

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ
НАУЧНЫЙ ЦЕНТР
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**

**Научный совет по проблемам
фундаментальной и прикладной
гидрофизики**



№ 3 (5)

2009

**Сборник научных трудов
Издается с 2008 года**

СОДЕРЖАНИЕ

Статьи

<i>Чаликов Д.В.</i> Статистика экстремальных ветровых волн	4
<i>Малинин В.Н., Шевчук О.И.</i> О прогнозе сезонного хода уровня Мирового океана	25
<i>Волженский М.Н., Родионов А.А., Семенов Е.В., Филатов Н.Н., Зимин А.В., Булатов М.Б.</i> Опыт верификации оперативной модели для мониторинга гидрофизических полей Белого моря в 2004-2008 гг.	33
<i>Белов Б.П.</i> Образование турбулентного шума на носовой антенне подводного аппарата	42

Факты и гипотезы

<i>Диденкулова И.И., Пелиновский Е.Н.</i> Цунамиподобные явления в российских внутренних водоемах	52
Поздравляем!	65
Из истории науки	69
Хроника	72
Внимание, конкурс!	75
Правила представления материалов в редакцию	77

CONTENTS

Articles

<i>Chalikov D.V.</i> Statistics of Extreme Wind Waves.....	4
--	---

This paper describes the results of more than 4,000 long-term (up to thousands of peak-wave periods) numerical simulations of nonlinear gravity surface waves performed for investigation of properties and estimation of statistics of extreme («freak») waves. The method of solution of 2-D potential wave's equations based on conformal mapping is applied to the simulation of wave behavior assigned by different initial conditions, defined by JONSWAP and Pierson-Moskowitz spectra. It is shown that nonlinear wave evolution sometimes results in appearance of very big waves. There are no predictors for appearance of extreme waves, however, a height of dimensional waves is proportional to a significant wave height. The initial generation of extreme waves can occur simply as a result of group effects, but in some cases the largest wave suddenly starts to grow. It is followed sometimes by a strong concentration of wave energy around a peak vertical. It is taking place throughout several peak wave periods. It happens to an individual wave in a physical space, no energy exchange with surrounding waves taking place. Probability function for steep waves has been constructed. Such a function can be used for development of operational forecast of freak waves based on a standard forecast.

Key words: surface waves, extreme waves, freak waves.

<i>Malinin V.N., Shevchuk O.I.</i> About Forecast of Seasonal Variations of the Global Sea Level.....	25
---	----

Regularities of seasonal variations of the Global Sea Level (GSL) based on satellite altimeter data for the years 1993–2008 are discussed. Two prediction models of GSL seasonal variations are offered: a deterministic model as the sum of the trend and GSL annual harmonic and an adaptive model of linear increase with additive seasonality. Considered are the results of testing and experiment forecasts of monthly averaged GSL values based on independent data for 2005–2008 period. It is shown that by 2013 GSL may increase 13–14 mm compared to the one in 2009.

Key words: level, altimetry, forecast, adaptive analysis, trends.

<i>Volzhenskij M.N., Rodionov A.A., Semenov E.V., Filatov N.N., Zimin A.V., Bulatov M.B.</i> Experience of Verification of Operative Model of Monitoring of the White Sea in 2004–2008.....	33
---	----

The decision of global operative model of the White sea is compared to ship measurements, the satellite data and level fluctuations at hydrometeorological station "Solovki". The conclusion about satisfactory work of model becomes.

Key words: White sea, system of operative monitoring, temperature, salinity.

<i>Belov B.P.</i> Turbulent Noise on the Submerged Vehicle Nose Antenna	42
---	----

Representations about the mechanism of noise formation in the forward part of the underwater vehicle are considered and an attempt to consider elastic properties of the forward part of the case is accepted by use of model of a wedge. The conclusion about boundary layer thickness pulsations in a zone of laminar-turbulent transition as to the most probable reason for the formation of turbulent noise in a forward part is done.

Key words: antenna, laminar-turbulent transition, noise spectra, wedge diffraction, Green function, boundary impedance noise sources of monopole and dipole types.

Facts and Hypotheses

<i>Didenkulova I.I., Pelinovsky E.N.</i> Tsunami-like Events in Russian Inland Waters	52
---	----

Descriptions and manifestations of tsunami-like events in Russian inland waters (lakes, rivers and water reservoirs) are collected and analyzed. For the time period of 400 years nine such events are found, whereof descriptions of seven events can be categorized as reliable. Data analysis confirms the possibility of tsunami wave generation in all types of inland waters. There is therefore a need to educate the general population about the risk of tsunami generation.

Key words: tsunami, rivers, lakes, water reservoirs, inland waters, Russia.

УДК 551.465

*М.Н.Волженский*¹, *А.А.Родионов*², *Е.В.Семенов*³, *Н.Н.Филатов*⁴, *А.В.Зимин*²,
*М.Б.Булатов*⁴
zimmin2@mail.ru

ОПЫТ ВЕРИФИКАЦИИ ОПЕРАТИВНОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ БЕЛОГО МОРЯ В 2004-2008 гг.

Сравниваются результаты расчетов по оперативной модели для мониторинга гидрофизических полей Белого моря с судовыми измерениями, спутниковыми данными и колебаниями уровня на гидрометеорологической станции «Соловки». Делается вывод об удовлетворительной работе модели.

Исследования последних лет на Белом море [1, 2] показали возможность постановки задачи мониторинга гидрофизических полей Белого моря на основе решения прямой краевой задачи. Определим задачу мониторинга гидрофизических полей Белого моря как краевую задачу нахождения основных гидрофизических параметров морской среды (трех компонент скорости течения, температуры, солёности, плотности и давления во всей трехмерной области Белого моря) на основе решения системы уравнений геофизической гидродинамики. Задача решается в режиме реального времени. Известно, что в общем случае, при наличии наблюдательной сети непосредственно на морской акватории, указанная задача формулируется как вариационная, с решением прямой и обратной (сопряженной) краевых задач. Часто указанная задача ставится как динамико-стохастическая с использованием, например, метода фильтрации Калмана или иных статистических методов.

Основаниями для постановки задачи мониторинга гидрофизических полей Белого моря как прямой краевой задачи являются наличие короткой жидкой границы (40–50 км), если её проводить в Горле Белого моря, и доминирование прилива в динамике вод. Выполненные к настоящему времени исследования свидетельствуют о том, что основные устойчивые черты гидрологии Белого моря формируются остаточной приливной циркуляцией, а термохалинная структура вод выступает как динамическая память приливных процессов [2]. Важным процессом, как выяснено, является и ветровое воздействие, которое в условиях Белого моря существенно усиливается процессами нелинейного взаимодействия с приливом и стратификацией вод, точнее с внутренними волнами приливного периода [1]. Однако следует отметить, что и прилив и воздействие атмосферы могут быть заданы при постановке задачи мониторинга гидрофизических полей Белого моря. Это важно, поскольку основной проблемой создания систем оперативного мониторинга гидрофизических полей морского бассейна является развертывание дорогостоящих наблюдательных систем на морской акватории. В этом плане существенно, что особенности динамики вод Белого моря допускают непосредственную

¹ Институт машиноведения им.А.А.Благонравова РАН, Москва

² Санкт-Петербургский научный центр Российской академии наук

³ Институт океанологии им П.П.Ширшова РАН, Москва

⁴ Институт водных проблем Севера КНЦ РАН, Петрозаводск

формулировку задачи мониторинга гидрофизических полей как прямой краевой задачи. С физической точки зрения возможность такой постановки связана с относительно быстрым забыванием начальных условий за счет доминирующего прилива. При этом априори ясно, что по мере совершенствования модели и возрастания требований к точности решения необходимость проведения оперативных наблюдений непосредственно на морской акватории неизбежна.

Обсуждаемые постановка и реализация трехмерной задачи термогидродинамики морского бассейна, основанные на решении полной системы уравнений геофизической термогидродинамики, в режиме реального времени являются основой первой системы мониторинга гидрофизических полей морского бассейна в нашей стране.

Верификация решения задачи мониторинга гидрофизических полей Белого моря представляла важную цель исследований Белого моря в период 2004-2008 гг.

Математическая постановка задачи и численный метод решения приведены в работах [1–3] и на этих вопросах здесь останавливаться не будем. Отметим только, что пространственное разрешение модели составляло около 3.5 км (использовалась сферическая система координат), расчет проводился на 23 уровнях по вертикали с шагом по времени 3 мин.

Приведем некоторые важные положения физической постановки задачи. Известен прилив на входе в Горло Белого моря на основе уравнений регрессии, полученных в Государственном океанографическом институте, а также температура и соленость вод в Горле. Атмосферное воздействие задается путем учета потоков импульса (ветер) и тепла, которые рассчитываются на основе информации прибрежных гидрометеопостов. Число гидрометеопостов в разные годы было различным. В расчетах 2008 г. использовалась информация с 12 постов, пространственное расположение которых приведено на рис. 1.

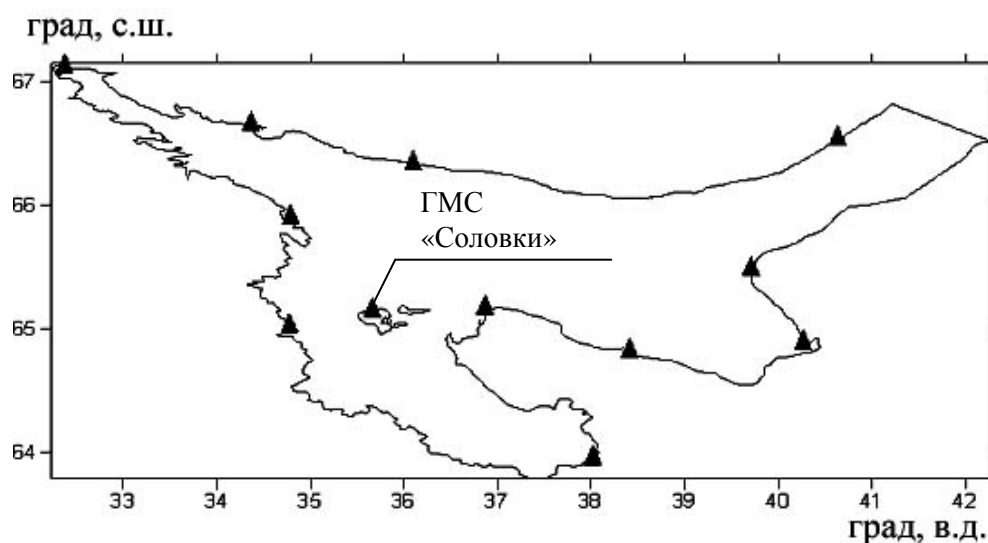


Рис. 1. Схема пространственного расположения гидрометеопостов на побережье Белого моря, используемых в расчетах 2008 г.

Для выполнения расчетов в июле-августе 2008 г. ежедневно (восемь сроков в сутки) принималась информация о полях приземного атмосферного давления и температуре приземного слоя воздуха. Для использования непосредственно в расчетах атмосферное давление пересчитывалось по формулам Аккерблома в напряжение трения ветра, а температура воздуха, наряду с использованием информации о поле ветра, пересчитывалась в потоки тепла по балк-формулам [4]. Потоки массы (осадки и испарение) на поверхности моря задавались равными нулю, ввиду отсутствия необходимой информации на морской акватории. Информация о расходах воды и температуре рек (Северная Дви-

на и Онега), о температуре и солености воды в Горле задавалась на основе климатических среднемесячных осредненных данных по работе [5]. Теоретически оперативная информация, особенно о расходах и температуре некоторых рек, имеется, но ее получение существенно запаздывает при выполнении расчетов в режиме реального времени. К сожалению, отсутствуют гидрометеопосты в Горле Белого моря, что существенно сказывается на точности решения.

В период с 2004 по 2008 гг. работы по верификации оперативной модели проводились постоянно. В 2004-2005 гг. верификация проводилась на основе сравнения расчетных профилей температуры и солености с данными натурных измерений в режиме реального времени. На рис. 2 и 3 приведены примеры такого сравнения. В обоих случаях измерения выполнялись в глубоководной части Кандалакшского залива. В 2005 г. измерения были выполнены 6 июля в период 21 рейса НИС «Академик Сергей Вавилов».

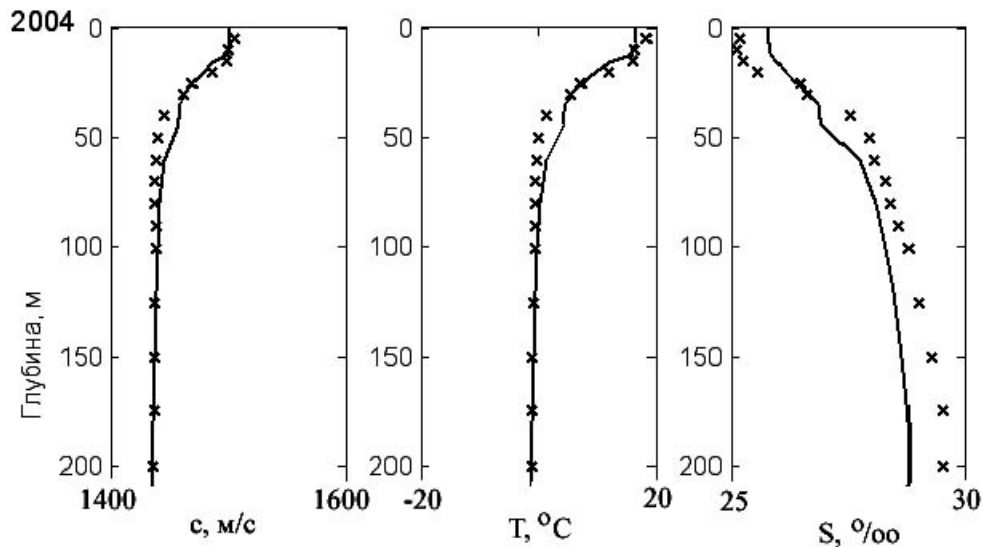


Рис. 2. Сравнение рассчитанных (линия) и измеренных (крестики) профилей скорости звука, температуры и солености в Кандалакшском заливе 7 августа 2004 г. в точке с координатами 66°30' с.ш. и 34°00' в.д.

Очевидно, что основные ошибки имеют место при расчете солености. Это не удивительно, поскольку оперативная информация о расходах рек отсутствовала. Вторая проблема связана с неучетом моделью реальной изменчивости синоптического пространственно-временного масштаба, чем, по-видимому, и объясняются заметные различия в сравнении двух станций 6 июня 2005 г. Эта проблема особенно отчетливо проявится в результатах верификации расчетов 2007 г.

В 2006 г. проводилась калибровка модели на основе сравнения расчетных значений с натурными измерениями на гидрометеорологической станции (ГМС) «Соловки», которая расположена на берегу достаточно глубоко вдающегося в берег залива. Ранее выполненные сравнения расчетных точек амфидромий и структуры котидальных линий показывали хорошее совпадение с натурными данными [3]. Однако сравнение расчетных значений уровня с натурными измерениями на гидрометеорологической станции «Соловки» оказалось неудовлетворительным. Амплитуда прилива отличалась от измеренной на 40-45%, фаза прилива запаздывала на 1.5-2 ч.

Оказалось необходимым снизить диссипацию в модели, уменьшив фоновые значения коэффициентов вертикальной турбулентной вязкости с 0.09 до 0.05 $\text{см}^2/\text{с}$. Уменьшены были также и коэффициенты горизонтальной турбулентной вязкости с 10^5 до $10^4 \text{ см}^2/\text{с}$. В итоге удалось заметно улучшить соответствие натурных и расчетных данных по уровню.

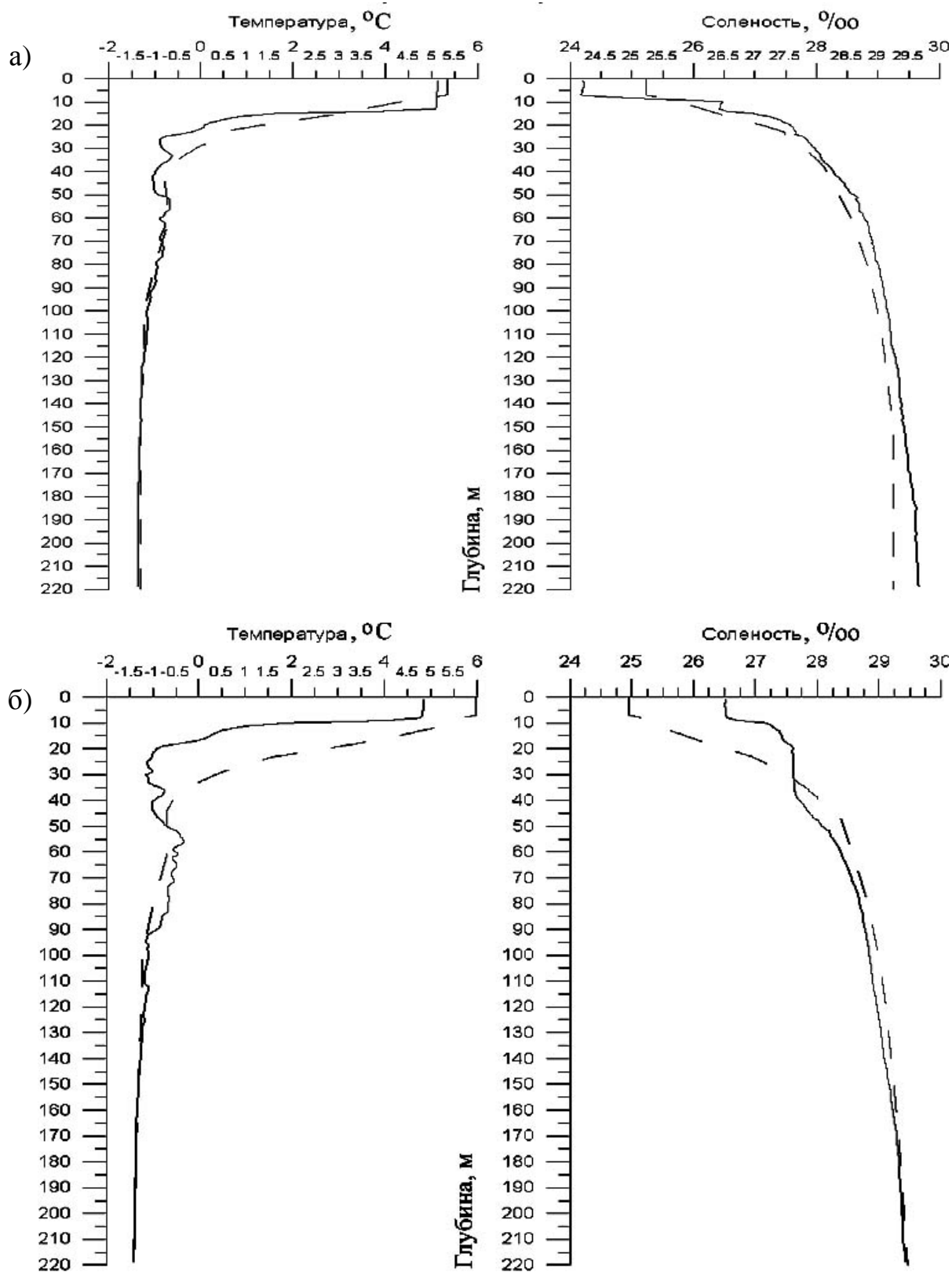


Рис. 3. Сравнение расчетных значений (пунктир) и натурных измерений (линия) профилей температуры и солености для двух станций в Кандалакшском заливе 6 июня 2005 г.:
а - в точке 66°05' с.ш. и 35°34.7' в.д.; **б** - в точке 66°22.3' с.ш. и 34°36.4' в.д.

Выход модели на вихреразрешающий вариант приводит к непосредственной передаче энергии от крупномасштабного движения к мезомасштабным процессам и

порождает большое количество мезомасштабных возмущений. Это, однако, осложняет интерпретацию результатов и, вообще говоря, не соответствует возможностям постановки задачи. Проблема состоит в том, что радиус деформации для первой бароклинной моды составляет 5-15 км из-за сильной стратификации вод Белого моря, что требует весьма подробной и практически нереализуемой съемки начальных условий. Постановка задачи мониторинга гидрофизических полей, предполагает также быстрое забывание начальных условий, которые представляют собой данные крупномасштабной съемки мая 1995 г. большей части акватории Белого моря. Однако возникает проблема при воспроизведении в модели процессов мезомасштабной изменчивости. Переход к вихреразрешающему варианту модели порождает большое число мезомасштабных вихрей (рис. 4). Важным здесь является то, что данные вихри, не будучи заданными в измеренных начальных условиях, являются чисто модельными, но представляют собой при этом важный механизм переноса свойств при статистическом осреднении, который, безусловно, необходимо учитывать. Проблемы возникают при сравнении результатов вихреразрешающего варианта модели с натурными данными, что особенно проявилось при анализе результатов 2007 г. Очевидно, что и в натурных и в модельных данных имеются мезомасштабные вихри, но они не идентичны друг другу. Разрешить данную ситуацию пока не представляется возможным, поскольку съемка начальных условий с разрешением мезомасштабных вихрей представляется нереализуемой. Отказаться от вихреразрешающего варианта невозможно хотя бы по соображениям адекватного описания уровня моря. Да и физика процессов переноса требует использования именно вихреразрешающего варианта. Одним из приемов упрощения проблем с верификацией модельного решения в этом случае является анализ осредненных за интервал больше периода мезомасштабной изменчивости (в данном случае около месяца) модельных решений и сравнение осредненных решений с осредненными же натурными данными.

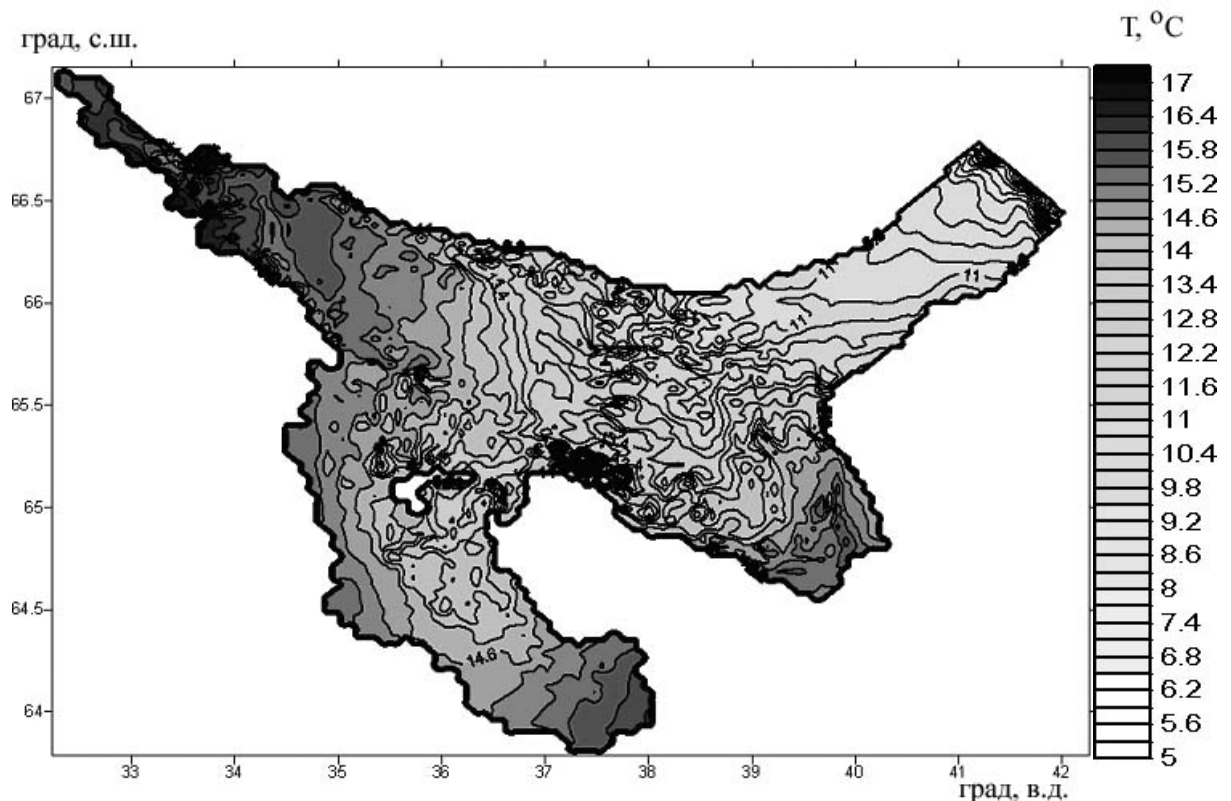


Рис. 4. Поле температуры на поверхности 23 июля 2007 г. при разрешении мезомасштабной изменчивости

Предварительный анализ показывает, что генерация мезомасштабных вихрей в условиях Белого моря может происходить за счет баротропной неустойчивости; по крайней мере, основной район генерации вихрей находится в Бассейне Белого моря недалеко от гидрологического фронта на выходе из Горла в Бассейн, в районе сильно изменчивых по пространству приливных течений. Это может приводить, в частности, к почти чисто волновой природе мезомасштабных вихрей, отраженных, в основном, в поле скорости. И действительно, опыт показывает, что уже при масштабах осреднения порядка 10 сут достигается достаточно гладкое решение.

Наиболее полная верификация модели выполнена в 2007 г. В распоряжении экспедиции имелись обрывные термохалинные зонды, что позволило выполнить за 7 ч съемку полигона из 25 станций в Бассейне Белого моря (рис. 5).

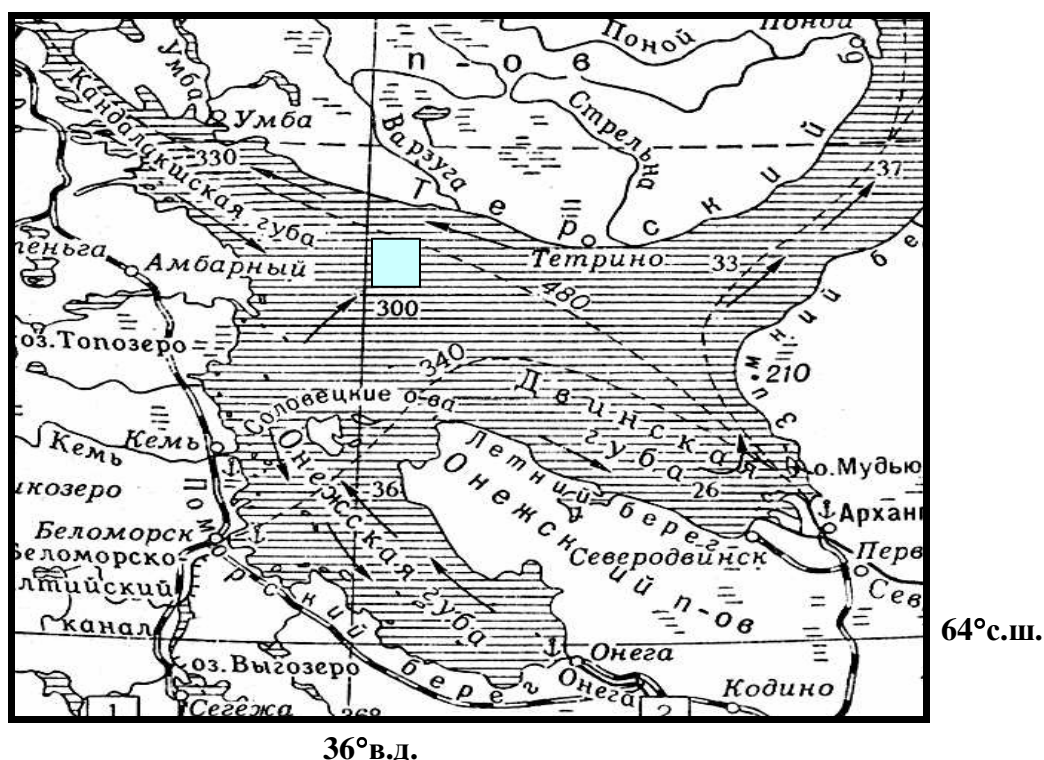


Рис. 5. Положение полигона (на врезке) из 25 станций обрывных термохалинных зондов 23-24 июля 2007 г.

Появилась уникальная возможность сравнить не просто отдельные расчетные и натурные вертикальные термохалинные профили, но также и поля термохалинных характеристик на разных горизонтах. Задача оказалась достаточно сложной, в первую очередь, из-за наличия в модельном решении мезомасштабных вихрей, не имеющих аналогов в данных наблюдений.

Оказалось необходимым выполнить предварительно обработку данных полигонной термохалинной съемки по схеме четырехмерного анализа. Время выполнения съемки составляло 7 ч – больше половины приливного периода, – и оказалось важным развернуть натурные данные съемки во времени, выполнив их обработку по схеме четырехмерного анализа. Техника обработки глубоководных термохалинных данных приведена в работах [6-9]. Сравнение результатов стало возможным только после выполнения такой обработки. Из решения задачи на основе оперативной модели Белого моря (задача запущена в оперативном режиме за три недели до выполнения съемки), были выбраны данные, соответствующие выполненной съемке. На рис. 6 приведены расчетные и натурные поля температуры для двух уровней: 12 и 52 м.

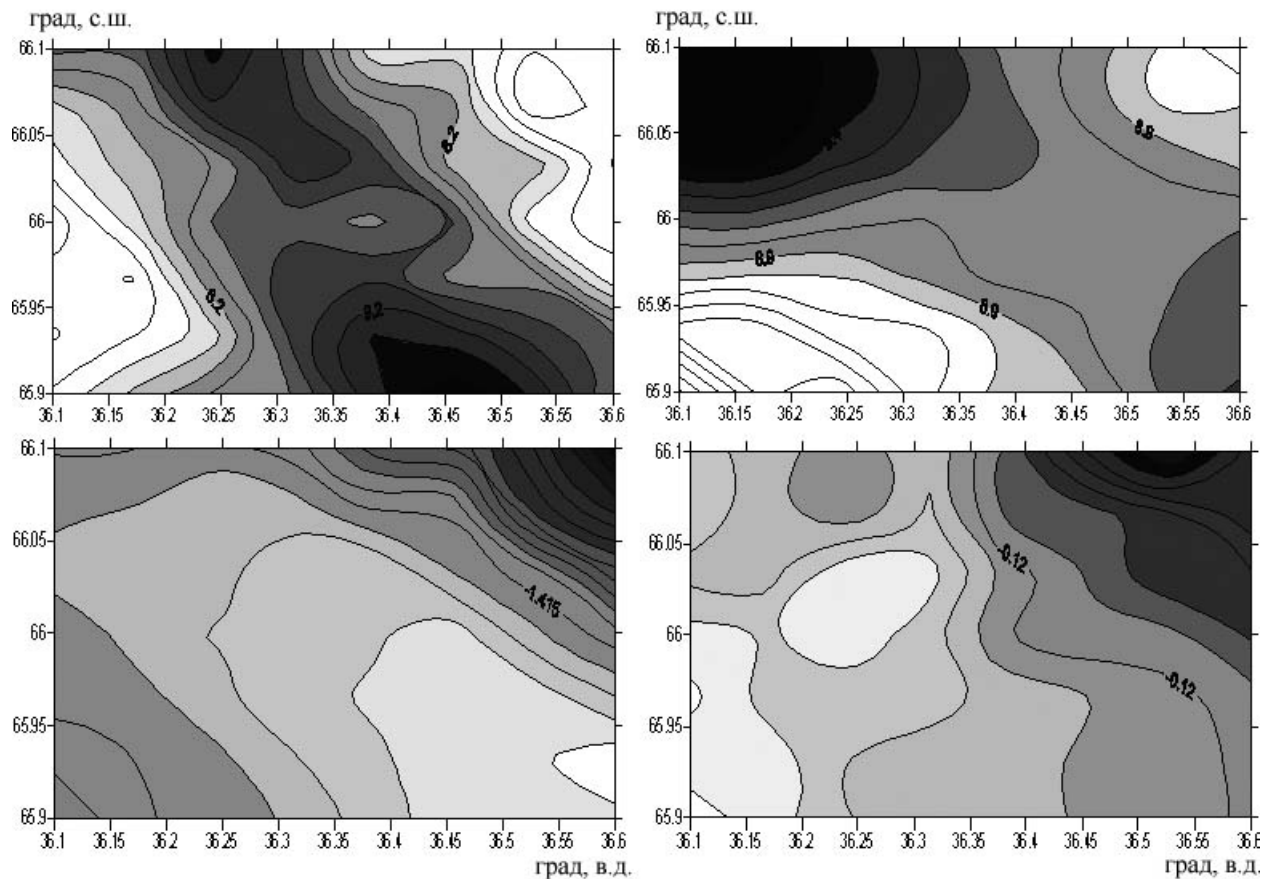


Рис. 6. Расчетные поля из общей модели моря (слева) и натурные данные XCTD-зондов (справа) поля температуры, соответствующие концу съемки полигона 24 июля 2007 г., для горизонтов 12 м (верхние рисунки) и 52 м (нижние рисунки)

Натурные данные XCTD обработаны по схеме четырехмерного анализа, что позволяет оценить изменчивость гидрофизических полей во времени. Результат сравнения полей требует пояснений. Надо иметь в виду проблему несоответствия расчетных и натуральных мезомасштабных вихрей, которые, по определению, не идентичны. Именно они вносят наибольшие расхождения в результат. Однако если попытаться сравнивать основной фон полей, который в данном случае представлен эффектом распространения инерционно-гравитационных волн (в данном случае важна именно гравитационная часть), то можно видеть, что и фаза волны – чередование холодных и теплых вод – и направление распространения качественно совпадают. Это можно отнести к положительным результатам, если вспомнить, что в расчетах по общей оперативной модели Белого моря никаких натуральных оперативных данных о морской среде не использовано. Поэтому считаем, что результат верификации оперативной модели в 2007 г. положительный.

Интересен совмещенный график колебаний уровня на основе натуральных данных гидрометеорологической станции «Соловки» и расчетных, который приведен на рис. 7.

Из анализа рисунка следуют два вывода. Во-первых, фаза и амплитуда модельных колебаний уровня неплохо соответствуют измеренным значениям. Во-вторых, из натуральных данных видно, что имеют место долгопериодные колебания уровня с периодом 6-7 сут, которые отсутствуют на модельном графике. Причина указанных колебаний связана, скорее всего, со сгонно-нагонными процессами на смежной акватории Баренцева моря, которые в соответствии с постановкой задачи должны быть заданы как краевые условия в Горле Белого моря. К сожалению, эти гидрометеопосты в настоящее время не работают, и учет сгонно-нагонных процессов, связанных с процессами в Баренцевом море, в данном случае невозможен.

Колебания уровня моря, см

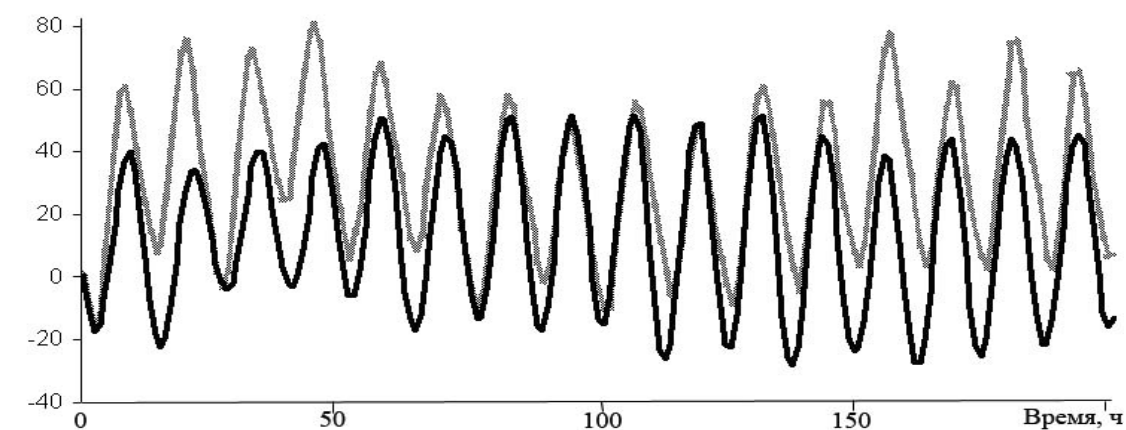


Рис. 7. Совмещенный график расчетных и измеренных колебаний уровня на гидрометеорологической станции «Соловки» в июле 2007 г. Верхняя линия – натурные данные, нижняя линия – расчетные значения.

В 2008 г. верификация расчетов проведена по измерениям уровня на гидрометеорологической станции «Соловки» и путем сравнения расчетных полей температуры с температурой поверхности моря по спутниковым данным. На рис. 8 приведены кривые измеренных значений уровня на гидрометеорологической станции «Соловки» и расчетные значения. В принципе можно повторить комментарии к рис. 7 по верификации 2007 г., но в 2008 г. натурные колебания уровня носят еще более сложный характер. Ответ на вопрос о влиянии сгонно-нагонных явлений на сложный характер колебаний натуральных данных уровня остается открытым до проведения расчетов при задании натуральных данных по уровню в Горле Белого моря.

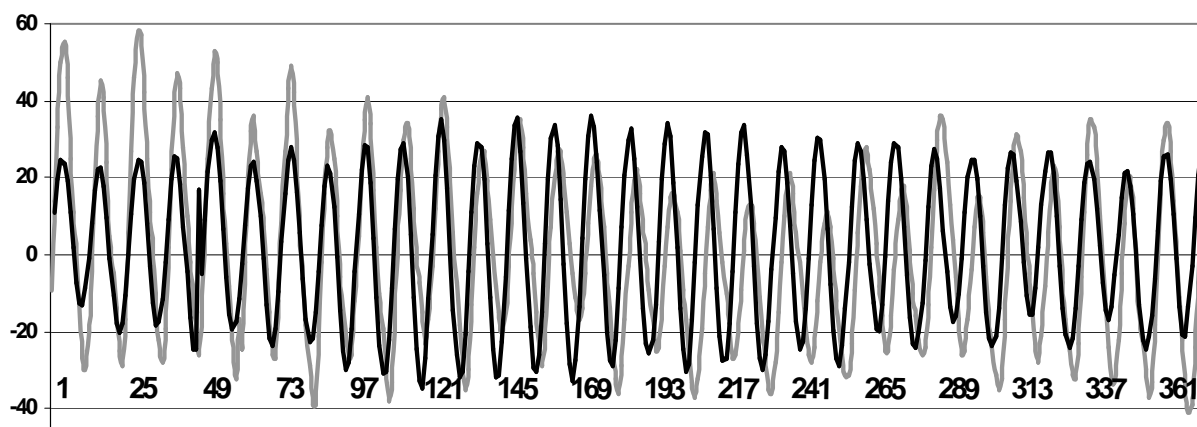


Рис. 8. Совмещенный график расчетных (темная линия) и измеренных (светлая линия) колебаний уровня на гидрометеорологической станции «Соловки» с 14 по 29 июля 2008 г. Вертикальная шкала – отклонения уровня в см, горизонтальная – время в ч.

Достаточно сложной представляется верификация расчетных данных на основе сравнения с температурой поверхности моря по измерениям спутника NOAA. На рис. 9 приведены поля температуры на поверхности Белого моря 14 августа 2008 г. по данным спутника NOAA (слева) и по данным моделирования (справа). Оставляя в стороне вопрос о том, насколько температура поверхности моря по данным спутника соответствует температуре верхнего квазиоднородного слоя, отметим, что расхождения по температуре в отдельных точках достигают двух-трех градусов, хотя качественно поля похожи.

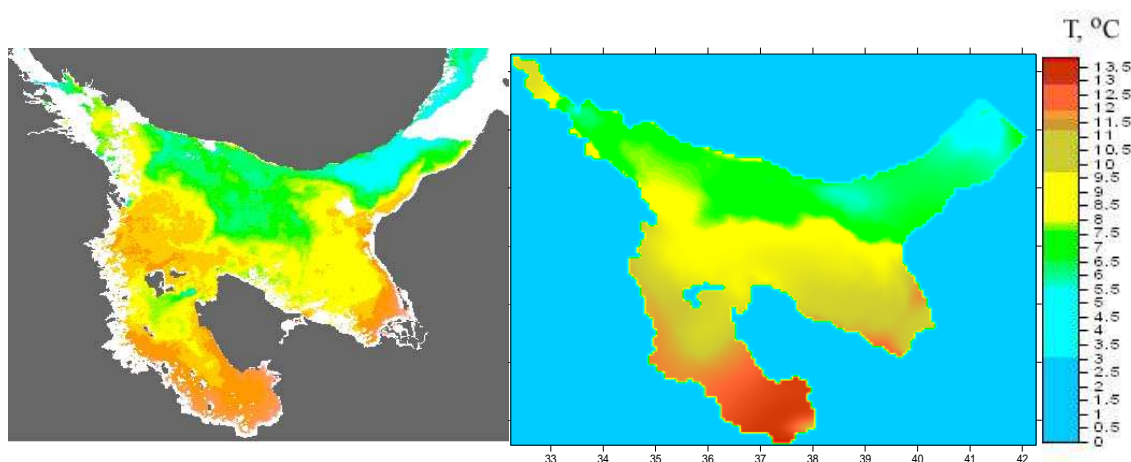


Рис. 9. Поля температуры на поверхности Белого моря по данным спутника NOAA (слева) и по расчетным данным (справа) в 9 ч 30 мин (по Гринвичу) 14 августа 2008 г. Общая шкала градаций оттенков помещена справа.

Первым вопросом, на который необходимо было ответить при решении задачи мониторинга гидрофизических полей Белого моря является вопрос о точности предлагаемого решения по отношению к имеющимся климатическим оценкам полей [5]. Выполненные в период с 2004 по 2006 г. работы по верификации оперативной численной модели гидрофизических полей Белого моря на основе решения прямой краевой задачи позволяют сделать вывод о том, что в данной постановке полученное решение заметно ближе к натурным данным по сравнению с осредненными климатическими данными [5]. Тем не менее следует признать, что невозможно достичь высокой точности соответствия решения задачи натурным данным при отсутствии какой-либо наблюдательной сети непосредственно на морской акватории. Необходимо также восстановить гидрометеопосты на входе в Горле Белого моря и обеспечить поступление сведений о расходах и температуре воды рек в режиме реального времени.

Ключевые слова: Белое море, система оперативного мониторинга, температура, соленость.

Литература

1. Семенов Е.В., Лунева М.В. О совместном эффекте прилива, стратификации и вертикального турбулентного перемешивания на формирование гидрофизических полей в Белом море // Изв. АН. Физика атмосферы и океана. 1999. Т.35. № 5. С.660-678.
2. Семенов Е.В. Численное моделирование динамики Белого моря и проблема мониторинга // Изв. АН. Физика атмосферы и океана. 2004. № 1. С.128-141.
3. Семенов Е.В., Лунева М.В. Численная модель приливной и термохалинной циркуляции вод Белого моря // Изв. АН. Физика атмосферы и океана. 1995. Т.32. № 5. С.704-713.
4. Буш Н.Е. Потоки в приземном слое над морем. Л.: Гидрометеиздат, 1979. С.91-113.
5. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т.II. Белое море. Вып.1. Гидрометеорологические условия. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 240 с.
6. Семенов Е.В., Русецкий К.К. Численная модель для обработки полигонных термохалинных измерений // Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана. 1987. Т.23. № 3. С.314-319.
7. Семенов Е.В., Бирюк С.В. Применение метода множителей Лагранжа к задачам усвоения натурных данных // Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана. 1991. Т.27. № 12. С.1316-1324.
8. Семенов Е.В., Бирюк С.В. Восстановление начального условия для линейного одномерного уравнения переноса тепла градиентным методом / В кн. Эксперимент «Мегаполигон». М.: Наука, 1992. С.363-370.
9. Семенов Е.В., Ефимов С.С., Русецкий К.К. Четырехмерный анализ гидрологических наблюдений в эксперименте «Мегаполигон-87». Эксперимент «Мегаполигон». М.: Наука, 1992. С.358-367.

Статья поступила в редакцию 12.05.2009 г.