

Экологические СИСТЕМЫ и ПРИБОРЫ

10•2012

ISSN: 2072-9952

<http://www.oil-slime.ru>
<http://www.intert.ru>

21-22 НОЯБРЯ 2012 ГОДА
II СЪЕЗД ЭКОЛОГОВ РОССИИ

Концертный зал "ИЗМАЙЛОВО"
(г. Москва, Измайловское шоссе, д.71, корп. Е)



ОРГКОМИТЕТ СЪЕЗДА:

Телефон: (495) 981-4597

(495) 953-4656

Факс: (495) 913-5616

e-mail: orgkomitet@intert.ru



Открытие Съезда в 10.00

Выставка - "Экология XXI века" - с 9.00 - 16.00

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И ПРИБОРЫ

№ 10
2012

ISSN: 2072-9952

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

СОДЕРЖАНИЕ

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

*Невейкин П.П., Осминов В.А., Зайцев В.В.,
Вербова Л.Ф., Парамонова Т.И.*

К вопросу о базе данных результатов мониторинга
в свете рекомендаций 101 публикации
Международной комиссии по радиологической защите..... 3

ЗАГРЯЗНЕНИЕ, КОНТРОЛЬ, АНАЛИЗ И ОХРАНА ЭКОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Эбзеева М.М.

Разработка программного обеспечения для экономической
оценки ущерба, причиненного водным объектам..... 11

Федоров В.Е., Захарова А.А., Кондауров Б.П.

Экологические аспекты технологических процессов
на предприятиях производства меха 16

Клепиков О.В., Куропан С.А., Ендальцева И.А.

Оценка аэротехногенного риска для здоровья населения
в условиях воздействия выбросов металлургического комбината 21

Щербаков А.Ю., Карев С.Ю., Абрамцев В.С.,

Прохоров И.С., Шаповалов Д.А., Скибарко А.П.

Вопросы подготовки и контроля качества искусственно
созданных грунтов для озеленения московских газонов 28

ОТХОДЫ И ВТОРИЧНОЕ СЫРЬЕ

Соколова Н.Р.

Утилизация отходов упаковки: международный опыт
и законодательная регламентация 34

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ И ПРОЦЕССОВ

Зибров Г.В., Умывакин В.М., Матвиец Д.А.

Двухкритериальная модель геоэкологической квалиметрии
для управления устойчивым природопользованием 49

Овчинников С.М., Омельков Д.И., Омелькова Е.В.

Манжуров И.Л., Антонов К.Л.

Создание базы данных для информационной системы
учета потоков отходов производства и потребления 55

Авербух Е.Л., Куркина О.Е., Куркин А.А., Тюгин Д.Ю.

Численное моделирование динамики пленок
поверхностно-активных веществ в поле уединенных
внутренних волн на примере условий Балтийского моря..... 63

Лобанов С.А.

Метод расчета коэффициента вариации годового стока рек..... 73

Правила рассмотрения и публикации статей 76

Учредитель и издатель:
ООО Издательство «Научтехлитиздат»

Журнал зарегистрирован в Министерстве РФ
по делам печати, телерадиовещания
и средств массовых коммуникаций
Свидетельство о регистрации ПИ № 77-1132
Подписной индекс ОАО «Роспечать» 79218
Подписной индекс «Пресса России» 27866

Главный редактор д-р техн. наук, проф.
Т.Г. САМХАРАДЗЕ

Редакция:
Сердюк В.С., Моисеева М.А.,
Краснова Л.М., Макаров О.И.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:
Гуляев Ю.В., акад. РАН; Лаверов Н.П., акад.
РАН; Федик И.И., чл.-корр. РАН; Матвеев В.А.,
д-р техн. наук, проф., заслуженный деятель
науки и техники РФ; Рыбин В.М., д-р техн. наук,
проф., заслуженный деятель науки и техники РФ;
Щербаков Н.С., д-р техн. наук, проф., заслуженный
деятель науки РФ; Гавардашвили Г.В., д-р
техн. наук, проф.; Галченко Ю.П., д-р техн.
наук; Голубятников И.В., д-р техн. наук,
проф.; Самхарадзе Т.Г., д-р техн. наук, проф.;
Тагасов В.И., д-р техн. наук, проф.; Чебышов С.Б.,
д-р техн. наук, проф.; Михайлов Ю.Б., д-р
техн. наук, проф.; Аксенов Ю.П., д-р техн.
наук; Проходский Ю.М., д-р техн. наук;
Романов А.А., д-р техн. наук; Филенко О.Ф., д-р
биол. наук; Проходская В.Ю., канд. биол. наук.

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются.
Публикация статей бесплатная. Правом внеочередной
публикации пользуются аспиранты и докторанты.
Материалы, опубликованные в настоящем журнале, не
могут быть полностью или частично воспроизведены,
тиражированы и распространены без письменного
разрешения редакции.
При перепечатке отдельных частей статей ссылка
обязательна.

Подписано в печать 7.10.12.
Формат 60×88 1/8. Бумага кн.-журн. Печать офсетная.
Усл.-печ. л. 14,3. Усл. кр.-отт. 32,1. Уч.-изд. л. 19,2. Зак. 429.
Тираж 2 700 экз.

☐ Адрес редакции:
107258, Москва, Алымов пер., д. 17, стр. 2.
☎ Тел.: (963) 680-10-50; (495) 231-78-81,
факс: (495) 231-78-80.
Бухгалтерия: (495) 737-52-19.
☐ E-mail: esip_99@mail.ru
<http://www.tgizd.ru>

Оригинал-макет и электронная версия подготовлены
ООО Издательство «Научтехлитиздат»

Отпечатано в ООО Издательство «Научтехлитиздат».
107258, Москва, Алымов пер., д. 17, стр. 2

Статья представляется в редакцию в одном экземпляре с комплектом рисунков, аннотацией, названием статьи, ключевыми словами, списком литературы на русском и английском языках, а также заполненную карточку «Сведения об авторе» согласно требованиям. Объем статьи не должен превышать 10...15 стр. машинописного текста. Текст статьи печатается через два интервала (между строками 6 мм) с одной стороны листа форматом А4; слева должно быть поле 4 см; страницы нумеруются.

Для ускорения прохождения материалов через редакцию текст статьи необходимо представить на дискете 3,5 дюйма. Текст необходимо набирать в редакторе Word шрифтом № 12, Times New Roman; текст не форматировать, т.е. не имеет табуляций, колонок и т.д. Рисунки выполняются обязательно отдельно от текста на листе форматом не более А4 и прилагаются в конце статьи.

Статья может быть представлена в редакцию по электронной почте esip_99@mail.ru с пометкой «Для ЭСип».

Желательна компьютерная графика; рисунки могут иметь расширения, совместимые с Word 97, т.е. dxf, plt, gif, cgm, cdr, eps, jpg, pcd, pct, drw, pch, png, tif, tga, dib, bmp, rle, wmf, emf, wpg.

Список использованной литературы (только органически связанной со статьей) составляется в порядке цитирования и дается в конце статьи. Ссылки на литературу в тексте отмечаются по-рядковыми цифрами в квадратных скобках. Фотографии должны быть предельно четкими, черно-белыми, на глянцевой бумаге. Все буквенные обозначения, приведенные на рисунках, необходимо пояснять в основном или подрисуночном тексте, который прилагается на отдельном листе. Недопустимы двойные обозначения на рисунках и в тексте. Нумеровать следует только те формулы и уравнения, на которые есть ссылка в последующем изложении.

К статье обязательно приложить лист с информацией об авторе: фамилия, имя, отчество, ученая степень и звание, контактный телефон, адрес организации и желательно домашний адрес.



CONTENTS

ECOLOGICAL MONITORING

Neveikin P.P., Osminov V.A., Zaytsev V.V.
Verbova L.F., Paramonova T.I.
 On the Question of the Database of Monitoring Results in the Light of the Recommendations of ICRP Publication 101 3

POLLUTION CONTROL, ANALYSIS AND CONSERVATION ENVIRONMENTAL SYSTEMS

Ebzeeva M.M.
 Software Development for The Economic Assessment of Damage Caused to Water Objects..... 11
Fedorov V.E., Zakharova A.A., Kondaurov B.P.
 Environmental Aspects of Process for the Production of Fur Companies..... 16
Klepikov O.V., Kurolap S.A., Endaliceva I.A.
 Estimation of Risk for Health of the Population in Condition of the Influence Polutions of Air From Metallurgical Plant..... 21
Scherbakov A.U., Karev S.U., Abramtzev V.S., Prochorov I.S., Shapovalov D.A., Skibarko A.P.
 Questions of Preparation and Quality Control of the Artificially Created Soils for Re-Planting the Moscow Lawns 28

WASTE AND RECYCLED RESOURCES

Sokolova N.R.
 Packing Recycling: International Experience and Legislative Regulation 34

MATHEMATICAL MODELING ENVIRONMENTAL SYSTEMS AND PROCESSES

Zibrov G.V., Umyvakina V.M., Matviets D.A.
 The Two-Criterial Model Geoecological Qualimetry for the Control of the Sustainable Use Nature..... 49
Ovchinnikov S.M., Omelkov D.I., Omelkova E.V.
Manzhurov I.L., Antonov K.L.
 Creating a Database Information System for Accounting Production and Consumption Waste Flow..... 55
Averbukh E.L., Kurkina O.E., Kurkin A.A., Tyugin D.Yu.
 Numerical Simulation of Surfactants' Dynamics in the Field of Internal Solitary Waves in the Conditions of the Baltic Sea 63
Lobanov
 The Method of Calculating the Coefficient of Variation of Annual Runoff 73
 Rules of Reviewing and Publication of Papers..... 76

Е.Л. Авербух

(Нижегородский государственный технический
университет им. Р.Е. Алексеева)

(Институт кибернетики при Таллинском
технологическом университете, Эстония)

О.Е. Куркина

канд. физ.-мат. наук

(Нижегородский государственный технический
университет им. Р.Е. Алексеева)

(Институт кибернетики при Таллинском
технологическом университете, Эстония)

(Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики», г. Нижний Новгород)

А.А. Куркин

д-р физ.-мат. наук, проф.

Д.Ю. Тюгин

(Нижегородский государственный технический
университет им. Р.Е. Алексеева)

E.L. Averbukh

O.E. Kurkina

A.A. Kurkin

D.Yu. Tyugin

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ПЛЕНОК ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ В ПОЛЕ УЕДИНЕННЫХ ВНУТРЕННИХ ВОЛН НА ПРИМЕРЕ УСЛОВИЙ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

NUMERICAL SIMULATION OF SURFACTANTS' DYNAMICS IN THE FIELD OF INTERNAL SOLITARY WAVES IN THE CONDITIONS OF THE BALTIC SEA

Рассматривается распространение и трансформация уединенных внутренних волн и их поверхностные проявления без учета и с учетом вращения Земли в рамках уравнений Гарднера и Гарднера–Островского в горизонтально-однородном и неоднородном (как по плотности, так и по глубине) стратифицированном бассейне. Динамика пленок поверхностно-активных веществ (ПАВ) в поле внутренних волн была промоделирована на основе уравнения баланса поверхностной концентрации, представляющего собой модель адвекции, дополненную диффузионными и релаксационными слагаемыми. Приведены результаты расчетов для вертикального разреза в условиях Балтийского моря.

Ключевые слова: уравнение Гарднера; уравнение Гарднера–Островского; стратификация; уравнение баланса вещества; адвекция; диффузия; релаксация.

Internal solitary waves and their surface manifestations with and without consideration the effects of Earth's rotation in the framework of Gardner and Gardner–Ostrovsky equations in horizontally homogeneous and inhomogeneous (both in density and depth) stratified basin are considered. Surfactant dynamics in the field of internal waves was modeled on the basis of the balance equation of the surfactant concentration and is presented for advection model with diffusion and relaxation included. Practical results are given for vertical cross-section in the hydrological conditions of the Baltic Sea.

Key words: Gardner equation; Gardner–Ostrovsky equation; stratification; balance equation; advection; diffusion; relaxation

Введение

Сильнонелинейные внутренние волны (ВВ) большой амплитуды, наблюдаемые повсюду в Мировом океане [1], вследствие огромной заключенной в них энергии и значительных скоростей как самих волн, так и индуцированных ими течений оказывают значительное воздействие на среду, в которой они распространяются. Проявление уединенных ВВ и их воздействие на рельеф дна, прибрежные и морские гидротехнические сооружения и гидрокосмостему существенно зависит от типа стратификации

в конкретной области моря и, в частности, от асимметрии расположения пикноклинов. Эта асимметрия естественно порождает асимметрию поля скоростей течений, индуцированных ВВ. Пространственная структура распределения компонентов скорости таких течений, определяется нетривиальным образом, местоположение экстремумов в этих полях определяется номером вертикальной моды волны и может приходиться как на внутренние области жидкости, так и на ее дно и поверхность [2, 3]. Так, для волн низшей бароклинной моды максимальные по абсолютной величине скорости наблюдаются как раз

частиц и примесей вблизи дна и поверхности моря на большие расстояния. В работе будем рассматривать процессы распространения и трансформации уединенных ВВ и их влияние на пленки ПАВ на примере условий Балтийского моря.

Балтийское море представляет собой неглубокое шельфовое море с преобладающими глубинами от 40 до 100 м. Оно является уникальным бассейном с особым гидрологическим режимом за счет большого количества пресной воды, поступающей за счет осадков и речного стока, и нерегулярного притока соленых вод Северного моря с глубинным течением [4]. Их взаимодействие приводит к формированию двух скачков плотности, сравнимых по величине и резкости, и при определенном расположении их по глубине может приводить к обращению в ноль некоторых коэффициентов взаимодействий для бароклинных волн Россби [5], а также к вырождению параметров нелинейности в слабонелинейных эволюционных уравнениях для ВВ [6...8].

Балтийское море испытывает мощное антропогенное воздействие и считается одним из морей, экологическое состояние которых особенно плачевно. Задача исследования динамики распространения загрязняющих веществ и примесей в поле ВВ в Балтийском море является актуальной, в том числе из-за наличия захоронений контейнеров с ядовитыми веществами времен Второй мировой войны. Так, в 2003 г. в Балтийском море был зарегистрирован 21 случай попадания химического оружия в рыбацкие сети [9].

Колебания уровня Балтийского моря, связанные с приливами, крайне невелики, их амплитуда меняется от 4 см (Клайпеда) до 10 см (Финский залив) [10]. Однако генерация ВВ в бесприливных морях возможна при протекании активных динамических процессов, связанных с возникновением и релаксацией прибрежного апвеллинга, вихрями различных масштабов, сгонно-нагонными явлениями, осцилляциями гидрологических фронтов и пр. Существует ряд работ, посвященных натурным наблюдениям и численному моделированию процессов генерации и распространения короткопериодных ВВ в бесприливных морях, базирующихся на экспериментальных данных, полученных с помощью контактных методов [11...13]. В работах [14...17] суммированы спутниковые наблюдения поверхностных проявлений ВВ (ППВВ) в морях без приливов. На основании обработки данных этих наблюдений были сделаны следующие выводы: 1) ВВ в бесприливных морях менее интенсивны, чем ВВ, возбуждаемые приливными течениями на океаническом шельфе, но более разнообразны с точки зрения механизмов своего происхождения; 2) имеет место значительная

ных изображениях (РЛИ) морской поверхности; 3) подтверждена связь между встречаемостью ППВВ в РЛИ и положением скачка плотности: максимальная встречаемость ППВВ соответствует наличию резкого и неглубокого пикноклина.

В ходе спутникового мониторинга были выявлены случаи поверхностных проявлений цугов ВВ на спутниковых РЛИ, полученных в том числе и над акваторией Балтийского моря. Следует отметить, что наблюдения ППВВ средствами спутниковой радиолокации в акватории Балтийского моря представляется затруднительным. Метеоусловия над Балтикой нестабильны. Усложнение гидрометеорологических условий – усиление или ослабление приводного ветра (штиль, ветровая тень), развитие волнения, цветение водорослей, выпадение интенсивных осадков, прохождение резких атмосферных и ветровых фронтов, появление ВВ в атмосфере – все это затрудняет распознавание ППВВ. Они «маскируются» проявлениями на морской поверхности процессов в приводном слое атмосферы [15].

Поэтому ППВВ в Балтийском море – достаточно редкое явление. В данных спутниковой радиолокации морской поверхности были детектированы лишь единичные случаи ППВВ. Всего, по данным работы [17] в 2009–2010 гг. выявлено 11 случаев проявления ВВ в собственно Балтийском море (включая Ботнический залив) и 12 – в датских проливах. В датских проливах ВВ вызваны внутренними приливами. Число волн в цуге, как правило, не превышает 10, максимальная длина волны не превышает 1 км, а длина фронта ведущей волны была не больше 25 км. В июле 2010 г. ППВВ регулярно наблюдались в южной части Ботнического залива и севернее и северо-западнее о. Готланд.

Нестационарные течения и волны на РЛИ представлены в виде групп светлых и темных полос. Темные области соответствуют спокойной, светлые – быстрой воде. Структура РЛИ определяется гидродинамическим контрастом. Возможны два механизма такого контраста: кинематический и пленочный. В шельфовой зоне пленочный механизм представляется более эффективным из-за значительного антропогенного загрязнения. Визуализация крупномасштабных процессов на поверхности моря возможна вследствие перестройки ветровой ряби этими процессами, т.к. обычно приборы регистрируют контраст спектра ветровой ряби. Изменчивость столь коротких волн на поверхности моря (сантиметровый диапазон длины волн) может быть обусловлена влиянием крупномасштабного поля течений на ветровую рябь, хотя, как показывают оценки, степень этого влияния слишком мала для объяснения наблюдаемых контрастов. Значительно более вероятным

процессом, объясняющим появление темных и светлых полос на спутниковых изображениях, представляется гашение ветровой ряби пленками ПАВ, которые меняют свои характеристики в поле неоднородных и нестационарных течений и таким образом в различной степени гасят ветровые волны на поверхности моря [18].

Загрязнение океана ПАВ в настоящее время очень велико. Органические пленки биогенного и антропогенного происхождения могут покрывать до 20 % поверхности Мирового океана. Особенно высока концентрация ПАВ в прибрежной зоне. Биогенные пленки – результат жизнедеятельности морских организмов и растений, главным образом, фито- и зоопланктона; их концентрация в Балтийском море постоянно возрастает, что вызвано биологическими изменениями, обусловленными эвтрофикацией [9]. Поверхностные пленки антропогенного происхождения в основном связаны с разливом нефти и нефтепродуктов и выбросом в море разнообразных загрязнителей промышленного и бытового происхождения. Нефтяные углеводороды поступают в Балтийское море из многих источников, в частности с речным и поверхностным стоком, в результате прямых сбросов из городов, предприятий. Другими важными источниками являются очистка нефтяных танкеров и другие умышленные сбросы с судов, а также разливы нефти при авариях (посадка танкеров на мель, случайные сбросы из береговых нефтехранилищ). Новый источник, который может оказаться очень опасным в Балтийском регионе – потери нефти при разведочных работах и эксплуатации прибрежных платформ [9].

Поэтому работа посвящена исследованию динамики примесей и загрязнений вод на примере Балтийского моря в поле ВВ. Статья включает в себя описание математической модели, лежащей в основе моделирования трансформации уединенной ВВ в рамках уравнения Гарднера и Гарднера–Островского, начальных условий и поля поверхностной скорости течения, определяющего концентрацию пленки ПАВ, а также результаты практических расчетов.

Модель внутренних волн

Исходным уравнением для описания длинных одномодовых слабонелинейных ВВ в стратифицированном океане является нелинейное эволюционное уравнение Кортевега–де Вриза с комбинированной нелинейностью, также известное как уравнение Гарднера. Учет горизонтальной неоднородности гидрологии и глубины бассейна приводит к изменчивости коэффициентов уравнения Гарднера вдоль направления распространения волны, которую во многих случаях можно рассматривать достаточно плавной (в масштабах длин волн), так что отражением

от неоднородности можно пренебречь. Обобщение уравнения Гарднера [19] на случай плавно неоднородной среды с учетом силы Кориолиса, также известное как уравнение Гарднера–Островского [20], имеет вид

$$\frac{\partial \xi}{\partial x} + \left(\frac{\alpha(x)Q}{c^2(x)} \xi + \frac{\alpha_1(x)Q^2}{c^2(x)} \xi^2 \right) \frac{\partial \xi}{\partial s} + \frac{\beta(x)}{c^4(x)} \frac{\partial^3 \xi}{\partial s^3} = \frac{f^2}{2c(x)} \int \xi ds, \quad (1)$$

где $\xi(s, X) = \frac{\eta(s, X)}{Q(X)}$; η является смещением изопикнической поверхности в максимуме вертикальной моды; $s = \int \frac{dX}{c(X)} - t$ – время в сопроceedающей системе отсчета; X – координата вдоль пути распространения волны; c – фазовая скорость длинных линейных ВВ; α – коэффициент квадратичной нелинейности; α_1 – коэффициент кубической нелинейности; β – коэффициент дисперсии; $\Phi(z)$ – функция, описывающая вертикальную структуру ВВ; Q – коэффициент линейного усиления, находимый из естественного условия сохранения потока энергии в неоднородной среде; f – параметр Кориолиса ($f=2 \Omega_E \sin \varphi$, $\Omega_E=0,00007292$ 1/с – частота вращения Земли; φ – географическая широта).

Это уравнение является неинтегрируемым и не имеет локализованных стационарных решений в диапазоне параметров, соответствующих ВВ.

Уравнение (1) приведено здесь в форме, удобной для решения граничной задачи, когда запись волны задана в некоей начальной точке в пространстве, и далее рассматривается распространение этого возмущения вдоль выбранной траектории в пространстве. Рассмотрим здесь трансформацию солитона ВВ в горизонтально-неоднородном вращающемся бассейне. Начальное условие для такой задачи задавалось в виде солитона уравнения Гарднера [21]

$$\eta(s, X=0) = \frac{A}{1 + B \cosh(\gamma V s)}, \quad \gamma^2 = a \frac{2\alpha + a\alpha_1}{6\beta}, \quad (2)$$

$$A = a \left(2 + a \frac{\alpha_1}{\alpha} \right), \quad B = 1 + a \frac{\alpha_1}{\alpha}, \quad V = c + \frac{\alpha A}{6},$$

где a – амплитуда солитона, которая может быть задана произвольно в соответствии с физическим смыслом задачи, значения коэффициентов c , α , α_1 , β берутся при $X=0$.

Эта функция является точным решением уравнения (1) при $f=0$ и постоянных коэффициентах.

Решение граничной задачи проводилось с помощью численного интегрирования уравнения Гарднера–Островского (1) с переменными коэффициентами. Моделирование производилось

с помощью неявной псевдоспектральной схемы [22], использование которой подразумевает периодические граничные условия по переменной s . Пространственный интервал выбирался, исходя из предполагаемой скорости возмущений и времени эволюции, и при необходимости расширялся. Для контроля численных расчетов использовались законы сохранения потока массы и энергии.

Полученный набор профилей амплитуды использовался для расчета поля приповерхностных скоростей по следующей формуле:

$$u(x, z=0, t) = \eta(x, t) \cdot c(x) \cdot \frac{d\Phi}{dz}(z=0, x), \quad (3)$$

где $u(x, z=0, t)$ – поле скорости на дне; $\frac{d\Phi}{dz}(z=0, x)$ – производная функции $\Phi(z)$ на дне.

Необходимо отметить, что указанное выражение для скорости горизонтального течения, индуцированного внутренним солитоном, получено в рамках слабонелинейной теории и является приближенным. Точность подобных приближений именно с точки зрения скоростей придонных и приповерхностных течений, возникающих при прохождении ВВ, оценивалась в работах [2, 3], где проводилось сравнение вертикальной структуры полнонелинейных уединенных ВВ и стационарных решений уравнений слабонелинейной теории (Кортевега–де Вриза и модифицированного уравнения Кортевега–де Вриза соответственно) для различных профилей стратификации плотности морской воды. В этих работах показано, что для солитонов положительной полярности слабонелинейная теория переоценивает придонные скорости и недооценивает поверхностные; для солитонов отрицательной полярности, которые являются наиболее типичными для стратификаций на шельфах низких и умеренных широт, наблюдается обратная картина. Для уравнения Гарднера подобные оценки не выполнялись. Однако, по всей видимости, можно ожидать, что выражение (3), построенное на основе уравнения Гарднера, дает в нашем случае верхнюю оценку для скорости поверхностного горизонтального течения во внутреннем солитоне отрицательной полярности и, соответственно, максимальный возможный эффект на пленку ПАВ.

Исходные данные и начальные условия

В качестве примера для практических расчетов были выбраны условия разреза в Балтийском море, показанного на карте на рисунке 1. Аномалия плотности и переменные параметры среды, используемые для моделирования уединенных ВВ согласно уравнению (1), соответствующие разрезу, изображены на рисунке 2. В качестве исходных данных о распределении плотности морской воды использовались данные международного гидрологического атласа GDEM [23] (Generalized Digital Environmental Model, GDEM

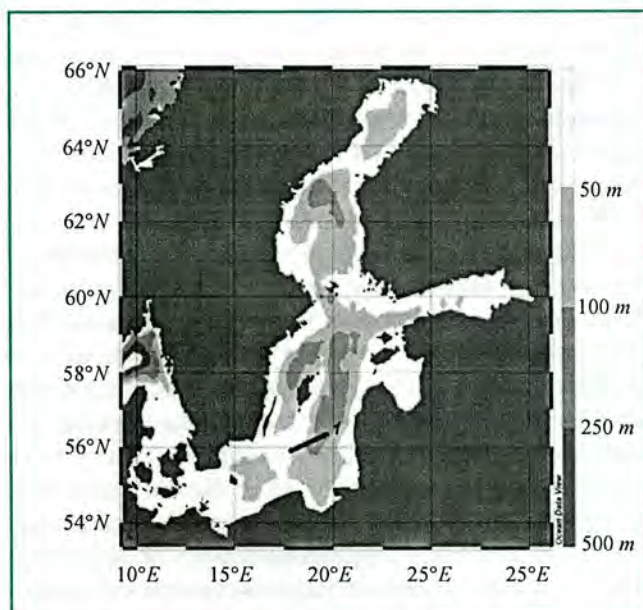


Рис. 1. Батиметрия Балтийского моря с обозначением разреза V 3.0): массивы усредненных и сглаженных данных натуральных измерений температуры, солености и других гидрологических параметров Мирового океана. Разрешение этих данных для Балтийского моря составляет 1/6 градуса по широте и 1/6 – по долготе. Плотность рассчитывалась на основе международного уравнения состояния морской воды [24].

Инструментом для вычислений послужила обновленная версия программного комплекса «IGW Research» для моделирования интенсивных ВВ в Мировом океане [25], разработанного с участием авторов статьи. Преимущество этого программного продукта состоит в том, что он позволяет снять рутину подготовки исходных данных и начальных условий для моделирования, содержит в себе атласы всех параметров, необходимых для расчетов длинных нелинейных ВВ, непосредственно производит вычисления для выбранной трассы, а также имеет элементы для визуализации данных и результатов расчетов.

Выбранный разрез длиной около 100 км имеет глубины в диапазоне 50...125 м и характеризуется постепенным плавным увеличением глубины (начиная с расстояния 25 км) после участка ее небольшого уменьшения. Коэффициент линейного усиления Q , равный единице в начальной точке разреза, затем слегка увеличивается, после чего падает до 0,4, в соответствии с изменениями глубины вдоль трассы. Линейные параметры ВВ – фазовая скорость c длинных волн и параметр дисперсии β в целом хорошо коррелируют с глубиной, увеличиваясь, начиная с точки 25 км. Нелинейные параметры α и α_1 , определяющие солитонный режим ВВ в рамках уравнения Гарднера [19], очень чувствительны к стратификации, поэтому изменяются вдоль разреза нетривиальным образом. Параметр квадратичной нелинейности α отрицателен в начальной точке разреза и сохраняет

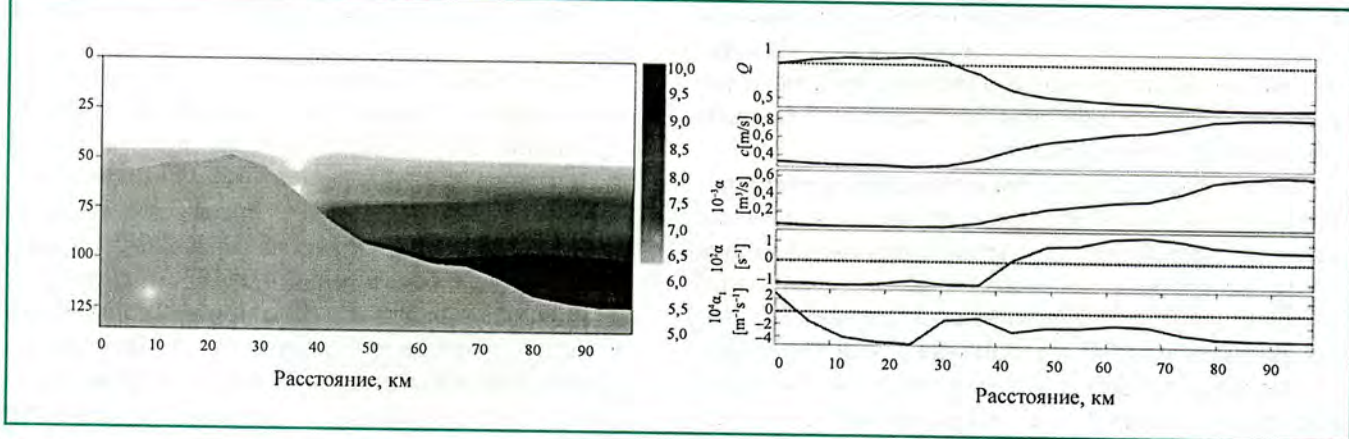


Рис. 2. Аномалия плотности [кг/м³] (слева) и параметры уравнения (1) (справа) вдоль трассы в Балтийском море

почти постоянное значение около -1×10^{-2} 1/с до точки 38 км, затем довольно быстро уменьшается по абсолютной величине и меняет знак на 43-м километре разреза, оставаясь положительным до его конца со значениями около 1×10^{-2} 1/с. Параметр кубической нелинейности положителен на небольшом отрезке трассы в начале разреза и быстро, практически линейно убывает при этом, в окрестности точки 4 км он меняет знак и остается отрицательным до конца разреза, имея несколько локальных максимумов и минимумов. Так как $\alpha < 0$, и $\alpha_1 > 0$ в начальной точке трассы, здесь возможны две ветви солитонных решений [19], одна из которых имеет полярность, соответствующую знаку α , а другая – противоположную. Второе семейство имеет при этом нижний предел амплитуды, который не является физическим в выбранных условиях (солитоны этой ветки должны иметь амплитуду не менее 166 м). Поэтому, в качестве начального условия в точке $x=0$, мы выбрали решение из первого семейства, солитон отрицательной полярности, амплитуда a в выражениях (2) для

которого равна -7 м. Он был сдвинут на постоянный пьедестал, высота которого выбиралась из условия равенства нулю массы начального возмущения, для согласования с уравнением (1) [26]. Трансформация такого возмущения (пересчитанного в поле горизонтальной скорости на поверхности в соответствии с выражением (3)) на неоднородном разрезе и под действием вращения Земли показана на рисунке 3, слева, в сопровождающей системе отсчета (s, x) и в исходных координатах (t, x) с учетом периодичности граничных условий. Видно, что солитон отрицательной полярности слабо трансформируется до точки смены знака квадратичной нелинейности, т.е. на протяжении почти 40 км, а затем перестраивается и дисперсионный осциллирующий волновой шлейф, распространяющийся на отрицательном пьедестале. Амплитуда волнового поля после перестройки постепенно уменьшается и достигает 1 м (при амплитуде исходного возмущения 7 м). В поле скорости это соответствует амплитудам 0,04 и 0,15 м/с. Поскольку Балтийское море – бесприливное,

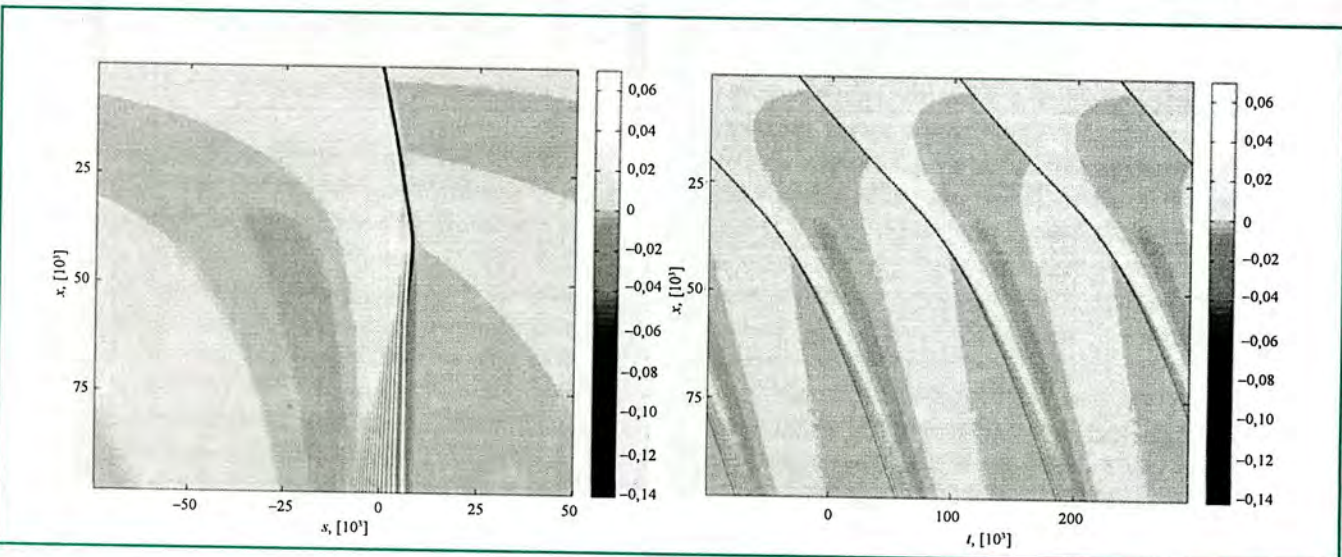


Рис. 3. Трансформация уединенной ВВ вдоль разреза

то направление распространения ВВ будет зависеть от источника их генерации и может быть, в принципе, любым, поэтому можно отметить, что смена направления разреза даст обратную картину – фокусировку волнового поля в солитон.

Распределение скоростей в исходной системе координат (t, x) с учетом периодичности граничных условий для случаев с постоянными (однородная среда) и переменными (неоднородная среда) значениями коэффициентов уравнения (1) в рамках уравнений Гарднера ($f=0$ в уравнении (1)) и Гарднера–Островского представлены на рисунке 4. Скорости послужили основой для исследования динамики пленок ПАВ.

В качестве основы исследования динамики ПАВ было использовано уравнение баланса поверхностной концентрации $\Gamma(x, t)$ [27]

$$\frac{\partial \Gamma}{\partial t} + \text{div}(\bar{u}\Gamma) = D\Delta\Gamma + \frac{\Gamma_0 - \Gamma}{\tau},$$

где \bar{u} – поверхностная скорость ВВ; D – коэффициент горизонтальной (поверхностной) диффузии; τ – характерное время релаксации пленки, описывающее процессы обмена с более глубокими слоями воды; Γ_0 – равновесная концентрация пленки на поверхности раздела (в отсутствие течения).

Было использовано периодическое граничное условие.

Полученные результаты расчета распределения концентрации примеси представлены на рисунках 5, 6. Для более подробного анализа представим сравнение распределения концентрации в различные моменты времени на рисунке 7, справа, для модели адвекции ($D=0, \tau=\infty$), сплошная серая линия) и адвекции–диффузии–релаксации ($D=100 \text{ м}^2/\text{с}, \tau=0,5 \text{ ч}$), пунктирная черная линия) на рисунке 7 слева. Можно отметить, что в самом простом случае без учета вращения Земли в однородной среде заметен пленочный след в виде полосы повышенной концентрации. При включении вращения Земли (силы Кориолиса) и переменных коэффициентов уравнения (1) в модель (для случая, наиболее близкого к реальности) поле концентрации становится все более неоднородным, и можно отметить совместное влияние этих эффектов в виде увеличения дисперсионных эффектов и рефракции ВВ с соответствующим изменением геометрии пленки. На рисунках 6, 7 видны проявления релаксационных и диффузионных процессов, приводящих к уменьшению отклонения концентрации от равновесного значения. Интересным представляется случай взаимодействия пленочного следа

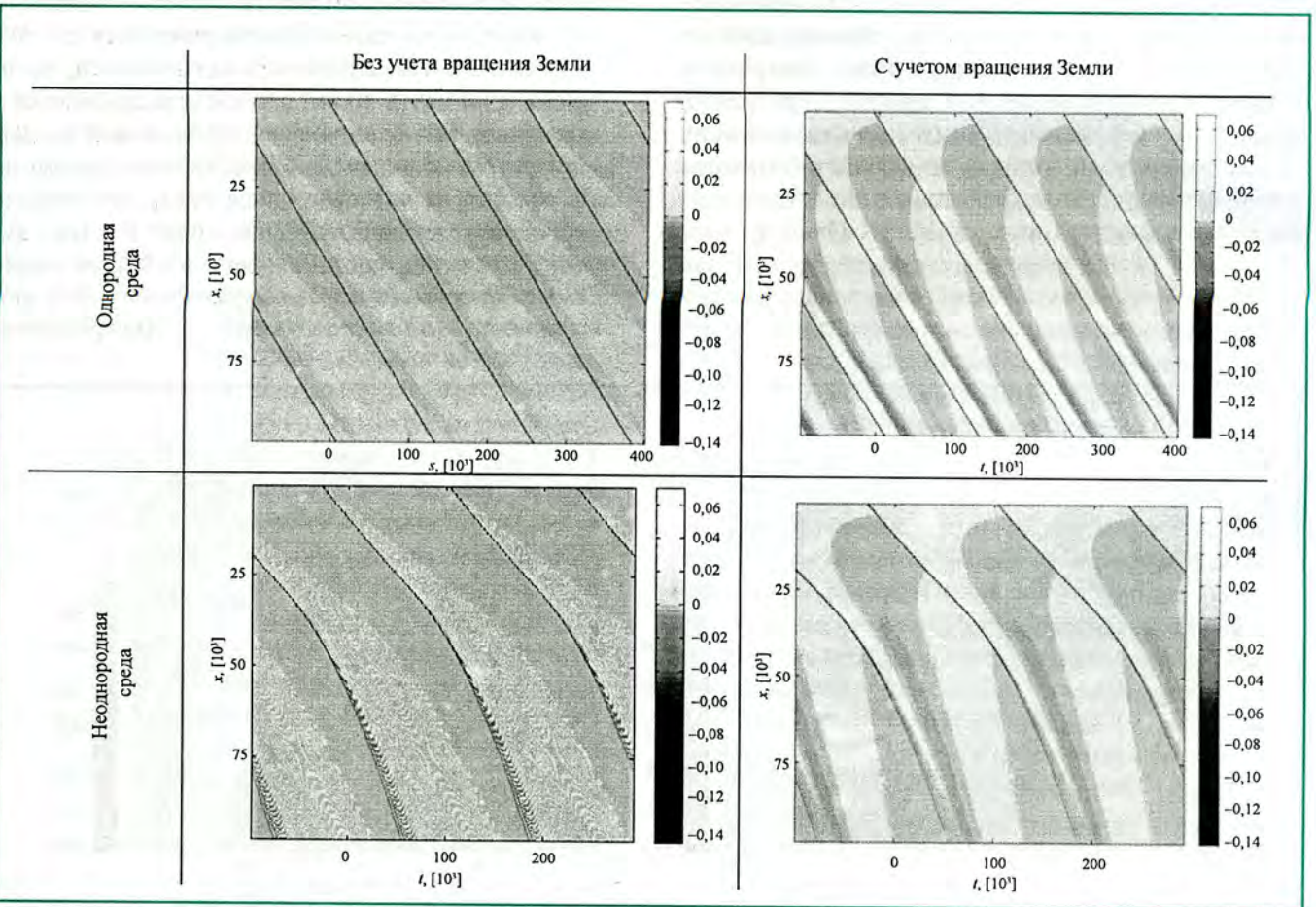


Рис. 4. Поле скоростей уединенной ВВ вдоль разреза

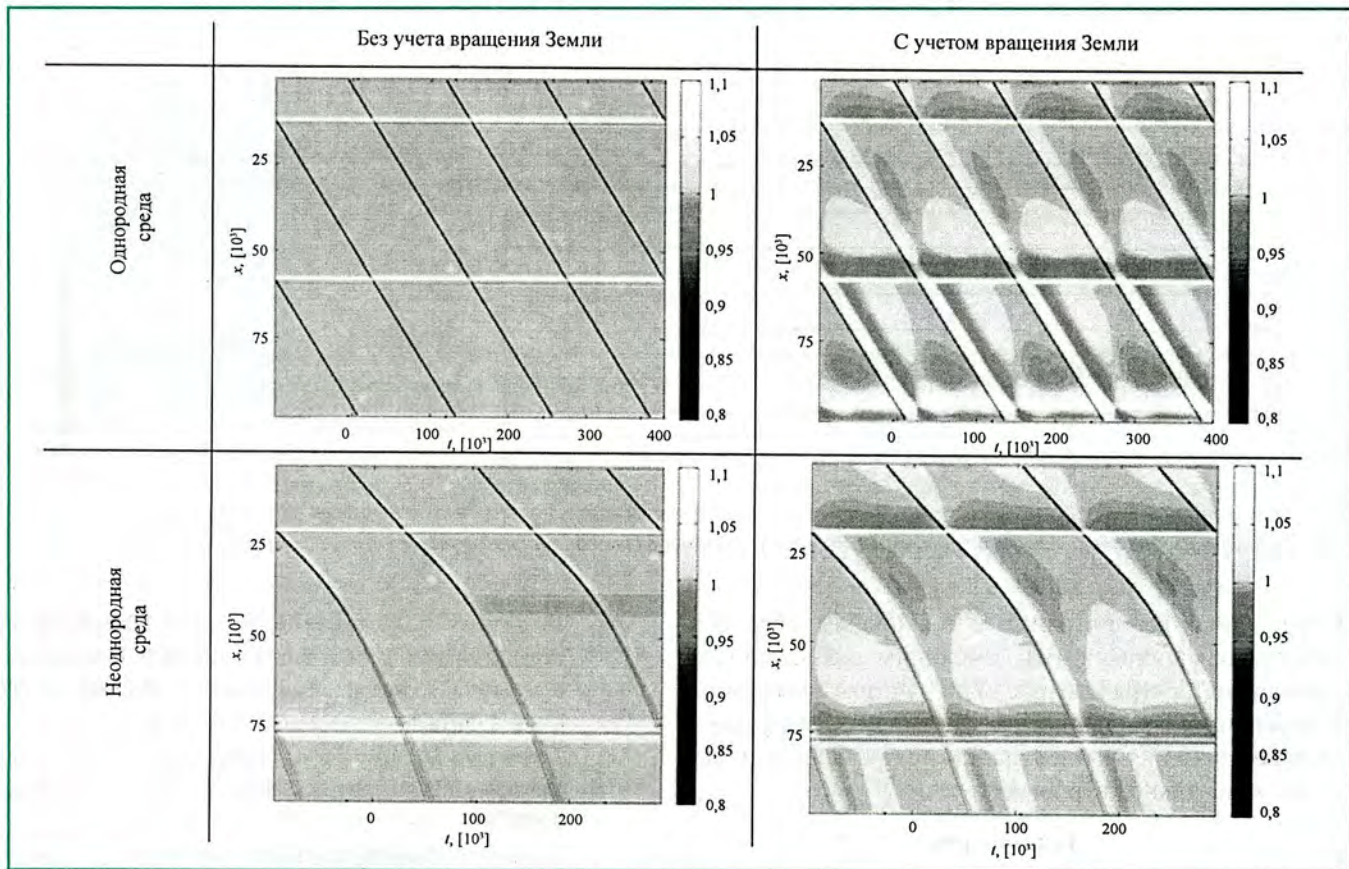


Рис. 5. Распределение концентрации пленок вдоль разреза для модели адвекции ($D = 0, \tau = \infty$)

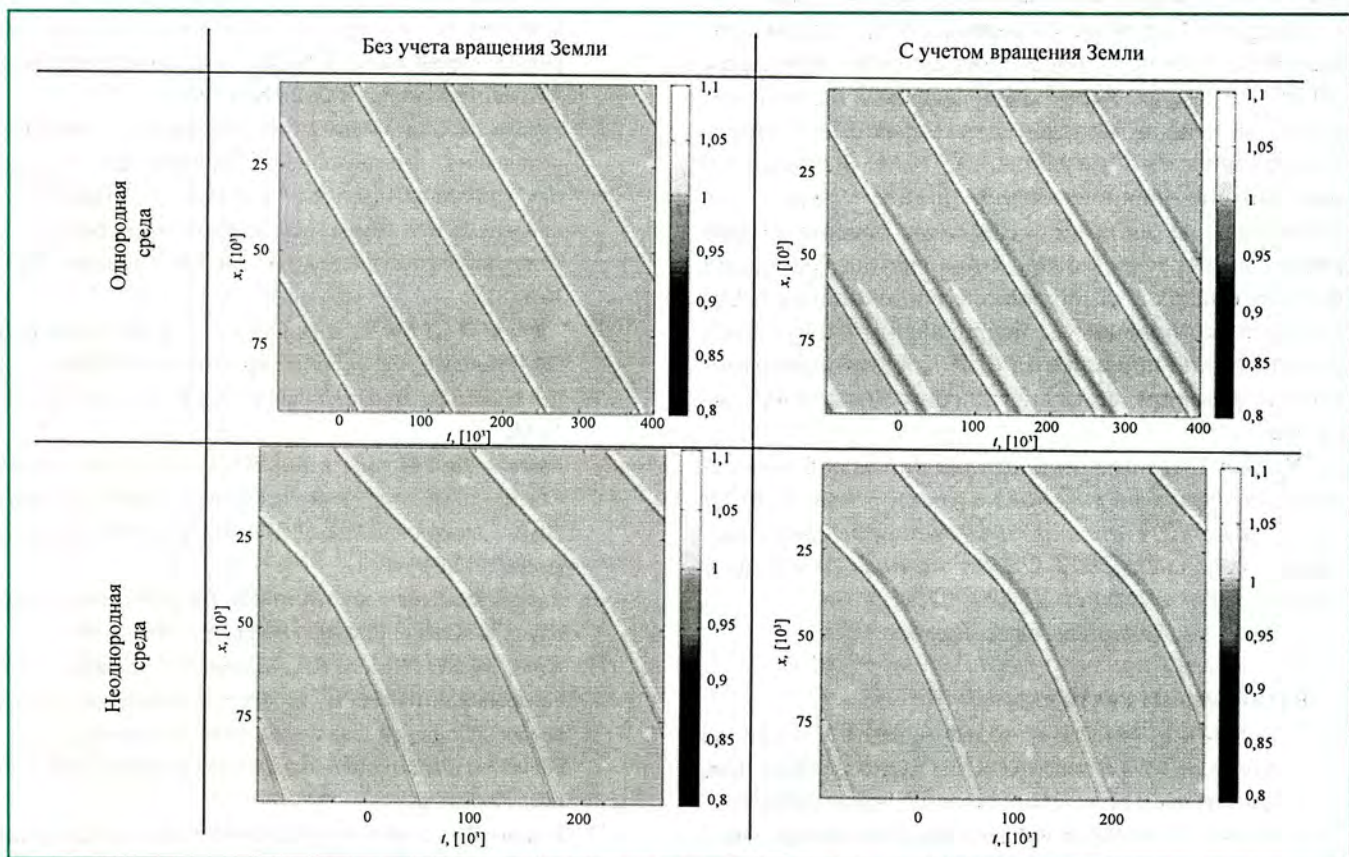


Рис. 6. Распределение концентрации пленок вдоль разреза для модели адвекции-диффузии-релаксации ($D = 100 \text{ м}^2/\text{с}, \tau = 0,5 \text{ ч}$)

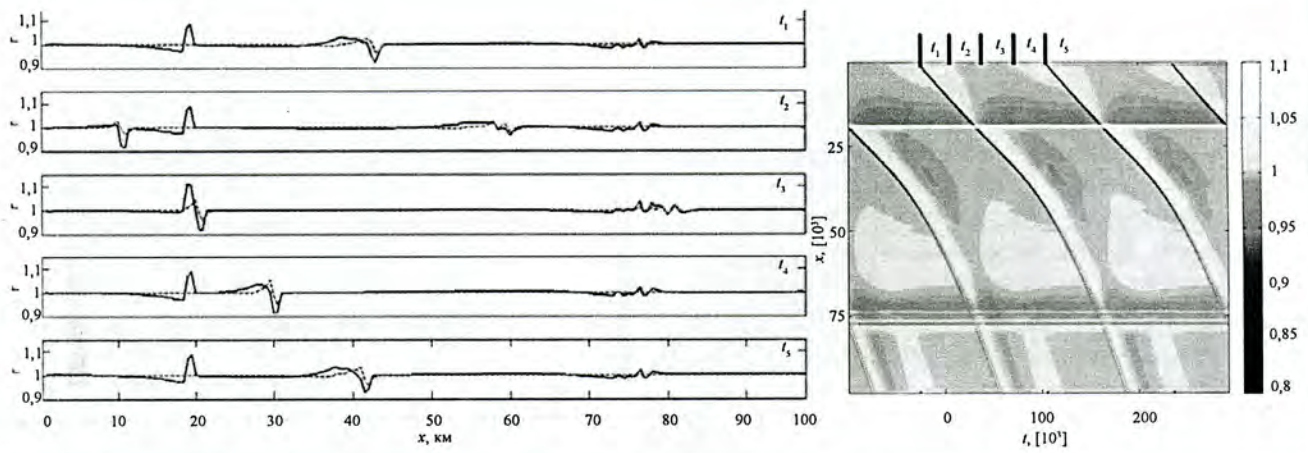


Рис. 7. Распределение концентрации в различные моменты времени для неоднородной среды с учетом силы Кориолиса

повышенной концентрации с пленочным образом распространяющихся ВВ, имеющим пониженный уровень концентрации (рис. 7). С учетом диффузии и релаксации с выбранными значениями коэффициентов отклонения концентрации не превышают 6 % от первоначального уровня.

Заключение

В работе проведено исследование пространственной структуры уединенных ВВ, полученных путем численного интегрирования уравнений Гарднера и Гарднера–Островского (с учетом вращения Земли) на основе программного комплекса «IGW Research». Рассмотрен разрез в Балтийском море, данные о морской стратификации которого получены из базы данных GDEM. Было оценено взаимное влияние неоднородности среды и сил Кориолиса на динамику ВВ и их поверхностные проявления, расчет которых основан на уравнении баланса поверхностной концентрации пленок ПАВ. Результаты проводимых исследований могут быть использованы при анализе РЛИ морской поверхности для интерпретации визуализируемых на них явлений.

Представленные результаты поисковой научно-исследовательской работы получены в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг., а также при поддержке гранта РФФИ (10-05-00199а).

E-mail: averbukh.lena@gmail.com

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Jackson C.R. An atlas of internal solitary-like waves and their properties // Second ed Global Ocean Associates: 2004. [Электронный ресурс] <http://www.internalwaveatlas.com>
2. Vlasenko V., Brandt P. Rubino A. Structure of large-amplitude internal solitary waves // J. Phys. Ocean. 2000. Vol. 30.

3. Рувинская Е.А., Куркина О.Е., Куркин А.А. Исследование структуры уединенных внутренних волн большой амплитуды в трехслойной жидкости // Вестник МГОУ. Серия «Физика – математика». 2011. № 2.
4. Leppäranta M., Myrberg K. Physical oceanography of the Baltic Sea // Praxis, Berlin, Heidelberg, New York: Springer. 2009.
5. Soomere T. Coupling coefficients and kinetic equation for Rossby waves // Nonlinear Processes in Geophysics 10; 2003.
6. Grimshaw R., Pelinovsky E., Talipova T. The modified Korteweg–de Vries equation in the theory of the large-amplitude internal waves // Nonlinear Processes Geophys. 4, 237, doi:10.5194/npg-4-237-1997 (1997).
7. Рувинская Е.А., Куркина О.Е., Куркин А.А. Уточненное нелинейное эволюционное уравнение для внутренних гравитационных волн в трехслойной симметричной жидкости // Труды Нижегородского государственного технического университета им. П.Е. Алексеева. 2010. № 4 (83).
8. Kurkina O.E., Kurkin A.A., Soomere T. et al. Higher-order (2+4) Korteweg–de Vries–like equation for interfacial waves in a symmetric three-layer fluid // Phys. Fluids. 2011. Vol. 23. № 11.
9. Весман А.В. Современные проблемы Балтийского моря // Современные научные исследования и инновации. Март, 2012. [Электронный ресурс]. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2012/03/10613>
10. Alenius P., Myrberg K., Nekrasov A. The physical oceanography of the Gulf of Finland // Boreal Env. Res. 3; 1998.
11. Власенко В.И., Иванов В.А., Красин И.Г., Лисиченко А.Д. Генерация интенсивных короткопериодных внутренних волн в шельфовой зоне Крыма во время протекания прибрежного апвеллинга // Морской гидрофизический журнал. 1997. № 3.
12. Иванов В.А., Лисиченко А.Д. Внутренние волны в шельфовой зоне и у кромки шельфа в Черном море // Морской гидрофизический журнал. 2002. № 6.

13. Иванов В.А., Лисиченко А.Д., Немировский М.С. Возбуждение короткопериодных внутренних волн пульсациями ветра // Известия АН СССР, ФАО. 1987. Т. 23. № 2.
14. Митягина М.И., Лаврова О.Ю. Спутниковые наблюдения вихревых и волновых процессов в прибрежной зоне северо-восточной части Черного моря // Исследование Земли из космоса. 2009. № 5.
15. Митягина М.И., Лаврова О.Ю. Спутниковые наблюдения поверхностных проявлений внутренних волн в морях без приливов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Сборник научных статей. 2010. Т. 7. № 1.
16. Лаврова О.Ю., Митягина М.И., Сабинин К.Д. Проявление внутренних волн на морской поверхности в северо-восточной части Черного моря // Исследование Земли из космоса. 2009. № 6.
17. Лаврова О.Ю., Каримова С.С., Митягина М.И., Бочарова Т.Ю. Оперативный спутниковый мониторинг акваторий Черного, Балтийского и Каспийского морей в 2009–2010 годах // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Сборник научных статей. 2010. Т. 7. № 1.
18. Иванов А.Ю. Стики и пленочные образования на космических радиолокационных изображениях // Исследование Земли из космоса. 2007. № 3.
19. Pelinovsky E., Polukhina O., Slunyaev A., Talipova T. Internal solitary waves // Chapter 4 in the book «Solitary Waves in Fluids», WIT Press, Southampton, Boston. 2007.
20. Grimshaw R., Talipova T., Pelinovsky E., Kurkina O. Internal solitary waves: propagation, deformation and disintegration // Nonlin. Processes Geophys., doi: 10.5194/npg-17-633-2010, 2010.
21. Kakutani T., Yamasaki N. Solitary waves in a two-layer fluid // J. Phys. Soc. Japan. 1978. Vol. 45.
22. Fornberg B. A practical guide to pseudospectral methods // Cambridge Univ. Press. 1998.
23. Teague W.J., Carron M.J., Hogan P.J. A Comparison between the Generalized Digital Environmental Model and Levitus Climatologies // J. Geophys. Res. 1990. Vol. 95. C5.
24. Fofonoff, N., Millard, R.Jr. Algorithms for computation of fundamental properties of seawater // UNESCO Technical Paper in Marine Science 44; 1983.
25. Тюгин Д.Ю., Куркина О.Е., Куркин А.А. Программный комплекс для численного моделирования внутренних гравитационных волн в мировом океане // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. СПб.: Наука. 2011. Т. 4. № 2. (http://www.nsgf.narod.ru/trudu_6/txt/12_nomer.pdf)
26. Obregon M., Stepanyants Yu. On numerical solution of the Gardner–Ostrovsky equation // Mathematical Modelling of Natural Phenomena. 2012. 7 (02).
27. Полухина О.Е., Талипова Т.Г. Численное моделирование динамики пленок поверхностно-активных веществ

в поле нестационарных неоднородных течений и волн // Известия Академии инженерных наук РФ. 2002. Т. 3.

BIBLIOGRAPHY

1. Jackson C.R. An atlas of internal solitary-like waves and their properties // Second ed Global Ocean Associates: 2004, <http://www.internalwaveatlas.com>
2. Vlasenko V., Brandt P., Rubino A. Structure of large-amplitude internal solitary waves // J. Phys. Ocean. 2000. Vol. 30.
3. Rouvinskaya E., Kurkina O., Kurkin A. Investigation of the structure of large amplitude internal solitary waves in a three-layer fluid // Bulletin of the Moscow State Regional University. Series «Physics – mathematics». 2011. № 2.
4. Leppäranta M., Myrberg K. Physical oceanography of the Baltic Sea // Praxis, Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 2009.
5. Soomere T. Coupling coefficients and kinetic equation for Rossby waves // Nonlinear Processes in Geophysics 10; 2003.
6. Grimshaw R., Pelinovsky E., Talipova T. The modified Korteweg–de Vries equation in the theory of the large-amplitude internal waves // Nonlinear Processes Geophys. 4, 237, doi:10.5194/npg-4-237-1997 (1997).
7. Rouvinskaya E.A., Kurkina O.E., Kurkin A.A. Improved nonlinear evolutionary equation for interfacial gravity waves in a symmetric three-layer fluid // Transactions of Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.Y. Alekseev. 2010. № 4 (83).
8. Kurkina O.E., Kurkin A.A., Soomere T. et al. Higher-order (2+4) Korteweg–de Vries-like equation for interfacial waves in a symmetric three-layer fluid // Phys. Fluids. 2011. Vol. 23. № 11.
9. Vesman A.V. Modern problems of the Baltic Sea // Modern scientific research and innovation. March, 2012. <http://web.snauka.ru/issues/2012/03/10613>
10. Alenius P., Myrberg K., Nekrasov A. The physical oceanography of the Gulf of Finland // Boreal Env. Res. 3; 1998.
11. Vlasenko V.I., Ivanov V.A., Krasin I.G., Lisichenok A.D. Generation of intense short-period internal waves in the shelf zone of the Crimea during the course of coastal upwelling // Physical Oceanography. 1997. № 3.
12. Ivanov V.A., Lisichenok A.D. Internal waves in the shelf zone and near the shelf edge in the Black Sea // Physical Oceanography. 2002. 6.
13. Ivanov V.A., Lisichenok A.D., Nemirovsky M.S. Excitation of short-period internal waves by wind pulsations // Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics. 1987. 23 (2).
14. Mityagina M.I., Lavrova O.Yu. Satellite Observations of Eddy and Wave Processes in the Coastal Waters of the North Eastern Black Sea // Issledovanie Zemli iz Kosmosa (Study of the Earth from Space). 2009. 5.
15. Mityagina M.I., Lavrova O.Yu. Satellite Observations of surface manifestations internal waves in sea without flood // Modern Problems of Remote Sensing of the Earth from Space. Collected papers. 2010. 7 (1).

16. *Lavrova O.Yu., Mityagina M.I., Sabinin K.D.* Manifestations of internal waves on the sea surface in the North-Eastern part of the Black sea // *Issledovanie Zemli iz Kosmosa (Study of the Earth from Space)*. 2009. 6.
17. *Lavrova O.Yu., Karimova S.S., Mityagina M.I., Bocharova T.Yu.* On-line satellite monitoring of the aquatories of the Black, Baltic and Caspian Seas in 2009–2010 // *Modern Problems of Remote Sensing of the Earth from Space. Collected papers*. 2010. 7 (1).
18. *Ivanov A. Yu.* Slicks and Oil Films Signatures on Syntetic Aperture Radar Images // *Issledovanie Zemli iz Kosmosa (Study of the Earth from Space)*. 2007. 6.
19. *Pelinovsky E., Polukhina O., Slunyaev A., Talipova T.* Internal solitary waves // Chapter 4 in the book «Solitary Waves in Fluids», WIT Press, Southampton, Boston, 2007.
20. *Grimshaw R., Talipova T., Pelinovsky E., Kurkina O.* Internal solitary waves: propagation, deformation and disintegration // *Nonlin. Processes Geophys.*, doi:10.5194/npg-17-633-2010, 2010.
21. *Kakutani T., Yamasaki N.* Solitary waves in a two-layer fluid // *J. Phys. Soc. Japan*. 1978. Vol. 45.
22. *Fornberg B.* A practical guide to pseudospectral methods // Cambridge Univ. Press, 1998.
23. *Teague W.J., Carron M.J., Hogan P.J.* A Comparison between the Generalized Digital Environmental Model and Levitus Climatologies // *J. Geophys. Res.* 1990. Vol. 95. C 5.
24. *Fofonoff N., Millard R.Jr.* Algorithms for computation of fundamental properties of seawater // UNESCO Technical Paper in Marin Science 44; 1983.
25. *Tyugin D., Kurkina O., Kurkin A.* Software package for modeling of internal gravity waves in the world ocean // *Fundamental and applied hydrophysics, Science*. 2011. 4, № 2. (http://www.nsgf.narod.ru/trudu_6/txt/12_nomer.pdf).
26. *Obregon M., Stepanyants Yu.* On numerical solution of the Gardner–Ostrovsky equation // *Mathematical Modelling of Natural Phenomena* 2012 7 (02).
27. *Poloukhina O.E., Talipova T.* Numerical modeling of the surfactant dynamics in the field of nonstationary inhomogeneous current and waves // *Proceedings of the Academy of Engineering Sciences of Russia*, 3, 2002.



ООО Издательство «Научтехлитиздат» рекомендует приобрести книгу
 бывшего министра приборостроения,
 средств автоматизации и систем управления СССР (1980–1989 гг.),
 управляющего делами Совета Министров СССР (1981–1991 гг.)
Михаила Сергеевича Шкабардни

«Приборостроение XX век»

Книга посвящена истории становления и развития отечественного приборостроения как самостоятельной отрасли машиностроения. Материал книги структурирован по разделам, определяющим развитие основных направлений приборостроения, и изложен по возможности в хронологическом порядке. Книга подготовлена на основе сохранившихся исторических документов, отдельных публикаций, посвященных истории предприятий и организаций Минприбора СССР, а также воспоминаний ученых, руководителей и специалистов, работавших в приборостроении, внесших в разные годы прошедшего столетия свой вклад в его становление и развитие. В книге приведены сведения о наиболее важных достижениях по основным направлениям развития приборной техники и системам управления. Книга предназначена для широкой инженерной общественности и для читателей, интересующихся историей, состоянием и перспективами развития науки и техники. Материалы могут быть также полезными профессорско-преподавательскому составу технических вузов в качестве пособия по курсу «Введение в специальность», студентам и аспирантам приборостроительных специальностей.

Коллекция «Совершенно секретно», 2004 г. 768 с.
Стоимость – 1000 р. с доставкой

*По вопросам приобретения книги обращаться в бухгалтерию
 ООО Издательство «Научтехлитиздат» по адресу:
 107258 г. Москва, ул. Алымов пер., д. 17, стр. 2
 тел.: 8 (495) 737-52-19, факс: 8 (499) 168-13-69
 E-mail: zakaz@tgizd.ru*