметра КА Topex/Poseidon представляет собой измерения высоты морской поверхности в точках вдоль траектории движения космического аппарата с дискретностью примерно 7 км (или 1 с). КА повторяет траекторию своего движения с периодом примерно 10 сут, соответственно, максимальное покрытие любого региона альтиметрической информацией достигается за этот интервал времени (Benada, 1993).

Для восстановления распределения высоты морской поверхности необходимо осуществлять дополнительную обработку информации: проводить аппроксимацию данных или ассимилировать информацию в различные динамические модели океана. В рамках текущего исследования использовалась методика восстановления мезомасштабной изменчивости поверхности океана, представленная в работе (Куницын, Романов, 2004).

На *рис.* 5–7 (см. с. 206) приведены пространственные распределения аномалий высоты поверхности океана за периоды 14–24, 17–27 и 20–30 июля 1997 г. Центральная дата каждой декады совпадает с датой прочей информации ДЗЗ, доступной для анализа: 19.07.1997 и 22.07.1997 — изображения с КА ERS-2; 25.07.1997 — изображение с КА NOAA.

При анализе изображений видно, что на них отчётливо различаются группы циклонических и антициклонических образований, а также их эволюция во времени. На *рис. 5* на севере и северо-западе региона исследований наблюдаются антициклонические образования мезомасштабного характера, преобразующиеся в несколько вихрей (*рис. 6* и 7).

Наибольший интерес для анализа представляет группа циклонических образований в регионе с центром 65° с. ш. и 4° в. д. На *рис. 5* в период с 14 по 24 июля 1997 г. эта группа вихрей имеет достаточно небольшую амплитуду с минимальным значением аномалии высоты уровня порядка —4 см. Указанные образования, по всей видимости, поддерживаются более мощным циклоническим рингом с минимальной аномалией на уровне —8 см.

С течением времени, с 17 по 27 июля 1997 г. (см. *рис. 6*), в указанной области начинает формироваться сначала относительно слабая (аномалия поверхности –3 см), а затем, с 20 по 30 июля 1997 г. (см. *рис. 7*), — большая по скоростям течений циклоническая мезомасштабная структура, которая достигает в диаметре порядка 100 км и аномалии поверхности около –10 см.

Антициклонические структуры, имеющие в начале исследуемого периода максимальные значения аномалий +12 см (см. *рис. 5*) и диаметр порядка 100 км, наоборот, ослабевают, распадаясь на менее обширные образования с амплитудами +10 см (см. *рис. 6*) и 8 см (см. *рис. 7*). Размер антициклонических рингов к концу исследуемого периода в регионе не превышал 25-40 км.



Рис. 5. Аномалии морской поверхности по данным спутника Topex/Poseidon (14.07.1997–24.07.1997)



Рис. 6. Аномалии морской поверхности по данным спутника Topex/Poseidon (17.07.1997–27.07.1997)



Рис. 7. Аномалии морской поверхности по данным спутника Topex/Poseidon (20.07.1997–30.07.1997)

# Совместный анализ информации в интересах исследований промысловой обстановки

Как было уже отмечено выше, к сожалению, метеорологическая обстановка далеко не всегда была благоприятной для проведения Эксперимента, особенно в части получения и интерпретации информации дистанционного зондирования в инфракрасном диапазоне (Романов, 1998; Романов, Сапожников, 1998; Romanov, 1998). Комплексный анализ «дистанционной» и «контактной» информации проводился с учётом доступных изображений морской поверхности.

На *рис. 8* (см. с. 208) представлено изображение КА ERS-2 с наложенными изолиниями карты аномалий морской поверхности, полученными по информации с КА Topex/Poseidon. Как обсуждалось в предыдущих разделах, на изображениях радиолокатора и картах спутни-ковой альтиметрии отчётливо наблюдаются вихревые структуры, представляющие интерес в том числе с точки зрения промысловой океанологии. Естественно, крайне интересно со-поставить полученную информацию из различных источников, которая в идеальном случае должна неплохо совпадать, т.е. местоположение и размеры вихревых образований должны быть примерно одинаковыми на всех изучаемых картах.

Анализ изображения показывает, что выявленные структуры действительно неплохо совпадают. Так, вихревые образования, видимые на снимке с KA ERS-2 с координатами центра  $65^{\circ}15'$  с. ш. и  $4^{\circ}15'$  в. д., а также  $64^{\circ}30'$  с. ш. и  $4^{\circ}30'$  в. д., представлены и на карте аномалий высоты поверхности океана (см. *рис.* 5). На альтиметрической реконструкции наблюдается целый комплекс циклонических образований в южной и центральной частях исследуемого региона. Однако координаты центров вихрей несколько (около 15') отличаются от рингов, регистрируемых радиолокатором.

По всей видимости, группа циклонических рингов начинает формировать более крупное образование, а поскольку карта аномалий поверхности формируется из альтиметрических данных, набирающихся в исследуемом регионе в течении 10 сут, местоположение активно меняющихся образований на «мгновенной» съёмке радиолокатором и на реконструируемой карте аномалий морской поверхности могут немного различаться.

В пользу высказанного предположения свидетельствуют изображения на *puc. 9* и *10* (см. с. 208). На *puc. 9* представлено сравнение снимка ERS-2 на 22.07.1997 и соответствующего распределения аномалий морской поверхности. По всей видимости, циклонический ринг в этот момент уже полностью сформировался и стабилизировался, поскольку и на радиолокационном изображении, и на 10-дневной карте топографии поверхности совпадают не только координаты центров, но и формы объектов (вихрь с координатами 65°15' с. ш. и 4°15' в.д.).

Кроме того, на карте распределения ТПО с космического аппарата NOAA за 25.07.1997 (см. *рис. 4*) циклонический ринг находится практически на том же самом месте (сместился на 15' на север); аналогичная картина наблюдается и на соответствующей 10-дневной карте аномалий высоты поверхности океана (см. *рис. 7* и *10*). При этом изолинии аномалий высоты морской поверхности точно повторяют форму вихревого образования, регистрируемого на карте температуры.

К сожалению, технологические возможности по передаче информации в 1997 г. не позволяли достаточно оперативно передавать изображения радиолокатора непосредственно на борт НИС для обеспечения информационной поддержки Эксперимента и оперативного управления «контактной» съёмкой. Тем не менее с использованием результатов предварительной части Эксперимента было проведено несколько пробных тралений на акватории подспутникового полигона, результаты которых представлены на *рис. 11* и *12* (см. с. 209).

Было сделано два гидрологических разреза при помощи буксируемого измерителя температуры и солёности в толщи воды AquaShuttle. На подспутниковом полигоне № 2 НИС работало вдоль 3°48′ в.д. и 3°22′ в.д., с 65°30′ до 66° с.ш. и с 65°16′ до 66° с.ш. соответственно.

Первый разрез захватывает циклоническую структуру, к сожалению, только в самом начале. Однако на *puc. 11* явно различается вертикальная структура вихря, видны аномалии температуры (до 12 °C) и распреснённые водные массы (до 34,65 ‰), соответствующие подобному образованию.

Второй разрез прошёл несколько западнее местоположения изучаемого циклонического образования. Тем не менее северная часть разреза попала в градиентную зону между циклоническим и антициклоническим образованиями (см. *рис.* 6 и 9).



*Рис. 8.* Сравнение изображения водной поверхности с КА ERS-2 (19.07.1997) и аномалий высоты морской поверхности по данным спутника Topex/Poseidon (изолинии)



*Рис. 9.* Сравнение изображения водной поверхности с КА ERS-2 (22.07.1997) и аномалий высоты морской поверхности по данным спутника Topex/Poseidon (изолинии)



*Рис. 10.* Сравнение карты температуры поверхности океана по данным КА NOAA (25.07.1997) и аномалий высоты морской поверхности по данным спутника Topex/Poseidon (изолинии)



*Рис. 11.* Вертикальное распределение температуры (*вверху*) и солёности (*внизу*) на разрезе вдоль 3°48′ в.д. Подспутниковый полигон № 2, 21.07.1997–23.07.1997



*Рис. 12.* Вертикальное распределение температуры (*вверху*) и солёности (*внизу*) на разрезе вдоль 3°22′ в.д. Подспутниковый полигон № 2, 21.07.1997–23.07.1997





На *рис. 12* явным образом прослеживается распределение температуры и солёности, характерные для циклонических образований. Аналогично предыдущему случаю температура воды достигает 12,5 °C, тогда как солёность падает до 34,7 ‰.

К сожалению, поскольку выявленные структуры находились в пределах норвежской исключительной экономической зоны, российские суда не могли вести реальных промысловых работ в указанном регионе. Следовательно, промысловая статистика от российского флота по определению в этом регионе не доступна. Однако одновременно с гидрологическими исследованиями на подспутниковом полигоне № 2 проводилась и гидроакустическая съёмка с целью качественной оценки биологических запасов в регионе исследований.

На *рис. 13* представлено пространственное распределение индекса плотности скоплений скумбрии. Анализ изображения показывает, что максимальные скопления скумбрии наблюдаются в южной и западной частях полигона. Максимум плотности на юге региона с индексом свыше 30 точно соответствует местоположению циклонического ринга, регистрируемого по данным «дистанционной» и «контактной» съёмок, что вполне укладывается в современные представления о принципах промысла скумбрии. В северном полушарии питательные вещества имеют тенденцию концентрироваться на периферии циклонических круговоротов (где наблюдается отток воды от центра к периферии благодаря действию силы Кориолиса) (Романов, 1998; Романов, Сапожников, 1998; Romanov, 1998).

Скопления в центральной и западной областях региона с индексами плотности 20-30 также не выбиваются из привычной картины, поскольку соответствуют антициклоническим образованиям, наблюдаемым на *рис.* 5-7. В северном полушарии питательные вещества концентрируются в центре антициклонических круговоротов (где по той же причине вода стремится от периферии к центру) (Романов, 1998; Романов, Сапожников, 1998; Romanov, 1998).

#### Заключение

В Норвежском море в 1997 г. был проведён научно-промысловый эксперимент с применением различных способов получения информации о состоянии поверхности и толщи водных масс в исследуемом регионе: с научно-исследовательского судна, с борта самолёта и космических аппаратов в различных спектральных диапазонах.

В регионе исследований по данным спутникового зондирования и восстановленным картам аномалий морской поверхности был выявлен ряд образований, представляющих собой циклонические и антициклонические структуры на поверхности океана.

Сравнительный анализ информации, полученной как с борта космических аппаратов, так и научно-исследовательского судна, показал хорошее соответствие между зарегистрированными рингами, что подразумевает возможность предположения общности наблюдаемых эффектов и использования информации для изучения промысловой обстановки в регионе. Комплексный анализ полученной информации в целом подтвердил существующие закономерности промысла морских гидробионтов в Норвежском море. Действительно, основные скопления скумбрии наблюдаются в областях повышенной динамики поверхности и толщи океана — циклонических и антициклонических вихревых образованиях, которые обеспечивают концентрацию основной кормовой базы.

Несмотря на оценочный характер проведённых гидроакустических исследований, в рамках которых не представлялось возможным оценить видовой и размерный состав особей скумбрии ввиду отсутствия возможности проведения контрольных тралений, выявленные эффекты, бесспорно, требуют дальнейшего тщательного изучения и подтверждения в будущих исследованиях.

Отработанные в рамках комплексного научно-производственного эксперимента «Норвежское море-97» методы и подходы комплексной обработки и анализа информации легли в основу работ по созданию отраслевой системы мониторинга водных биоресурсов и промыслового флота Росрыболовства Российской Федерации (Романов, 2004; Романов и др., 1997).

Авторы выражают искреннюю признательность Г.В. Шевченко за неоценимую помощь при расчёте значений приливной составляющей по акватории Норвежского моря, а также Г.А. Кантакову за дискуссии во время подготовки материалов статьи.

#### 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 // Рыбное хозяйство. 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» // Рыбное хозяйство. 1998. № 4. С. 33–35.
- Романов А.А. Использование новых информационных технологий в отраслевой системе мониторинга Госкомрыболовства России // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2004. Т. 1. С. 17–32.
- 6. *Романов А.А., Матвеев С.В.* Программные пакеты Erdas Imagine и ArcView GIS 3.0 в отраслевом научно-производственном эксперименте «Норвежское море-97» // ArcReview. Современные гео-информационные технологии. 1998. № 2(5). С. 2.
- 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.
- Романов А.А., Родин А. В., Мишкин В. М. Концепция отраслевой Службы спутникового научно-производственного мониторинга промысловых районов Мирового океана // Дистанционные методы мониторинга промысловых районов Мирового океана в задачах информационной поддержки отраслевой научно-производственной деятельности: сб. науч. тр. / Под ред. А.А. Романова. М.: ВНИРО, 1997. С. 7–33.
- 9. *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.
- 10. 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.
- 11. Шевченко Г.В., Романов А.А. Определение параметров суточных приливных шельфовых волн в районе Северных Курильских островов по данным спутниковой альтиметрии // Исследование Земли из космоса. 2008. № 3. С. 76–87.
- 12. *Benada R*. PO.DAAC merged GDR (T/P) users handbook. Rep. JPL D-11007. Pasadena: Jet Propul. Lab., 1993. p. 111.

- 13. *Eanes R., Bettadpur S.* The CSR 3.0 Global Ocean Tide Model. Technical memorandum CSR-TM-95-06. 1995.
- Kondranin T., Romanov A., Vasilkov A., Sherbakov A. Remote control of the nature waters with use of space optoelectronic systems // Proc. SPIE 3<sup>rd</sup> Conf. Photonic Systems for Ecological Monitoring. Prague. 1997. P. 13–18.
- 15. *Le Provost C., Bennett A., Cartwright D.* Ocean tides for and from TOPEX/POSEIDON // Science. 1995. V. 267. P. 639–642.
- Litovchenko K., Romanov A., Zaitsev V. (1998a) Studies of Correlation Between Ocean Current Features and Biological Productivity Using Space Remote Sensing Methods // Proc. PORSEC'98. Qindao. 1998. P. 466–469.
- 17. *Litovchenko K., Romanov A., Zaitsev V.* (1998b) Radar Signatures of Norwegian Current Hydrological Features // Proc. 27<sup>th</sup> Intern. Symp. Remote Sensing of Environment. Tromse. 1998. P. 155–158.
- 18. *Litovchenko K., Romanov A., Zaitsev V.* Remote Sensing of Eddies in Norwegian Sea // Proc. IGARSS'99. Hamburg. 1999. P. 2536–2538.
- 19. *Romanov A*. The Preliminary Results of Seatruth Experiment "NorSea'97" // Proc. 2<sup>nd</sup> Intern. Workshop on Ocean Color. Berlin. 1998. P. 125–127.
- 20. *Romanov A., Matveev S., Fefilov Y., Romanov A.* Fisheries Application of Multi-sensor Remote Sensing Data // Proc. IGARSS'2001. Sydney. 2001. P. 1134–1136.

## Assessment of fishing conditions in the marine environment of the Norwegian Sea through an integrated analysis of hydrological and remote sensing data

#### A.A. Romanov, A.A. Romanov

Russian Space Systems JSC, Moscow 111250, Russia E-mail: romulas@mail.ru

Back to 1997, for the first time ever, an experiment to assess the biological productivity of the marine environment in the area of the Norwegian Sea using various means of data gathering including space-crafts, fishery vessels and specially equipped aircraft was carried out.

The results of the analysis presented in this article were obtained using "remote" and "close-up, contact-associated" measurements. The comparative analysis of sea surface height map anomalies, synthetic aperture radar images from ERS-2 satellite and sea surface temperature maps derived from NOAA satellites data is presented. It was shown that the major structures at the sea surface seen in synthetic aperture radar images match with those found in sea surface height anomaly maps and further corroborated by ship's contact-associated data.

The lack of information on fishing conditions in the Norwegian economic zone prompted an experiment to integrally analyze hydro acoustic survey data, hydrological characteristics of marine environment and remote sensing information (with no use of information on type and size of fishing grounds) in the region of interest. The character of the hydrocoles' behavior concentrated at the edges of the mesoscale formations was confirmed as a result of this analysis.

**Keywords:** satellite altimetry, SAR, sea surface temperature, hydrology, comprehensive analysis, remote sensing, "Norwegian Sea'97" experiment results, commercial fishing oceanography

Accepted: 01.06.2018 DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-4-200-213

#### References

1. Kunitsyn V.E., Romanov A.A., Vosstanovlenie kart poverkhnosti okeana metodom lokal'noi splain approksimatsii s khaotichno raspolozhennymi uzlami (Sea surface height maps reconstruction by means of local spline approximation method with arbitrary nodes distribution), *Radiotechnika i electronika*, 2004, Vol. 49, No. 4, pp. 466–480.

- Levashov D. E., "AquaShuttle" sleduyuchshii etap instrumental'nogo obespecheniya otraslevykh NIS (AquaShuttle — the next step of instrumental science vessel equipment), *Rybnoe hozyaistvo*, 1999, No. 6, pp. 42–44.
- Levashov D. E., Sapozhnikov V. V., Zhavoronkov A. I., Voronkov A. P., Analis sovremennogo sostoyaniyam 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 hozyaistvo*, 1998, No. 4, pp. 33–35.
- 5. Romanov A.A., Ispol'zovanie novykh informatsuionnykh tekhnologii v otraslevoi sisteme monitoringa Goskomrybolovstva Rossii (New technologies utilization in brunch monitoring system of Fishery Committee in Russia), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2004, Vol. 1, pp. 17–32.
- 6. Romanov A.A., Matveev S.V., Programmnye pakety Erdas Imagine i ArcView GIS 3.0 v otraslevom nauchno-proizvodstvennom eksperimente "Norvezhskoe more'97" (Erdas Imagine and ArcView GIS software packages in complex experiment "Norwegian sea'97"), *ArcReview. Sovremennye geoinformatsionnye tekhnologii*, 1998, Vol. 5, No. 2, p. 2.
- Romanov A.A., Sapozhnikov V.V., Kompleksnyi nauchno-proizvodstvennii eksperiment v Norvezhskom more s ispol'zovaniem kosmicheskikh, aviatsionnykh i sudovykh sredstv (NIS "Akademic Boris Petrov", 02/07/1997 – 01/08/1997) (Complex science experiment in Norwegian sea using space-, vessel- and airplain- based sensors), *Okeanologiya*, 1998, Vol. 38, No. 3, pp. 466–472.
- 8. Romanov A.A., Rodin A.V., Mishkin V.M., *Kontseptsiya otraslevoi sluzhby sputnikovogo nauchno-proiz-vodstvennogo monitoringa promyslovykh raionov Mirovogo okeana* (The concept of the brunch satellite ocean monitoring service), Moscow: Nauka, 1997, pp. 7–33.
- 9. Romanov A.A., Shevchenko G.V., Sedaeva O.S., Sezonnye kolebaniya urovnya Okhotskogo morya po dannym beregovykh mareographnykh stantsii i sputnikovoi altimetrii (The seasonal variations of Okhotsk sea level on the basis of coastal gauges stations and satellite altimetry data), *Issledovanie Zemli iz kosmosa*, 2004, No. 6, pp. 59–72.
- 10. Shevchenko G. V., Romanov A. A., Opredelenie 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.
- 11. Shevchenko G.V., Romanov A.A., Opredelenie parametrov sutochnykh pril'ivnykh shel'phovykh voln v raione Severnykh Kuril'skikh ostrovov po dannym sputnikovoi al'timetrii (The characteristics of the diurnal coastal tidal waves determination by satellite altimetry), *Issledovanie Zemli iz kosmosa*, 2008, No. 3, pp. 76–87.
- 12. Benada R., *PO.DAAC merged GDR* (*T*/*P*) users handbook, Rep. JPL D-11007, Pasadena: Jet Propul. Lab., 1993, p. 111.
- 13. Eanes R., Bettadpur S., *The CSR 3.0 Global Ocean Tide Model*, Technical memorandum CSR-TM-95-06, 1995.
- Kondranin T., Romanov A., Vasilkov A., Sherbakov A., Remote control of the nature waters with use of space optoelectronic systems, *Proc. SPIE 3<sup>rd</sup> Conf. Photonic Systems for Ecological Monitoring*, Prague, 1997, pp. 13–18.
- 15. Le Provost C., Bennett A., Cartwright D., Ocean tides for and from TOPEX/POSEIDON, *Science*, 1995, Vol. 267, pp. 639–642.
- Litovchenko K., Romanov A., Zaitsev V., Studies of Correlation Between Ocean Current Features and Biological Productivity Using Space Remote Sensing Methods, *Proc. PORSEC'98*, Qindao, 1998, pp. 466–469.
- 17. Litovchenko K., Romanov A., Zaitsev V., Radar Signatures of Norwegian Current Hydrological Features, *Proc.* 27<sup>th</sup> Intern. Symp. Remote Sensing of Environment, Tromse, 1998, pp. 155–158.
- Litovchenko K., Romanov A., Zaitsev V., Remote Sensing of Eddies in Norwegian Sea, *Proc. IGARSS'99*, Hamburg, 1999, pp. 2536–2538.
- 19. Romanov A., The Preliminary Results of Seatruth Experiment "NorSea'97", *Proc. 2<sup>nd</sup> Intern. Workshop on Ocean Color*, Berlin, 1998, pp. 125–127.
- 20. Romanov A., Matveev S., Fefilov Y., Romanov A., Fisheries Application of Multi-sensor Remote Sensing Data, *Proc. IGARSS'2001*, Sydney, 2001, pp. 1134–1136.