



Издается с 2008 г.

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Каган Б.А., Софьина Е.В., Рашиди Э.Х.А.</i> Чувствительность приливной динамики к пространственной изменчивости гидродинамической шероховатости дна на примере Печорского моря	4
<i>Мортиков Е.В.</i> Численное моделирование влияния стратификации на силу сопротивления при движении ледяного киля в двухслойной жидкости	12
<i>Шамин Р.В., Смирнова А.И., Юдин А.В.</i> Вопросы обнаружения и прогнозирования волн-убийц в вычислительных экспериментах	23
<i>Зимин А.В., Пикуль Т.А.</i> Использование вейвлет-преобразования для выделения характеристик внутренних волн	34
<i>Афанасьева С.А., Белов Н.Н., Бураков В.А., Буркин В.В., Зыков Е.Н., Иценко А.Н., Родионов А.А., Симоненко В.Г., Хабибуллин М.В., Югов Н.Т.</i> Расчет высокоскоростного движения инерционной модели при входе в воду и ее взаимодействие с металлической преградой	43
<i>Мальшикин Г.С., Воронина Н.Г., Смирнов А.С., Тимофеев В.Н.</i> К вопросу об оптимизации параметров корабельных бортовых протяженных антенн при неравномерном распределении уровня помехи	56
<i>Голубев А.Г.</i> Об алгоритме квазисогласованной фильтрации тональных эхосигналов	69
<i>Левин И.М., Радомысльская Т.М., Савченко В.В.</i> Видимость нефтяных пленок на поверхности воды из космоса	75
Научные сообщения	
<i>Зимин А.В., Родионов А.А., Здоровеннов Р.Э., Романенков Д.А., Шевчук О.И., Родионов М.А., Жегулин Г.В.</i> Экспедиционные исследования короткопериодной изменчивости гидрофизических полей в Белом море в июле–августе 2012 г. с научно-исследовательского судна «Эколог»	85
<i>Тюгин Д.Ю., Куркин А.А., Пелиновский Е.Н., Куркина О.Е.</i> Повышение производительности программного комплекса для моделирования внутренних гравитационных волн IGW Research с помощью Intel® Parallel Studio XE 2013	89
Рецензия на книгу	
<i>Галиев Ш.У.</i> Геофизические сообщения Чарльза Дарвина как модели теории катастрофических волн...	96
Из истории науки	
<i>Корчагин Н.Н.</i> Андрей Сергеевич Монин	97
Конференции	103
Поздравляем!	106
Хроника	107
Правила представления материалов в редакцию.....	109

CONTENTS

Articles

- Kagan B.A., Sofina E.V., Rashidi E.* Sensitivity of the Tidal Dynamics to the Spatial Variability of Hydrodynamic Roughness of the Bottom as Illustrated by the Pechora Sea Example 4

The results of investigation of the Pechora Sea tidal dynamics sensitivity to variations of the external governing parameters, obtained with the use of the 3D finite-element hydrostatic model QUODDY-4, are considered in this paper. It is shown that the tidal characteristics are weakly sensitive to variations of the critical depth separating the subdomains of rough and incompletely rough bottoms, and are strongly sensitive to variations of hydrodynamic roughness of the bottom.

Key words: hydrodynamically rough and incompletely rough bottoms, modeling, resistance laws, spatial inhomogeneity of the bottom roughness, the Pechora Sea.

- Mortikov E.V.* Numerical Simulation of the Stratification Effect on the Drag Coefficient of a Moving Ice Keel in a Two-Layer Fluid 12

This paper considers numerical simulation of a moving ice keel in a two-layer fluid. The immersed boundary method is used for modeling of the non-stationary complex geometry on the rectangular grids. The results of the drag force computations for various Froude numbers are presented in comparison with the laboratory experiments.

Key words: sea ice, two-layer fluid, drag coefficient, immersed boundary method, graphic processors.

- Shamin R.V., Smirnova A.I., Ydin A.V.* Questions of Detection and Forecasting of Waves-Killers in Numerical Experiments 23

Methods of forecasting and detection of rogue waves in numerical experiments are considered. Methods of operational forecast of freak waves, as well as the methods of remote sensing of the sea surface and application of computing experiments to validation of in-situ measurements, are suggested and analyzed.

Key words: rogue waves, computing experiments, mathematical simulations.

- Zimin A.V., Picul T.A.* Use of Wavelet Transformation for Detection of Internal Waves Characteristics 34

The presence of an internal tidal bar and intensive internal wave packets with the period of 10-20 minutes were detected from the in-situ data obtained on the White Sea shelf. Along with the standard methods the wavelet analysis was applied to describe the internal wave characteristics. A well-grounded choice of a wavelet basis and its construction method was carried out. Different options of wavelet transformation are shown while describing nonlinear waves.

Key words: internal waves, contact sensing, wavelet analysis, the White Sea shelf.

- Afanaseva S.A., Belov N.N., Burakov V.A., Burkin V.V., Zykov E.N., Ishchenko A.N., Rodionov A.A., Simonenko V.G., Khabibullin M.V., Yugov N.T.* Calculations of High-Speed Movement of the Inertial Model Entering the Water, and Its Interaction with the Metal Target 43

An initial stage of high-speed penetration of a needle-shaped metal body into the water and its interaction with the metal target are considered. The calculations are carried out in the frame of the continuum mechanics: for a solid body an elastic-plastic model, with allowance for destruction, is suggested, while for the water fluid mechanics equations are used. Over the considered range of speeds of 1.0–2.5 km/s, when the body is entering the water, a mode of developed cavitation occurs; the plastic deformation of the head part of the striker, and in some cases, its destruction, are observed, which leads to increase of the penetration resistance.

Key words: experimental, mathematical modeling, high-speed interaction, metal, water.

<i>Voronina N.G., Malyshkin G.S., Smirnov A.S., Timofeev V.N.</i> On the Issue of Optimization of Ship Broadside Extended Antennae Parameters, with Non- Uniform Distribution of Noise Level	56
--	----

The paper considers a way of weight coefficients optimization for a ship broadside extended multi-element antenna, with allowance for a number of requirements for its parameters, with the non- uniform noise level distribution over the antenna elements.

Key words: hydroacoustic, linear extended array-based antenna, broadsides antenna, not uniform noise, compromise optimization on the number of parameters.

<i>Golubev A.G.</i> On Algorithm of the Quasi-Matched Filtration of Tone Echo-Signals	69
---	----

For filtration of the tone echo-signals in the presence of reverberation interference, a narrow-band filter is synthesized, with the AFC being at a low level beyond the passband. The given property of the filter is reached due to introduction of a weighing window in the process of the spectral analysis. A traditional choice of a spectral decomposition interval, as well as the choice of the parameters of a specified window, results in the width of a filter passband being unmatched with duration of an echo-signal. The paper considers a problem of synthesis of an improved filter, with no defect described above.

Key words: filtration, reverberation, echo-signal, window, signal against noise ratio.

<i>Levin I.M., Radomyslskaya T.M., Savchenko V.V.</i> Visibility of Oil Films on the Water Surface From Space	75
---	----

Algorithms and results of the calculations of the apparent contrast of oil films on the sea surface are given for the case of observations from space in visual, ultraviolet and infrared spectral ranges (300–800 nm). The calculations were carried out for different water types and optical thicknesses of the maritime atmosphere and for various solar altitudes and wind velocities. It is shown that the oil films on the sea surface can be detected if the wind velocity ranges from 6 to 20 m/s and the solar zenith angle varies from 0 to 45 degrees. The greatest values of the contrast correspond to the highest wind velocities and solar zenith angle.

Key words: oil films, sea surface, contrast.

Scientific Messages

<i>Zimin A.V., Rodionov A.A., Zdorovenov R.E., Romanenkov D.A., Shevchuk O.I., Rodionov M.A., Zhegulin G.V.</i> Research of the Short-Term Variability of Hydrophysical Fields in the White Sea in July-August 2012 Onboard the Research Vessel "Ecology"	85
---	----

The information on the expedition of St. Petersburg branch of the Institute of Oceanology is provided. The purpose of work is accumulation of meteorological data to study variability of the local hydrophysical fields, produced by the tidal variations, in the White Sea areas differing in hydrological conditions.

Key words: internal waves, probing, satellite radar images, White Sea.

<i>Tyugin D., Kurkin A., Pelinovsky E., Kurkina O.</i> Increase of Productivity of the Program Complex for Modeling of Internal Gravity Waves IGW Research with the Help of Intel® Parallel Studio XE 2013	89
--	----

The new version of the program complex intended for numerical modeling of propagation and transformation of internal gravity waves in the ocean, with a finalized unit calculation of a ray of internal waves and with a paralleling of the program, which can significantly speed up the ongoing computation is presented. As a practical example of the proposed study additive properties of the shelf of the Baltic Sea from the point of view of long internal waves on the basis of the ray approach is offered. The values of the coefficient of capture are calculated and the corresponding maps are constructed.

Key words: numerical modeling, parallel algorithms, wave refraction.

УДК 551.465.557

© Б.А.Каган¹, Е.В.Софьина^{1,2}, Э.Х.А.Рашиди², 2012

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

²ФГБОУ ВПО «Российский государственный гидрометеорологический университет»

sofjina_k@mail.ru

ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ПРИЛИВНОЙ ДИНАМИКИ К ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ ШЕРОХОВАТОСТИ ДНА НА ПРИМЕРЕ ПЕЧОРСКОГО МОРЯ

Приводятся результаты исследования чувствительности приливной динамики Печорского моря к вариациям внешних определяющих параметров, полученные в рамках трехмерной конечно-элементной гидростатической модели QUODDY-4. Показано, что приливные характеристики слабо чувствительны к вариациям критической глубины, разделяющей подобласти с шероховатым и неполностью шероховатым дном, и сильно чувствительны к вариациям гидродинамической шероховатости морского дна.

Ключевые слова: гидродинамически шероховатое и неполностью шероховатое морское дно, законы сопротивления, пространственная неоднородность гидродинамической шероховатости дна, моделирование, Печорское море.

Мотивом для исследования чувствительности приливной динамики к пространственной неоднородности гидродинамической шероховатости дна послужили следующие три момента.

Во-первых, ставшая уже канонической оценка коэффициента сопротивления c_D , предложенная Дж.Тейлором [1]. Найденный им коэффициент сопротивления, равный $2.6 \cdot 10^{-3}$ (округленно $3 \cdot 10^{-3}$), нашел применение практически во всех двухмерных и даже в некоторых трехмерных приливных моделях. Тем самым неявно предполагалось, что c_D есть не что иное, как числовая константа. Последующие многочисленные измерения, выполненные в различных частях Мирового океана (их данные были систематизированы в [2]), а также оценки, полученные путем ассимиляции данных наземных и спутниковых измерений уровня [3–9] и из решения сопряженных уравнений приливной динамики [10–12], противоречили этому заключению. Они свидетельствовали о том, что c_D варьирует от одного района к другому, каждый из которых характеризуется своими высотой, формой и взаимным расположением элементов шероховатости, примерно в пределах двух порядков величины (от $6 \cdot 10^{-4}$ до $2 \cdot 10^{-2}$), а однозначно связанная с ним гидродинамическая шероховатость морского дна – примерно в пределах пяти порядков величины (от 10^{-4} до 7 см).

Во-вторых, согласно Хизершоу [13], использовавшему собственные измерения в прол. Миней и данные измерений Стернберга [14] в прол. Пюже, значения коэффициента сопротивления в открытых частях проливов и в прибрежных водах при прочих равных условиях (т.е. при сопоставленном составе грунта, одинаковой форме элементов шероховатости и близких значениях скорости) разнятся между собой (в первых они меньше, чем во вторых), а корреляция между гидродинамической шероховатостью морского дна и средней высотой элементов шероховатости в открытых частях проливов на площади с линейным масштабом порядка толщины придонного логарифмического слоя

отсутствует. Последнее обстоятельство указывает на то, что дно здесь не является гидродинамически шероховатым. Иная ситуация с корреляцией складывалась бы в противном случае. Другими словами, даже в приливных каналах морское дно вдали от прибрежных районов, скорее всего, является гидродинамически неполностью шероховатым (гладко-шероховатым), нежели шероховатым.

В-третьих, судя по нашим результатам моделирования, полученным с помощью законов сопротивления для осциллирующего вращающегося турбулентного пограничного слоя над различными гидродинамическими типами подстилающей поверхности, учет пространственной неоднородности гидродинамической шероховатости дна, в общем, не приводит к кардинальной перестройке приливной динамики в системе окраинных морей Северо-Европейского бассейна без Белого моря (измерения приливных характеристик оказываются меньшими ошибок вычислений). Вместе с тем ее учет сопровождается весьма ощутимыми изменениями приливной энергии (изменения энергетических характеристик получают величиной одного порядка с самими энергетическими характеристиками).

Все это, вместе взятое, стимулировало выполнение настоящей работы, цель которой авторы видели в том, чтобы количественно оценить чувствительность приливной динамики мелководного Печорского моря (юго-восточная часть Баренцева моря) к наблюдаемым вариациям внешних определяющих параметров. За основу была принята модифицированная версия трехмерной конечно-элементной гидростатической модели QUODDY-4. Модификация оригинальной модели сводилась к добавлению модуля, обеспечивающего определение горизонтальной изменчивости коэффициента сопротивления, и учету эффектов статического прилива. В остальном обе версии модели не отличались друг от друга. Модельные уравнения, включающие в случае однородного моря так называемое обобщенное волновое уравнение неразрывности для колебаний уровня, трехмерные нелинейные уравнения движения, записанные в гидростатическом и Буссинесковом приближениях, а также трехмерное уравнение неразрывности, служащее для определения вертикальной скорости, интегрировались до установления квазипериодического режима. Последний определялся как состояние, при котором относительные измерения усредненной (за приливный цикл) плотности баротропной приливной энергии становилось меньше 5%. Для поверхностного M_2 прилива в Норвежском, Гренландском и Баренцевом морях это условие выполнялось за 15 приливных циклов. Затем проводился гармонический анализ полученных временных рядов приливных колебаний уровня и баротропной (средней по вертикали) скорости приливного течения.

Следуя Хизершоу [13], предполагалось, что дно в мелководной прибрежной зоне этих морей является гидродинамически шероховатым, а в глубоководных открытых частях морей – неполностью шероховатым. При этом под гидродинамически шероховатым дном традиционно понималось дно, все элементы шероховатости которого выступают за пределы вязкого подслоя, а под гидродинамически неполностью шероховатым дном – дно, элементы шероховатости которого частично выступают за пределы вязкого подслоя и частично погружены в нем. В последнем случае шероховатость дна определялась из условия, чтобы шероховатость гидродинамически шероховатой и неполностью шероховатой подстилающей поверхностей была соизмеримой. Если дно считалось гидродинамически шероховатым, шероховатость дна определялась минимизацией средней квадратической абсолютной векторной ошибки предсказаний амплитуд и фаз приливных колебаний уровня в пунктах мареографных измерений. Конкретнее, – в случае гидродинамически шероховатого дна она получилась равной 0.1 см, в случае гидродинамически неполностью шероховатого дна – 10^{-3} см. Граница между подобластями с шероховатым и неполностью шероховатым дном полагалась совпадающей с заданной изобатой. В итоге к числу внешних определяющих параметров, подлежащих варьированию, относятся гид-

гидродинамическая шероховатость дна в мелководной прибрежной зоне и критическая глубина на границе между подобластями с шероховатым и неполностью шероховатым дном. Мы уже писали, что, по данным измерений, гидродинамическая шероховатость дна варьирует в пределах $10^{-4} \dots 7$ см или с точностью до порядка величины $10^{-3} \dots 10$ см. Будем полагать также, что диапазон изменчивости критической глубины составляет 25...100 м. Требуется оценить чувствительность приливной динамики Печорского моря, рассматриваемого в качестве составной части системы окраинных морей Северо-Европейского бассейна, к вариациям гидродинамической шероховатости и критической глубины в пределах, скажем, от 10^{-3} до 10 см и от 25 до 100 м соответственно.

Как обычно (см., напр., [15]), под исследованием чувствительности будем понимать выполнение контрольного эксперимента, воспроизводящего невозмущенное состояние исследуемой системы, и одного или нескольких численных экспериментов с измененными внешними условиями. Нас будут интересовать разности (изменения) решений, отвечающие этим условиям. Контрольные значения гидродинамической шероховатости дна в мелководной прибрежной зоне моря и критической глубины, разделяющей подобласти с шероховатым и неполностью шероховатым дном, положим равными 10^{-1} см и 50 м соответственно, т.е. такими, при которых, как это следует из сравнения предсказываемых и наблюдаемых (на береговых станциях мареографных измерений) амплитуд и фаз приливных колебаний уровня, средняя квадратическая абсолютная векторная ошибка расчета будет минимальна. Помимо всего прочего, принятая критическая глубина приближенно совпадает со средним из приведенного выше диапазона ее значений. Результаты исследования чувствительности представлены на рис.1–4 в виде гистограмм и полей изменений усредненной (за приливный цикл) скорости диссипации баротропной приливной энергии, максимальной баротропной скорости приливного течения амплитуд и фаз приливных колебаний уровня, полученных при вариациях гидродинамической шероховатости дна и критической глубины в указанных выше пределах.

Из рисунков видно, что увеличение гидродинамической шероховатости морского дна с 10^{-1} до 10 см вызывает усиление скорости диссипации баротропной приливной энергии (рис.1, *а*), а оно, в свою очередь, – общее ослабление максимальной баротропной скорости приливного течения (рис.1, *б*), а также уменьшение амплитуд (рис.1, *в*) и увеличение фаз (рис.1, *г*) приливных колебаний уровня. Особенно заметно они проявляются в Чешской губе. Подобного рода изменения, однако, встречаются не везде. В ограниченном числе узлов сеточной области (рис.2) или на части акватории Печорского моря имеют место обратные изменения того же порядка. Обратные изменения скорости диссипации баротропной приливной энергии при указанных выше (закономерных) изменениях других приливных характеристик обнаруживаются в Печорской и Хайпудырской губах.

Напротив, уменьшение гидродинамической шероховатости морского дна с 10^{-1} до 10^{-3} см приводит к ослаблению скорости диссипации баротропной приливной энергии (рис.3, *а*), а оно – к усилению максимальной баротропной скорости приливного течения (рис.3, *б*), увеличению амплитуд (рис.3, *в*) и уменьшению фаз (рис.3, *г*) приливных колебаний уровня. Вновь такие изменения выявляются только в Чешской губе (и то не всюду, а только в ее внутренней части), тогда как в Печорской и Хайпудырской губах вместо ослабления скорости диссипации приливной энергии происходят обратные изменения, сопровождаемые закономерными изменениями других приливных характеристик. Допустимо считать, что, как и при увеличении гидродинамической шероховатости дна, ее уменьшение здесь действительно может обуславливать как положительные (усиление), так и отрицательные (ослабление) изменения скорости диссипации баротропной приливной энергии в зависимости от величины относительного изменения баротропной скорости приливного течения. Не ясно, однако, является ли это объяснение единственным.

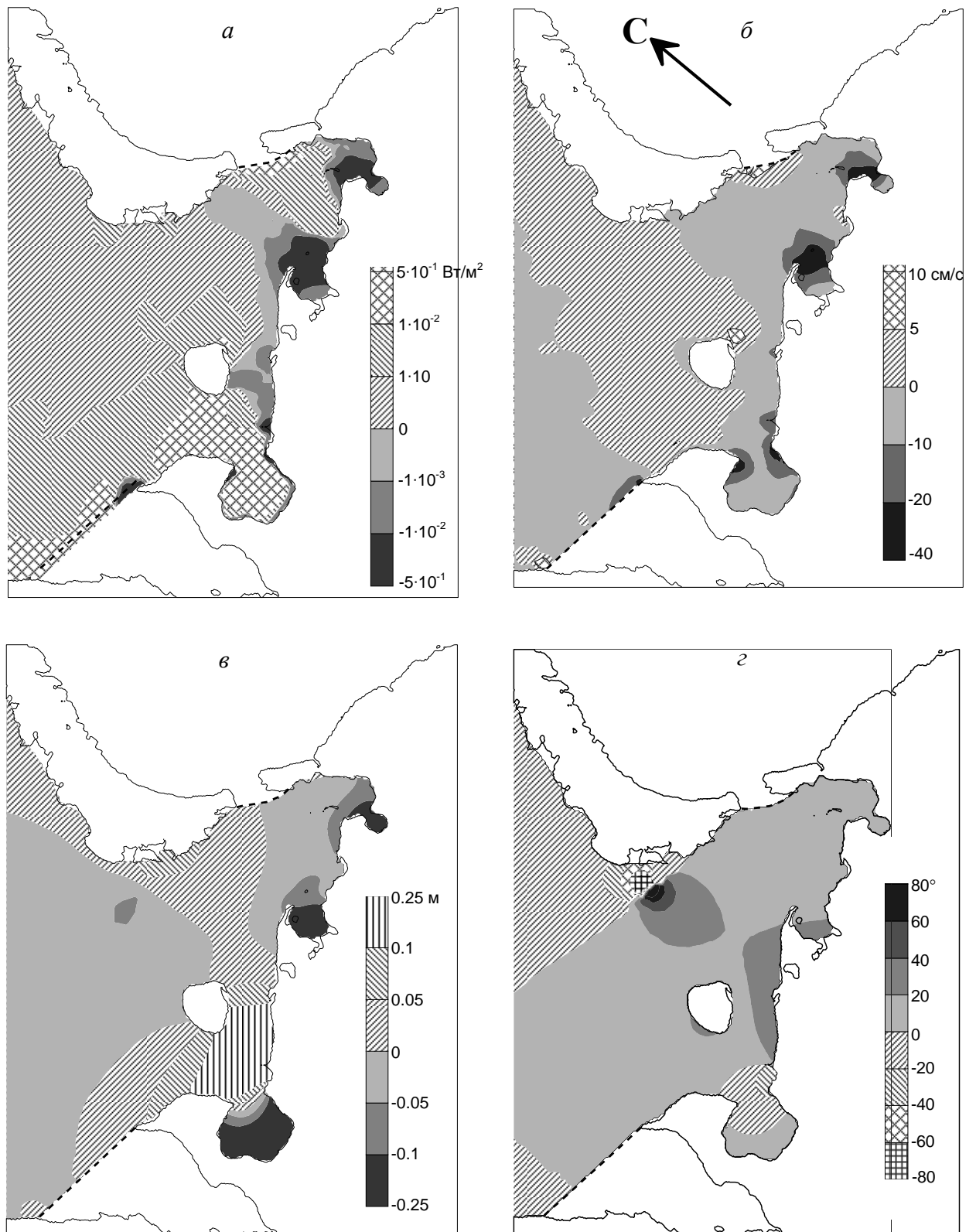


Рис.1. Поле изменений усредненной (за приливный цикл) скорости диссипации баротропной приливной энергии (а), максимальной баротропной скорости приливного течения (б), амплитуд (в) и фаз (г) приливных колебаний уровня в Печорском море при критической глубине, равной 50 м, и увеличении гидродинамической шероховатости от 10^{-1} до 10 см.

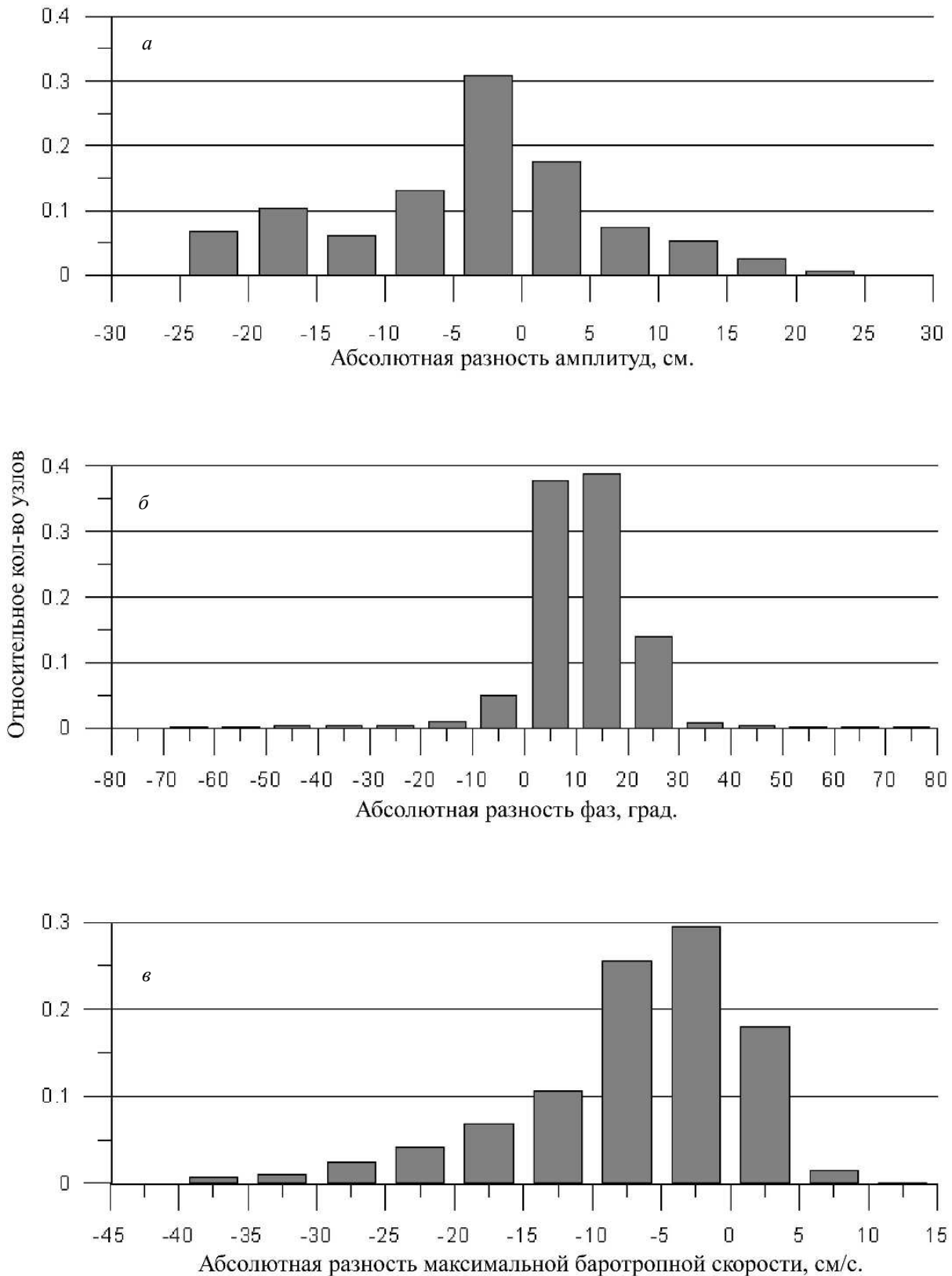


Рис.2. Гистограмма изменений амплитуд (а) и фаз (б) приливных колебаний уровня и максимальной баротропной скорости приливного течения (в) в Печорском море при критической глубине, равной 50 м, и увеличении гидродинамической шероховатости от 10^{-1} до 10 см.

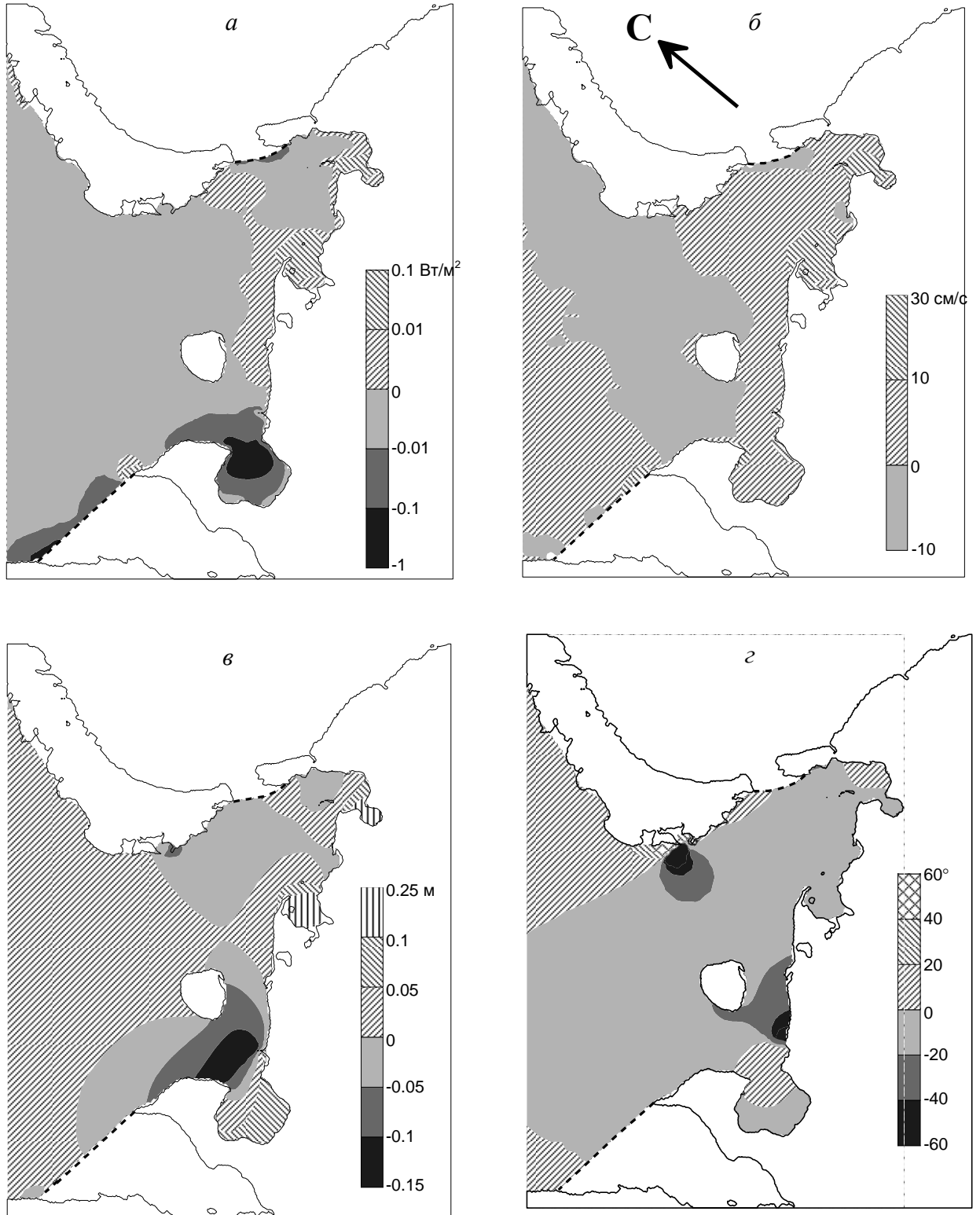


Рис.3. То же, что на рис.1, но при уменьшении гидродинамической шероховатости от 10^{-1} до 10^{-3} см.

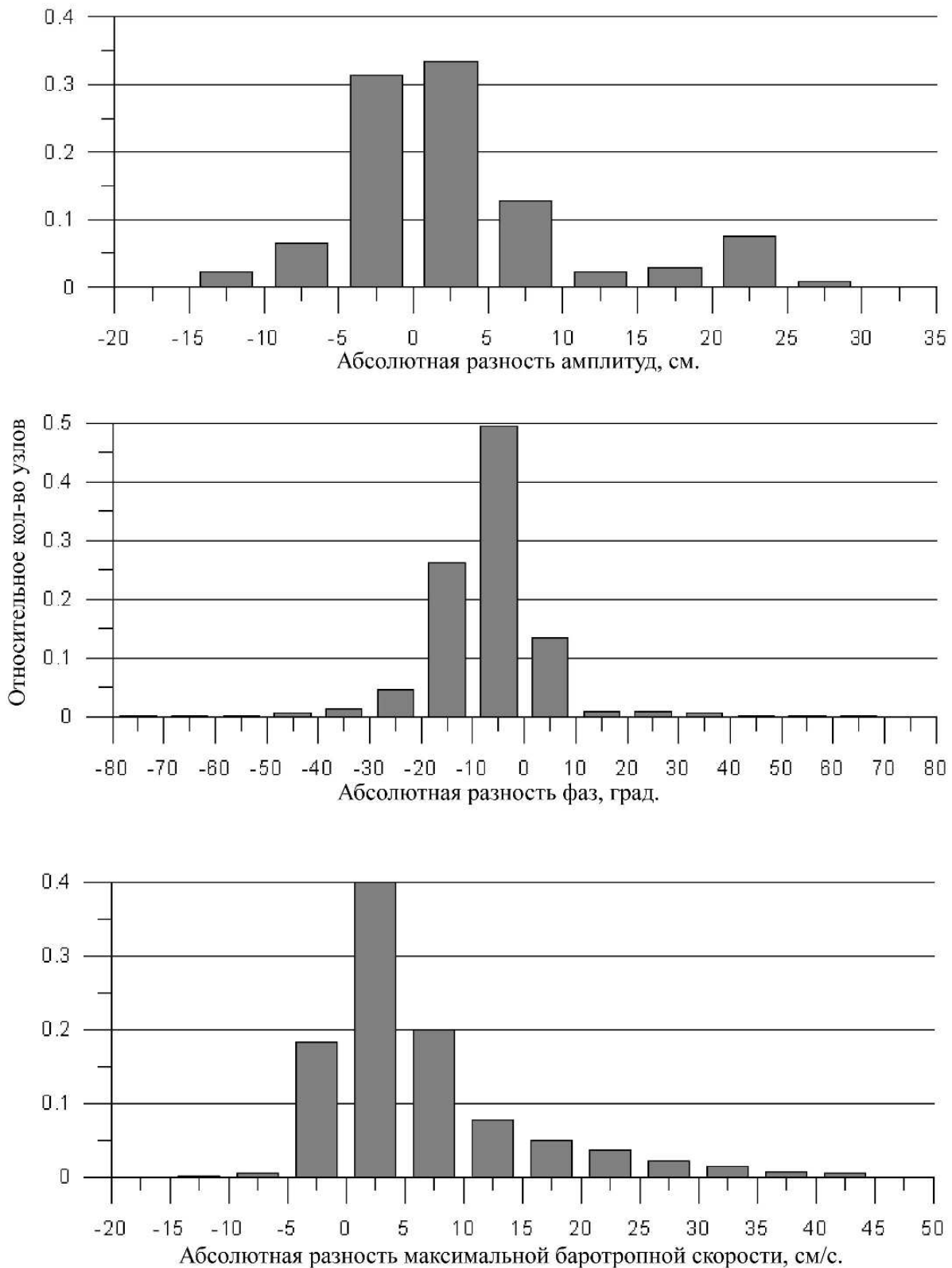


Рис.4. То же, что на рис.2, но при уменьшении гидродинамической шероховатости от 10^{-1} до 10^{-3} см.

Изменения приливных характеристик, о которых идет речь, отнюдь не малы: они могут достигать $\pm 5 \cdot 10^{-1}$ Вт/м² для скорости диссипации баротропной приливной энергии, от -40 до 10 см/с для максимальной баротропной скорости течения, ± 25 см для амплитуд и $\pm 80^\circ$ для фаз приливных колебаний уровня при увеличении; соответственно –

от 0.1 до -1.0 Вт/м^2 , -10 до 30 см/с , -15 до 25 см и $\pm 60^\circ$ при уменьшении гидродинамической шероховатости морского дна.

Иначе обстоит дело при вариациях критической глубины (на рисунках не показано). Когда критическая глубина изменяется от 25 до 100 м , изменения скорости диссипации не превышают $\pm 1 \cdot 10^{-3} \text{ Вт/м}^2$, а изменения максимальной баротропной скорости приливного течения, амплитуд и фаз приливных колебаний уровня (в порядке очередности) – $\pm 0.25 \text{ см/с}$, $\pm 0.1 \text{ см}$ и $\pm 10^\circ$. По-видимому, приливная динамика Печорского моря слабо чувствительна к вариациям критической глубины, но сильно чувствительна к вариациям гидродинамической шероховатости морского дна. Этот вывод носит предварительный характер. Дело в том, что перемещение критической глубины неизбежно сопровождается изменением эффективной шероховатости дна, определяемой как средне-взвешенное (по площади моря) значение локальной шероховатости. О величине ее изменений можно судить по следующим оценкам: при изменении критической глубины от 25 до 100 м эффективная шероховатость дна Печорского моря варьирует от 0.04 до 0.09 см соответственно.

Работа выполнена в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг., мероприятие 1.2.2 – Поддержка научных исследований, проводимых группами под руководством кандидатов наук по научному направлению «Науки о Земле» в области «Океанология», а также при финансовой поддержке РФФИ (проект 12-05-00110).

Литература

1. Taylor G.I. Tidal friction in the Irish Sea. Philosophical Transactions of the Royal Society. London, 1919, A220: 1–33.
2. Марчук Г.И., Казан Б.А. Динамика океанских приливов. Л.: Гидрометеоздат, 1991. 472 с.
3. Carrera J., Neuman S.P. Estimation of aquifer parameters under transient and steady state conditions: 1. Maximum likelihood method incorporating prior information. Water Resource Research, 1986, 22: 199–210.
4. Thacker W.C., Long R.B. Fitting dynamics to data. // J. of Geophys. Res. 1988, 93: 1227–1240.
5. Das S.K., Lardner R.W. On the estimation of parameters of hydraulic models by assimilation of periodic tidal data // J. Geophys. Res. 1991. 96: 15187–15196.
6. Das S.K., Lardner R.W. Variational parameter estimation for a two-dimensional numerical tidal model // Intern. J. for Numerical Methods in Fluids. 1992, 15: 313–327.
7. Smedstad O.M., O'Brien J.J. Variational data assimilation and parameter estimation in an equatorial Pacific Ocean model // Progress in Oceanography. 1991. 26: 179–241.
8. Lardner R.W. Optimal control of open boundary conditions for a numerical tidal model // Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering. 1993. 102: 367–387.
9. Ullman D.S., Wilson R.E. Model parameter estimation from data assimilation modeling: Temporal and spatial variability of bottom drag coefficient in the Hudson estuary // J. of Geophys. Res. 1998. 103: 5531–5549.
10. Heemink A.W., Mouthaan E.E.A., Roest M.R.T., Vollebregt E.A.H., Robaczewska K.B., Verlaan M. Inverse 3D shallow water flow modelling of the continental shelf // Continental Shelf Res. 2002, 22: 465–484.
11. He Y., Lu X., Qiu Z., Zhao J. Shallow water tidal constituents in the Bohai Sea and the Yellow Sea from a numerical adjoint model with TOPEX/Poseidon altimeter data // Continental Shelf Res. 2004. 24: 1521–1529.
12. Lu X., Zhang J. Numerical study on spatially varying bottom friction coefficient of a 2D tidal model with adjoint method // Continental Shelf Res. 2006. 26: 1905–1923.
13. Heathershaw A.D. Measurements of turbulence in the Irish Sea benthic boundary layer / Ed. Mc Cave I.N. The Benthic Boundary Layer. Plenum Press, N.Y. and L., 1976. P.11–31.
14. Sternberg R.W. Predicting initial motion and bedload transport of sediment particles in the shallow marine environment. / Eds.: Swift J.P. et al. Shelf Sediment Transport. Dowden, Hutchison and Ross Inc., Strasburg, Pa., 1972. P.61–82.
15. Дикинсон Р.Е. Чувствительность климата / Под ред. Д.В.Чаликова. Динамика климата. Л.: Гидрометеоздат, 1988. С.114–146 (пер. с англ.).

Статья поступила в редакцию 28.11.2011 г.

