

КОНЦЕПЦИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО И ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫХ МОРЕЙ

Излагаются математические модели и результаты вычислительных экспериментов по моделированию приливного режима в Охотском море. Реализованное на сегодняшний день математическое обеспечение позволяет выполнять работы по оперативному прогнозированию штормовых нагонов и цунами, подготовлены алгоритмы и методики для практического моделирования морских течений, в том числе с учетом вертикального расслоения. Рассматриваются также вопросы совершенствования вычислительного моделирования путем построения алгоритмов, позволяющих адаптировать процессы вычислений к оперативным гидрометеорологическим и гидрофизическим данным, поступающим по телеметрическим каналам и от систем дистанционного спутникового мониторинга.

Современное состояние вычислительных технологий и электронных средств передачи информации позволяет получать решения для выполнения реальных оперативных и экспертных работ по контролю окружающей среды, информационному обеспечению кораблевождения и с целью выполнения оперативной промысловой разведки. Актуальной задачей для оперативных служб Сахалинской области является информационное обеспечение контроля экономической зоны Российской Федерации и выполнение прогнозов и предупреждений населения и флота в случае чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера.

Учитывая замкнутость Охотского и Японского морей, для реализации непрерывного численного моделирования гидродинамики этих морей достаточно вычислительных ресурсов персональных (IBM - PC) компьютеров. В данной работе рассматривается постановка такой задачи и обсуждаются результаты первых вычислительных экспериментов по моделированию гидродинамических процессов в Охотском море. Целью данной публикации является объявление о необходимости объединения океанографических и промысловых исследований для комплексного освоения возможностей численного моделирования, которое должно выполняться в условиях оперативного поступления информации с систем дистанционного (спутникового) мониторинга, а также с действующих постов наблюдения за окружающей средой.

Как вычислительные модели, так и методики обработки информации рассматриваются с позиций организации единой сети сбора и рассылки научной информации, которая необходима для обеспечения работы сахалинских

экспертных центров наблюдения за окружающей средой, а также для создания оперативных служб предупреждения и защиты населения при опасных морских явлениях и катастрофах.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ О ЧИСЛЕННОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ПРИЛОЖЕНИИ К НЕПРЕРЫВНОМУ МОНИТОРИНГУ ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫХ МОРЕЙ

В качестве исходных данных для моделирования динамических процессов в океане в настоящее время мы можем использовать только информацию с мариографных постов, на которых произведены многолетние наблюдения за уровнем моря в близбереговой зоне. Предполагается, что этих данных достаточно для полного восстановления динамики приливного режима в полузакрытых морях, в нашем случае - в Охотском и Японском. Результатом выполнения вычислительных экспериментов являются поля уровней моря и векторные поля приливных скоростей, которые могут быть интерпретированы как с позиций изменчивости во времени для конкретных точек, так и для построения пространственных полей на произвольный момент времени.

Наблюдения за течениями и другие гидродинамические и гидрофизические данные, полученные на глубокой воде, к сожалению, пока не могут быть использованы для контроля вычислительных моделей, так как сами нуждаются в корректировке, учитывающей временные отсчеты приливных фаз, а также в дополнительных корректировках, связанных с гидрометеорологическими условиями.

Соответственно, одним из важных при-

менений вычислительных экспериментов, особенно на начальных этапах их освоения, необходимо рассматривать задачи, связанные с дополнительной обработкой уже имеющихся экспедиционных данных. В частности, эти работы следует выполнить также и для того, чтобы получить более достоверную информацию о режиме постоянных течений и их особенностях, связанных с сезонными и метеорологическими условиями.

Характеристика доступной к использованию оперативной информации

1 - Спутниковая картографическая информация представляется в виде растровых карт с распределением интенсивности радио- или инфракрасного сигнала, получаемого в результате сканирования или зондирования земной поверхности. Путем обработки спутниковой информации, полученной в разных диапазонах радиолокационного и инфракрасного спектров, возможно получение данных о температуре воздуха и воды, о поверхностных загрязнениях и дрейфе ледяных полей.

2 - Цифровая информация с судовых (в том числе промысловых) и стационарных береговых гидрометеопостов, которая поступает в Сахалинское управление гидрометеослужбы, - это регулярные сводки о реальных измерениях температуры воды и воздуха, о видимости, силе ветра и интенсивности волнения. Это как раз те данные, которые необходимы для адаптации информации, снимаемой со спутниковых карт.

3 - Конечно же, для решения конкретных задач промысловой океанографии и экологического мониторинга требуется специализированное измерительное оборудование, информацию с которого необходимо снимать по цифровым или аналоговым телеметрическим каналам связи в режиме реального времени. Это могут быть измерительные датчики, установленные далеко в море или на борту промысловых судов, а также более сложное оборудование, находящееся под контролем гидрометеопостов или войсковых частей. Работа таких измерительных датчиков крайне необходима для Сахалинской области с целью своевременного предупреждения населения об опасных морских явлениях. Эта же информация необходима для оперативной тарировки данных, получаемых со спутниковых систем дистанционного мониторинга, а также для реализации опера-

тивной корректировки вычислительных процессов, ведущихся в реальном времени и в режиме предупреждающих прогнозов.

Основания численного моделирования приливного режима в Охотском море

Охотское и Японское моря являются уникальными регионами, в которых возможно отслеживание приливного режима и режима приливных течений путем проведения непрерывного и прямого численного моделирования в реальном времени. В первую очередь это связано с геометрической замкнутостью этих морей, где нет необходимости моделировать гидродинамические процессы в масштабе всего земного шара.

Основная идея описываемого вычислительного эксперимента по численному восстановлению приливного режима в Охотском море состоит в том, что, если в качестве граничных условий на свободных границах будет выставлено возмущение в виде постоянно действующих гармонических колебаний, то весь регион должен стабилизироваться в режиме соответствующих вынужденных колебаний независимо от спектрального состава собственных частот Охотского моря или его регионов. Если генерация приливных волн будет происходить на всех свободных (открытых) границах Охотского моря, а именно: в проливе Лаперуза и во всех Курильских проливах, то после отражения волн от побережья начнется процесс стабилизации волнения, после завершения которого во всем Охотском море будут известны приливные уровни моря и соответствующие им поля течений.

Данная задача может быть решена путем использования приливных гармонических постоянных, вычисленных с использованием многолетних рядов наблюдения за уровнем моря на мариографных постах. Точки генерации приливных волн должны находиться, соответственно, в координатах известных мариографных постов, которых для района Курильских проливов имеется более двадцати (по данным ДВНИГМИ). Аналогичные береговые мариографные наблюдения могут быть использованы для контроля точности восстановления приливного режима, а также для согласования гидродинамических характеристик приливных волн вблизи побережья. В последнем случае имеется в виду учет придонного трения и адаптация дна

моря в районе точек генерации для согласования фазовых характеристик наблюдений на береговых мариографных постах и в морских точках генерации приливных волн.

По-видимому, в зоне мелководного шельфа реализованная задача будет давать корректные результаты для скоростей течения, в глубоководных же регионах решение задачи о приливах в полных потоках будет давать важную дополнительную информацию при анализе вертикальной структуры жидкости.

О возможности восстановления постоянных и циркуляционных полей течений

Постоянные течения или течения с сезонной изменчивостью могут накладываться на приливные потоки по аддитивным правилам, не изменяя структуры последних. Постоянные течения могут быть разделены на две группы: внешние, которые вызываются потоком жидкости через океанские проливы, и внутренние, которые по сути своей являются постоянными вихревыми потоками в замкнутых акваториях.

Для восстановления поля “внешних” течений необходимо знание интенсивности постоянных потоков в проливах. По данным автора, там проводились периодические морские экспедиции, по материалам которых возможно выставление соответствующих граничных условий. Известно также, что интенсивность течения в проливе Лаперуза зависит от гидрометеорологических условий как в районе Анивского залива, так и в районе Цусимских проливов на юге Японского моря. Это означает, что на начальных этапах освоения методов моделирования постоянных течений необходимо использовать телеметрические данные по скорости течения, которые должны постоянно поступать с одного или нескольких регистраторов в проливе Лаперуза.

Для восстановления “внутренних” течений также необходимо использование материалов экспедиционных исследований в Охотском и Японском морях, на основании которых должны быть выявлены вихревые потоки, их энергетика и вертикальная структура. Очевидно также другое: для выявления таких вихревых потоков необходимо знать скорости течений на моменты выполнения наблюдений гидрофизических станций. Последнее подтверждает актуальность реализации вычислительного моделирования приливного режима, с исполь-

зованием которого было бы интересно заново обработать экспедиционные измерения гидрофизических параметров, выполненных на различных горизонтах.

Известно также, что с помощью системы спутникового мониторинга SeaSpace, в СахНИРО могут быть получены карты, содержащие относительные поля скоростей поверхностных течений, и где, вероятнее всего, составляющие вихревых потоков могут быть выявлены по абсолютной величине, путем вычитания всех периодических составляющих. По отношению же к транзитным течениям, проходящим через внутренние моря, простые методы измерений поверхностных течений не смогут дать оценок интенсивности течений без комплексного восстановления режима течений численными методами.

Для комплексного решения проблемы непрерывного моделирования течений в дальневосточных морях необходима организация нескольких постов наблюдения за гидрологией моря, с помощью которых могут быть получены поправки для вычитания трендов во всех гидрофизических и гидрохимических параметрах, которые присутствуют в относительных измерениях спутникового мониторинга, эта же информация необходима для оперативной корректировки вычислительных моделей, с помощью которых показания морских датчиков будут распространяться на всю акваторию приморских морей и прилегающие районы Тихого океана.

О двухслойной модели течений и вычислительных ресурсах

Ближайшее расширение круга решаемых задач с помощью численного моделирования видится в реализации двухслойной модели течения, с помощью которой станет возможным разделение верхнего био-продуктивного слоя, находящегося под влиянием атмосферных ветров, и глубоководной части охотоморской воды, перемещающейся в основном под воздействием постоянных и приливных течений. Несмотря на то, что рассматриваемая двухслойная модель будет полуэмпирической и аддитивной по отношению к решению в полных потоках, тем не менее требования к быстродействию компьютеров будут повышены. После реализации двухслойной модели течения станет возможным рассмотрение задач, связанных с вер-

тикальными движениями вод, их перемешиванием, а также задач динамики тепловых потоков и переноса примесей, но реально это возможно только совместно с освоением систем спутникового дистанционного мониторинга. Нельзя также сбрасывать со счетов проблему, связанную с тем, что в океанологии до сего дня существуют барьеры в использовании научной информации, полученной исследователями из различных ведомств и институтов.

Все вышесказанное является предисловием к постановке интереснейшей задачи исследования гидродинамики Охотского и Японского морей, для решения которой предполагается использовать поставляемую в СахНИРО спутниковую систему SeaSpace. Для реализации численного моделирования в настоящее время имеется в продаже не очень дорогая профессиональная техника класса DEC - Alfa или IBM RISC - 6000, отработка же основных алгоритмов возможна уже сейчас на некоторых из 486 компьютеров, имеющих в СахНИРО. Программы численного моделирования приливов были разработаны и реализованы в лаборатории цунами Института морской геологии и геофизики ДВО РАН, они доступны для использования и совершенствования в СахНИРО. Необходимые приливные гармонические постоянные и уточненные карты постоянных течений дальневосточных морей могут быть получены в морском отделе Сахалинского УГМС. В УГМС же стекается информация с судовых гидрометеопостов, которая содержит реальные измерения температуры воды и воздуха, скорости ветра, дальности видимости и величины волнения. Использование телеметрических наблюдений за уровнем моря, подведение оперативной гидрометеорологической информации к компьютерам, выполняющим спутниковый гидрофизический мониторинг, совместно с освоением методов численного моделирования должно являться основой для практической реализации задачи оперативного мониторинга и контроля сахалинских морей.

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИЛИВНОГО РЕЖИМА, ШТОРМОВЫХ НАГОНОВ, ЦУНАМИ И РЕШЕНИЕ ДРУГИХ ЗАДАЧ ОКЕАНОГРАФИИ

Кинематические расчеты

Для обобщенного качественного анализа расчетной области удобно использовать упрощенную кинематическую модель распространения длинных волн, которая позволяет строить карты изохрон и волновых лучей. При моделировании длинноволновых процессов в океане эти процедуры могут быть использованы не только для анализа глобальной кинематики океанских волновых процессов, но и для изучения фазовых сдвигов, образующихся при переносе мариографных постов наблюдения с побережья в море, которое делается с целью удовлетворения аппроксимационных критериев.

Эта модель основывается на сортировке точек с минимальными отсчетами времен, полученных на основе принципа Гюйгенса для точечных излучателей. В настоящее время реализована модель, использующая 4-точечный шаблон, по которому вычисляются производные по направлению. Поле времен получается достаточно гладким, чтобы по нему восстанавливались не только линии изохрон, но и линии лучей, которые показывают маршруты движения длинных прогрессивных волн. Указанную вычислительную модель можно отнести к гидродинамическому моделированию нулевого порядка, по которому возможно построение поля коэффициентов усиления первого вступления волн цунами, когда коэффициент усиления вычисляется из условия сходимости лучевых линий и не зависит от периода волнения.

Вычислительная модель на основе уравнений длинных волн в полных потоках

Уравнения длинных волн определяются с помощью уравнения движения и условия неразрывности жидкости. В данном случае они определяются на Меркаторской картографической проекции и скорректированы поправками на вращение Земли и вязкостные свойства жидкости:

$$\text{Уравнение неразрывности:} \quad \zeta = - \left(- \frac{\delta U_y}{\delta y} + \frac{\delta U_x}{\delta x} \right) \cdot \frac{\cos \varphi_0}{\cos \varphi} \cdot dt,$$

Уравнения движения:

$$\tilde{U}_x = g \cdot D \cdot \frac{\delta \zeta}{\delta x} \cdot \frac{\cos \varphi_0}{\cos \varphi} \cdot dt,$$

$$\tilde{U}_y = g \cdot D \cdot \frac{\delta \zeta}{\delta y} \cdot \frac{\cos \varphi_0}{\cos \varphi} \cdot dt,$$

Поправки Кориолиса:

$$\tilde{U}_x += 2 \cdot \omega \cdot \sin \varphi \cdot \tilde{U}_y \cdot dt = 1.4544 \cdot 10^{-4} \cdot \sin \varphi \cdot \tilde{U}_y \cdot dt,$$

$$\tilde{U}_y -= 2 \cdot \omega \cdot \sin \varphi \cdot \tilde{U}_x \cdot dt = 1.4544 \cdot 10^{-4} \cdot \sin \varphi \cdot \tilde{U}_x \cdot dt,$$

Поправка на донное трение:

$$U_x = \tilde{U}_x \cdot \frac{K_v \cdot |\tilde{U}|}{D^3} \cdot dt,$$

$$U_y = \tilde{U}_y \cdot \frac{K_v \cdot |\tilde{U}|}{D^3} \cdot dt$$

где: D [m] - глубина спокойного моря;

ζ [m] - отклонение уровня моря от равновесного состояния;

φ, φ_0 - широта в расчетной точке и приведенная широта Меркаторской карты;

\tilde{U} [m²/c] = $\vec{V} \cdot D$ - вектор полного потока жидкости;

$$\bar{V}$$
 [m/c] = $\frac{1}{D+z} \cdot \int_D^z \bar{V} dz$ - осредненная

по глубине скорость жидкости.

Если уравнения используются в операциях интегрирования без дополнительных алгебраических преобразований, то суть этих операций необходимо связывать с описанием существенно нелинейных процессов. Будем предполагать, что вышеуказанные вычислительные нелинейные факторы скорее отвечают физике естественных процессов в океане, нежели вносят случайные погрешности в процесс вычислений.

Условия и критерии моделирования

Граничные условия на свободных границах расчетной области задаются с помощью условия излучения с наложенным внешним возмущением, которое определяется через дифференциал во времени:

$$\frac{\delta \zeta}{\delta t} = \frac{\delta \zeta(t)}{\delta t} \pm C \cdot \left| \frac{\delta \zeta}{\delta r} + \frac{\delta \zeta(t)}{\delta r} \right|,$$

где: $C = \sqrt{g \cdot D}$ - скорость волны;

$\delta r = \sqrt{\delta x^2 + \delta y^2}$ - контрольный размер ячейки.

Приведенные уравнения аппроксимируются явной схемой первого порядка на центри-

рованном разностном шаблоне. Устойчивость расчетной схемы во времени определяется критерием Куранта, который задается через минимальное время, за которое свободная волна пересекает смежные границы расчетной ячейки:

$$\Delta T \leq C_{\max} \cdot \frac{\delta y \cdot \delta x}{\delta r} \cdot 0.8$$

Пространственная картина может быть охарактеризована аппроксимационной гладкостью, качество которой определяется количеством точек, участвующих в построении пространственного периода волны.

$$D_{\min} \geq \left(\frac{K \cdot \delta r}{T_{\min}^{\text{wave}}} \right)^2,$$

K - минимальное количество точек, описывающих один период волны во времени. Обычно этот минимум достигается в шельфовой зоне и непосредственно вблизи побережья.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИЛИВНОГО РЕЖИМА, ШТОРМОВЫХ НАГОНОВ И ЦУНАМИ С ВЫВОДАМИ О ПРАКТИЧЕСКОЙ ПРИМЕНИМОСТИ В ДЕЙСТВУЮЩИХ СЛУЖБАХ КОНТРОЛЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И С ЦЕЛЬЮ ПОСТРОЕНИЯ ПРОГНОЗОВ И АНАЛИЗА РАННЕ СОБРАННЫХ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ.

Назначение и перспективы исследований по вычислительному мониторингу

Охотское море является уникальным регионом для полноценного исследования численных алгоритмов, моделирующих приливный режим и режим течений.

Это в первую очередь обуславливается

большой разностью широт между Пенжинской губой на севере и островом Хоккайдо на южной границе моря, наличием обширных шельфовых зон в районе Шантарских островов, заливах Терпения и Анива, в которых зарождаются сильнейшие аккорды собственных высокочастотных колебаний. Большие сложности связаны также с мелководностью Пенжинской губы и района Шантарских островов, что обуславливает зарождение длинноволновых колебаний уровня моря с периодом, близким к суточному и с большими амплитудами приливных волн в вершинах заливов.

Положительным фактором для Охотского моря является его замкнутость и изученность приливного режима во многих пунктах его побережья, что позволяет проводить качественную проверку численных моделей, граничных условий и методов генерации волновых колебаний уровня и течений.

Алгоритм восстановления приливного поля реализован для использования в условиях оперативных служб, осуществляющих наблюдение за наводнениями и цунами. Предполагается, что на одном из компьютеров будет производиться непрерывное моделирование приливного режима, а в случае прогноза о траектории и интенсивности циклона или при поступлении данных о цунамигенном землетрясении, на другом компьютере можно будет продублировать моделирование прилива с одной из контрольных точек, и по уже сбалансированному приливному полю поставить моделирование в режиме прогноза для штормовых нагонов или волн цунами.

Естественно, что вычислительные процессы, ведущиеся непрерывно, в которых реализованы механизмы образования контрольных точек, с целью обеспечения аварийных рестартов или дублирования расчетов на смежных компьютерах, могут длительное время совершенствоваться или адаптироваться к условиям контролируемого региона. В этом случае новые версии программ будут включаться в работу параллельно, путем запуска с контрольных точек, а после тестирования работоспособности новые программы будут переводиться в основной режим оперативного вычислительного мониторинга.

Вычислительное моделирование динамики вод Охотского моря является новой задачей, которая, конечно же, требует продолжения исследований с целью выработки решений для

ускорения процесса восстановления приливного режима, для доведения его до приемлемой точности вычислений, где могут встать проблемы, обусловленные сеточной вязкостью и отсутствием законченных исследований о характере донного трения и влияния льдов в Охотском море. В действующей версии, к сожалению, не реализован учет геопотенциала, недостаточно отработаны вопросы, связанные с законами управления уровнем моря в точках генерации приливной волны. Пока это достаточно сложные вопросы, так как их исследование требует значительных вычислительных ресурсов и времени для проведения поверочных вычисленных экспериментов.

Постановка задачи о моделировании приливного режима в Охотском море

Для восстановления приливного режима в Охотском море необходимо установить генераторы уровня моря в максимально большом количестве точек в Курильских проливах и в проливе Лаперуза. Для описываемого вычислительного эксперимента такие генерирующие точки устанавливались в районе Северо-Курильска, вблизи острова Матуа, бухты Касатка, Курильска и поселка Малокурильское, для пролива Лаперуза на мысе Крильон и вблизи порта Корсаков. Генераторы приливных волн ставились также в районе Магадана и Охотского (рис. 1). Оценка качества восстановленного прилива производилась по точкам в вершине Пенжинской губы и в районе Шантарских островов. К сожалению, качество используемых данных по наблюдениям за уровнем моря нельзя назвать удовлетворительным: информация была собрана из случайных источников, не производилась адаптация фаз гармонических постоянных к смещениям генераторов в море. Но основной недостаток исходных материалов состоит в том, что таких генерирующих точек, которые к тому же не перекрывали самый глубоководный пролив Курильской гряды - пролив Фриза, было слишком мало.

Моделирование приливного режима проводилось на батиметрических картах Меркаторской проекции. Наиболее подробная карта имела шаг 10 км на 52° широты и размерность матрицы 325×374. В этом случае необходимо около трех мегабайт оперативной памяти, а вычисления на компьютере IBM - PC 486DX2 - 66

выполняются со скоростью, близкой к реальному времени. В соответствии с аппроксимационными критериями, 4-часовая приливная гармоника может моделироваться до 2-метровой минимальной глубины у побережья.

При использовании 20 км сетки требуется около 250 кб оперативной памяти, минимальная глубина для 4-часовой волны равна 8 метрам, а вычисления на том же компьютере ведутся со скоростью одна минута реального процесса за одну секунду вычислений. Но при проведении вычислительных экспериментов на этой батиметрии возникла проблема большого расстояния между генераторами приливных волн. По изображению на экране было видно, что высокочастотная составляющая приливов образует "круги на воде", при этом большая часть волновой энергии рассеивалась в Курильских проливах, и это не позволяло восстановить единый фронт высокочастотной волновой энергии, излучаемой от Курильских островов. Суточные составляющие прилива восстанавливались на 20-километровой батиметрии

вполне удовлетворительно.

Лучшие результаты с высокочастотной составляющей прилива были получены на батиметрии с шагом 39×33 км, которая давала аппроксимационные ограничения для 4-часовой волны, равные 30 метрам минимальной глубины у побережья. В связи с недостаточностью генерирующих точек в Курильских проливах, на этой батиметрии тоже происходило гашение полусуточной составляющей прилива, тем не менее по остатку можно было сделать выводы о корректности моделирования на качественном уровне. Размерность матрицы 64×64 позволила в два приема произвести вычислительный эксперимент, перекрывающий период во времени около одного года.

Результаты численного моделирования приливного режима в Охотском море

Постановку полной задачи на восстановление приливного режима предваряло исследование отклика Охотского моря на суточную со-

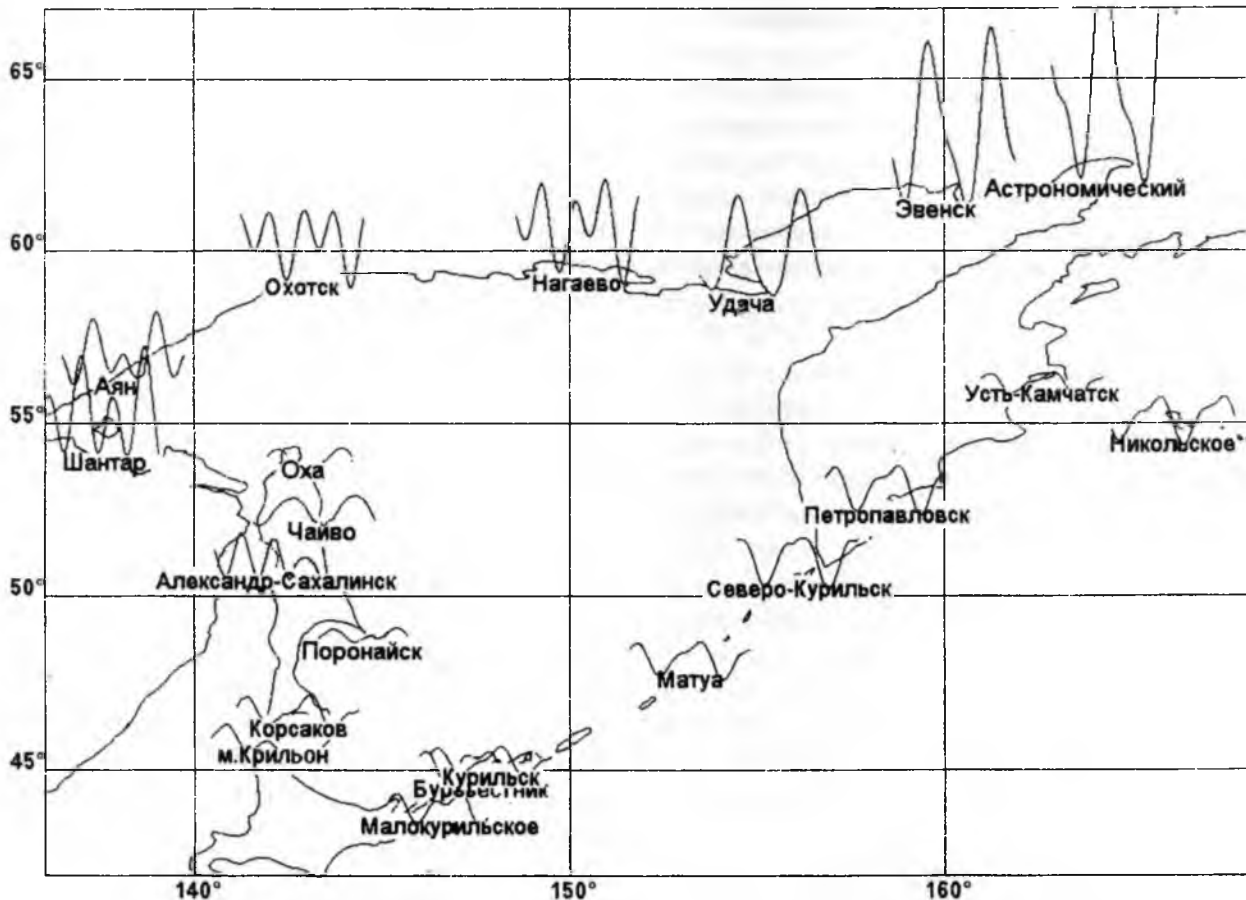


Рис. 1. Карта приливного режима для побережья Охотского моря, построенная с использованием гармонических постоянных.

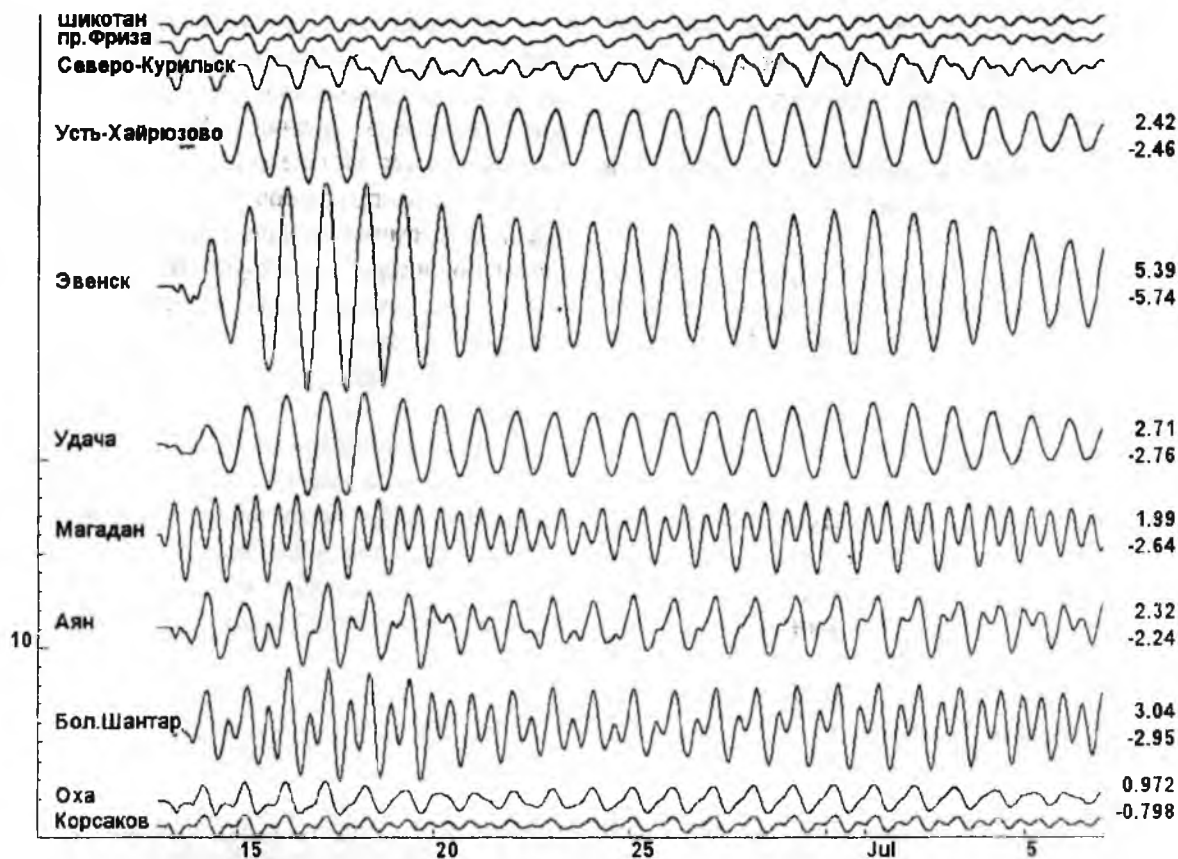


Рис. 2. Мариографные записи уровня моря в различных постах наблюдения, полученные при проведении вычислительного эксперимента по восстановлению приливного режима в Охотском море. Вычисления производились на 20-километровой батиметрии. Цифры справа показывают максимальные и минимальные значения уровня моря, зарегистрированные в изображенном интервале времени. Отметки на левой границе задают масштабную шкалу с шагом 1 метр.

ставляющую прилива M_2 , которая очень быстро восстанавливается в случае задания гармонических постоянных вдоль всей Курильской гряды. Особенностью приливной компоненты M_2 для Охотского моря является то, что один из ее котидальных узлов расположен на шельфе в северной части Сахалина, и положение этого узла оказалось очень чувствительным к используемому в вычислительной модели коэффициенту придонного трения. Так, если, основываясь на литературных источниках, воспользоваться коэффициентом: $K_v = 0.0025$, то котидальный узел исчезает с поверхности Охотского моря, при этом по фазовым линиям видно, что он смещен далеко вглубь острова Сахалин. Если же при моделировании не используется донное трение, то узел смещается от побережья Сахалина далеко в море. Удовлетворительные результаты были получены при $K_v = 0.0013$. При этом не делается оценок реального коэффициента донного трения, так как разница $\delta K_v = 0.0012$ может быть обусловлена вязкостными свойствами вычислительной модели.

На рисунке 2 показаны записи, полученные в процессе установления приливного режима, на основании которых можно сделать вывод о том, что качественное установление формы приливных колебаний происходит примерно через неделю расчетного времени. На основе численного анализа этих мариограмм делается вывод о длительности процесса установления приливных (вынужденных) колебаний Охотского моря, равного примерно 1-му месяцу. Этому сроку соответствует стабилизация среднего уровня моря во всех точках расчетной области - очень любопытного процесса, который можно использовать для моделирования постоянных течений, возникающих в том случае, если средний уровень в точках генерации приливных волн удерживать не на нулевой отметке.

По рисунку (3) делается вывод о факте качественного восстановления приливного режима в Охотском море. На рисунке хорошо видно угасание высокочастотных составляющих прилива, а также появление новой, пока не

исследованной вычислительной проблемы, связанной с полугодовым изменением хода огибающей прилива в пункте Эвенск.

Дополнительные алгоритмы, реализованные в программном комплексе

В настоящей версии программы реализованы также алгоритмы для моделирования воздействия атмосферных циклонов и цунами, численное моделирование которых возможно совместно, а также с участием предварительно стабилизированных приливных полей.

Так как речь идет об оперативном использовании вычислительных экспериментов, то реальное их использование возможно только после сопряжения компьютеров, выполняющих моделирование, с источниками цифровой информации, необходимой для уточнения или адаптации вычислительного мониторинга, к реальной обстановке на море.

Показанная на рисунке 4 модель воздействия циклона на поверхность океана предназначена для выполнения оперативных прогнозов штормовых нагонов, которые могут быть выполнены на основе соответствующих метеорологических прогнозов. В математической модели предусмотрено занесение реальных полей давления воздуха и скоростей ветра, которые могут быть использованы в расчетах после согласования форматов оперативных данных, имеющихся в распоряжении синоптиков - прогнозистов.

Аналогичные расчеты, конечно же, можно выполнять в ретроспективе, например, для уточнения результатов экспедиционных исследований или для анализа дрейфа примесей и планктона (в случае успешной реализации двухслойной модели течений).

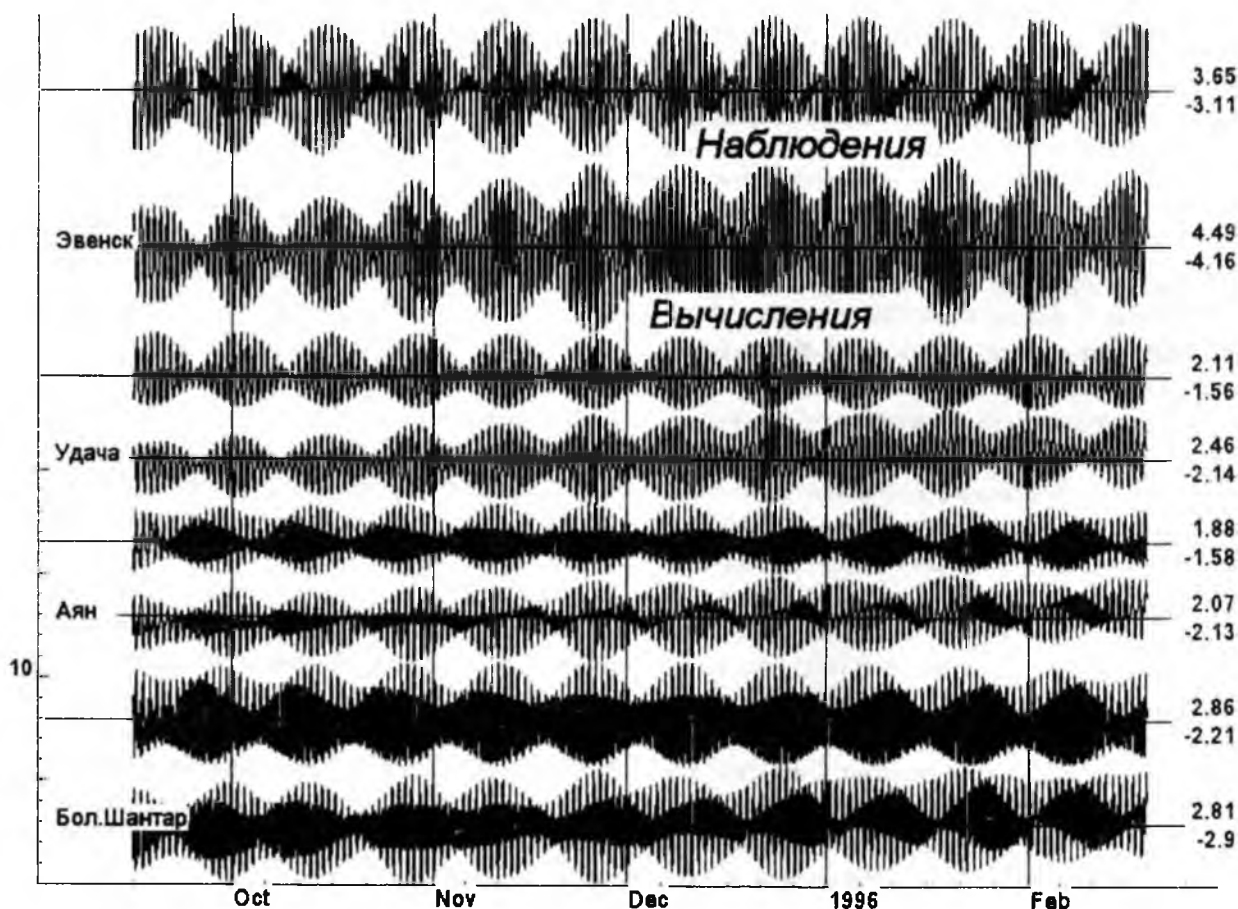


Рис. 3. Попарное сравнение наблюдаемого (верхний ряд, без подписи названия) и восстановленного (нижний ряд с названием) прилива в нескольких пунктах Охотского моря, удаленных от генераторов вынужденных колебаний. Цифры справа показывают максимальные и минимальные значения уровня моря. Отметки на левой границе задают масштабную шкалу с шагом 1 метр.

Охотское море. Меркаторская проекция. Шаг сетки 16 км.

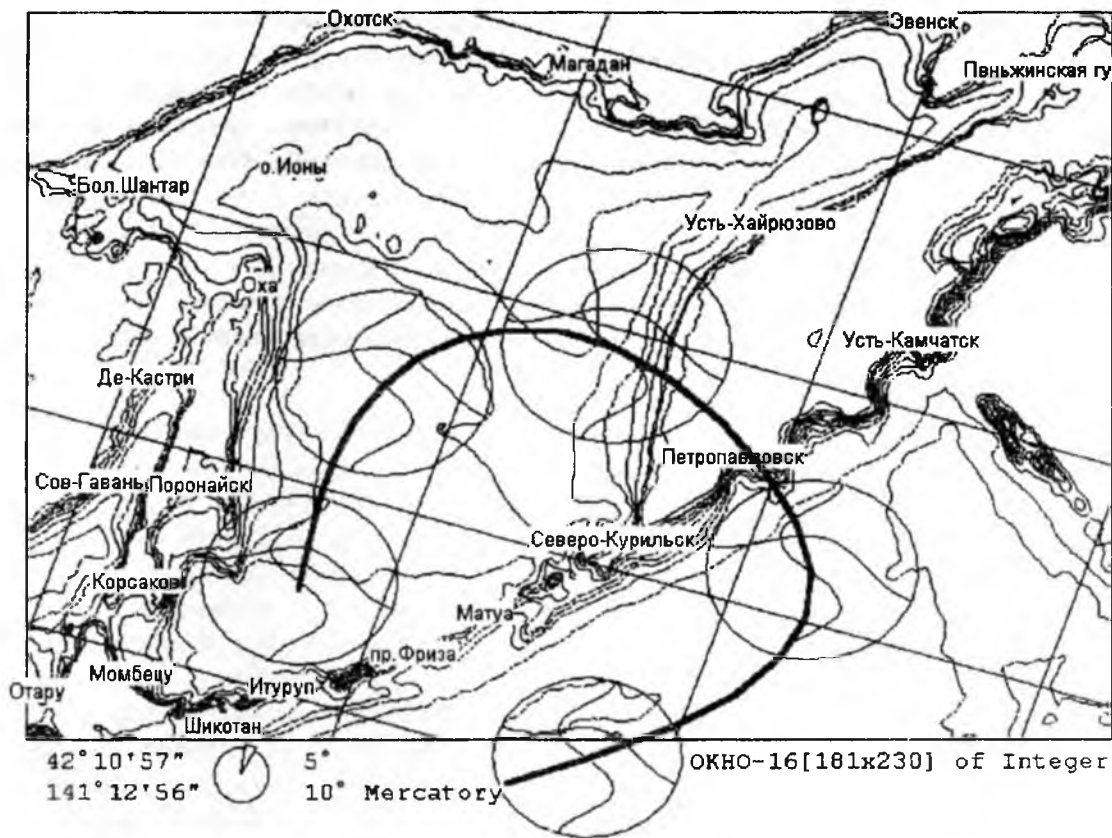


Рис. 4. Пример задания маршрута движения атмосферного циклона с помощью математической модели, определяющей плавное изменение метеорологических параметров вдоль траектории кругового циклона. Реализован учет атмосферного давления в центре циклона, максимальной скорости ветра и коэффициента поверхностного напряжения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ПРОЕКТ РЕШЕНИЯ ОРГАНИЗАЦИОННЫХ ВОПРОСОВ

В заключение остановимся на общем круге задач, в которых возможно применение вычислительных экспериментов для повышения качества прогнозных и экспертных работ:

1. Дистанционный и вычислительный гидрофизический мониторинг;
2. Прогноз рыбных запасов и оперативная рыборазведка;
3. Обеспечение безопасности мореплавания;
4. Экологический мониторинг и контроль промысловых зон;
5. Оперативный сбор экспедиционных и промысловых данных.

Организация сбора информации о состоянии природной среды является общей задачей обеспечения жизнедеятельности в Сахалинской области, и здесь возможна постановка вопроса о единой сети сбора промысловых, гид-

рометеорологических, гидрофизических, сейсмических, экологических и других геологических данных. Оптимальным решением стало бы дооснащение действующих постов наблюдения, подчиняющихся УГМС и ОМСП, дополнительным полуавтоматическим оборудованием для сбора и передачи данных по существующим каналам связи.

Рассмотрим один из возможных вариантов функционирования сахалинской сети сбора телеметрических данных и принятия оперативных экспертных решений:

1. На базе Сахалинского штаба по делам ГО и ЧС создается электронный узел связи, который предназначен для определения маршрутов цифровых потоков данных, а также выполняет роль полноценного узла электронной связи зарегистрированного в российской и мировой сети передачи данных. К узлу подключаются по выделенным линиям связи городские и областные оперативные службы и объекты управления (в терминологии МЧС).

2. В СахНИРО, а также в УГМС, ОМСП и других оперативных службах создаются ведомственные центры сбора и обработки телеметрической информации, в которых осуществляется реальный оперативный контроль в соответствии с ведомственным разделением подзадач.

3. По мере развития технической базы средств наблюдения за окружающей средой электронный узел должен дооснащаться прямыми каналами цифровой связи со всеми рай-

онными центрами Сахалинской области, а от райцентров такие линии будут проводиться до конкретных пунктов наблюдения за состоянием моря или автономных гидрофизических постов.

4. Предложенная схема позволит обеспечить экспертной информацией не только оперативные службы и объекты управления штаба ГО и ЧС, но также позволит наладить сбор научной информации, необходимой для развития системы телеметрического мониторинга Сахалинской области и окружающих морей.

***V.N. Khramushin.* CONCEPT OF COMPUTING AND REMOTE MONITORING OF THE FAR EAST SEAS.**

Mathematical models and results of computing experiments on modelling of tide mode in the Okhotsk Sea are stated. A software, realised for today, allows to carry out the works on operative forecasting of storm drives and tsunami. Algorithms and techniques for practical modelling of sea currents, and, among them, with vertical stratification taking into account, are prepared. There are considered the questions of perfection of computing modelling by construction of algorithms, allowing to adapt processes of calculations for operative hydrometeorological and hydrophysical data, passing through telemetering channels and from systems of remote satellite monitoring.