

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК Научный совет по проблемам фундаментальной и прикладной гидрофизики		№ 4 (6) 2009
--	---	--

**Сборник научных трудов
Издается с 2008 года**

СОДЕРЖАНИЕ

Статьи

<i>Клячкин В.И.</i> Информационная интеграция гидрофизических и гидроакустических полей.....	4
<i>Левин И.М., Долин Л.С., Франгузов О.Н., Родионов М.А., Осадчий В.Ю., Савченко В.В.</i> Глубинные профили гидрофизических параметров в Баренцевом море применительно к проблеме лидарного зондирования.....	16
<i>Зимин А.В., Николаев В.Г., Родионов А.А.</i> Внутренние волны и их проявления на морской поверхности во время приливного цикла в Белом море.....	25
Итоги Первой конференции молодых ученых и специалистов «Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики» (МАГ-2009).....	30
<i>Каган Б.А., Софьина Е.В.</i> Сезонная изменчивость приливной волны M_2 в Северном Ледовитом океане.....	31
<i>Силина Т.А.</i> Алгоритмы комплексирования информации в системе подводного наблюдения, построенной по сетцентрическому принципу.....	38
<i>Семенов Н.Н.</i> Определение курсового угла подводного объекта по одному наблюдению при использовании сложного сигнала и когерентного приема.....	46
<i>Жиляев Е.А., Павлов А.А., Чернядев Е.В.</i> Автономная дистанционно управляемая сейсмогидроакустическая станция наблюдения за сигнально-помеховой обстановкой.....	51
Перспективные направления развития науки и техники	
<i>Гизитдинова М.Р., Кузьмицкий М.А.</i> Использование мобильных подводных роботов в решении современных проблем в Мировом океане.....	59
Хроника.....	66
Внимание, конкурс!.....	69
Информация о конференции ГА-2010.....	71
Правила представления материалов в редакцию.....	72

CONTENTS

Articles

<i>Kljachkin V.I.</i> Information Integration of Hydrophysical and Hydroacoustic Fields.....	4
--	---

In the present work the dynamic and information model of hydroacoustic and hydrophysical algorithmic systems interaction is considered with the view of designing of optimized (adaptive) procedures for weak signal allocation in the presence of masking interference, and also for estimation of unknown parameters of HA and HP field sources movement. Physical basis of these problems solving is the difference in field generation and propagation mechanism under their information interaction.

Key words: random fields, dynamics, information, adaptation, estimation, signal, noise.

<i>Levin I.M., Dolin L.S., Frantzuzov O.N., Rodionov M.A., Osadchy V.Yu., Savtchenko V.V.</i> Measurement of Depth Profiles of Optical and Hydrophysical Parametres in the Barents Sea: Application to Lidar Sensing Problem.....	16
---	----

Lidar detection of hydrophysical nonhomogeneity, such as internal waves or turbulence, is possible if there is marked stratification of the depth profiles of attenuation coefficient and the fluid density, and if the lidar echo-signal from pycnocline area is sufficiently large. A new submersible instrument for attenuation coefficient measuring was developed and produced. In this paper we describe the instrument and the algorithm of its calibration and measurement accuracy estimation. The results of field measurements of attenuation coefficient, density and temperature depth profiles in 12 spots (stations) in the Barents Sea are given. Using the results of these measurements, we computed the echo-signal levels and the signal-noise ratio as functions of depth. It was shown that at all stations the echo-signal power is sufficient enough for hydrophysical nonhomogeneity detection.

Key words: lidar sensing, attenuation coefficient, hydrophysical parametres, the Barents Sea.

<i>Zimin A.V., Nikolaev V.G., Rodionov A.A.</i> Internal Waves and their Displays on the Sea Surface During the Tidal Cycle in the White Sea.....	25
--	----

The results of an experiment on research of the internal waves, carried out in July, 2008 in the Onega gulf of the White Sea, are presented. Behavior of time variability of short -time period internal waves during a tidal cycle is investigated. It is shown that fluctuations of a thermocline and temperature of an ocean surface are correlated and in-phased.

Key words: internal waves, measurement, sea surface temperature, contact and non-contact methods.

<i>Kagan B.A., Sofina E.V.</i> Seasonal Variability of the M_2 Tide in the Arctic Ocean	31
---	----

The results for three-dimensional (3D) winter and summer tidal flows in the Arctic Ocean are presented. It is shown that dependent on ice seasonal variability of the tidal constants (amplitudes and phases of tidal sea surface level elevations) in the Central and Canadian parts of the Arctic Ocean is less than the mean square error in the predicted tidal sea surface level elevations. This means that the seasonal variability can be neglected, at least as a first approximation. A different situation is encountered in the Siberian continental shelf, where seasonal changes of tidal amplitude are ± 5 cm, while those of tidal phase vary from 15° to several tens of degrees.

Key words: tides, seasonal variability, modeling, the Arctic Ocean.

<i>Silina T.A.</i> Data Fusion Algorithms of Underwater Network-Centric Surveillance System.....	38
--	----

The construction, assignment, functions and algorithmic structure of data fusion of underwater network-centric surveillance system are considered.

Key words: data fusion, network-centric system, underwater surveillance system.

<i>Semenov N.N.</i> Course Angle Estimation of a Underwater Object by Only One Observation Using a Complex Signal and Coherent Reception.....	46
---	----

Using of a complicated probing signal and coherent reception allows to distinguish echo-signals from various blinking points on the case of underwater object that allows to estimate such secondary signs, as the form of object and its linear sizes. Measurement of frequency of each echo-signal allows to estimate radial speed of mutual moving, and the knowledge of the form of an object allows to estimate a course angle and full speed of observable object.

Key words: hydroacoustic, detection, glare, compound signal, form evaluation, a cluster.

<i>Zhilyaev E.A., Pavlov A.A., Chernyadev E.V.</i> Self-Contained Remote Controlled Seismohydroacoustic Station for Surveillance of the Signal-Noise Situation	51
--	----

The report considers a signal-noise situation surveillance station meeting the modern requirements: it has an adaptive teletype hidden communication path through hydroacoustic channel, nonvolatile memory of big capacity, long endurance (up to 1 year), deployment depth of down to 6000m, GPS receiver for determining its location, it uses rapid signal digital processing algorithms.

Key words: seismohydroacoustic station, hydroacoustic communication, memory, digital algorithms

Perspective Tendency of Development of Science and Technics

<i>Gizitdinova M.R., Kuzmitsky M.A.</i> Place and Role of Mobile Underwater Robots in the Decision of Modern Problems of Sea Activity of the States.....	59
--	----

In the article the review of the basic modern global problems connected with sea activity of the states in the World Ocean, a place and a role in their decision of a new perspective class of underwater systems – mobile underwater robots (or UUVs) is given. Globalization forming uniform universal economic-information field, bears both constructive, and destructive influence on many aspects of the world community life, including research, economic and military problems solved in the World Ocean. The spectrum of the basic problems and prospects of UUVs, as dual-purpose means, in their decision is considered.

Key words: mobile underwater robot, underwater systems, an information field, underwater conditions.

УДК 551.466.7

Б.А.Каган¹, Е.В.Софьина¹
sofjina_k@mail.ru

СЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПРИЛИВНОЙ ВОЛНЫ M_2 В СЕВЕРНОМ ЛЕДОВИТОМ ОКЕАНЕ

Приведены результаты моделирования трехмерной структуры приливного потока в Северном Ледовитом океане для зимнего и летнего периодов. Показано, что обусловленная сезонным циклом морского льда изменчивость гармонических постоянных приливной волны M_2 в Центральной и Канадской Арктике меньше средней квадратической ошибки расчета приливных колебаний уровня, так что ее в первом приближении можно не учитывать. Иное дело – окраинные моря Сибирского континентального шельфа, где сезонные изменения амплитуд приливных колебаний уровня могут составлять ± 5 см, фаз – от 15° до нескольких десятков градусов.

Сезонная изменчивость гармонических постоянных волны M_2 имеет два механизма: сезонная изменчивость поля плотности в океане и сезонный цикл морского льда. Результаты моделирования сезонной изменчивости, обусловленной первым механизмом, были представлены Коваликом (1981) [1], который показал, что определяемая таким образом сезонная изменчивость гармонических постоянных в Северном Ледовитом океане меньше точности используемой модели, и поэтому ею можно пренебречь. Сведения о сезонной изменчивости прилива, возникающей из-за сезонного цикла морского льда, весьма ограничены и относятся преимущественно к отдельным пунктам измерений уровня. Данных о ее пространственной изменчивости в масштабе всего океана нет, и потому неясно, можно ли охарактеризовать само явление как глобальное или как локальное. Все, чем мы располагаем сегодня, – это данные о сезонной изменчивости гармонических постоянных в отдельных пунктах Белого моря, побережья Сибирского континентального шельфа и Канадской Арктики [2-5]. Согласно [2], амплитуды приливных колебаний уровня в эстуариях рек Пья, Каменка и Сев. Двина могут быть в несколько раз больше летом, чем зимой, а фазы могут уменьшаться от зимы к лету до нескольких десятков градусов. Такая же ситуация имеет место в некоторых пунктах побережья окраинных морей Сибирского континентального шельфа [2, 5]. Напротив, в Канадской Арктике, кроме разве что локальных пунктов, расположенных в южной части моря Бофорта, влияние ледяного покрова представляется незначительным [3, 4].

Единственная работа, имеющая прямое отношение ко всему Северному Ледовитому океану, – это работа [1]. Правда, внимание на обсуждаемом вопросе в ней не акцентировалось. Более того, для определения амплитуд и фаз приливных колебаний уровня использовалась двухмерная гидродинамическая модель, в которой, как и во всех двухмерных моделях, неявно предполагается, что баротропная (средняя по глубине) скорость приливного течения равна соответствующей ей локальной скорости в подледном слое, а сдвиг фаз между напряжением трения в подледном слое и баротропной скоростью течения отсутствует. Внутренние напряжения в ледяном покрове описывались нелинейным вязким законом, предложенным в [6]. Приведенные в [1] модельные результаты не получили однозначного истолкования: сами авторы интерпретируют их как

¹ Санкт-Петербургский филиал Института океанологии им. П.П.Ширшова РАН

доказательство малого влияния льда на приливы в Северном Ледовитом океане, тогда как противоположенный вывод делается в работе [4].

Цель настоящего сообщения – продолжить начатые в [1] исследования влияния льда на океанские приливы в рамках аналогичного подхода, заключающегося в воспроизведении океанских приливов с помощью той или иной гидродинамической модели. Однако в отличие от [1] мы, во-первых, откажемся от применения двухмерной модели в пользу трехмерной, исключающей отмеченные выше недостатки; во-вторых, будем рассматривать приливный дрейф льда как элемент трехмерной приливной динамики в океане, покрытом дрейфующим льдом, и, в-третьих, воспользуемся вязко-упругой реологией льда, характеризующей свойства льда при низких температурах и включающей описание давления ледового сжатия в виде функции Хевисайда от производной сплоченности льда по времени.

Основу исследования сезонной изменчивости приливов в Северном Ледовитом океане составляет модифицированная версия трехмерной конечно-элементной гидротермодинамической модели *QUODDY-4*, отличающейся от первоначальной версии [7] наличием модуля приливного дрейфа льда. Его подробное описание можно найти в [8–11]. Взаимодействие воды и льда учитывается следующим образом: из модели льда используется информация о скорости и направлении приливного дрейфа льда, необходимая для определения напряжения трения в подледном слое, а из модели океана – информация приливных колебаниях уровня и скорости приливного течения на ближайшем (к поверхности раздела вода-лед) сеточном горизонте. Такая процедура повторяется на каждом шаге по времени, т.е. уравнения для воды и льда интегрируются одновременно, так что дефекты, присущие моделям с попеременным учетом и таким же отказом от учета взаимодействия воды и льда (фиксацией вектора скорости дрейфа льда через определенные промежутки времени [12]), не возникают.

Из модифицированной модели легко получаются два интересующих нас предельных случая: безледного моря и неподвижного припайного льда. Первый случай следует, если поверхностная масса льда (масса льда, приходящаяся на единицу площади) и коэффициент сопротивления в подледном слое равны нулю ($m_i = 0$, $c_D^i = 0$), второй – если скорость дрейфа льда полагается равной нулю ($u_i = 0$). Принимается, что ледяной покров зимой представляет собой комбинацию двух типов льдов – дрейфующего и припайного, причем граница между ними совпадает с изобатой 25 м [2]. Летом в Северном Ледовитом океане выделяются две области: одна из них (Центральная Арктика) покрыта дрейфующим льдом, другая (окраинные моря) – частично свободна ото льда. Южная граница дрейфующих льдов фиксируется [13]. Распределение толщины льда в Центральной Арктике, включая Канадскую Арктику, задается по данным [13], толщина льда на Сибирском континентальном шельфе принимается равной 2.0 м [13]. Проблема “полюса” разрешается введением «вращающейся» системы координат, предполагающей смещение полюса в любую удобную для исследователя область. Коэффициент сопротивления в подледном и придонном слое считается равным 0.015 и 0.003 соответственно, причем коэффициент сопротивления в подледном слое задается по результатам усреднения экспериментальных оценок, приведенных в [14]. Глубины заимствуются из 1-минутного банка данных *IBCAO* [15], приливные колебания уровня на открытой границе, отвечающие приливной волне M_2 , – из высокоразрешающей арктической модели [16]. Горизонтальное разрешение сетки варьируется от 2.85 до 106.55 км, вертикальное разрешение соответствует разбиению толщины океана на 20 слоев неодинаковой толщины, шаг по времени – 87.33 с. Остальные параметры модели выбираются такими же, как и в ее исходной версии. Продолжительность периода интегрирования до установления квазипериодического режима составляет 24 приливных цикла для зимнего и 32 для летнего сезонов.

Решение, отвечающее летним условиям, изображено на рис. 1а и 2а. Разность двух решений, характеризующая сезонную изменчивость гармонических постоянных – амплитуд и фаз приливных колебаний уровня – в Северном Ледовитом океане, изображена на рис. 1б и 2б. Приступая к обсуждению модельных результатов, отметим прежде всего то, что сезонные изменения амплитуд (рис. 1б) имеют глобальный характер. Изменения значений амплитуд от зимы к лету охватывают весь океан, причем положительные изменения, не превышающие, правда, 1 см, приурочены, главным образом, к Центральной Арктике. Положительные сезонные изменения амплитуд, достигающие 5 см, а в Байдарацкой губе и входе в залив Коцебу – 10 см, встречаются на Сибирском континентальном шельфе только в виде отдельных пятен. Они сосредоточены у восточного побережья о-вов Нов. Земля, побережья п-ва Таймыр, к северу от Новосибирских о-вов, к северо-западу от о. Врангеля и в юго-восточной части Чукотского моря. На остальной акватории Сибирского континентального шельфа отмечаются отрицательные сезонные изменения амплитуд, которые в Обской губе, в Хатангском, Анабарском и Оленекском заливе, к северу о. Котельный и к югу от о. Новая Сибирь достигают минус 40 см.

Сезонные изменения фаз приливных колебаний уровня представлены на рис. 2б. В основном наблюдается запаздывание фаз зимой относительно их значений летом, в среднем не превышающее 15° . Однако есть области, где запаздывание фаз может достигать и 170° . Они в основном детектируются в окрестности амфидромических точек, а также в Янском заливе и Селляхской губе моря Лаптевых. Отрицательные сезонные изменения фаз, достигающие минус 15° , отмечаются в Центральной Арктике, у восточного побережья о-вов Нов. Земля, на севере Карского моря, к северо-западу от о. Котельный, в центральных частях моря Лаптевых и Восточно-Сибирского моря. Наибольшие отрицательные сезонные изменения фаз (до минус 60°) наблюдаются в Байдарацкой губе, в Пясинском заливе и в северо-восточной части Чукотского моря.

Таким образом, при наличии ледяного покрова на Сибирском шельфе в целом наблюдаются ожидаемые изменения приливной динамики, а именно уменьшение амплитуд и увеличение (запаздывание) фаз приливных колебаний уровня. Однако имеют место и локальные изменения указанных характеристик противоположного знака, что подтверждается также данными наблюдений. Объясняется это явление тем, что образование цепочки амфидромий циклонического вращения в прибрежной полосе происходит в результате интерференции падающей и отраженной волн Пуанкаре с преобладанием волны, распространяющийся на восток, по сравнению с волной распространяющийся на запад. Изменение интенсивности такой интерференции приводит к смещению центров амфидромий, а оно, в свою очередь, связано с увеличением диссипации приливной энергии в ледовитом море по сравнению с безледным морем за счет диссипации приливной энергии в подледном слое. Это явление и вызывает изменения гармонических постоянных волн прилива разного знака. В некоторых случаях амфидромии могут даже вырождаться, как, например, в Байдарацкой губе и у входа в залив Коцебу.

Обратимся теперь к сравнению модельных оценок сезонной изменчивости гармонических постоянных с упоминавшимися выше немногочисленными данными наблюдений. Они оказались удовлетворительно согласующимися между собой. Так, сезонные изменения амплитуд приливных колебаний уровня для волны M_2 в пунктах гавань Тактояттак (южная часть моря Бофорта), Амдерма и Диксон составляют по результатам моделирования 5.5 см, минус 1.0 см, минус 3.1 см, фаз в п. Амдерма, м. Желания и м. Челюскина: 4.5° , 1.7° и 10.1° . По данным наблюдений там же они равны ~ 5.0 см, минус 1.8 см, минус 2.6 см, и 17° , 3° и 15° , соответственно [2, 4, 5]. Вообще, судя по [3], влияние ледяного покрова на приливы в эстуариях и заливах побережья Канадской Арктики, имеющих достаточно хороший (беспрепятственный) доступ к открытому океану, сравнительно невелико.

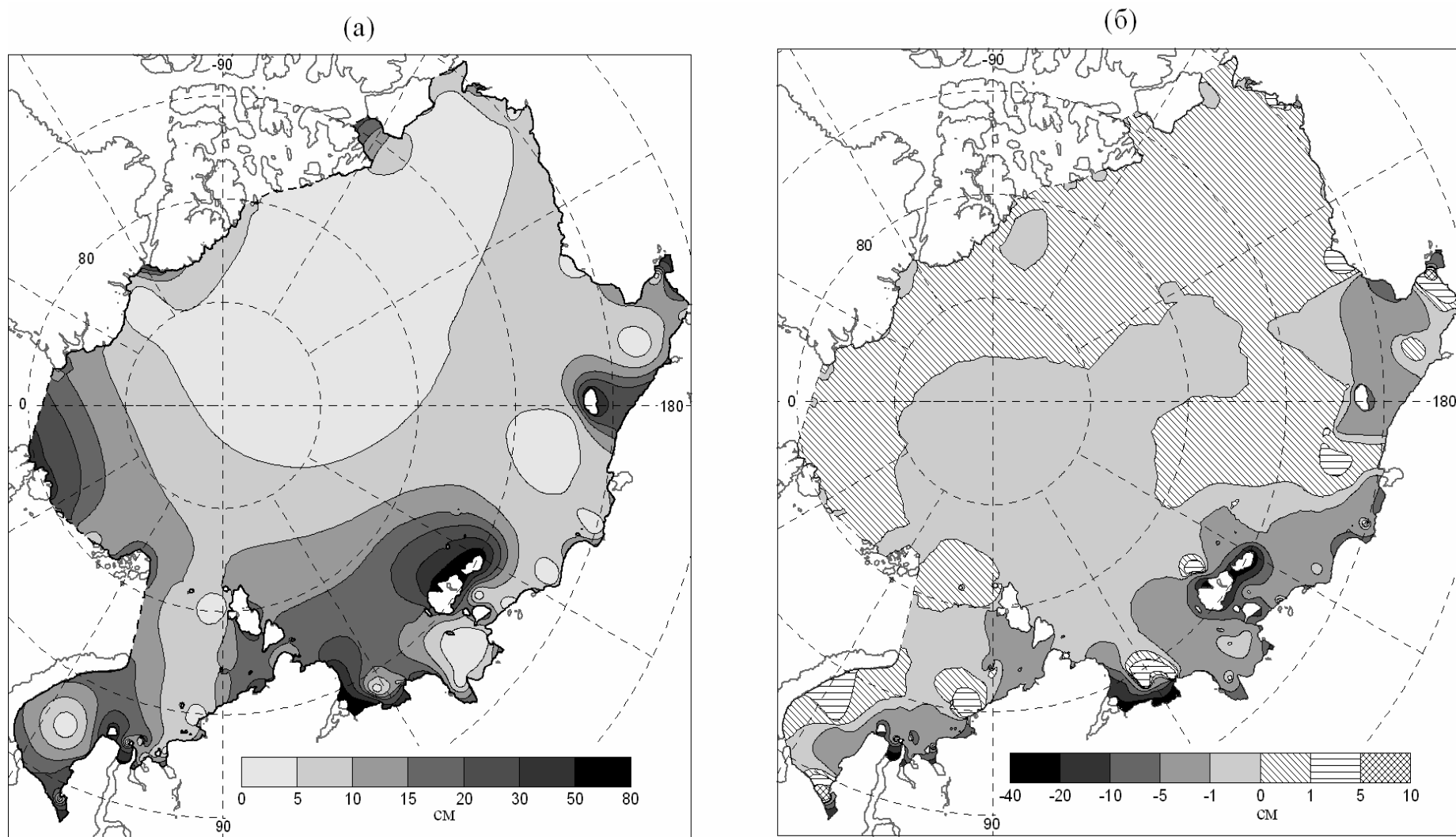


Рис. 1. Амплитуды (см) приливных колебаний уровня (гармоника M_2) летом (а) и их сезонные изменения (б) в Северном Ледовитом океане

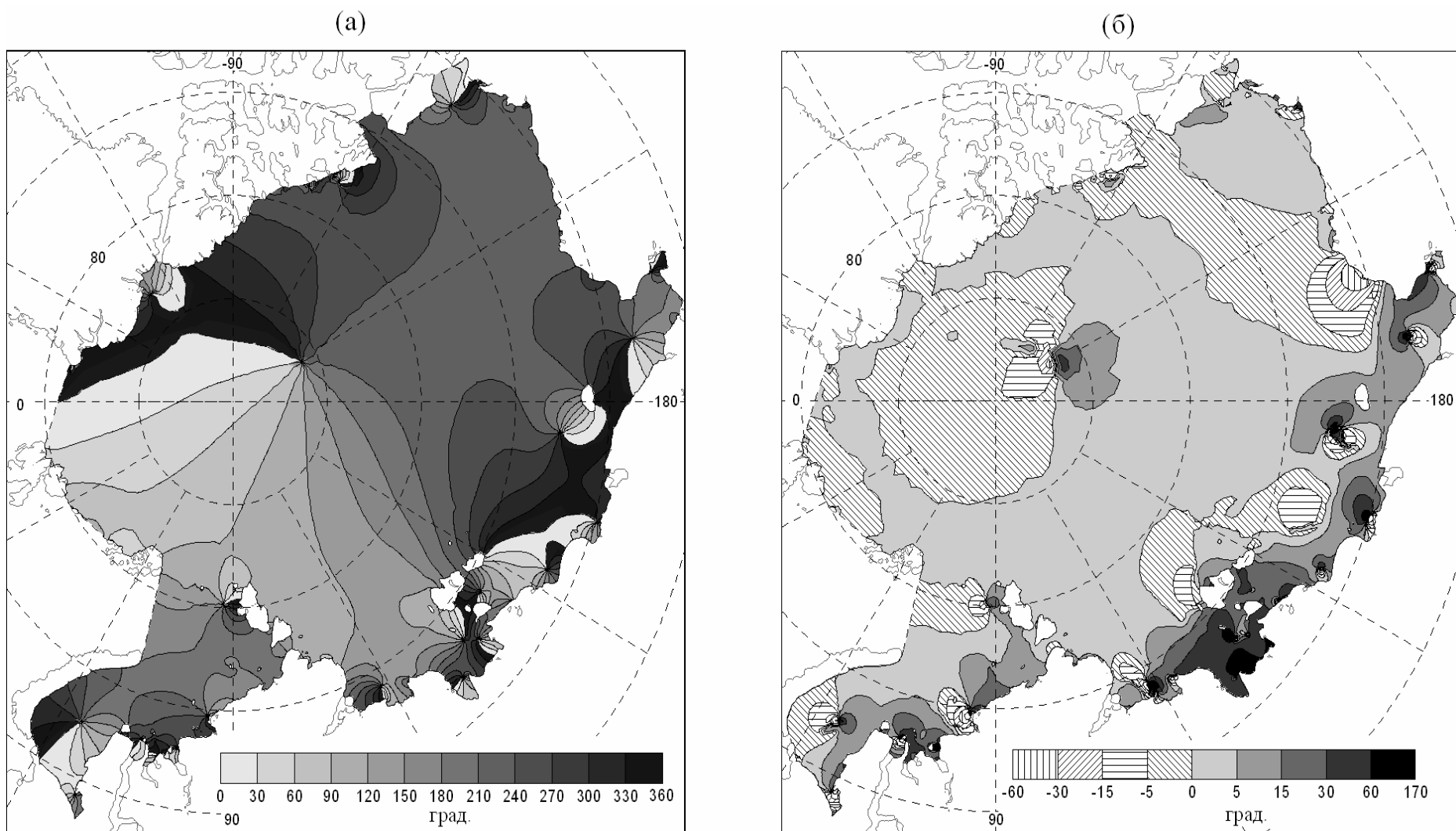


Рис. 2. Фазы (град) приливных колебаний уровня (гармоника M_2) летом (а) и их сезонные изменения (б) в Северном Ледовитом океане

Помимо данных о гармонических постоянных уровня, имеющихся в различных пунктах побережья и островов Северного Ледовитого океана, есть еще данные спутниковых радарных измерений дрейфа автоматических буев [17]. К сожалению, они не могут быть использованы для сравнения наблюдаемых и модельных значений скорости приливного дрейфа льда по двум причинам. Во-первых, это – низкое временное разрешение рядов наблюдений, исключающее возможность адекватного выделения полезного (приливного) сигнала. Во-вторых, даже если бы временное разрешение было надлежащим, использование этих рядов было бы затруднительным из-за того, что они соответствуют комбинированному (ветровому + приливному) форсингу, а модельная скорость приливного дрейфа льда – чисто приливному форсингу. Понятно, что в этом случае выделение полезного сигнала сопряжено с привнесением неизбежных допущений и, стало быть, дополнительных ошибок. Те же причины, усугубленные еще и преобладанием ветрового форсинга над приливым [12], объясняют существующие расхождения между наблюдаемым направлением дрейфа буев и результатами моделирования. Дрейф буев по данным наблюдений, например, на Сибирском континентальном шельфе, где он проявляется особенно явно, имеет общую тенденцию к вращению против часовой стрелки, тогда как по результатам моделирования векторы скорости приливного дрейфа льда вращаются преимущественно в обратном направлении.

Далее, если данные наблюдений отнести ко всему году (хотя из-за погодных условий они приурочены, по-видимому, к лету), то средние квадратические абсолютная и относительная ошибки расчета приливных колебаний уровня в Северном Ледовитом океане в целом (всего имеется 91 пунктов измерений) составляют 4.45 см и 33.5%, тогда как для Сибирского континентального шельфа в отдельности они равны 4.42 см и 33.2%, соответственно. Как видно, сезонная изменчивость гармонических постоянных в Центральной Арктике получилась меньше средней квадратической абсолютной ошибки расчета, возникающей благодаря неточному знанию глубин океана, толщины льда и его реологии. Отсюда, в свою очередь, следует, что ею в первом приближении можно пренебречь. Иное дело – окраинные моря Сибирского континентального шельфа, где проявления сезонной изменчивости гармонических постоянных никак нельзя признать пренебрежимо малыми.

Итак, судя по представленным на рис. 1б и 2б модельным результатам, сезонная изменчивость гармонических постоянных в Арктике – широко распространенное явление, наиболее отчетливо выраженное в замерзающих окраинных морях Сибирского континентального шельфа, и отказ от его учета должно интерпретироваться не иначе как предположение.

Научно-исследовательская работа выполнена в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы, а также при финансовой поддержке РФФИ (проект 09-05-00097).

Ключевые слова: приливы, сезонная изменчивость, моделирование, Северный Ледовитый океан.

Литература

1. Kowalik Z. A study of the M_2 tide in the ice-covered Arctic Ocean // Modeling, Identification and Control. 1981. V.2. No.4. P.201-223.
2. Зубов Н.Н. Льды Арктики. М.: Изд-во Главсевморпути, 1945. 360 с.
3. Godin G. Modification of the tide in the Canadian Arctic by an ice cover. Manuscript Report Series № 56. Ottawa. Department of Fisheries and Oceans, Marian Environmental Science, 1980. 29 p.

4. Murty T.S. Modification of hydrographic characteristics, tides, and normal modes by ice cover // *Marine Geodesy*. 1985. V.9. No.4. P.451-468.
5. Войнов Г.Н. Приливные явления в Карском море. СПб.: Русское Географическое общество, 1999. 110 с.
6. Rothrock D.A. The mechanical behaviour of pack ice // *Annual Review of Earth and Planetary Science*. 1975. V.3. P.317-342.
7. Ip J.T.C., Lynch D.R. QUODDY-3 User's manual: Comprehensive coastal circulation simulation using finite elements: Nonlinear prognostic time-stepping model. Thayer School of Engineering, Dartmouth College. Hanover, New Hampshire. Report Number NML 95-1, 1995. 45 p.
8. Каган Б.А., Тимофеев А.А. Приливный дрейф льда в Белом море: результаты численного эксперимента // *Океанология*. 2005. Т.46. № 6. С.645-652.
9. Каган Б.А., Романенков Д.А., Софьина Е.В. Моделирование приливного дрейфа льда и индуцируемых льдом изменений приливной динамики на Сибирском континентальном шельфе // *Известия РАН, физика атмосферы и океана*. 2007. Т.43. № 6. С.831-850.
10. Каган Б.А., Тимофеев А.А. Оценка сплоченности льдов на примере Белого моря // *Известия РАН, физика атмосферы и океана*. 2007. Т.43. № 1. С.136-141.
11. Kagan B.A., Romanenkov D.A., Sofina E.V. Tidal ice drift and ice-generated changes in the tidal dynamics/energetics on the Siberian continental shelf // *Continental Shelf Research*. 2007. V.28, No.3. P.351-368.
12. Hibler W.D., Roberts A., Heil P., Proshutinsky A.Yu., Simmons H.L., Levick J. Modeling M₂ tidal variability in Arctic sea drift and deformation // *Annals of Glaciology*. 2006. V.44. P.418-428.
13. Фролов И.Е., Гудкович З.М., Радионов В.Ф., Тимохов Л.А., Широков А.В. Научные исследования в Арктике. Т.1 Научно-исследовательские дрейфующие станции "Северный полюс". СПб.: Изд-во Наука, 2005. 267 с.
14. Тимохов Л.А., Хейсин Д.Е. Динамика морских льдов. Л.: Гидрометеиздат, 1987. 273 с.
15. International Bathymetric Chart of the Arctic Ocean / National Geophysical Data Center.-Boulder, Co. USA: NGDC, 2008. Regime of access: <http://www.ibcao.org/>
16. Padman L., Erofeeva S.A. A barotropic inverse tidal model for the Arctic Ocean // *Geophysical Research Letters*. 2004. V.31. No.2. doi: 10.1029/2003GL019003. Regime of access: <http://www.agu.org/>
17. Kwok R., Cunningham G.F., Hibler W.D. Sub-daily sea ice motion and deformation from RADARSAT observations // *Geophysical Research Letters*. 2003. V.30. doi: 10.1029/2003GL018723. Regime of access: <http://www.agu.org/>

Статья поступила в редакцию 27.11.2009 г.