

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА РОССИИ ПО
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ И МОНИТОРИНГУ
ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ
ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
РЕГИОНАЛЬНЫЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЯ ДАЛЬНОГО ВОСТОКА

Тематический выпуск №4



Владивосток • Дальнаука

2003

Гидрометеорология и экология Дальнего Востока // Тематический вып. ДВНИГМИ №4. Владивосток: Дальнаука, 2003. 219 с.: ил.

В настоящем сборнике ДВНИГМИ представлены статьи по изменчивости диагностических течений в заливе Петра Великого с использованием результатов экспедиционных наблюдений последних лет. Для условий Аркутун-Дагинского морского месторождения нефти и газа на северо-восточном шельфе о. Сахалин приведены оригинальные оценки экстремальных скоростей течений, а для залива Анива – высот штормовых нагонов редкой повторяемости, которые могут быть востребованы на практике.

В цикле статей по гидрологии суши изложен опыт использования модели паводочного цикла малого речного бассейна для расчёта максимального стока, приводятся и анализируются альтернативные схемы расчёта экстремальных характеристик стока для некоторых дальневосточных рек. Выполнен анализ опасных гидрологических явлений в Приморье и показано его негативное влияние на экономику края.

Завершает сборник цикл статей экологического направления, в которых представлены: обстоятельный анализ техногенного воздействия на побережье Приморья; исследование распределения бентоса на шельфе северо-восточного Сахалина; оценка экологического состояния приустьевой области реки Туманная. Рассматриваются результаты моделирования потенциальных разливов нефти в заливе Анива и проливе Лаперуза, приводятся статистические оценки и вероятность загрязнения береговой черты островов Сахалин и Хоккайдо.

Практический интерес могут вызвать статьи, в которых рассматриваются методы оценки воздействия на водотоки при строительстве подрусловых переходов применительно к рекам Северного Сахалина и западных районов Хабаровского края, а также характеристики ожидаемого воздействия на атмосферный воздух при разработке нефтегазовых месторождений на шельфе Сахалина.

Сборник предназначен для специалистов в области океанологии, климата и экологии.

Издается по решению Ученого совета ДВНИГМИ.

Редакционная коллегия: канд. физ.-мат. наук И.Е. Кочергин (ответственный редактор), канд. геогр. наук. В.Д. Будаева, канд. геогр. наук. А.В. Савельев, Т.А. Гаврилова.

Рецензент: проректор ДВГУ по инновационной деятельности, доктор географических наук, член-корр. РАЕН, профессор кафедры метеорологии, климатологии и охраны атмосферы ДВГУ Н.М. Пестерева.

Hydrometeorological and ecological conditions in the Russia Far East // FERHRI Special Issue №4. Vladivostok: Dalnauka, 2003. 219 pp.: fig.

This special issue includes papers devoted to the study of variability of diagnostic currents in Peter the Great Bay using results of recent scientific cruises. Distinctive estimations of extreme current velocities and height of rare-occurring storm surges are given for Arkutun-Dagi offshore oil-gas field on the Sakhalin northeastern shelf and Aniva Bay, correspondingly, all results having a practical application.

Papers on land hydrology describe the application of the flood-cycle model for the small river basin to calculate the maximum river runoff, provide analysis of alternative methods to calculate extreme runoff parameters by the example of several Russia Far East rivers. The dangerous hydrological phenomena in Primorsky region are analyzed, their negative impact on the regional economy being shown.

Ecological papers describe the man-caused impact produced on Primorsky coast; benthos distribution on the Sakhalin northeastern shelf; and environmental conditions in the Tumen River mouth. Some modelling results are given for the probable oil spills in the Aniva Bay and La Perouse Strait, including statistical probability of Sakhalin and Hokkaido shorelines pollution.

The papers investigating the impact produced on the water bodies in the course of river crossing construction (as applied to the rivers of northern Sakhalin and western parts of Khabarovsk region) and the air impact resulting from Sakhalin shelf oil-gas development may be of practical interest.

The materials presented may be of interest for the specialists in oceanography, climate and ecology.

Published under the decision of the Scientific Council of FERHRI.

Editorial board: I.E. Kochergin, Ph.D. (Physics and Mathematics) (Editor-in-Chief), V.D. Budaeva, Ph.D. (Geography), A.V. Saveliev, Ph.D. (Geography), T.A. Gavrilova.

Revised by: pro-rector of FESU on innovation activities, Doctor of Geography, Corresponding Member of the Russian Academy of Natural Sciences, Professor of Department of meteorology, climatology and atmosphere protection of FESU N.M. Pestereva.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	8
-------------------	---

ГИДРОЛОГИЯ МОРЯ

<i>М.А. Данченков, К.Л. Фельдман, П.А. Файман</i> Температура и солёность вод залива Петра Великого	10
<i>П.А. Файман</i> Расчёт диагностических течений в заливе Петра Великого	26
<i>Г.В. Шевченко, С.И. Рыбалко</i> Применение метода композиции распределений к расчёту экстремальных скоростей течений (на примере северо-восточного шельфа о. Сахалин)	34
<i>Э. Като, Ю.В. Любицкий, Г.В. Шевченко</i> Расчёт высот штормовых нагонов редкой повторяемости для побережья залива Анива.....	49
<i>Н.М. Вакульская, А.Г. Петров</i> Типизация элементов ледяного покрова и влияющих на него метеорологических факторов на акватории Берингова моря	58

ГИДРОЛОГИЯ СУШИ

<i>А.А. Возняк</i> Особенности моделирования процесса формирования тало-дождевого стока в бассейне среднего Амура.....	69
<i>Б.И. Гарцман, А.Н. Бугаец</i> Применение модели паводочного цикла малого речного бассейна в расчётах максимального стока	76
<i>Т.С. Губарева, Б.И. Гарцман</i> Генезис максимального стока рек юга Дальнего Востока и расчёт максимальных расходов дождевых паводков	94
<i>М.А. Макагонова</i> Опасные гидрологические явления в Приморском крае и их влияние на экономику.....	111

ЭКОЛОГИЯ

<i>А.А. Богдановский, И.Е. Кочергин, И.А. Аршинов, В.Д. Будаева, В.Г. Макаров, В.Ф. Мишуков, С.И. Рыбалко, В.П. Тунеголовец</i> Результаты моделирования потенциальных разливов нефти в заливе Анива и проливе Лаперуза	118
<i>А.В. Савельев, О.В. Дударев, Н.И. Савельева</i> Оценка роли динамических факторов в переносе и распределении примеси в Анадырском заливе на основе численной модели	126
<i>Т.А. Гаврилова</i> Характеристика ожидаемых воздействий на атмосферный воздух при разработке нефтегазовых месторождений на шельфе Сахалина ..	144
<i>А.В. Гаврилевский, М.В. Удовик</i> Оценка воздействия на водотоки при строительстве подрусловых переходов	152
<i>В.С. Лабай, Н.В. Печенева</i> Макробентос и распределение его трофических группировок на шельфе северо-восточного Сахалина	163
<i>В.С. Петренко</i> Основные черты техногенеза на побережье Приморья	175
<i>И.Е. Кочергин, Е.С. Бороздинова, Т.С. Губарева, Г.И. Семькина</i> Экологическое состояние приустьевой области реки Туманная	184
<hr/>	
Цветные иллюстрации.....	194
Рефераты статей на русском языке.....	202
Рефераты статей на английском языке.....	210
Сведения об авторах.....	218

TABLE OF CONTENTS

Preface	8
---------------	---

MARINE HYDROLOGY

<i>M.A. Danchenkov, K.L. Feldman, P.A. Fayman</i> Water temperature and salinity in Peter the Great Bay	10
<i>P.A. Fayman</i> Calculation of diagnostic currents in Peter the Great Bay	26
<i>G.V. Shevchenko, S.I. Rybalko</i> Application of distribution composition method to the calculation of extreme current velocities (by the example of Sakhalin northeastern shelf)	34
<i>E. Kato, Yu.V. Lyubitsky, G.V. Shevchenko</i> Calculation of the height of rare-occurring storm surges for the coast of the Aniva Bay.....	49
<i>N.M. Vakulskaya, A.G. Petrov</i> Determination of ice cover types and meteorological conditions that cause it in the Bering Sea	58

LAND HYDROLOGY

<i>A.A. Voznyak</i> Simulation of the snowmelt and rainstorm runoff formation in the Middle Amur basin.....	69
<i>B.I. Gartsman, A.N. Bugaets</i> Application of the flood cycle model (developed for the small river basin) to the calculation of the maximum river runoff	76
<i>T.S. Gubareva, B.I. Gartsman</i> Genesis of maximum river runoff in the south of the Russia Far East and calculation of maximum rainstorm discharges	94
<i>M.A. Makagonova</i> Dangerous hydrological phenomena in Primorsky region and their influence on economy.....	111

ECOLOGY

<i>A.A. Bogdanovsky, I.E. Kochergin, I.A. Arshinov, V.D. Budaeva, V.G. Makarov, V.F. Mishukov, S.I. Rybalko, V.P. Tunegolovets</i> Modelling of probable oil spills in the Aniva Bay and La Perouse Strait	118
<i>A.V. Saveliev, O.V. Dudareva, N.I. Savelieva</i> Estimation of dynamic factors in the transport and distribution of suspended solids in the Anadyr Gulf by numerical modelling	126
<i>T.A. Gavrilova</i> Description of expected air impact in the course of Sakhalin shelf oil-gas fields development	144
<i>A.V. Gavrilevsky, M.V. Udovik</i> Assessment of impact produced on the water bodies in the course of river crossing construction	152
<i>V.S. Labay, N.V. Pecheneva</i> Macrobenthos and distribution of its trophic groups on the northeastern Sakhalin shelf	163
<i>V.S. Petrenko</i> Basic features of technogenesis on the Primorye coast	175
<i>I.E. Kochergin, E.S. Borozdinova, T.S. Gubareva, G.I. Semykina</i> Environmental conditions in the mouth part of Tumen River	184
<hr/>	
Colored illustrations.	194
Abstracts in Russian	202
Abstracts in English.	210
List of corresponding authors.	218

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящий научный тематический сборник №4 продолжает и развивает серию книг, выпущенных ДВНИГМИ в 1998, 1999, 2000 г. и пользующихся определённым спросом в научных кругах. При подборе статей и формировании рубрик сборника редакторы старались сохранить хорошие традиции, включающие поиск интересных статей высокого качества и их тщательное рецензирование. В то же время, пытаясь сохранить лучшее, мы старались быть гибкими и следовать в ногу со временем. Немного изменилось общее название, оно стало более ёмким и лаконичным. Появилась новая рубрика по гидрологии суши, включающая ряд интересных работ. Традиционно сохранились рубрики по океанографии и прикладным вопросам экологии. Для информирования иностранных коллег на английском языке публикуются переводы содержания, аннотации и рефератов статей.

В сборнике опубликованы новые работы ведущих дальневосточных учёных и инженерно-технических специалистов по региональной океанографии, гидрологии и экологии. Приведённые в выпуске результаты апробировались на российских и международных совещаниях и конференциях, очень важно, что многие результаты прошли практическую апробацию. Сборник открыт для публикации сотрудников ведущих научных институтов и организаций Дальнего Востока, и в нём помещены работы представителей в основном отечественных научных организаций, таких как ДВНИГМИ, ДВГУ, ТОИ ДВО РАН, ПУГМС, СахНИРО, СахУГМС, Хабаровского Технического Университета. Радует появление в дальневосточной науке новых интересных специалистов, которые представили актуальные статьи. Использование новой информационной базы и современных научных методов обработки и анализа данных не оставляет сомнений в достоверности полученных авторами результатов.

Значительная часть опубликованных статей, как и в целом работ ДВНИГМИ, неразрывно связана с морскими исследованиями. Две первых статьи в рубрике «Океанография» отражают последние исследования структуры вод и циркуляции залива Петра Великого. Эти работы выполнены на основе данных экспериментальных съёмок ДВНИГМИ в 2001 г., впервые организованных и выполненных синхронно двумя судами с учётом факторов установившихся погодных условий. В дальнейшем программа наблюдений залива Петра Великого развивалась, и в 2003 г. проведена новая океанографическая съёмка. Ожидаются новые результаты и новые публикации.

Интересны выполненные на высоком уровне с обоснованием новых методов работы по расчётам экстремальных характеристик течений и штормовых нагонов для Северо-восточного шельфа Сахалина и залива Анива. Традиционно публикуется работа по ледовым исследованиям, на этот раз по Берингову морю.

Рубрика «Гидрология суши» включает четыре работы, представленные как молодыми специалистами, так и авторитетными учёными. Особый интерес представляют модели и методы расчёта стока дальневосточных рек, имеющие высокое практическое значение для народного хозяйства.

Наибольшее количество статей – 7 в рубрике «Экология». Работы разноплановые и охватывают различные области исследований. Две работы посвящены новым результатам в моделировании переноса загрязняющих веществ в морской среде. Еще две статьи рассматривают методические аспекты оценки воздействия на окружающую среду, в частности, выбросы в атмосферу при обустройстве морских месторождений нефти и воздействие на реки при прокладке трубопровода. Три работы посвящены описанию состояния окружающей природной среды, включая характеристики бентоса, прибрежного техногенеза, качества природной среды и трансграничного переноса.

В настоящее время активизируется развитие направления океанографических исследований, как в области классической океанографии, так и в морской экологии и прикладных сферах. Это связано с участием ДВНИГМИ в международном проекте «ARGO» и созданием на базе института регионального центра. Перспективно развитие спутниковых исследований, включая обработку альтиметрии. Важные прикладные направления океанографических и экологических исследований связаны с развитием проектов освоения шельфа Сахалина. Изыскания по этим проектам дают новую информацию по океанографии, гидрологии суши, экологии и другим характеристикам природной среды. В ДВНИГМИ начаты интересные работы по развитию океанических региональных моделей прогностического типа.

От лица администрации института и от себя лично хотел бы выразить благодарность инициативной группе, подготовившей этот и предыдущие сборники серии, и особо редакторам Гавриловой Татьяне Анатольевне, Савельеву Александру Владимировичу и Будаевой Валентине Дмитриевне. Редакция сборника ждёт новых интересных статей от всех заинтересованных специалистов и учёных Дальнего Востока и других регионов России. Мы очень надеемся продолжить традицию выпуска сборников этой серии и рассчитываем на следующий выпуск в 2005 г.

Сборник может заинтересовать широкий круг специалистов профиля океанографии, гидрологии суши и экологии, как учёных, так и практиков.

И.Е. Кочергин

Заместитель директора ДВНИГМИ

ТЕМПЕРАТУРА И СОЛЁНОСТЬ ВОД ЗАЛИВА ПЕТРА ВЕЛИКОГО*

Введение

Залив Петра Великого (далее – залив ПВ) по определению современной отечественной лоции [11] простирается от устья реки Туманной (130,7° в.д.) на западе до м. Поворотного (133,0° в.д.) на востоке. В соответствии с этим определением настоящая статья рассматривает, в основном, лишь часть залива (рис. 1) от мыса Гамова (131,2° в.д.) до о. Аскольд (132,3° в.д.).

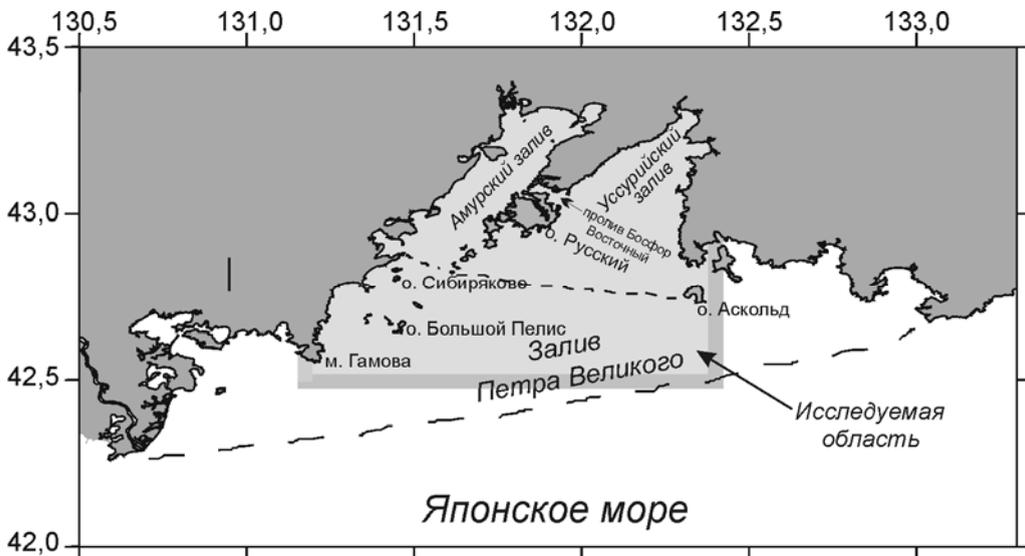


Рис. 1. Залив Петра Великого

Несмотря на долгую историю океанографических исследований, публикации по океанографии залива ПВ весьма скудны, и среди них преобладают сведения о течениях. Существует общее представление, что вдоль побережья Приморья (и вдоль залива ПВ) на протяжении всего года существует Приморское течение, переносящее холодные воды с севера моря вплоть до устья р. Туманной. К югу от устья р. Туманной М. Уда [18] выделил холодное Северо-Корейское течение.

Первые измерения течений летом 1917 г. в восточной устьи пролива Босфор Восточный (далее – Босфор) показали перенос вод из Уссурийского залива в пролив. Однако измерения, выполненные летом 1926 г., указывают на существование течения юго-восточного направления [5]. Первая схема течений Амурского залива по данным измерений [4] показала разнонаправленные круговые движения вод: антициклоническое – южнее так называемого «Муравьевского порога» (43,1° с.ш.) и циклоническое – северное его.

Примерно в это же время появились сведения о прибрежном (между Приморским течением и берегом) течении восточного направления [1]. В 30-е

годы прошлого века наблюдались теплые воды у о. Аскольд, что, естественно, вызвало предположение о появлении у о. Аскольд струи теплого течения «южного происхождения» [12, 9].

Предпринятая в конце 30-х годов попытка исследовать циркуляцию вод посредством дрейфа бутылок не дала целостной картины течений. У устья р. Суйфун (Раздольной) был обнаружен северный перенос вод, а в юго-западной части Уссурийского залива – северо-восточный.

Обобщенная схема поверхностных течений из современной лоции [11] позволяет выделить следующие особенности течений залива ПВ:

- ◆ антициклонические круговороты южнее о. Русского и в северной части Уссурийского залива;
- ◆ циклонический круговорот вокруг о. Аскольд;
- ◆ разнонаправленные течения вдоль западного и восточного берегов Амурского залива и между о. Аскольд и проливом Босфор.

Отмеченные особенности циркуляции поверхностных вод (если они являются характерными, а не случайными) должны отразиться на схемах температуры и солёности воды. Например, разнонаправленные (по сведениям лоций разных лет издания) круговороты вокруг о. Большой Пелис должны проявиться на схемах температуры и солёности экстремальными значениями, а разнонаправленные течения (в Амурском и Уссурийском заливах) – резкими термическими фронтами.

Схемы пространственного распределения характеристик воды залива ПВ долгое время не публиковались, хотя измерения температуры воды проводились неоднократно. В 1970 г. вместо первичных схем была опубликована лишь схема пространственного распределения водных масс [2]. Более чем через 50 лет после публикаций К.А. Гомоюнова [4, 5] появились новые схемы пространственного распределения температуры воды залива ПВ [3, 7, 13]. Приведенные в первом источнике [3] рисунки для февраля, апреля, августа и декабря представляют сложную для восприятия комбинацию двух схем – распределения температуры на поверхности и у дна. Схемы распределения поверхностной температуры и солёности, построенные на основе 10 натуральных гидрологических наблюдений, выполненных с мая по октябрь 1998 г. [13], чрезмерно упрощены. Лишь схемы распределения поверхностной солёности С.В. Давыдовой [7] за период с июня по сентябрь 1996 г. представляют определённый интерес.

Относительно недавно появилась оригинальная схема распределения поверхностной температуры воды, восстановленная по спутниковым наблюдениям 28-30 октября 1990 г. [6]. На ней отчётливо прослеживается область апвеллинга (подъёма подповерхностных вод) между 132° в.д. и 133° в.д. и связанный с ним термический фронт вдоль 132° в.д.

Не так давно были обнаружены три взаимосвязанные особенности океанографии северо-западной части залива:

- ◆ цепочка теплых вихрей вдоль 131° в.д. [16];
- ◆ Северо-западный термический фронт [17];
- ◆ крупномасштабный круговорот между $40,5^{\circ}$ с.ш. и 43° с.ш. [14].

Цепочка тёплых вихрей существует, по-видимому, в течение всего года.

Посредством её, а не «пульсациями течения Соя» [10] тёплая вода с юга проникает к Посъету. Существование этой цепочки объясняет незональный характер Северо-западного фронта.

Северо-западный термический фронт между устьем р. Туманной и возвышенностью Ямато отличен по положению и градиентам от основного Субарктического фронта (вдоль 40° с.ш.) и прослеживается в течение почти всего года [15]. К северу от него существует течение юго-восточного направления – звено крупномасштабного круговорота. Крупномасштабный круговорот может быть подразделён на четыре звена – четыре отдельных течения (включая указанное). Течение вдоль 40,5° с.ш. отличается по происхождению от Восточно-Корейского (поэтому обычно невозможно проследить непрерывные линии тока между Кореей и возвышенностью Ямато). Но восточнее возвышенности Ямато оба потока сливаются. Безымянное течение вдоль 42° с.ш. отличается по происхождению от Приморского. Внутри круговорота расположен пояс (язык) вод повышенной солёности и пониженного содержания растворённого кислорода (см. рис. на стр. 64 в [15]).

Использованные данные

Для построения схем температуры и солёности воды были использованы следующие STD-измерения:

- 1) 22 съёмки по 132° в.д. с 24.08.1993 по 19.07.1994 (ДВНИГМИ);
- 2) 21-27.03.1997 (ДВНИГМИ);
- 3) 14-22.04.1999 (ДВНИГМИ);
- 4) 23.11-03.12.1999 (ТИНРО);
- 5) 05-09.03.2000 (ТИНРО);
- 6) 06.03.2000 (ДВНИГМИ);
- 7) 24.02.-01.03.2001 (ДВНИГМИ);
- 8) 15-18.08.2001 (ДВНИГМИ);
- 9) 14-17.11.2001 (ДВНИГМИ).

Распределение станций приводится на схемах горизонтального распределения характеристик. Точность измерений температуры и солёности в экспедициях была различной, но не менее 0,01°C и 0,02‰, соответственно.

Анализ данных

Гидрологические условия залива ПВ по результатам наблюдений зимой

В распределении температуры и солёности вод залива ПВ в начале зимы (23.11-3.12.1999) можно выделить две особенности, отмеченные ранее в [17, 14] (рис. 2, 3). Восточнее залива Посъет (на 131° в.д.) отмечен тёплый вихрь (температура воды на поверхности превышала 10°C). Южнее о. Аскольд располагалась холодная (следствие апвеллинга, типичного осенью для этого района) и солёная (пояс вдоль 42,5° с.ш.) вода (рис. 2). Термический фронт, отделяющий холодные поверхностные воды у о. Аскольд, проходил не вдоль меридиана (132° в.д.), как в октябре 1990 г. [6], а с юго-востока на северо-запад. Солёный пояс в районе залива ПВ также изменил зональное (вдоль 42,5° с.ш.) положение, характерное для более восточных его участков.

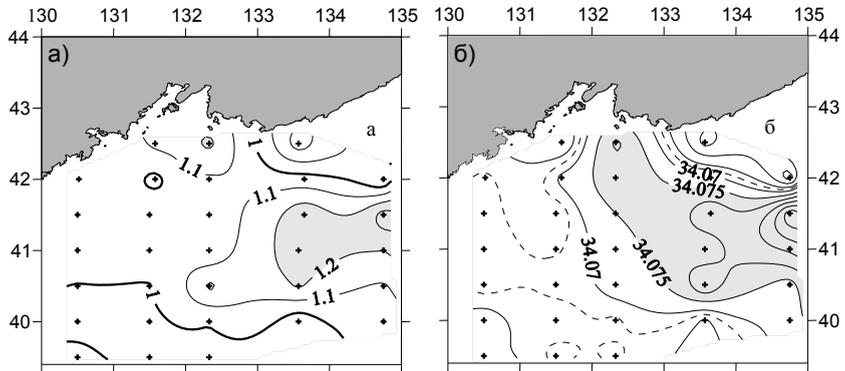


Рис. 2. (а) – распределение температуры ($^{\circ}\text{C}$), (б) – солёности (‰) на поверхности условной плотности 27,30 21-27 марта 1997 г.

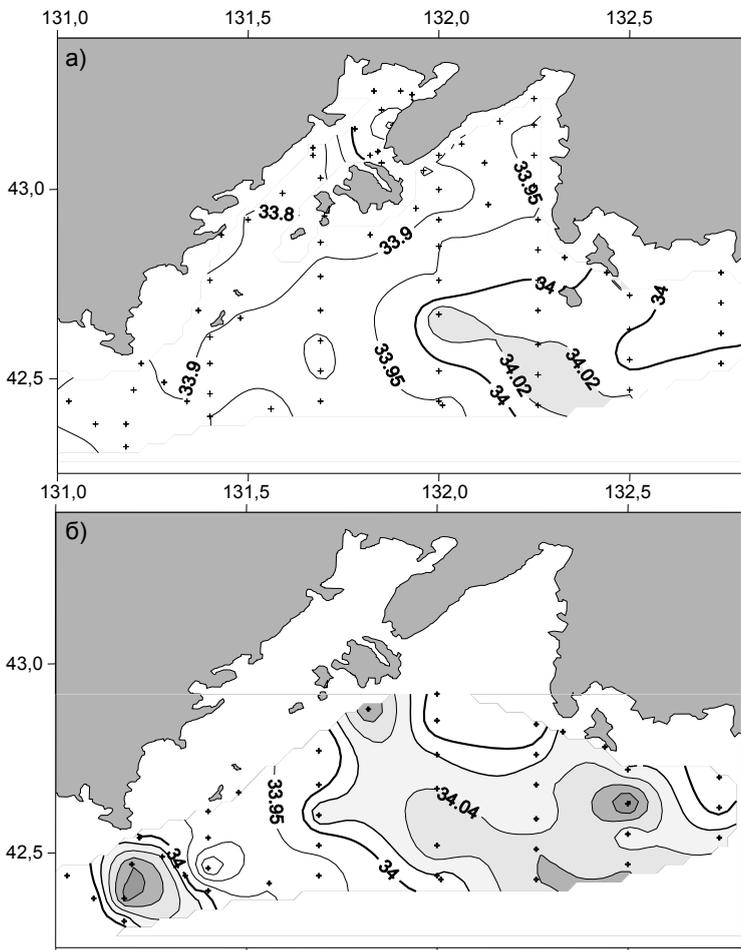


Рис. 3. Солёность вод (‰) на горизонтах 10 м (а) и 50 м (б) в начале зимы

В конце ноября термоклин сохранился только в западной части залива, не затронутой сильными ветрами.

В течение последующей зимы термоклин в заливе ПВ исчезает (воды залива хорошо перемешиваются от поверхности до дна). Но галоклин отмечен также повсеместно (образующиеся новые солёные воды скапливаются у дна). Это значит, что существует и придонный слой скачка плотности, формируемый, в основном, солёностью. При этом плотность придонных вод достигает высоких значений (более 27,4). Максимальные значения солёности составляли в конце зимы 2000 г. от 34,25‰ в северной части Уссурийского залива на глубинах более 30 м до 34,43‰ южнее о. Рейнеке на глубинах более 40 м. Отмеченные ранее [5] еще большие значения солёности (до 37‰) могут встречаться в период образования льда в кутовых частях мелководных бухт.

В конце зимы температура воды в заливе ПВ понижается по отношению к началу зимы в среднем на 5°C и опускается ниже 1°C, но солёность более 34,1‰ отмечается лишь в некоторых частях залива ПВ. Придонные воды высокой солёности из залива достигают континентального склона, расположенного примерно на 42,2° с.ш., лишь в редкие годы (например, зимой 2001 г.).

Следует отметить, что зимой, несмотря на интенсивное перемешивание, обусловленное сильными ветрами и ледообразованием, воды залива ПВ вовсе не однородны по вертикали. Повсеместно выделялся придонный галоклин (соответственно, и пикноклин), а южнее о. Аскольд – термоклин на глубинах 60-80 м.

Зимой 2000 г. солёный пояс был смещён на юг по сравнению с положением, характерным для начала зимы. 3-7 марта 2000 г. пояс был замечен между 41,5° с.ш. и 42° с.ш. (рис. 4), где он ранее был выявлен по зондовым и буйковым (PALACE) измерениям в 1995-1999 гг. [14].

Между Северо-западным фронтом, ограничивающим пояс с юга, и Субарктическим фронтом располагается, межфронтальная зона с водой пониженной солёности [8]. Пояс солёных вод в районе о. Аскольд и придонные зоны высокой солёности хорошо выделялись на фоне вод низкой солёности, занимавших большую часть залива ПВ. Для этого пояса характерна относительно высокая (более 27,3) плотность и пониженное (менее 6,5 мл/л) содержание растворенного кислорода (рис. 5).

В аномально холодную зиму 2001 г. от пояса, обычно изолированного с юга и севера, вода повышенной солёности может распространяться далеко (до 40,5° с.ш.) на юг (рис. 6). При этом вдоль континентального склона воды были однородны по температуре и солёности от 50 м до дна (рис. 7).

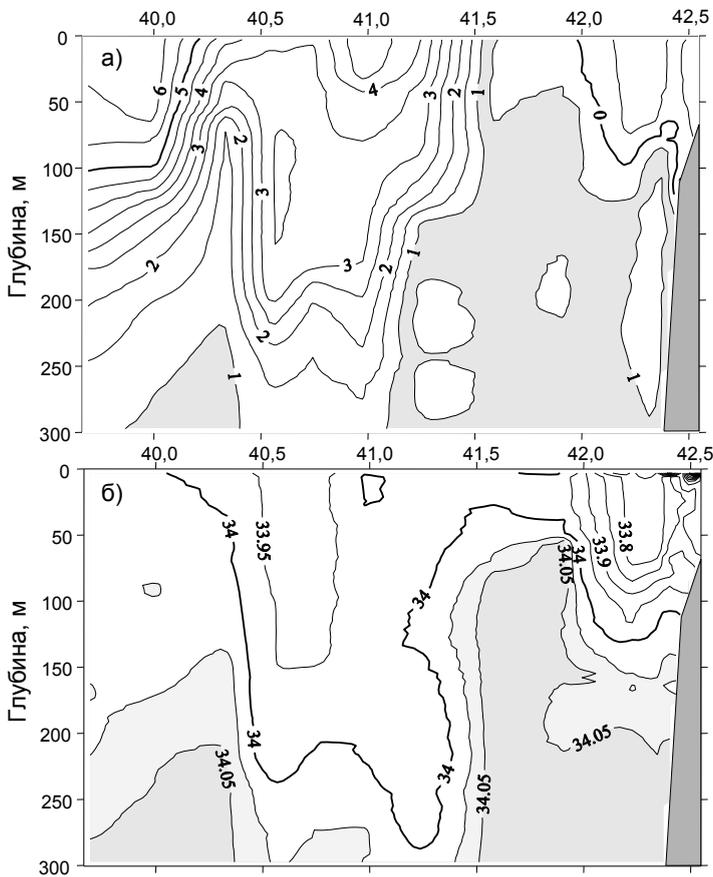


Рис. 4. (а) – распределение температуры (°С) и (б) – солёности (‰) на разрезе по 131,6° в.д. 3-7 марта 2000 г.

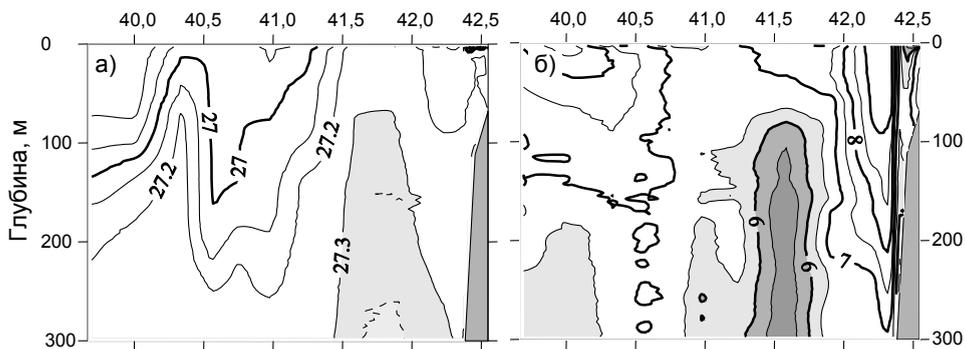


Рис. 5. (а) – распределение условной плотности и (б) – концентрации растворенного кислорода (мг/л) на разрезе по 131,6° в.д. 3-7 марта 2000 г.

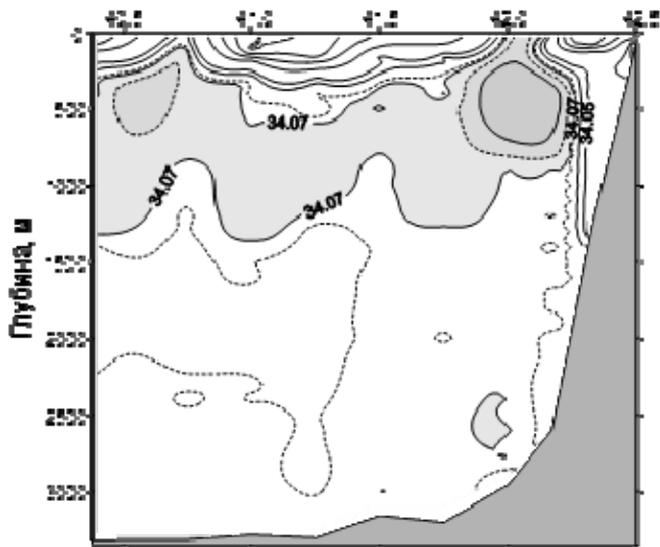


Рис. 6. Распределение солёности (‰) на разрезе по 131,5° в.д. 24-27 февраля 2001 г.

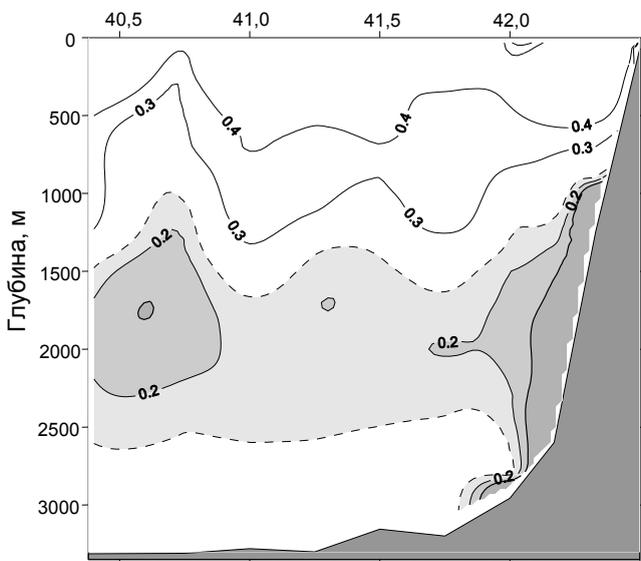


Рис. 7. Распределение температуры воды на разрезе по 131,5° в.д. зимой 2001 г.

Гидрологические условия залива ПВ в по результатам наблюдений летом

Основной особенностью океанографии залива ПВ в летний период является значительное опреснение Амурского залива (рис. 8). В августе прослеживается слабый термический фронт, простирающийся от о. Сибирякова в восточном направлении вдоль 42,7° с.ш. К северу от него воды залива ПВ практически

однородны по температуре. В то же время, по солёности выделяются два прибрежных солёностных фронта в западных частях Амурского и Уссурийского заливов, которые соединяются в районе о. Сибирякова. Судя по распределению солёности, плотностное течение на поверхности должно переносить воды от о. Аскольд в северную часть Уссурийского залива. Интенсивное плотностное течение вдоль западного берега Уссурийского залива при соединении с течением в Амурском заливе должно вызывать сильное течение и опускание вод между о. Сибирякова и о. Стенина, расположенным южнее.

Летом 2001 г. не было обнаружено никаких признаков замкнутых циркуляций вод вокруг островов Стенина, Аскольд, в вершине Уссурийского залива и южнее о. Русский.

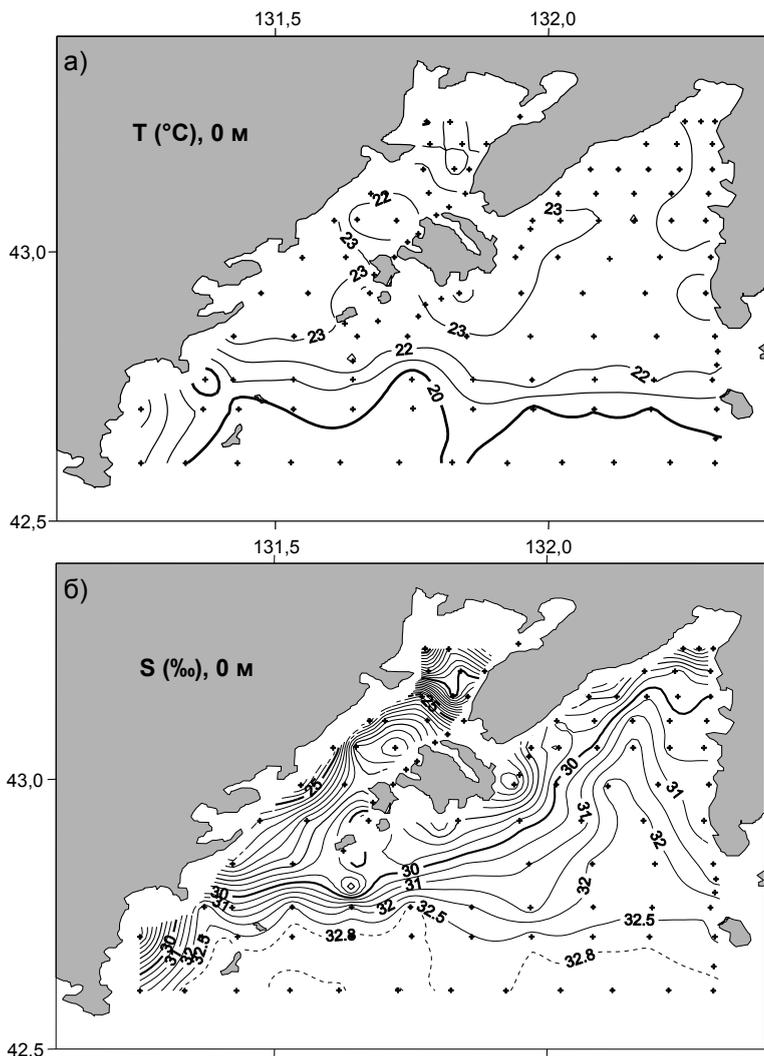


Рис. 8. Поверхностные температура (а) и солёность (б) в заливе ПВ 15-18 августа 2001 г.

Глубже 50 м вода из пролива между о. Аскольд и материком распространяется уже не в Уссурийский залив, а на запад до 131,8° в.д. (рис. 9). Её температура и солёность существенно выше соответствующих значений, свойственных Приморскому течению.

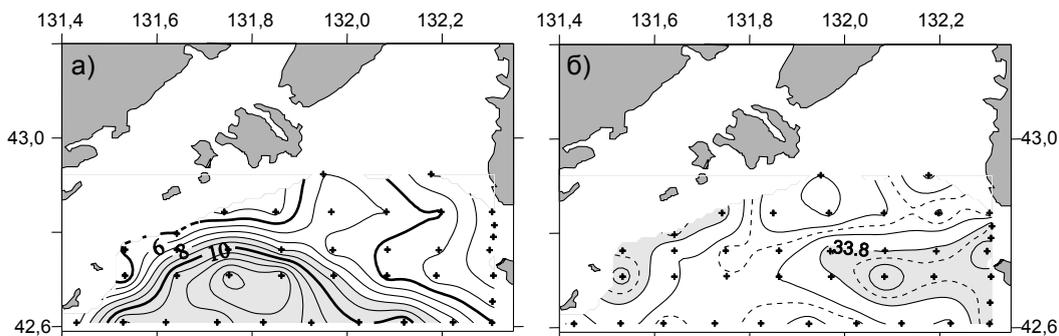


Рис. 9. (а) – температура (°С) и (б) – солёность (‰) вод залива ПВ на горизонте 50 м в августе 2001 г.

Амурский залив, лето

Летом 2001 г. в результате распространения опреснённой воды от устья р. Раздольной на юг в районе п-ва Песчаный наблюдался солёностный фронт, пересекавший залив в восточном направлении (рис. 10). Наличие фронта позволяет сделать предположение о подъёме вод в указанном районе и о различных формах циркуляции вод южнее и севернее его. Севернее этого места, так называемого «Муравьевского порога» [5], располагается слабый циклонический круговорот, южнее образуется течение, направленное на юго-запад вдоль западных границ залива. Однако по распределению температуры и солёности оно прослеживается лишь до широты пункта Славянки. При таком распределении солёности в Амурском заливе не могут существовать разнонаправленные течения, как показано в современной лоции.

По вертикали в Амурском заливе выделялись не один, а два термоклина, что указывает на существование трёхслойной структуры вод. Первый располагался у поверхности (примерно, до горизонта 8 м), второй – у дна (между горизонтами 30 м и 40 м). Между термоклинами расположен относительно однородный промежуточный слой с температурой 16-18°С и солёностью 32,8-33,5‰. Севернее п-ва Песчаный отмеченный слой отсутствовал (два термо- и галоклина сливались), и мощный пикноклин препятствовал перемешиванию вод по вертикали.

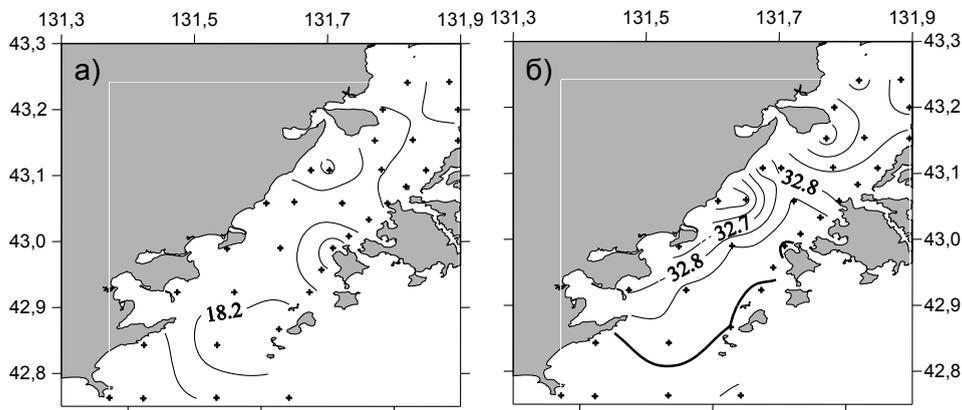


Рис. 10. (а) – температура (°С) и (б) – солёность (‰) вод Амурского залива на горизонте 10 м 15-16 августа 2001 г.

Уссурийский залив, лето

Летом 2001 г. в Уссурийском заливе опреснённые (солёностью менее 30‰) воды от устья рек Артемовка и Суходол распространялись только вдоль западных берегов залива (рис. 8). В районе пролива Босфор отмечена низкая (менее 27‰) солёность, что свидетельствует о переносе распреснённых вод из пролива в восточном направлении.

Опресненные воды повсеместно не проникали глубже поверхностного термоклина (рис. 11).

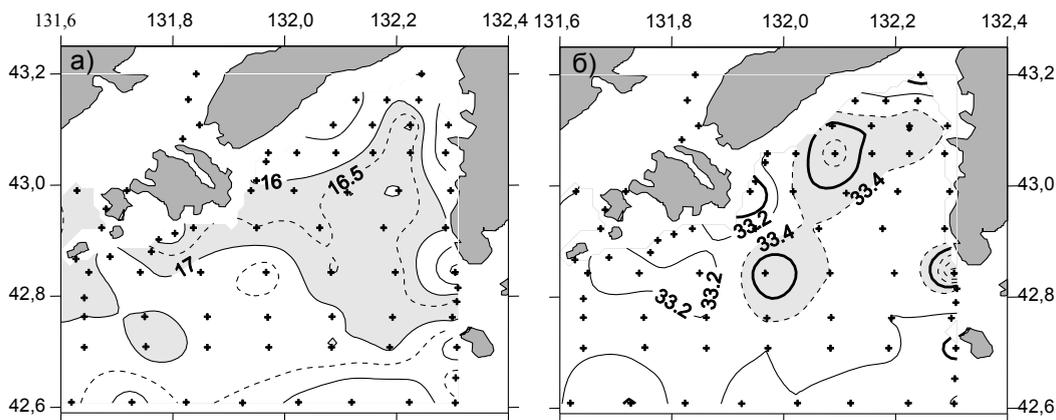


Рис. 11. (а) – температура (°С), (б) – солёность (‰) вод Уссурийского залива на горизонте 20 м 15-18 августа 2001 г.

Особенностью в распределении солёности является клин солёной воды вдоль 132,2° в.д., отмеченный ещё Г.М. Бирюлиным [2]. Такое распределение солёности должно вызывать плотностное течение на север вдоль восточного берега и сильное плотностное течение на юго-запад вдоль западных берегов.

Глубже поверхностного термоклина (придонный термоклин залегает в Уссурийском заливе между горизонтами 35 м и 50 м) солёность в клине возрастает до 33,3-33,5‰ (рис. 12), а на горизонте 20 м область солёной воды становится замкнутой (см. рис. 11).

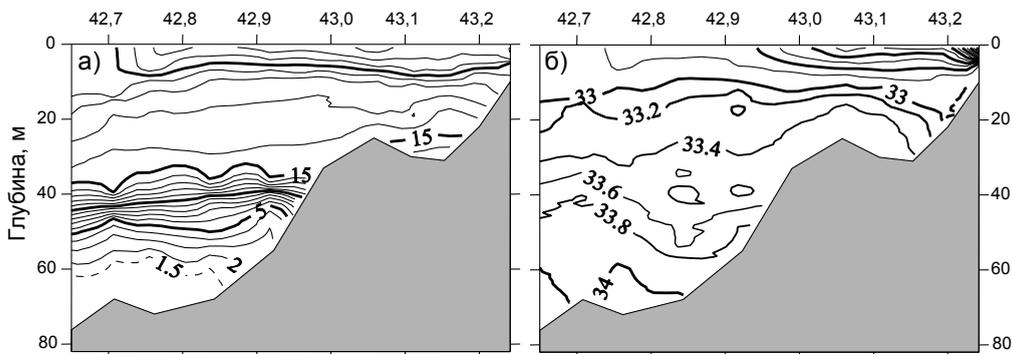


Рис. 12. (а) – распределение температуры (°С) и (б) – солёности (‰) на разрезе по 132,2° в.д 15-18 августа 2001 г.

Изолированной области солёной воды в центральной части пролива должна соответствовать циклоническая циркуляция, обусловленная распределением поля плотности.

Наличие двух термо- и галоклинов позволяет разделить воды Уссурийского залива по вертикали на три слоя – поверхностный, промежуточный и придонный. Толщина хорошо прогретого и распресненного поверхностного слоя не превышает 10 м. Вода, расположенная между ним и придонным термоклинном, как и в Амурском заливе, отличается однородностью (температура 16-18°С, солёность – 32,8-33,4‰). В придонном слое, расположенном ниже придонного термоклина, температура (менее 1,5°С) и солёность (более 33,95‰) близки к известным характеристикам глубинной воды Японского моря.

Гидрологические условия залива ПВ по результатам наблюдений осенью

Перестройка пространственной структуры вод залива ПВ начинается в октябре. Тем не менее, даже в середине ноября 2001 г. (рис. 13) в распределении температуры и солёности вод залива ПВ обнаруживается много общего с летним распределением термохалинных характеристик.

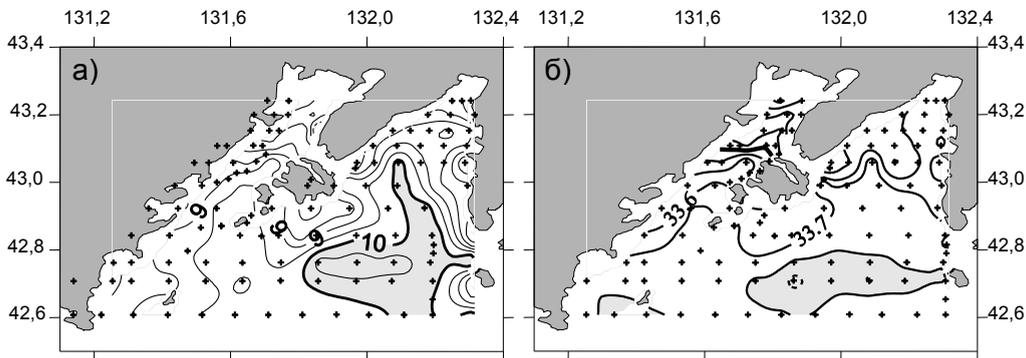


Рис. 13. (а) – распределение температуры (°С) и (б) – солёности (‰) поверхностных вод залива ПВ 14-17 ноября 2001 г.

В это время большая часть поверхности Уссурийского залива была занята теплой и солёной водой. Сохранился её клин и ограничивающий его термический фронт. Язык солёной воды распространялся от о. Аскольд на запад вдоль 42,7° с.ш.

В Амурском заливе в середине ноября появились признаки разнонаправленных течений (характерные изгибы изотерм и изогалин на север вдоль восточных берегов и на юг – вдоль западных). За счёт этого вдоль Амурского залива возникли термический и солёностный фронты (рис. 14).

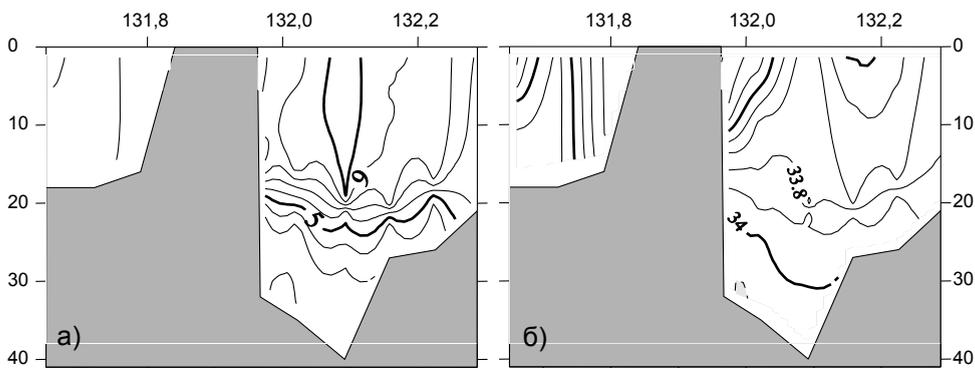


Рис. 14. (а) – распределение температуры (°С) и (б) – солёности (‰) на разрезе по 43,06° с.ш. 15 ноября 2001 г.

Осенью в Амурском заливе повсеместно исчез поверхностный термоклин, а глубина залегания придонного термоклина увеличилась на 20 м в направлении с севера на юг и с запада на восток. В Уссурийском заливе глубина залегания термо- и галоклина, а, значит, и слоя скачка плотности, также увеличилась в направлении с севера на юг с 10 до 45 м (рис. 15).

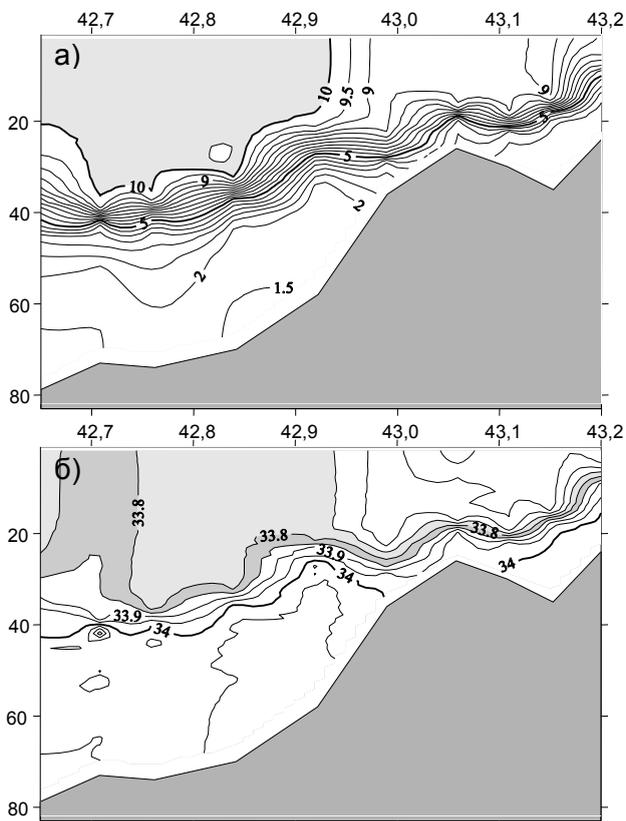


Рис. 15. (а) – распределение температуры (°С) и (б) – солёности (‰) на разрезе по 132,2° в.д. 14-17 ноября 2001 г.

Изолированный пояс солёной воды (между 42,5° и 43° с.ш.) с высокими значениями температуры (более 10°С) и солёности (более 33,75‰) воды в ноябре 2001 г. выходил на поверхность (рис. 15).

О вертикальных движениях вод в заливе ПВ

Знание районов подъёма вод имеет важное значение для оценки закономерностей распределения фауны залива ПВ, поскольку именно в таких районах питательные вещества поступают в поверхностный слой, поддерживая существование и развитие планктона – первого звена пищевой цепочки. Однако, в отличие от горизонтальных движений, вертикальные, обычно (по крайней мере, в заливе ПВ), не измеряются и о них, как правило, судят косвенно по распределению температуры и солёности. Поскольку вода на подповерхностных (глубинных) горизонтах более холодная и солёная, то по появлению на поверхности таких вод можно проследить зоны апвеллинга.

Зимой вертикальные движения вод залива ПВ достаточно хорошо развиты вследствие сильных ветров и конвективного перемешивания в процессе образования льда. Однако в этот период апвеллинг хорошо прослеживается

только южнее залива Посыет у границы шельфа по выходу на поверхность относительно теплых (более 0°C) и солёных (более 34,05‰) вод. В целом же для всего залива ПВ лишь летом и осенью отчетливо выделяются отдельные районы апвеллинга.

Летом подъём вод характерен для двух районов:

- 1) центральной части Уссурийского залива;
- 2) района, прилегающего к о. Русский в Амурском заливе.

В Уссурийском заливе изотермы и изогалины выходят на поверхность (признаки подъёма вод) с горизонта 10 м в районе, ограниченном координатами 42,9-43,1° с.ш., 132,05-132,25° в.д. В Амурском заливе, в районе, ограниченном координатами 42,95-43,12° с.ш., 131,62-131,8° в.д., температура воды на поверхности на 0,5°C (осенью 2001 г.) – 2°C (летом 2001 г.) ниже, а солёность на 0,7‰ (осенью 2001 г.) – 1,5‰ (летом 2001 г.) выше окружающих вод. Благодаря подъёму вод здесь формируется мощный поверхностный термический и солёностный фронт, препятствующий водообмену северной и южной частей Амурского залива. Поэтому Амурский залив можно считать разделённым на две части именно в этом районе. К северу от указанного фронта вертикальные движения летом отсутствуют (поверхностный и придонный термоклины соединяются, и слой скачка плотности занимает всё пространство от поверхности до дна). В этой части залива вертикальные движения вод могут возникать лишь в период действия сильных ветров.

Два других солёностных фронта (вдоль западных берегов Уссурийского залива и вдоль западного берега Амурского залива) соединяются в районе о. Сибирякова. Обусловленное градиентами плотности сильное плотностное течение должно вызывать опускание вод в этом районе.

Осенью подъём вод характерен для солёного пояса. Например, в ноябре 1999 г. изотермы и изогалины выходили на поверхность в пределах залива ПВ между 42,5 и 42,8° с.ш. (рис. 16).

Известен [6] интенсивный подъём подповерхностных вод в восточной части залива ПВ между о. Аскольд и Находкой. Этот процесс прослежен на поверхности с октября по март.

Выводы

Отмечены закономерности в пространственном распределении температуры и солёности залива ПВ в различные сезоны.

Характерными особенностями океанографии залива ПВ являются:

- ♦ пояс солёной воды южнее о. Аскольд;
- ♦ термический и солёностный фронты вдоль западных берегов Амурского и Уссурийского заливов;
- ♦ существование двух термо- и галоклинов в летний период и придонного галоклина – в зимний.

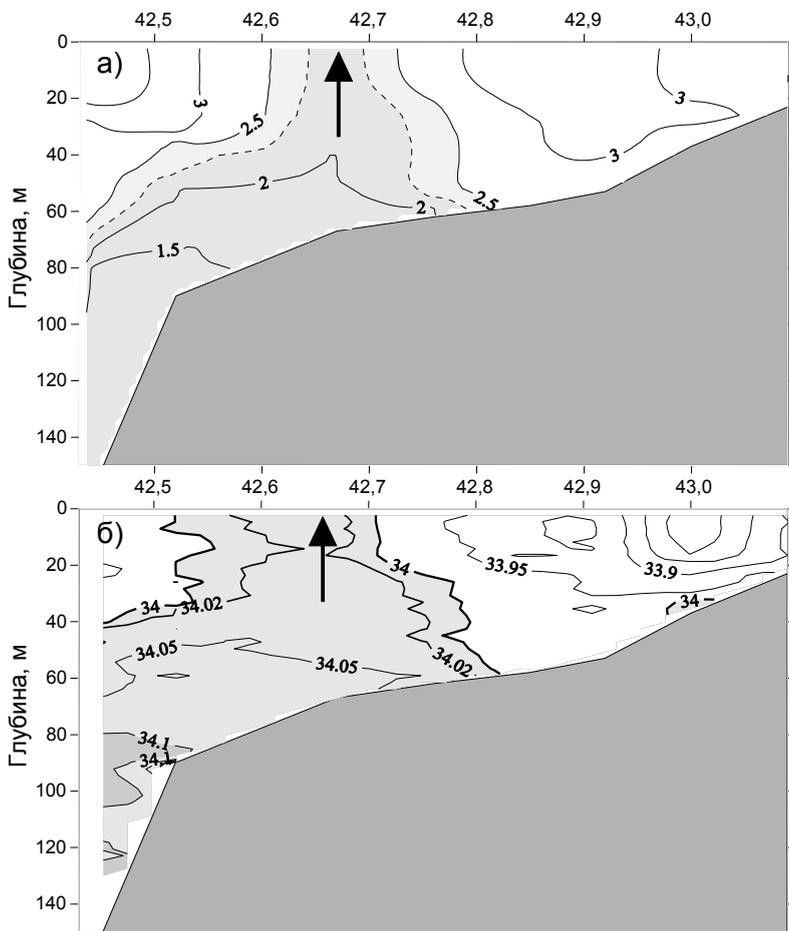


Рис. 16. а) – распределение температуры (°С) и б) – солёности (‰) по 132° в.д. 30 ноября 1999 г. (область восходящих движений затенена)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Амброз А.И. Сельдь залива Петра Великого // Известия ТИНРО, 1931. Т. 6. С. 1-313.
2. Бирюлин Г.М., Бирюлина М.Т., Микулич Л.В., Якунин Л.П. Летние модификации вод залива Петра Великого // Тр. ДВНИГМИ, 1970. Вып. 2. С. 276-280.
3. Винокурова Т.Т. О сезонной и краткопериодной изменчивости гидрологических характеристик в заливе Петра Великого // Известия ТИНРО, 1977. Т. 101. С. 7-12.
4. Гомоюнов К.А. Гидрологический очерк Амурского залива и реки Суйфуна // Производительные силы Дальнего Востока. Владивосток: «Книжное дело», 1927. Вып. 2. С. 73-91.
5. Гомоюнов К.А. Гидрологический режим бухты Патрокл в связи с метеорологическими условиями // Известия ТОНС, 1928. Т. 1. Вып. 2. С. 3-45.
6. Гончаренко И.А., Федеряков В.Г., Лазарюк А.Ю., Пономарев В.И. Тематическая обработка данных AVHRR на примере изучения прибрежного апвеллинга // Исследование Земли из космоса, 1993. №2. С. 97-107.

-
-
7. Давыдова С.В. Видовой состав ихтиопланктона бухт залива Петра Великого и его сезонная динамика // Известия ТИНРО, 1998. Т. 123. С. 105-121.
 8. Данченков М.А., Обри Д.Г., Лобанов В.Б. Пространственная структура вод северо-западной части Японского моря зимой // Тематический вып. ДВНИГМИ №3. Владивосток: Дальнаука, 2000. С. 92-105.
 9. Дерюгин К.М. Зоны и биоценозы залива Петра Великого (Японское море) // Сборник статей памяти Н.М. Книповича. М.-Л.: Пищепромиздат, 1939. С. 115-142.
 10. Иванков В.Н., Иванкова З.Г. Тропические и субтропические виды рыб в северо-западной части Японского моря // Известия ТИНРО, 1998. Т. 123. С. 291-298.
 11. Лоция северо-западного берега Японского моря. СПб., 1996. 354 с.
 12. Моисеев П.А. Лов камбалы маломерными судами в Уссурийском заливе весной 1935 г. // Известия ТИНРО, 1937. Т. 12. С. 125-158.
 13. Рачков В.И. Характеристика гидрохимических условий вод Амурского залива в тёплый период года // Известия ТИНРО, 2002. Т. 131. С. 65-77.
 14. Aubrey D.G., Danchenkov M.A., Riser S.C. Belt of salt water in the north-western Japan Sea // Oceanography of the Japan Sea. Vladivostok: Dalnauka, 2001. P. 11-20.
 15. Danchenkov M.A., Aubrey D.G., Feldman K.L. Oceanography of area close to the Tumannaya river mouth (the Sea of Japan) // J. Pacific Oceanography, Vol.1, №1, 2003, P. 61-69.
 16. Danchenkov M.A., Lobanov. B., Nikitin A.A. Mesoscale eddies in the Japan Sea, their role in circulation and heat transport // Proc. CREAMS Int. Symposium. Fukuoka, 1997. P. 81-84.
 17. Danchenkov M.A., Nikitin A.A., Volkov Yu.N., Goncharenko I.A. Surface thermal fronts of the Japan Sea // Proc. CREAMS Int. Symposium. Fukuoka, 1997. P. 75-79.
 18. Uda M. Results of simultaneous oceanographical investigations in the Japan Sea and its adjacent waters during October and November 1933 // J. Imp. Fish. Exp. Station, 1934. V. 7. P. 91-151.

* Редактор статьи к.ф.-м.н. И.Е. Кочергин

РАСЧЁТ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ТЕЧЕНИЙ В ЗАЛИВЕ ПЕТРА ВЕЛИКОГО

Введение

Для залива Петра Великого (ПВ) Японского моря (рис. 1) свойственны интенсивные грузопассажирские морские перевозки и активная прибрежная деятельность. Это является причиной повышенного интереса к исследованиям физических и химических параметров водных масс, морских течений и пр.

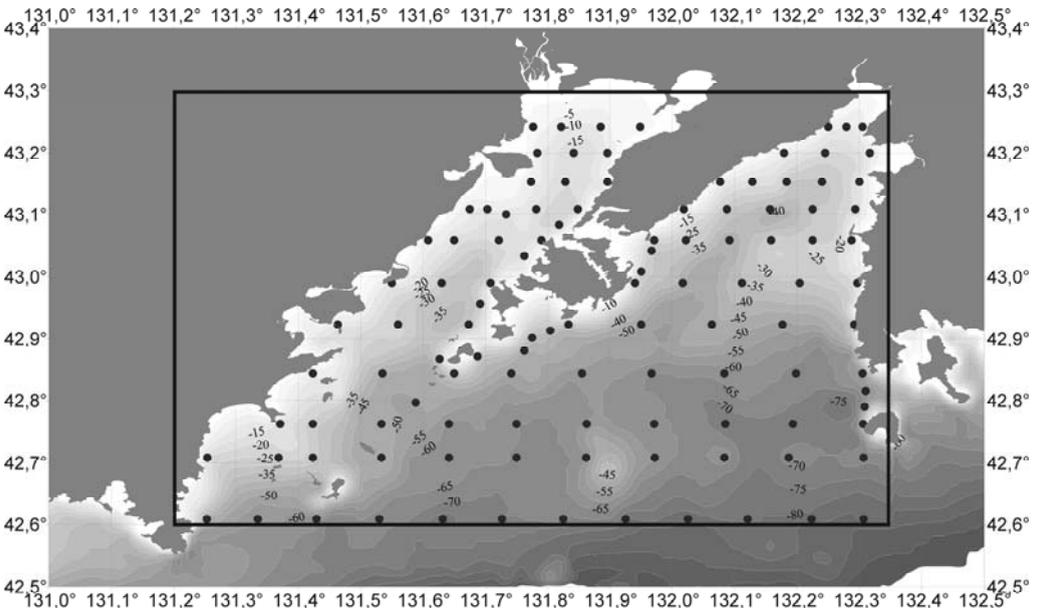


Рис. 1. Исследуемый район с картой батиметрии (в метрах). Точками отмечено расположение океанографических станций. Рамкой показана граница расчётной области

Впервые реконструкция поля течений для залива ПВ и северных участков шельфа Приморья была выполнена Ю.В. Истошиным по данным бутылочной почты [4]. Результаты инструментальных измерений течений на шхуне «Россинанте» летом 1936 г. обобщены в работе Н.А. Белинского и Ю.В. Истошина [1]. Инструментальные наблюдения более позднего периода представлены в лоции [5] и опубликованы в работе Г.И. Юрасова и В.Г. Яричина [12]. В области моделирования течений залива ПВ следует отметить работы Н.И. Савельевой [10] и Э.А. Иващенко [3], в которых представлены рассчитанные ветровые течения. Например, в [10] в рамках линейной нестационарной модели, основанной на уравнениях мелкой воды, рассчитывались течения в Уссурийском и Амурском заливах. Основные выводы этой работы: антициклонический круговорот в Уссурийском заливе при северных

постоянных ветрах (холодный период) и циклонический – при южных постоянных ветрах (тёплый период). В Амурском заливе структура поверхностных течений также существенно зависит от направления ветра: при южном ветре течения направлены на север, при северных – на юг. Кроме того, исследования течений залива ПВ проводили специалисты ИБМ ДВО РАН (проект Туманган). Схемы остаточных течений для преобладающих в летний период ветров Амурского залива приводятся также в работе О.В. Зайцева [2]. Обобщённые сведения о режиме вод залива представлены в работе [9].

Тем не менее, имеющихся сведений недостаточно и они не позволяют на их основе дать представление о структуре поля течений, её синоптической, сезонной и межгодовой изменчивости в заливе ПВ. Для восполнения этого пробела в ДВНИГМИ была разработана региональная программа экспериментальных океанографических наблюдений в заливе ПВ. Её реализация позволила получить новые сведения о режимных характеристиках морской среды для лета и осени при воздействии устойчивых муссонных ветров.

Целью настоящей работы является выявление особенностей структуры циркуляции вод и полей течений в заливе ПВ, которые формируются под воздействием различных погодных условий с использованием результатов экспериментальных океанографических наблюдений.

Данные

Специализированные экспедиционные исследования в заливе ПВ осуществлялись в рамках ФЦНП «Комплексные исследования океанов и морей России, Арктики и Антарктики», в соответствии с планами оперативно-производственных работ Госкомгидромета на 2001 г. Наблюдения проводились на НИС «Павел Гордиенко» и ЭС «Гидробиолог» в период с 15 по 19 августа 2001 г. при установившихся ветрах летнего муссона. За время рейса было выполнено 113 зондирований (рис. 1). Повторная съёмка была выполнена 14-18 ноября 2001 г. в условиях устойчивых северных и северо-западных ветров, характерных для холодного периода года (зимний муссон).

Гидрофизические параметры – давление, температура, электропроводность воды – измерялись зондами: CTD AST-1000S (ЭС «Гидробиолог», летняя экспедиция), CTD FSI (НИС «Павел Гордиенко»), CTD NEIL BROWN (ЭС «Гидробиолог», осенняя экспедиция). Непосредственно перед началом каждой съёмки была проведена сверка работы указанных зондов.

Для реконструкции течений использована диагностическая модель Саркисяна D1 [6, 11], в которой не учитывались инерционные члены и горизонтальная турбулентная вязкость. Для оценок возможных погрешностей при ее использовании, воспользуемся процедурой, описанной в [11], и найдем число Кибеля (K_0), число Экмана для вертикальной турбулентной вязкости (E_v) и число Экмана для горизонтальной турбулентной вязкости (E_m). Эти числа являются оценкой инерционного эффекта, вертикальной турбулентной вязкости и горизонтальной турбулентной вязкости, соответственно, и вычисляются по следующим формулам [11]:

$$K_0 = \frac{v_0}{L_0 \cdot l_0}; \quad E_v = v \frac{1}{h_0^2 \cdot l_0}; \quad E_m = A_l \frac{1}{L_0^2 \cdot l_0},$$

где L_0 – горизонтальный масштаб, $L_0 = 10^6$ см;
 v_0 – характерное значение скорости горизонтального течения, $v_0 = 10$ см/с;
 ν – коэффициент вертикальной турбулентной вязкости, $\nu = 10$ см²/с;
 A_1 – коэффициент горизонтальной турбулентной вязкости, $A_1 = 10^5$ см²/с;
 I_0 – параметр Кориолиса, $I_0 = 10^{-4}$ с⁻¹;
 h_0 – характерная толщина бароклинного слоя, $h_0 = 4000$ см.

Физическую интерпретацию используемых характеристик см. в [11]. При принятых характерных масштабах имеем:

$$K_0 = 10^{-1}; \quad E_v = \frac{1}{160}; \quad E_m = 10^{-3}.$$

Согласно проведённым оценкам, вертикальная и горизонтальная вязкость являются величинами порядка много меньше единицы. Напротив, рассчитанное значение числа Кибеля свидетельствует, что вклад инерционных членов более значим, и составляет приблизительно 10% от вклада всех слагаемых. В связи с этим, в будущем необходимо будет провести расчёт течений по более совершенной модели, учитывающей влияние постоянно меняющихся внешних факторов (например, ветер и приливы) и нелинейные эффекты.

Входными данными модели являются батиметрия, трёхмерное поле плотности и поле касательного трения ветра. Значения плотности рассчитывалось по наблюдаемым значениям температуры и солёности с использованием формулы ЮНЕСКО [13]. В узлы регулярной расчётной сетки поле плотности восстановлено с помощью интерполяции. Батиметрия бралась из измерений, которые проводились в рейсе, а так же с оцифрованных навигационных карт. Поле ветра рассчитывалось по данным судовых наблюдений и наблюдений, которые проводились на прибрежных ГМС Находка, Партизанск, Владивосток, Барабаш, Посъет, Гамов. В период проведения летней съёмки средняя скорость ветра составляла 5 м/с, осенней – 9 м/с.

Уравнения модели решались численно при помощи метода конечных разностей схемой второго порядка точности. При решении применялась экстраполяция по Ричардсону [7, 8]. Составляющие скорости морских течений рассчитывались в каждом узле ортогональной сетки. Размерность расчётной сетки по горизонтали 93 на 65 точек, по вертикали 80 точек. Сетка принималась однородная по горизонтали, с шагом 0,0125°, что на широте залива ПВ соответствует примерно 1,1 км вдоль оси ОХ, направленной на восток, и 1,4 км вдоль оси ОУ, направленной на север. Вертикальный шаг сетки равен 1 м. Положение расчётной области показано на рисунке 1.

Анализ результатов расчётов

Летом общая структура течений в заливе ПВ следующая: с юга в залив входит поток со средней скоростью примерно 20-25 см/с, от которого отделяются струи в направлении Амурского и Уссурийского заливов. От струи, которая вторгается в Уссурийский залив, отходит две ветви. Первая ветвь имеет ярко выраженную юго-восточную составляющую и прослеживается вдоль южной

границы исследуемого полигона со средней скоростью 10-15 см/с. Южнее острова Русский прослеживается вторая ветвь, которая направляется в район о. Аскольд, где встречается с первой ветвью. Остальной поток устремляется на север со средней скоростью 15 см/с и образует циклоническое кольцо в Уссурийском заливе. Структура поверхностных течений в Амурском заливе свидетельствует, что часть воды через пролив Босфор попадает в Амурский залив. В северо-восточной части Уссурийского залива, где поле плотности подстраивается под южный ветер, течения направлены на север со скоростью 10-20 см/с. В Амурском заливе севернее 43° с.ш. течения имеют преимущественно южное направление. Их интенсификация (до 30 см/с) вдоль западного побережья залива обусловлена поступлением вод из пролива Босфор. В центре исследуемого полигона формируется антициклоническое кольцо, которое прослеживается до глубины 50 м (рис. 2).

Осенью антициклонический круговорот смещается на северо-восток и располагается в восточной части залива ПВ. Здесь антициклоническая направленность течений проявляется до глубины 50 м. Скорости течений в этом круговороте составляют 15-30 см/с. Наиболее сильные течения развиваются вблизи о. Аскольд, где они достигают 40 см/с. В Уссурийском заливе формируется локальная антициклоническую циркуляция, которая прослеживается примерно до глубины 30 м. Скорости поверхностных течений здесь не превышают 10-20 см/с. В Амурском заливе под воздействием сгонных северо-западных ветров усиливаются (до 10-15 см/с) южно-направленные течения (рис. 3).

Обсуждение

Полученные результаты в целом соответствуют общепринятым представлениям о структуре циркуляции вод в заливе ПВ. Но при более детальном сравнении обнаруживаются следующие различия. В частности, на схеме течений, рассчитанной Н.И. Савельевой, показан антициклонический круговорот при постоянных северных ветрах (холодный период года) и циклонический при постоянных южных ветрах (теплый период) в Уссурийском заливе. По нашим данным (модель D1), в открытой части залива ПВ также преобладает антициклоническое движение вод, за исключением одной детали – кольцо циркуляции более неоднородно по своей структуре (в отличие от баротропной модели). Струя, идущая на север вдоль восточного берега Уссурийского залива, гораздо мощнее, чем ветвь, которая поворачивает на юг и распространяется вдоль западного берега залива. Сравнение схем течений для Амурского залива показывает, что летняя схема (модель D1) соответствует схеме, рассчитанной с использованием баротропной модели при юго-восточном ветре [10].

Следует отметить, что инструментальных измерений течений в Уссурийском заливе было выполнено значительно меньше, чем в Амурском. Поэтому и качество подобных схем для Амурского залива выше.

Рассмотрим схемы течений в Амурском заливе, представленные в различных источниках. По оценкам, летняя схема диагностических течений из настоящей работы, схема ветровых течений для юго-восточного ветра из [10], и схема В.Г. Яричина (обобщение инструментальных измерений) согласуются в следующем:

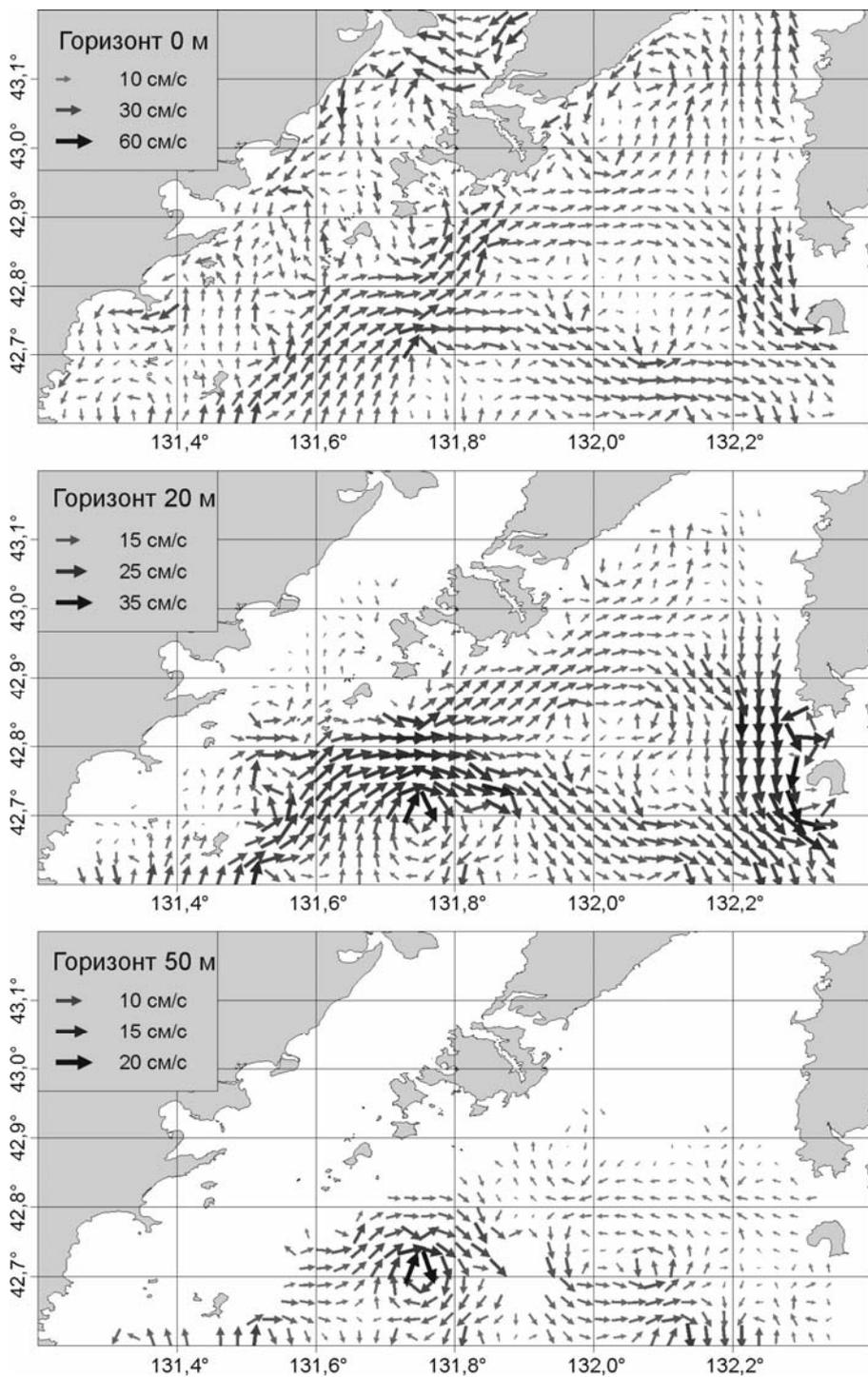


Рис. 2. Поле скоростей в заливе ПБ 15-18 августа 2001 г.

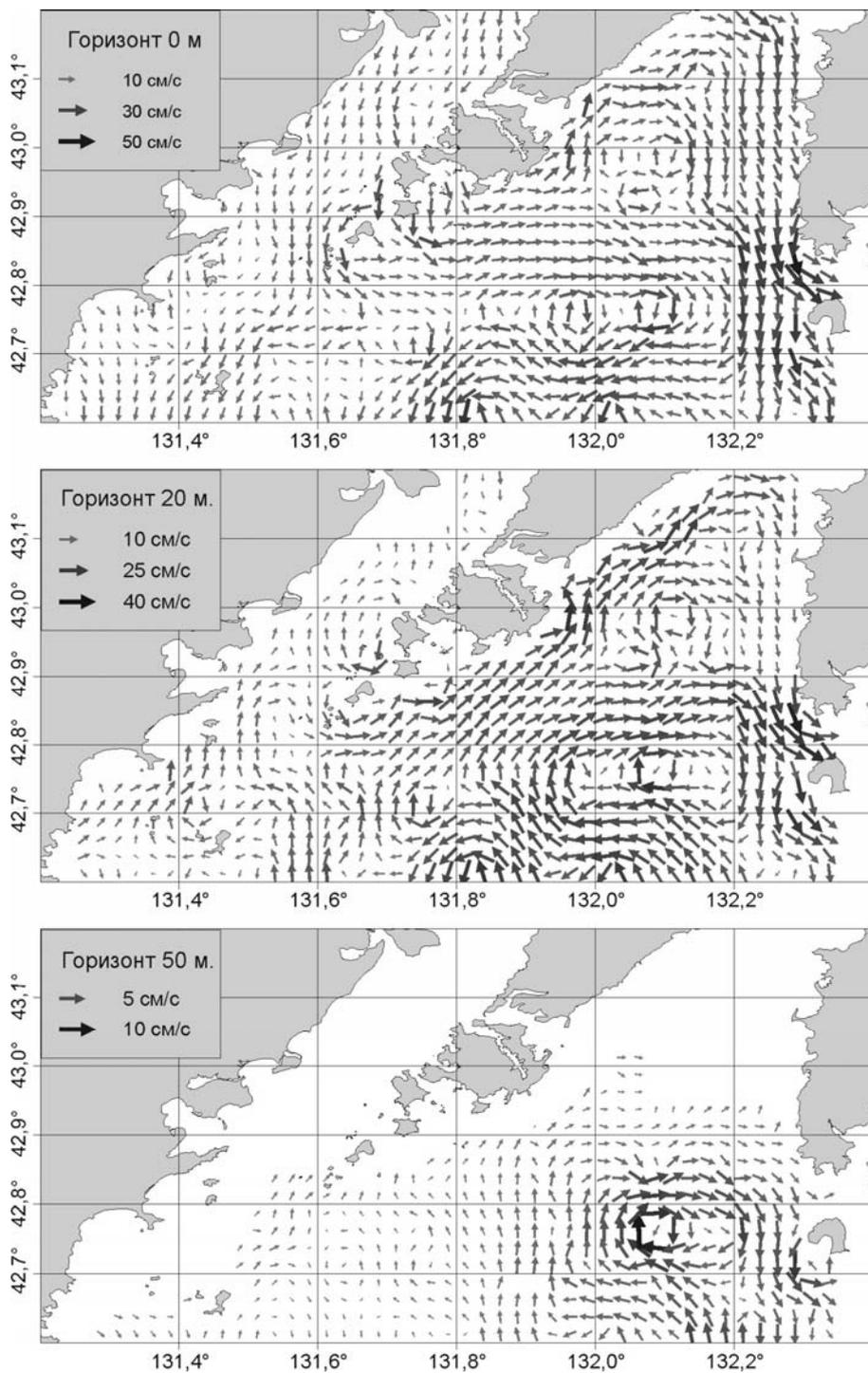


Рис. 3. Поле скоростей в заливе ПВ 16-19 ноября 2001 г.

-
-
- ♦ в Амурском заливе южнее 43° с.ш. преобладают течения преимущественно южного направления с интенсивной струёй вдоль западного побережья залива, которая усиливается за счёт поступления вод из пролива Босфор;
 - ♦ у полуострова Брюса эта струя встречается с ответвлением струи Приморского течения, которое прослеживается вдоль западного берега Амурского залива на участке шельфа от о-вов Римского-Корсакова до полуострова Брюса.

В то же время схемы течений для северной мелководной части Амурского залива расходятся у различных авторов. Так, например В.Г. Яричин [12] и Н.И. Савельева [10] отмечают здесь локальный циклонический круговорот. В то же время схема остаточных течений В.В. Яроша [1] и схема из настоящей работы демонстрируют преобладающую антициклоническую направленность течений на этом участке шельфа.

Что касается открытой части залива ПВ – то её основными структурными элементами являются струя Приморского течения и антициклонический круговорот южнее о. Русский. На эти черты указывают лоция [5], схема В.Г. Яричина и Г.И. Юрасова [12]. Схемы течений, полученные по модели D1 для летних условий 2001 г., демонстрируют только антициклонический круговорот в центре исследуемого полигона (рис. 2). Струя Приморского течения на летней схеме не прослежена. Возможно, это вызвано тем, что летом 2001 г. наблюдениями не была охвачена вся зона Приморского течения. Известно [2-3, 10], что это течение обычно придерживается 200-метровой изобаты. Осенью 2001 г. Приморское течение отчетливо прослеживалось в юго-восточном секторе полигона со скоростями 15-25 см/с.

Заключение

Исследования, проведенные в летние и осенние периоды 2001 г., показали, что в открытой части залива ПВ структура горизонтальной циркуляции была представлена антициклоническим круговоротом, который охватывал всю водную толщу. При переходе от лета к осени его центр имел тенденцию к смещению в северо-восточном направлении. Структура локальной циркуляции в Уссурийском заливе существенно зависит от направления муссонных ветров и их интенсивности: летом преобладает циклоническая направленность течений, осенью – антициклоническая. Кроме этого, на его режим заметное влияние оказывают вторжения мористых вод – ответвления антициклонического круговорота открытой части залива ПВ.

В разработке программы исследований, организации и проведении работы принимали участие специалисты ДВНИГМИ: Ю.Н. Волков, А.Ф. Щербинин, И.Е. Кочергин, В.А. Лучин, А.Е. Румянцев, В.Н. Крайнев, С.И. Рыбалко и экипажи судов, участвовавших в экспедиционных исследованиях. Кроме того, автор выражает глубокую признательность Виталию Георгиевичу Яричину, старшему научному сотруднику ИАПУ ДВО РАН, за краткую информационную справку об основных элементах общей циркуляции вод в заливе ПВ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белинский Н.А., Истошин Ю.В. Приморское течение по материалам экспедиции шхуны «Россинанте» // Тр. ЦИП. М.-Л.: Гидрометеиздат, 1950. Вып. 17. С. 132-143.
2. Зайцев О.В. Статистическое моделирование переноса примеси в прибрежной зоне моря: Диссертация на соискание ученой степени кандидата физ.-мат. наук. Владивосток, 1985.
3. Иващенко Э.А. Циркуляция вод залива Петра Великого // Географические исследования Дальневосточного шельфа. Владивосток: ДВГУ, 1993. С. 31-61.
4. Истошин Ю.В. Течения Японского моря по данным бутылочной почты // Тр. ЦИП. М.-Л.: Гидрометеиздат, 1950. Вып. 17. С. 88-131.
5. Лоция Северо-западного берега Японского моря от реки Туманная до мыса Белкина: ГУНиО МО, 1984. Ч. 1 (№1401). 319 с.
6. Марчук Г.И., Саркисян А.С. Математические модели циркуляции океана. М.: Наука, 1988. 304 с.
7. Марчук Г.И., Шайдуров В.В. Повышение точности решений разностных схем. М.: Наука, 1979. 320 с.
8. Марчук Г.И. Методы вычислительной математики. М.: Наука, 1989. 608 с.
9. Ростов И.Д., Юрасов Г.И., Рудых Н.И., Мороз В.В., Дмитриева Е.В., Ростов В.И., Набиуллин А.А., Храпченков Ф.Ф., Бунин В.М. «Атлас по океанографии Берингова, Охотского и Японского морей». http://atlas.pacificinfo.ru/start_russian.htm.
10. Савельева Н.И. Общая схема циркуляции вод Амурского и Уссурийского заливов по результатам численного моделирования. Владивосток, 1989. 29 с.
11. Саркисян А.С. Численный анализ и прогноз морских течений. Л.: Гидрометеиздат, 1977. 184 с.
12. Юрасов Г.И., Яричин В.Г. Течения Японского моря. Владивосток: ДВО АН СССР, 1991. 174 с.
13. Lakshmi Kantha, Carol Anne Clayson. Numerical models of oceans and oceanic processes. USA: Academic Press, 2000. 940 p.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КОМПОЗИЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ К РАСЧЁТУ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ СКОРОСТЕЙ ТЕЧЕНИЙ (НА ПРИМЕРЕ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО ШЕЛЬФА О. САХАЛИН)

Введение

Расчёт точных значений экстремальных скоростей морских течений редкой повторяемости является актуальной задачей для северо-восточного шельфа острова Сахалин, поскольку в этом районе ведутся интенсивные работы по промышленному освоению морских месторождений нефти и газа, планируется возведение различных сооружений по добыче и транспортировке углеводородного сырья. Оценка возможных скоростей течений необходима для учёта нагрузок и безопасного проектирования промышленных объектов в прибрежной зоне моря, прогнозирования зоны поражения при возможных аварийных ситуациях и ряда других задач. В связи с этим, в данном районе выполнен большой объём гидрометеорологических изысканий, в том числе, инструментальных измерений морских течений, значительная часть которых приходится на Аркутун-Дагинское (АД) морское месторождение нефти и природного газа [5, 7, 9, 11]. Большое количество наблюдений было выполнено в период 1987–1991 г. С 1996 г. интенсивные изыскательские работы на северо-восточном шельфе о. Сахалин стали проводиться по инициативе иностранных компаний. Таким образом, имеются продолжительные, полученные в течение нескольких лет (преимущественно летом и осенью) ряды наблюдений за течениями. Это обстоятельство позволяет применить для оценки экстремальных скоростей течений метод композиции распределений приливной и непериодической составляющих, который при расчёте максимальных и минимальных высот уровня моря дал хорошие результаты как для северо-восточного побережья Сахалина [8, 10], так и для других районов [14, 20]. Как отмечают авторы метода [18, 19], именно отсутствие систематических, достаточно продолжительных измерений скорости течений представляет основную сложность при реализации данного подхода, так как недостаточная продолжительность наблюдений ограничивает точность оценки распределения непериодической компоненты. Вторая принципиальная трудность связана с возможным влиянием бароклинных эффектов на формирование приливных течений, в результате которого нельзя добиться достаточно точного описания максимальных скоростей приливных течений простым предвычислением. В случае северо-восточного шельфа о. Сахалин мы имеем редкую возможность испытать метод на представительном материале наблюдений, так как объём данных, полученных на АД площади, достаточно велик, а влияние бароклинного прилива в этом районе сравнительно мало [5].

Применение метода композиции распределений представляется важным ещё и потому, что использование методов численного моделирования распространения приливов в Охотском море [17, 19] именно для изучаемого района не дало удовлетворительных результатов. Поэтому трудно ожидать точных результатов от альтернативного подхода, который получил в последнее

время широкое распространение при аналогичных оценках [1, 3, 21]. Значительная трудность численного расчёта приливных течений для данного района связана с существованием здесь суточных шельфовых волн, что проявляется в аномально больших скоростях течений и быстром изменении фаз гармоник K_1 и O_1 вдоль берега [11, 12].

Не отвергая важности вычислительных экспериментов, позволяющих глубже понять особенности динамических процессов на шельфе, обобщение большого объёма измерений течений, выполненных на АД площади, необходимо для верификации численных схем и сопоставления полученных оценок скоростей редкой повторяемости с результатами математического моделирования. Необходимые для применения метода композиции детальные оценки распределений приливной и непериодической составляющих поля течений также представляют значительный самостоятельный интерес.

Материалы наблюдений

Расположение АД морской площади показано на рис. 1. По сравнению с другими морскими месторождениями северо-восточного Сахалина, АД площадь находится на большем удалении от берега. Глубина моря в её пределах колеблется от 30 до 45 м. Линия берега в данном районе имеет некоторый наклон по отношению к меридиану и ориентирована приблизительно по линии север-северо-восток – юг-юго-запад.

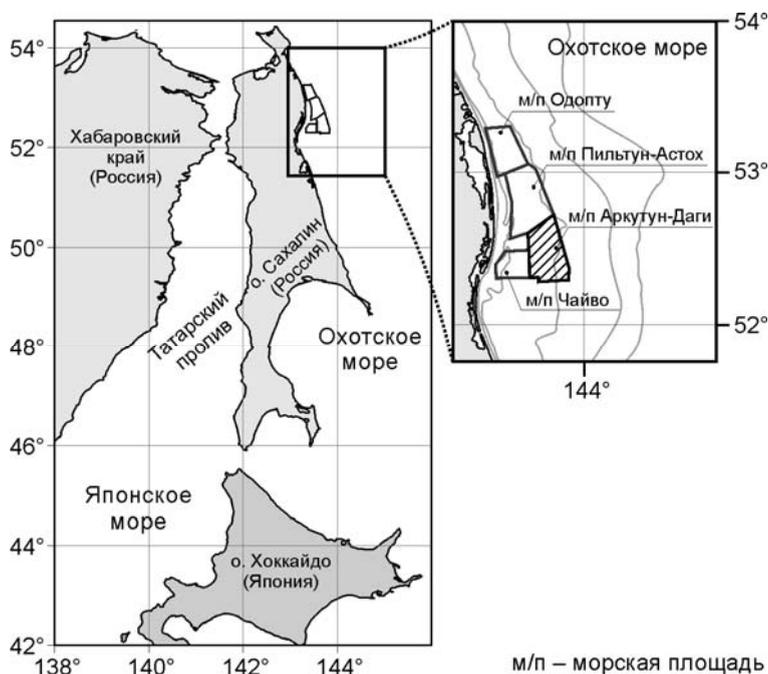


Рис. 1. Карта-схема расположения морской площади Аркутун-Даги

Измерения течений на северо-восточном шельфе Сахалина производились преимущественно в период с июля по ноябрь, т.к. с декабря по июнь постановка

автономных буйковых станций затруднена из-за влияния льдов. Материалами, проводившихся в последние годы подледных измерений течений с использованием акустических доплеровских профилографов в донном варианте [16], авторы не располагали.

В работах [5, 7, 16] показано, что как для приливной, так и для непериодической составляющей характерны существенные сезонные различия. Для неприливных течений это связано с резким увеличением потока в южном направлении, которое наблюдается обычно во второй половине сентября, что обусловлено общей перестройкой поля плотности в северо-западной части Охотского моря. Смена направления воздушных потоков происходит после перехода атмосферных процессов от летнего типа (с преобладающими ветрами южных и юго-восточных румбов) к осеннему, который характеризуется устойчивым северо-западным ветром [2, 4, 6].

В рассматриваемом районе наблюдается также значительная сезонная изменчивость величины приливов с максимальными колебаниями во время зимнего и летнего солнцестояний и минимальными в период весеннего и осеннего равноденствий. Существенная сезонная изменчивость приливной и непериодической составляющих поля течений требует проведения расчётов для летнего и осеннего периода отдельно.

Для АД площади изменения приливной компоненты скорости течений с глубиной несколько меньше, чем, например, на расположенной ближе к берегу Пильтун-Астохской площади [9], однако, как будет показано ниже, достаточно существенны, причём для обеих составляющих. Поэтому для вычисления характеристик непериодической компоненты имеющиеся ряды наблюдений были разделены не только по сезонам – к летнему были отнесены измерения, выполненные до 15 сентября, к осеннему – после указанной даты, но и по глубине. Выделялось три слоя – поверхностный (до 10 м включительно), придонный (нижних 10 м), остальные измерения относились к промежуточному слою. Как приливная, так и непериодическая составляющие поля течений имеют характерную вертикальную структуру, для учёта которой и производилось данное разбиение.

Сведения об объёме использованных данных наблюдений, сгруппированных в соответствии с указанными принципами, приведены в табл. 1. При расчёте на один месяц продолжительность измерений составляет около 4 лет в придонном слое и шесть – на поверхности. Ряды приблизительно такой же продолжительности использовались в работах [8, 10] для характеристики распределения непериодической компоненты уровня в рассматриваемом районе, что позволило получить расчётные высоты уровня моря редкой повторяемости.

Таблица 1

Продолжительность (в часах) использовавшихся рядов скоростей морских течений, измеренных на Аркутун-Дагинской площади летом и осенью в поверхностном, промежуточном и придонном слоях за периоды 1987-1991 и 1996-1998 гг.

	Поверхностный слой	Промежуточный слой	Придонный слой
лето	5240	4737	3036
осень	5300	4754	2730

Методика расчёта

Метод композиции распределений для экстремальных колебаний уровня моря [8, 18] предусматривает независимую оценку распределений приливной и непериодической компонент. Для расчёта «синтезированной» функции распределения суммарных уровней учитываются вероятности всех возможных комбинаций уровня – от самого высокого (максимальный прилив по предвычисленному 19-летнему ряду + наибольший наблюдавшийся нагон) до самого низкого (наинизший прилив + экстремальный сгон). Аналогичную процедуру можно провести и для скоростей морских течений.

Если такие распределения (розы по градациям скорости и направлениям – 8 или 16 в зависимости от постановки задачи) уже построены, то процедура расчёта обобщённого распределения суммарного течения осуществляется следующим образом: каждый вектор одной розы складывается с каждым вектором другой розы, причём вероятность этого вектора–суммы определяется как произведение вероятностей слагаемых. Перебирая таким образом все возможные комбинации, получаем распределение суммарной скорости. Максимально возможные скорости получаются как суммы максимальных скоростей различных составляющих совпадающих (или близких) направлений. Если существует ненулевая вероятность штиля, что является достаточно редкой ситуацией для течений, в отличие от скорости ветра или дрейфа льда, то в набор возможных векторов суммарной скорости войдут все вектора из распределения второй компоненты, вероятности которых умножены на вероятность штиля первой компоненты.

К полученному ряду векторов (которым приписаны их вероятности) применяется процедура расчёта, аналогичная расчёту обычной розы течений. В результате получается оценка распределения суммарной скорости с учётом возможности самых различных комбинаций скоростей приливной и непериодической компонент, вне зависимости от того, было ли подобное наложение на практике или нет. Так, при подобном подходе обычно учитывается возможность совпадения во времени больших скоростей непериодических течений, обусловленных, например, ветром, с совпадающим по направлению сильным приливным течением (как для уровня учитывается возможность наложения нагона на полную воду прилива [14]).

Довольно близкая по смыслу методика была разработана в ААНИИ З.М. Гудковичем для расчёта экстремальных скоростей дрейфа льда [13]. В указанной работе для описания распределения непериодической компоненты использовался «эллипс рассеивания», то есть двумерное нормальное распределение. Известно, что нормальное распределение даёт, как правило, наибольшие погрешности на краях распределения, которые и представляют наибольший интерес для расчёта экстремальных значений. Распределение приливной компоненты оценивалось довольно грубо, по существу определялись лишь максимальные скорости приливного дрейфа, которые потом накладывались на «эллипс рассеивания». Представляется, что предлагаемая в данной статье модификация метода композиции распределений является более корректным инструментом для оценки экстремальных скоростей течений (а также и дрейфа льда) в приливных морях.

Наиболее тонким моментом применяемого подхода является переход от

рассчитанных вероятностей к периоду повторяемости расчётных скоростей течений. Вопрос заключается в выборе множителя m , который в формуле (1) для расчёта повторяемости экстремальных уровней моря [8, 16] имеет значение, равное числу часовых отсчётов в году, то есть 8760.

$$T(h) = 1/F(h) \cdot m, \quad (1)$$

где $F(h)$ – вероятность превышения заданной высоты h .

В нашем распоряжении не было круглогодичных измерений течений, поэтому расчёты производились для лета и осени отдельно с приведением к длине месячной серии. При этом величина множителя m приравнялась к числу часовых отсчётов в одном месяце – 744. Функции $F_i(v)$ рассчитывались по полученной «синтезированной» розе суммарных течений для i -ой градации направлений. Величина скорости v_{50} , возможная 1 раз в 50 лет для данного направления, определяется из условия, что $F_i(v_{50}) \cdot m = 0,02$ (при отсутствии точного равенства необходимо использовать интерполяцию между соответствующими градациями скорости). Аналогично вычисляются значения скорости, возможные 1 раз в 100 или в другое заданное число лет.

Для расчёта суммарных скоростей течений редкой повторяемости по предлагаемому методу необходимо получить возможно более точные и детальные оценки распределений скоростей приливной и непериодической компонент.

Приливные течения

Ситуация с приливной составляющей выглядит относительно просто, так как на северо-восточном шельфе Сахалина приливные течения имеют преимущественно баротропный характер и, следовательно, могут быть предвычислены с достаточно высокой точностью [9, 11, 12]. Вероятно, существует некоторое влияние внутренних волн на формирование полусуточных течений [15], однако общий вклад этой составляющей для рассматриваемой морской площади незначителен, поэтому бароклинными эффектами при оценке экстремальных скоростей приливных течений можно пренебречь.

Для районов с преобладанием суточных приливов характерна значительная межгодовая изменчивость с периодом 18,6 лет, что проявляется и на северо-восточном шельфе о. Сахалин [11]. Для учёта этой изменчивости необходимо оценивать распределение приливной составляющей, предвычисляя соответствующие ряды на 19-летний период, причём выбор конкретного временного интервала не имеет существенного значения [8]. Можно ограничиться предвычислением половины цикла, то есть 9-летнего ряда, но в этом случае важно, чтобы он охватывал период от «малых» приливов до «больших» или наоборот, то есть выбор начала временного интервала имеет существенное значение.

Приливные константы, которые определялись в пределах сравнительно небольшой АД морской нефтегазоносной площади, различаются несущественно, хотя в целом для шельфа северо-восточного Сахалина характерны значительные вариации характеристик прилива как в направлении вдоль, так и поперёк берега [11]. Для предвычисления использовались амплитуды и фазы 9 волн – суточного ($2Q_1, Q_1, H_1, O_1, P_1, K_1$) и полусуточного (N_2, M_2, S_2) диапазонов, которые рассчитывались на основе наиболее

представительных серий на каждом горизонте. Для оценки параметров приливных волн использовался метод наименьших квадратов. Вклад других волн, в частности, обычно используемой при анализе приливного режима составляющей K_2 , для данного района пренебрежимо мал.

Предвычисление рядов приливных течений осуществлялись на июль (лето) и октябрь (осень) для последовательных 19 лет. В данном случае расчёт производился на период с 1983 г. по 2001 г., хотя, как отмечалось ранее, выбор конкретного интервала времени не имеет существенного значения. В рамках данного периода времени 1986-1988 гг. относятся к «большим», а 1995-1997 гг. – к «малым» приливам. Построенные распределения (рис. 2) обнаруживают основные особенности структуры приливных течений на северо-восточном шельфе о. Сахалин – они имеют характер, близкий к реверсивному, а ось, характеризующая основное направление приливо-отливных потоков, имеет ориентацию север-северо-восток – юг-юго-запад, что достаточно близко к ориентации линии берега в исследуемом районе.

Различия величины скорости в годы «больших» (1987 г.) и «малых» (1996 г.) приливов достаточно существенны. В летний период максимальная скорость в поверхностном слое составляет около 73 см/с и 58 см/с соответственно (рис. 2, а-в). Осенью (рис. 2, г-е) значения максимальных скоростей уменьшаются и составляют около 68 и 48 см/с.

Розы приливных течений, приведённые на рис. 2, отражают также изменчивость приливного потока с глубиной. Максимальная скорость в годы больших приливов в придонном слое примерно на 20 см/с меньше, чем на поверхности, в годы малых приливов различие несколько сокращается и составляет около 15 см/с. Для исследуемого района характерно заметное уменьшение скорости и некоторый разворот основной оси приливного потока в направлении против часовой стрелки с глубиной [9]. Как видно из рисунка, эти закономерности наблюдаются и на АД площади. В поверхностном слое повторяемость течений южных и юго-западных румбов (и, соответственно, северных и северо-восточных) примерно одинакова и составляет около 20%; в придонном слое выделяются южное и северное направления, на которые приходится примерно по 33% от общего числа случаев, а доля течений юго-западных и северо-восточных снижается до 9%. Наиболее вероятная причина такого характера вертикальной структуры приливных течений – влияние донного трения. Оценки характеристик придонного пограничного слоя [9] на Пильтун-Астохской морской площади показали, что влияние донного трения, обычно весьма значительное для приливных шельфовых волн (особенностью которых являются большие скорости потока в мелководной зоне), сказывается во всем водном слое. На исследуемой площади этот эффект проявляется слабее из-за уменьшения величины скорости приливного потока, однако достаточно заметен (рис. 2).

Для дальнейших расчётов полученные для различных лет серии объединялись, после чего вычислялись распределения приливных течений по градациям скорости и направлениям для каждого сезона и каждого слоя. Обобщённые розы приливных течений рассчитывались с шагом 5 см/с по величине скорости и по 8 направлениям. Уменьшение шага по градациям скорости обеспечивает более высокую точность при расчёте свёртки распределений и оценке суммарных скоростей течений редкой повторяемости.

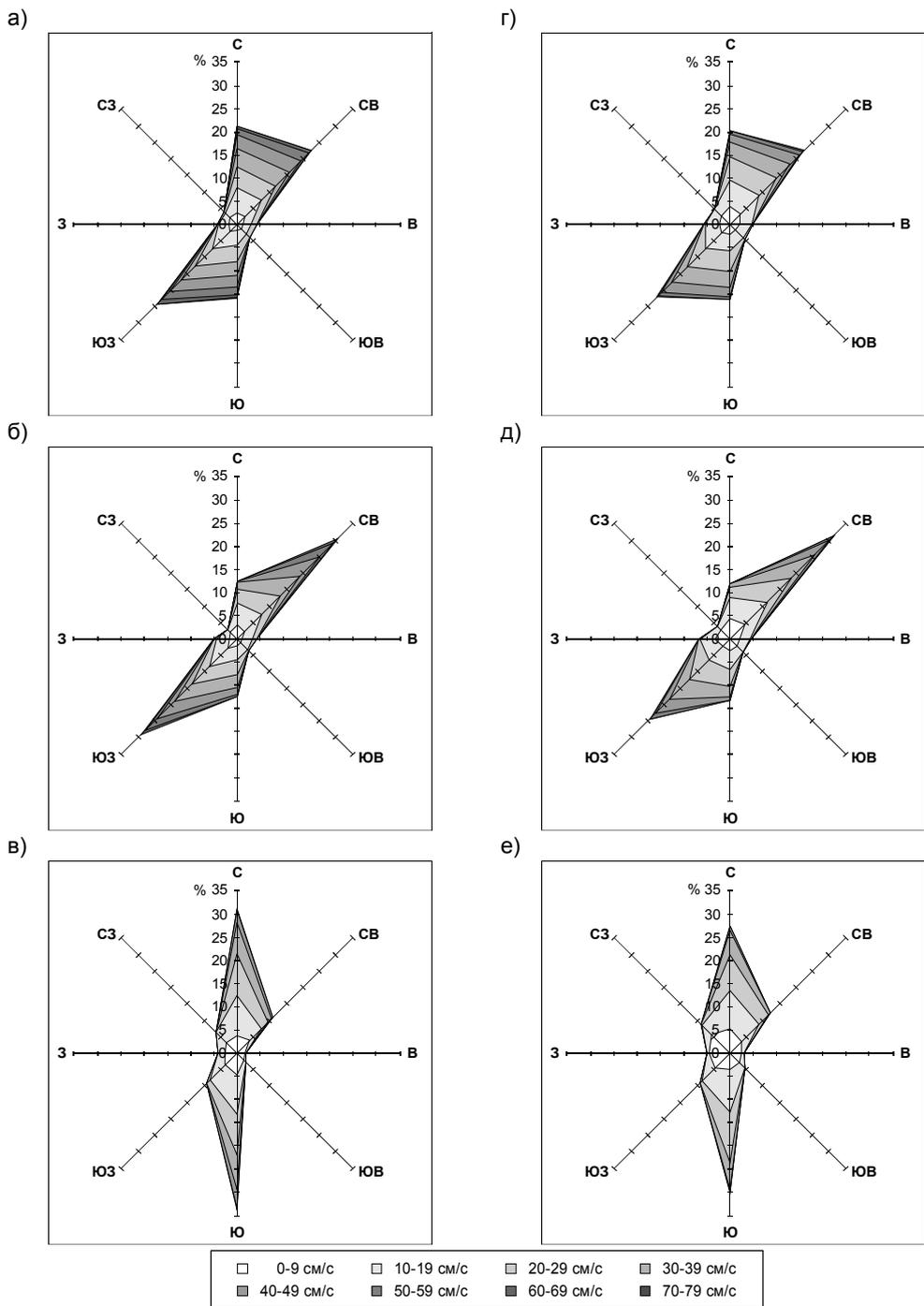


Рис. 2. Диаграммы распределения приливных течений по направлениям и скоростям для лета (а, б, в) и осени (г, д, е): (а, г) – поверхностный, (б, д) – промежуточный, (в, е) – придонный слой

Распределение неперіодических течений

Для оценки неперіодических течений данные группировались по двум выборкам (лето, осень). Дата 15 сентября рассматривалась как условная граница между ними, так как, согласно результатам работ [5, 7], в середине этого месяца обычно происходит перестройка поля течений с резким усилением потока в южном направлении.

На рис. 3, а-в представлены распределения неперіодической компоненты течений по градам скорости и направлениям для лета для различных слоёв. Летом на поверхности построенные распределения обнаруживают двумодальную структуру с основным максимумом в южном-юго-западном направлении (повторяемость около 20%, максимальная скорость – 90 см/с) и вторым, более слабым северо-восточного направления (12%, 60 см/с). С глубиной происходит некоторый разворот течений – на промежуточных горизонтах повторяемость южных румбов возрастает (до 27%). Максимальные скорости отвечают южному (50 см/с) и северному (40 см/с) направлениям. В придонном слое происходит разворот в обратном направлении – здесь наибольшая повторяемость приходится на юго-западное направление (более 30%). Величина максимальной скорости ещё более уменьшается и составляет менее 40 см/с. Вероятно, увеличение доли западной составляющей в поле течений в летний период обусловлено явлением прибрежного апвеллинга, характерного для данного района [6].

Осенью (рис. 3, г-е) распределение неперіодических течений преимущественно одномодально, с преобладанием в поверхностном слое течений южных румбов (около 39%) с максимальной скоростью 150 см/с.

Такие необычно большие скорости неперіодической составляющей течений наблюдались при измерениях с плавучей буровой установки на горизонте 3 м в начале октября 1990 г. при усилении западных ветров до 25 м/с [5]. При оценке экстремальных значений редкой повторяемости с использованием метода композиции распределений учёт подобных ситуаций весьма важен. Как показано в работе [14] на примере аномальной штормовой ситуации 10 ноября 1990 г., возможность наложения сильного нагона на максимальный прилив, даже если таковая не реализовалась на практике, приводит к существенному изменению оценок долгосрочного прогноза. Любопытно отметить, что величина максимальной суммарной скорости в рассматриваемом случае примерно такая же (около 160 см/с), как и у неперіодической компоненты. Фактический вклад прилива при формировании экстремальной ситуации, таким образом, был незначителен.

Максимальные и средние скорости в верхнем слое возрастают по сравнению с летом, как правило, на всех направлениях. Так, для западного и северо-западного румбов они увеличиваются почти в два раза, для северного и северо-восточного направлений – приблизительно в полтора раза. Наиболее вероятно, это вызвано усилением скорости ветра различных направлений, обусловленное осенней активизацией циклонической деятельности над рассматриваемым районом.

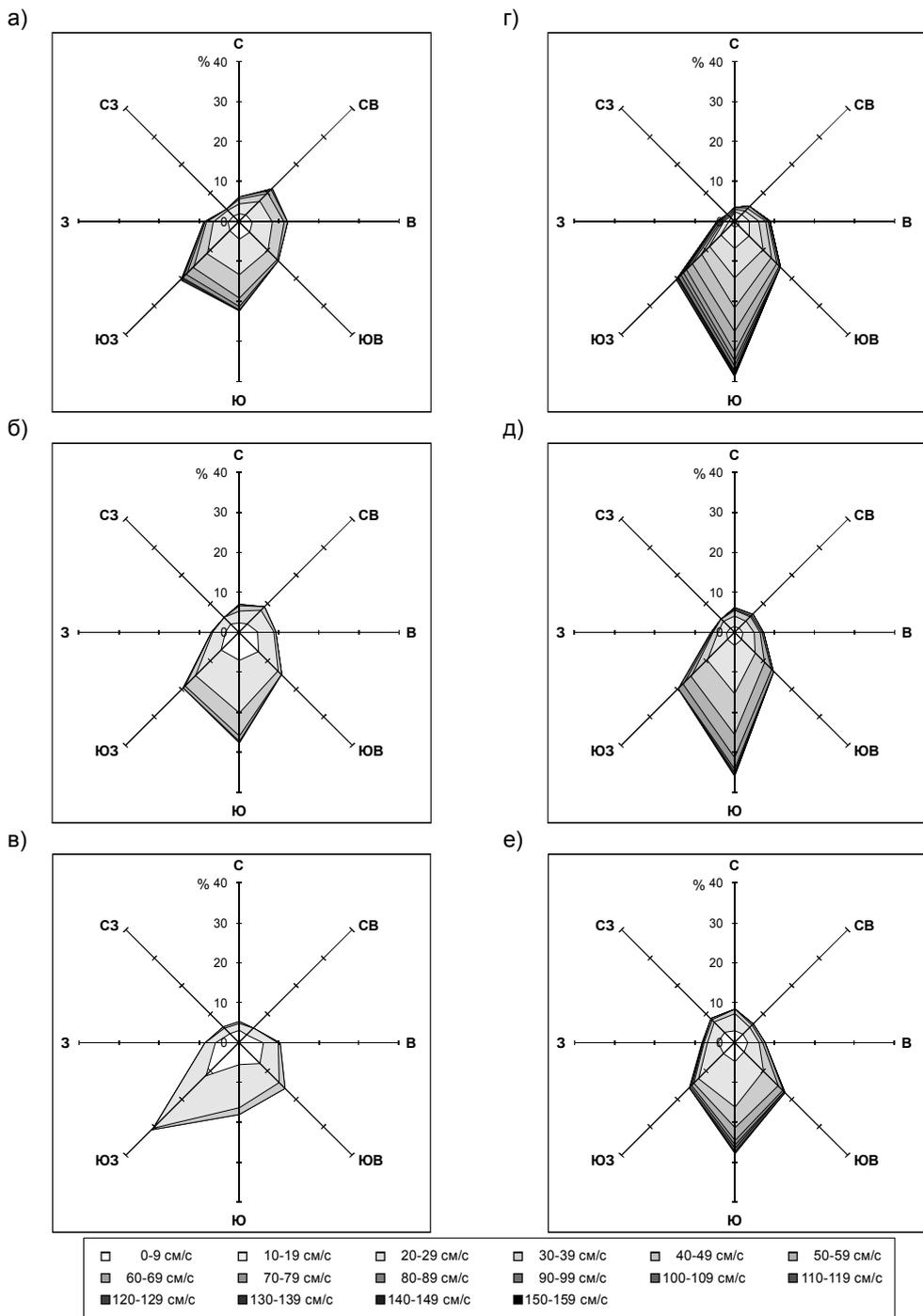


Рис. 3. Диаграммы распределения неперiodической компоненты морских течений по направлениям и скоростям для лета (а, б, в) и осени (г, д, е): (а, г) – поверхностный, (б, д) – промежуточный, (в, е) – придонный слой

В промежуточном и придонном слоях распределение скоростей непериодической компоненты течений отличается от поверхностных горизонтов незначительно, что согласуется с результатами работ [5, 7], в которых отмечалась большая однородность поля течений в осенний период. Отметим некоторое уменьшение доли течений южных румбов и их максимальных скоростей с глубиной (35%, 87 см/с в промежуточном слое и 28%, 76 см/с – в придонном).

Расчёт экстремальных скоростей течений редкой повторяемости

К полученным выше распределениям приливной и непериодической компонент скорости морских течений на различных горизонтах применялся метод композиции распределений, результаты которого приведены на рис. 4. Рассчитанные по формуле (1) повторяемости скоростей течений, возможные 1 раз в 50 лет, представлены на рис. 5. Аналогичные расчёты, выполненные для периода повторяемости 25 лет, показывают идентичный характер изменения экстремальных скоростей течений по направлениям. Для надёжной оценки скоростей суммарных течений повторяемостью 1 раз в 100 лет продолжительность имеющихся рядов наблюдений недостаточна.

В летний период на поверхности экстремальные скорости определяются преимущественно приливной составляющей. Наибольшие расчётные значения скорости соответствуют южному и юго-западному направлениям (около 130 см/с, рис. 5), причём максимально возможные значения, полученные по свёртке распределений, достигают 165-175 см/с (рис. 4). Выделяется также северо-восточное направление, при котором расчётная величина скорости течения составляет около 115 см/с при возможном максимуме около 135 см/с (рис. 4). Заметная асимметрия в сторону южных румбов обусловлена, очевидно, влиянием непериодической компоненты.

В осенний период относительная роль непериодической компоненты в оценке суммарных скоростей редкой повторяемости резко возрастает. Это проявляется, прежде всего, в гораздо большей асимметрии между расчётными скоростями для южных и северных румбов. Так, для южного и юго-западного направлений значения для периода повторяемости 50 лет достигают 192 и 185 см/с, несмотря на существенное уменьшение величины приливных течений, а максимальные возможные значения в «синтезированной» розе превышают 2 м/с (см. рис. 4), что обусловлено упомянутой выше ситуацией в начале октября 1990 г. с аномальными скоростями непериодических течений. Заметим, что для указанного случая скорости суммарных течений достигали величины 160 см/с, что значительно меньше расчётного значения, соответствующего рассматриваемому периоду повторяемости. Это обусловлено тем обстоятельством, что резкое усиление непериодических течений в этот период пришлось на момент слабых приливов (основные суточные волны K_1 и O_1 , суперпозиция которых создает хорошо выраженную двухнедельную модуляцию приливов, были в противофазе). В данном случае резкое увеличение расчётного значения скорости редкой повторяемости по сравнению с фактическим максимумом обусловлено тем, что метод композиции распределений позволяет учитывать возможность наложения значительных непериодических скоростей на любую фазу прилива.

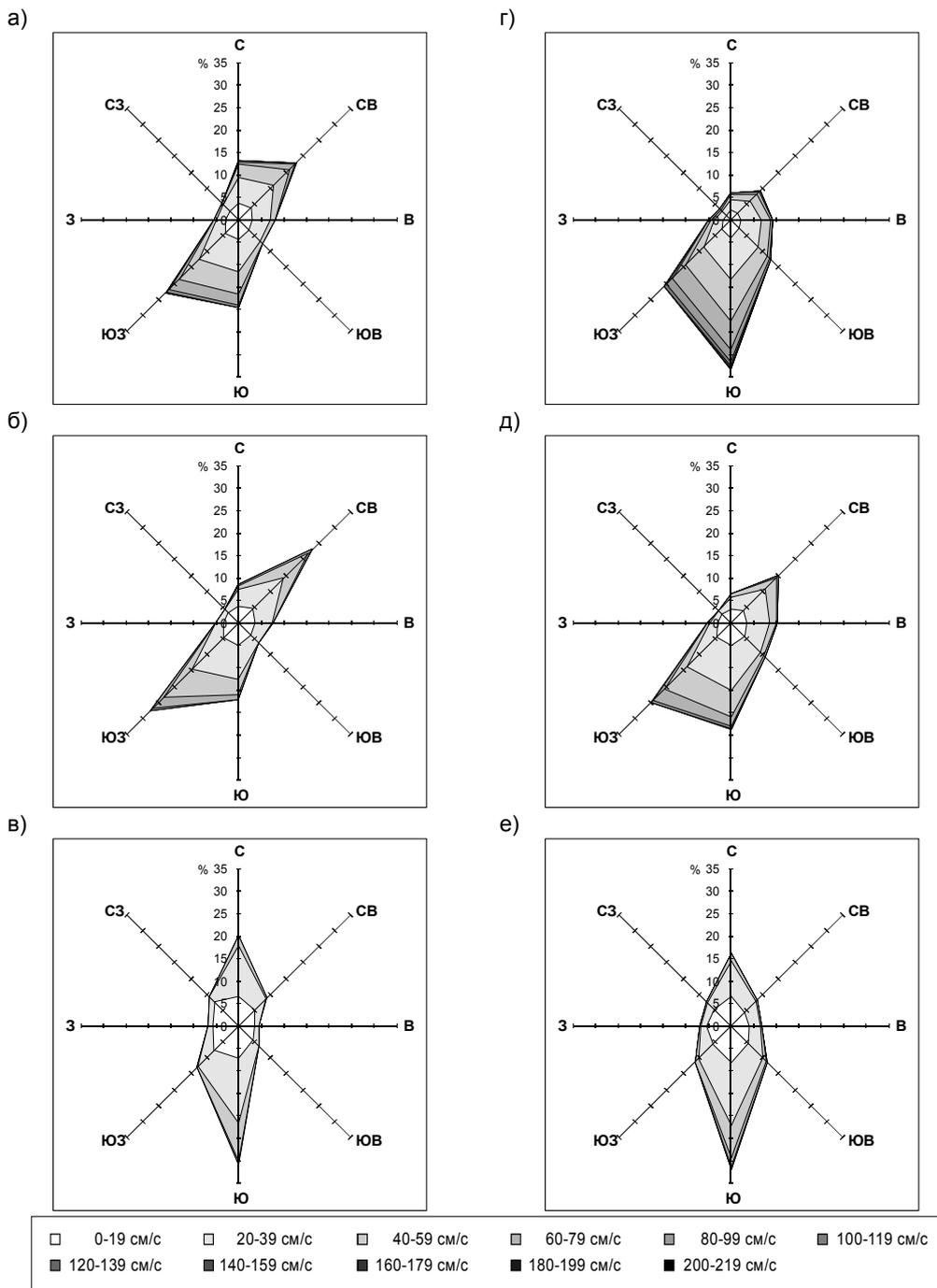


Рис. 4. Диаграммы распределения морских течений, полученные по свёртке распределений приливной и непериодической компонент для лета (а, б, в) и осени (г, д, е): (а, г) – поверхностный, (б, д) – промежуточный, (в, е) – придонный слой

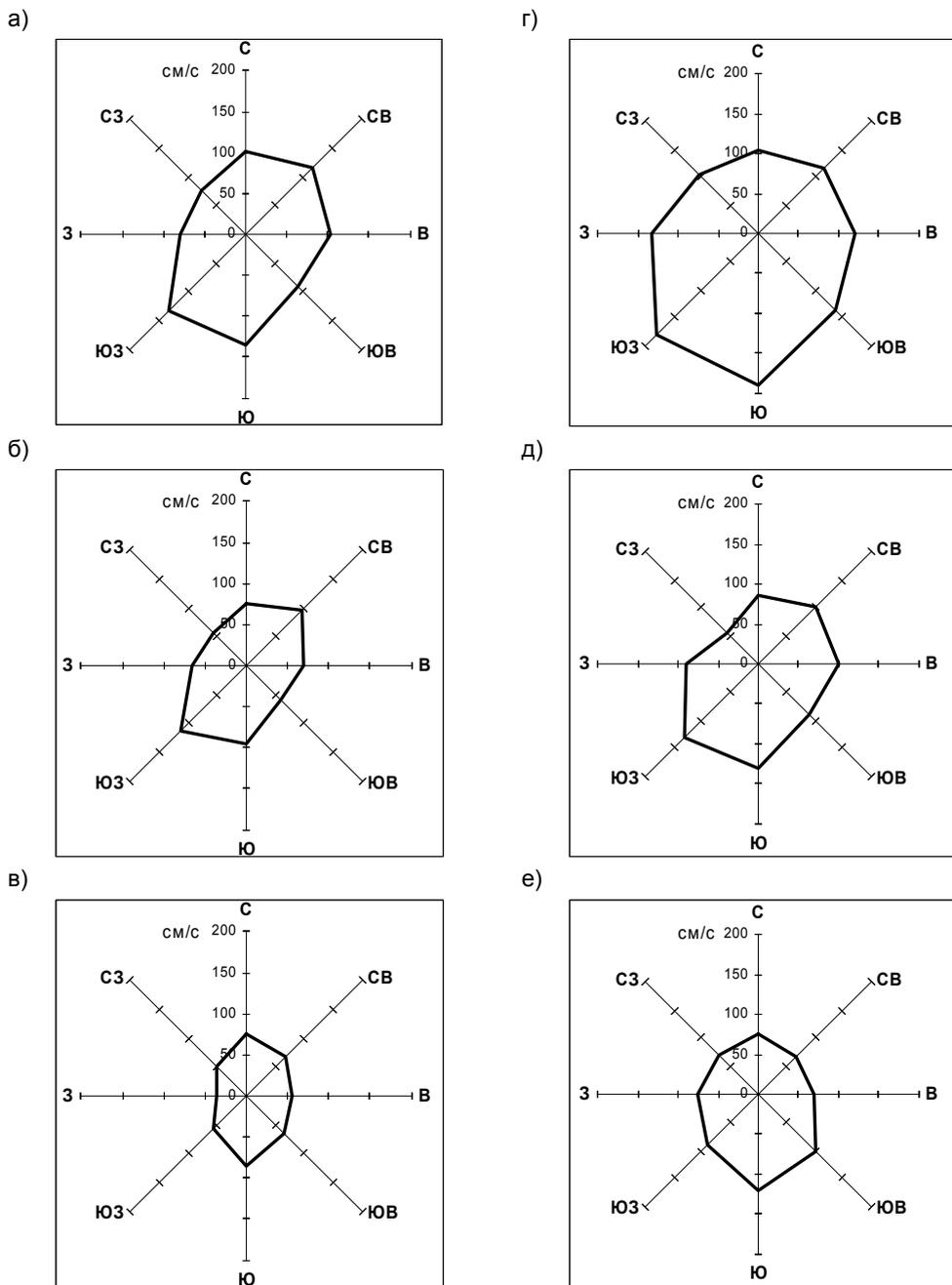


Рис. 5. Распределение экстремальных скоростей течений по направлениям для периода повторяемости 50 лет для лета (а, б, в) и осени (г, д, е): (а, г) – поверхностный, (б, д) – промежуточный, (в, е) – придонный слой

Величина расчётной скорости для северного и северо-восточного направлений почти не меняется по сравнению с летом – некоторое уменьшение приливной компоненты компенсируется увеличением непериодической. В течениях западных направлений доминирует остаточная компонента, что особенно заметно в осенний период.

В промежуточном слое в летний период максимальные расчётные скорости 100-110 см/с отмечаются при южных и юго-западных течениях, а максимальные значения в «синтезированной» розе достигают 115 и 125 см/с (см. рис. 4). Значительных величин (до 95 см/с) могут достигать скорости суммарных течений северо-восточного направления, возможные 1 раз в 50 лет. Вдоль оси, поперечной линии берега, расчётные скорости резко уменьшаются и составляют для данного периода повторяемости около 60 см/с для юго-восточных и 55 см/с для северо-западных румбов.

Осенью полученные оценки экстремальных скоростей существенно выше, чем летом, для всех направлений течений, кроме северо-западного. Наибольшие значения расчётных скоростей в промежуточном слое составляют около 130 см/с для южного и юго-западного, и около 100 см/с для северо-восточного и восточного направлений.

Заметные сезонные различия между оценками экстремальных суммарных скоростей течений наблюдаются и в придонном слое. При этом в июле доминирует приливная составляющая, а в октябре – непериодическая. Максимальная скорость в обоих случаях соответствует южному направлению, осенью скорость достигает 120 см/с, а летом – уменьшается до 85 см/с (рис. 5). Для северного направления расчётные значения близки и не превышают 75 см/с. Наименьшие значения скорости в придонном слое отмечаются летом и характерны для течений западного направления. Осенью выраженного минимума ни на одном направлении не наблюдается.

Заключение

В результате анализа данных наблюдений за скоростью и направлением морских течений, выполненных на Аркутун-Дагинском месторождении нефти и газа на северо-восточном шельфе о. Сахалин за периоды 1987-1991 и 1996-1998 гг., получены следующие результаты:

1) На основе гармонических постоянных основных приливных волн, полученных из наиболее представительных материалов измерений, построены сезонные (лето, осень) распределения приливной компоненты морских течений для поверхностного, промежуточного и придонного слоёв; дана характеристика межгодовой, сезонной и вертикальной изменчивости приливного потока на АД площади.

2) На основе обобщения остаточных (бесприливных) рядов скоростей течений получены оценки распределений непериодической компоненты. Показано, что осенью непериодические течения гораздо сильнее, чем летом, во всей толще воды. Увеличение средних и максимальных скоростей характерно не только для южного направления, что обусловлено интенсификацией Восточно-Сахалинского течения, но и для западных, северных и несколько в меньшей степени восточных румбов. Вероятно, это связано с усилением ветров различных направлений вследствие увеличения циклонической активности над Охотским морем в этот период.

3) Методом композиции распределений приливной и непериодической составляющих получены сезонные (лето, осень) оценки экстремальных скоростей суммарных течений для периодов повторяемости 25 и 50 лет для поверхностного, промежуточного и придонного горизонтов. Показано, что летом основной вклад в оценку максимальных расчётных скоростей вносит приливная компонента, осенью – непериодическая.

Полученные характеристики течений могут быть использованы при оценке возможного воздействия на объекты и сооружения нефтегазового комплекса на АД морском месторождении углеводородного сырья и для решения других вопросов, связанных с экологической безопасностью данного района.

Представляется важным провести аналогичные расчёты для других месторождений северо-восточного шельфа Сахалина, прежде всего для Пильтун-Астохской площади, где имеется более представительный материал наблюдений за течениями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Герман В.Х., Левиков С.П. Вероятностный анализ и моделирование колебаний уровня моря. Л.: Гидрометеоздат, 1988. 231 с.
2. Гидрология и гидрохимия морей. Т. IX. Охотское море. Вып. 1. Гидрометеорологические условия. Спб.: Гидрометеоздат, 1998. 342 с.
3. Зильберштейн О.И., Сафронов Г.Ф., Семенов А.Ю. Гидродинамическое моделирование приливов и нагонов в Баренцевом море на основе разностного гибридного метода // Природные катастрофы и стихийные бедствия в Дальневосточном регионе. Т. 2. Владивосток: ДВО АН СССР, 1990. С. 277-293.
4. Като Э., Савельев В.Ю., Шевченко Г.В. Режимные характеристики ветра для острова Сахалин, полученные на основе инструментальных данных // Динамические процессы на шельфе Сахалина и Курильских островов. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2001. С. 177-194.
5. Красавцев В.Б., Попудрибко К.К., Шевченко Г.В. Пространственная структура непериодических течений на северо-восточном шельфе острова Сахалин по измерениям 1990 года // Динамические процессы на шельфе Сахалина и Курильских островов. Южно-Сахалинск, 2001. С. 48-61.
6. Красавцев В.Б., Пузанков К.Л., Шевченко Г.В. Формирование апвеллинга на северо-восточном шельфе острова Сахалин под воздействием ветра // Тематический вып. ДВНИГМИ №3. Владивосток: Дальнаука, 2000. С. 106-120.
7. Кочергин И.Е., Рыбалко С.И., Путов В.Ф., Шевченко Г.В. Некоторые результаты обработки инструментальных наблюдений за течениями на Пильтун-Астохской Аркутун-Дагинской площадях северо-восточного шельфа Сахалина // Тематический вып. ДВНИГМИ. №2. Владивосток: Дальнаука, 1999. С. 96-113.
8. Шевченко Г.В., Файн А.В., Рабинович А.Б., Мансуров Р.Н. Оценка экстремальных колебаний уровня моря в районе устья реки Тымь // Природные катастрофы и стихийные бедствия в Дальневосточном регионе. Владивосток, 1990. С. 253-276.
9. Попудрибко К.К., Путов В.Ф., Шевченко Г.В. Оценка характеристик морских течений на Пильтун-Астохской нефтегазоносной площади (северо-восточный шельф о. Сахалин) // Метеорология и гидрология. №4, 1998. С. 82-95.
10. Путов В.Ф., Шевченко Г.В. Пространственно-временная изменчивость колебаний уровня моря и расчёт экстремальных высот редкой повторяемости на северо-восточном шельфе острова Сахалин // Метеорология и гидрология. №10, 1991. С. 94-101.
11. Путов В.Ф., Шевченко Г.В. Особенности приливного режима на северо-восточном шельфе острова Сахалин // Тематический выпуск ДВНИГМИ. Владивосток: Дальнаука, 1998. С. 61-82.

-
-
12. Рабинович А.Б., Жуков А.Е. Приливные колебания на шельфе острова Сахалин // Океанология. Т. 24. №2, 1984. С. 238-244.
 13. Рекомендации по расчёту максимальной скорости дрейфа льда в шельфовой зоне морей СССР // Ленинград: АНИИ, 1984. 51 с.
 14. Шевченко Г.В. Вероятностные оценки риска морских опасных явлений в порту Корсакова // Цунами и сопутствующие явления. Южно-Сахалинск, 1997. С. 91-105.
 15. Шевченко Г.В., Кантаков Г.А. Новые измерения физико-химических параметров морской среды в связи с задачами мониторинга (август-сентябрь 2000 г.) // Труды ТИНРО (в печати).
 16. Budaeva V.D., Makarov V.G. A peculiar water regime of currents in the area of eastern shelf of Sakhalin // PICES Sci. Reports. Sidney; Canada. №12, 1999. P. 131-138.
 17. Kowalik Z., Polyakov I. Tides in the Sea of Okhotsk // Phys. Oceanogr. Vol. 28 (7), 1998. P. 1389-1409.
 18. Pugh D.T., Vassie J.M. Extreme sea levels from tide and surge probability // Proc. 16th Coast. Eng. Conf. Hamburg. Vol. 1, 1979. P. 911-930.
 19. Pugh D.T., Vassie J.M. Tide and surge propagation offshore in the Dowsing region of the North Sea // Deutsche Hydrographische Zeitschrift. Heft 5, 1976. P. 445-463.
 20. Rabinovich A.B., Shevchenko G.V., Sokolova S.E. An estimation of extreme sea levels in the northern part of the Sea of Japan // La mer. Vol. 30, 1992. P. 179-190.
 21. Safronov G.F., Zilberstein O.I. Calculation of the climate dynamics characteristics in the coastal sea zone by the methods of hydrodynamic and probabilistic modeling // Marine Systems. Vol. 7. №2-4, 1996. P. 395-410.

РАСЧЁТ ВЫСОТ ШТОРМОВЫХ НАГОНОВ РЕДКОЙ ПОВТОРЯЕМОСТИ ДЛЯ ПОБЕРЕЖЬЯ ЗАЛИВА АНИВА

Введение

Штормовые нагоны – крупномасштабные повышения уровня моря, обусловленные падением приземного атмосферного давления и воздействием ветра на морскую поверхность при прохождении над прибрежными районами морей тайфунов и глубоких циклонов, представляют существенную опасность для побережья о. Сахалин. Не является исключением и залив Анива, где находится один из основных портов Южного Сахалина – Корсаков.

Антропогенная нагрузка на побережье, снизившаяся в начале 90-х годов, в последнее время возрастает. Предполагаются модернизация порта Корсаков для открытия постоянно действующей паромной переправы Корсаков – Вакканай, строительство нового специализированного порта в поселке Пригородное для транспортировки сжиженного газа, развитие предприятий по переработке рыбы и других морепродуктов. Последствия разрушения и аварий на этих объектах могут быть катастрофическими для окружающей среды.

Для принятия оптимальных технических решений при проектировании сооружений и разработки системы их защиты необходимы репрезентативные статистические характеристики стихийных гидрометеорологических явлений, в том числе и штормовых нагонов.

Следует иметь в виду, что на протяжении нескольких десятков лет штормовые нагоны на побережье залива Анива не причиняли значительного ущерба – в период с 1945 г. по 1985 г. существенные негативные последствия для хозяйственной деятельности были отмечены только один раз, в сентябре 1970 года. Ситуация резко изменилась во второй половине 80-х – начале 90-х годов, когда материальный ущерб был нанесен уже шестью нагонами, причём в ноябре 1990 г. и 1995 г. они имели катастрофические последствия [3, 10, 11].

Например, 8 ноября 1995 г. в порту Корсаков были частично разрушены и значительно повреждены гидротехнические сооружения, портовое оборудование, железнодорожные и автомобильные подъездные и подкрановые пути, служебно-бытовые здания и постройки, склады порта. Подверглись уничтожению и порче грузы, хранящиеся на складах и причалах порта. Общий ущерб в ценах 1995 г. составил 37,16 млрд. рублей.

Каждый значительный штормовой нагон вызывает повреждения береговых укреплений и размывы полотна автомобильной дороги Корсаков – Новиково, разрушения берега в районе п. Пригородное (данное обстоятельство необходимо учитывать при проектировании строительства нового порта в этом районе).

Основная цель настоящей работы – определение высот штормовых нагонов редкой повторяемости в населённых пунктах, расположенных на побережье залива Анива, для перспективного планирования размещения новых предприятий, гидротехнических сооружений и жилых зданий. Так как в данных

пунктах (исключая Корсаков) наблюдения над уровнем моря не производились, рассчитать требуемые характеристики, например, с помощью аналоговых методов невозможно.

Методика расчёта

Основная идея метода расчёта высот штормовых нагонов редкой повторяемости для объектов, слабо освещённых наблюдениями, аналогична использованной при детальном цунамирайонировании побережья залива Анива [9]. Она заключается в комплексном анализе имеющихся материалов наблюдений и результатов численного моделирования рассматриваемого явления.

Реализация метода предусматривает последовательное выполнение нескольких этапов.

Этап 1. Для опорного пункта, в котором имеются продолжительные многолетние наблюдения над уровнем моря (Корсаков), в соответствии с двойным показательным законом [2] была построена функция распределения экстремальных высот штормовых нагонов (рис. 1а, б). Экспериментально установлено, что данная функция хорошо аппроксимируется теоретическим первым предельным распределением, для оценки параметров которого использовался метод наименьших квадратов. Аналогичные исследования выполнялись в работах [10, 11], однако в настоящей работе исходный ряд наблюдений дополнен информацией за период 1952-1959 гг., а также 1992 г. – последний год работы самописца уровня моря. Таким образом, расчёт теоретической функции распределения выполнялся по годовым максимумам за период 1952-1992 гг. (рис. 1а). С помощью экстраполяции функции распределения в область малых вероятностей определены оценки высот штормовых нагонов повторяемостью 1 раз в 25, 50 и 100 лет и их доверительные интервалы (табл. 1). Поскольку в 50-тые и начале 90-х годов значительные нагоны не наблюдались, рассчитанные высоты нагонов редкой повторяемости несколько уменьшились по сравнению с ранее опубликованными оценками, причём высота нагона, возможного 1 раз в 100 лет, оказалась примерно на 5 см ниже, чем фактическое значение в ноябре 1990 г. (см. рис. 1а, табл. 1).

8-9 ноября 1995 г. на побережье залива Анива наблюдался катастрофический штормовой нагон, один из наиболее значительных во второй половине XX века. Представляется необходимым учёт данного нагона при построении функции распределения экстремальных высот штормовых нагонов в п. Корсаков. Нагон не был зарегистрирован инструментально, поэтому его максимальная величина оценивалась приближённо по отметкам зоны затопления в различных районах города и порта и была принята равной 100 см [3]. Учёт приводимой оценки существенно увеличивает значения высот штормовых нагонов редкой повторяемости в опорном пункте (см. рис. 1б, табл. 1), которые и были приняты в качестве основных в дальнейших исследованиях. Заметим, что и в этом случае расчётная величина нагона повторяемостью 1 раз в 100 лет оказалась меньше максимальной отметки, использовавшейся в расчёте.

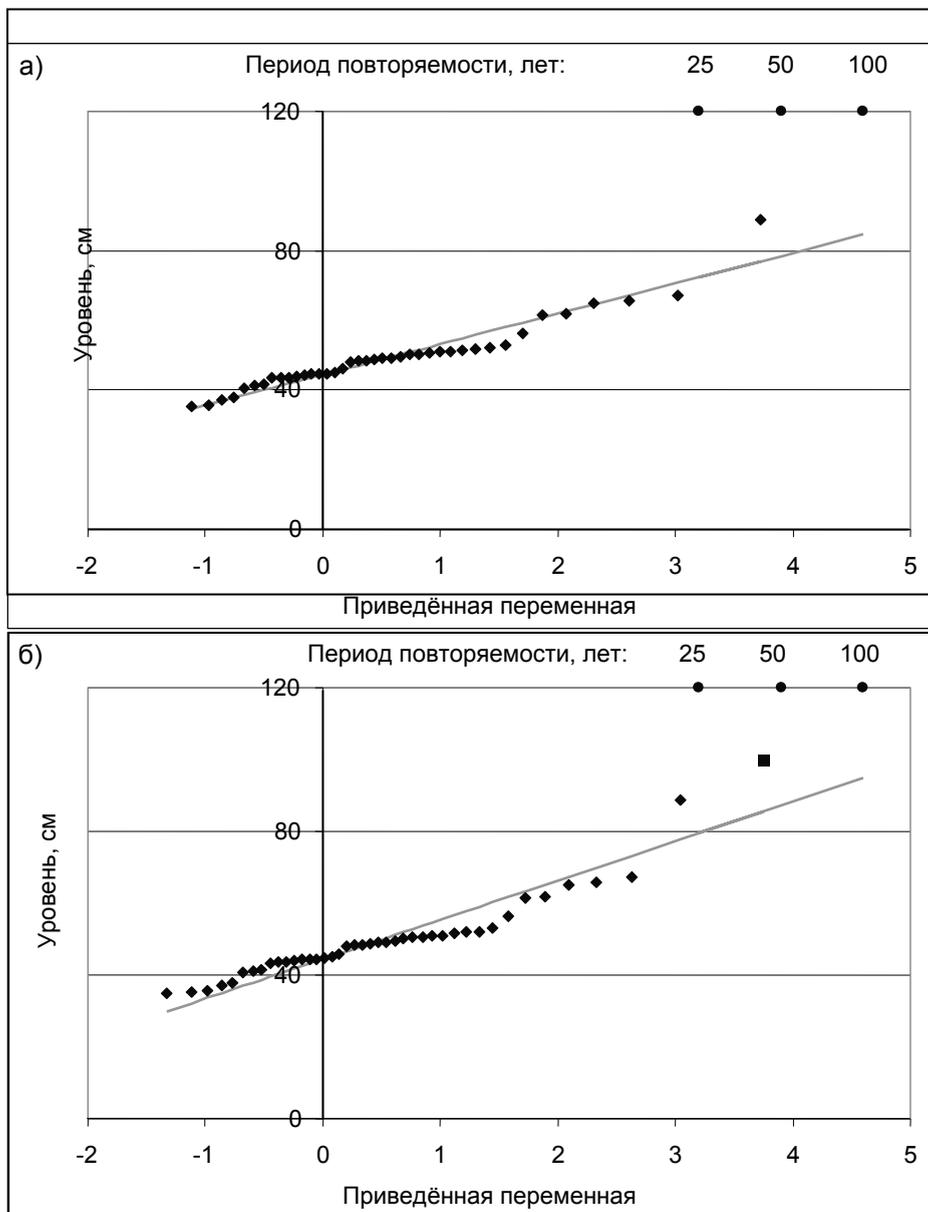


Рис. 1. Максимальные годовые высоты штормовых нагонов в Корсакове, ранжированные по возрастанию, и их аппроксимация двойным экспоненциальным распределением: (а) – 1952-1999 гг., (б) – 1952-1992, 1995 гг.

Высоты штормовых нагонов редкой повторяемости и их 68 % доверительные интервалы в п. Корсаков (см)

Период наблюдений, годы	Период повторяемости, годы		
	25	50	100
1960-1991 [10, 11]	74,0 ± 6,0	82,0 ± 7,2	88,0 ± 8,4
1952-1992	72,4 ± 4,8	78,5 ± 5,8	84,7 ± 6,8
1952-1992, 1995	79,5 ± 6,0	87,2 ± 7,2	94,8 ± 8,4

Полученные результаты наглядно демонстрируют, насколько важен при расчётах высот уровней малой вероятности учёт даже приблизительных оценок экстраординарных событий.

Этап 2. На основе численного моделирования по фактическим значениям приземного атмосферного давления и ветра, наблюдавшимся во время наиболее значительных нагонов, рассчитывались пространственно-временные изменения нагонной составляющей уровня моря в исследуемом районе.

Поскольку в формировании штормовых нагонов в заливе Анива определённую роль играют ветер и распределение приземного атмосферного давления над прилегающей к нему акваторией Охотского моря, сеточная область модели включает шельф юго-восточного побережья о. Сахалин (к югу от м. Терпения) и охотоморского побережья о. Хоккайдо. Постановка задачи и численная схема соответствуют известной модели [1], начальные и граничные условия, усвоение метеорологической информации подробно рассмотрены в работах [6, 7].

Надёжность работы численной модели оценивалась с помощью сравнения рассчитанных и наблюдаемых изменений непериодической составляющей уровня моря во время фактических штормовых нагонов в береговых пунктах, оборудованных самописцами уровня моря: м. Крильон, Корсаков, Стародубское, Поронайск, м. Терпения. Непериодическая составляющая определялась в виде разностей между измеренными суммарными колебаниями уровня моря и предвычисленными приливными колебаниями с учётом сезонных вариаций уровня [8].

Результаты расчётов для десяти штормовых ситуаций свидетельствуют о том, что модель с достаточной точностью воспроизвела фактические штормовые нагоны не только в заливе Анива (рис. 2), но и в пределах всего юго-восточного побережья Сахалина. По оценкам, погрешность расчёта максимальной величины нагона для п. Корсаков составила от -2 до 5 см, п. Стародубское – от -2 до 6 см, п. Поронайск – от -9 до 12 см.

Этап 3. Рассчитанные на основе численного моделирования для каждой штормовой ситуации максимальные высоты нагонов в узлах сеточной области, ближайших к населённым пунктам, расположенным на участке побережья от п. Таранай до п. Новиково, нормировались на их величину, полученную для п. Корсаков (табл. 2). Данный подход позволяет получить значения передаточных коэффициентов между максимумами нагонов в анализируемых и опорном пунктах.

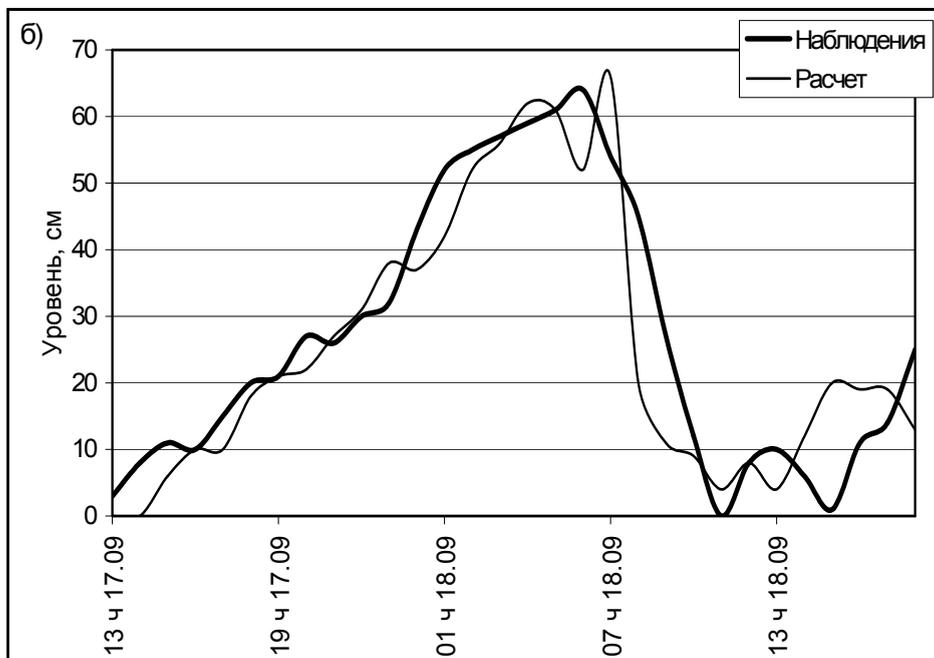
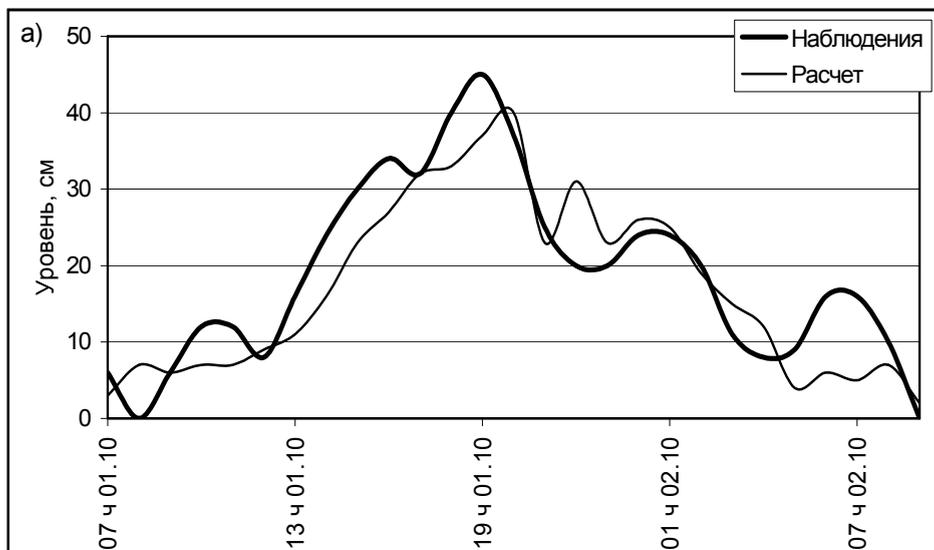


Рис. 2. Изменения неперiodической составляющей уровня моря в п. Корсаков во время штормовых нагонов 1-2 октября 1969 г. (а) и 17-18 сентября 1970 г. (б)

Передаточные коэффициенты между максимальными величинами штормовых нагонов для побережья залива Анива

Дата нагона	Таранай	Анива	Корсаков	Пригородное	Озёрский	Новиково
10.1969	1,04	1,09	1,00	0,85	0,75	0,68
09.1970	0,97	1,06	1,00	0,88	0,81	0,63
12.1981	1,03	0,97	1,00	1,06	1,09	1,17
10.1988	1,07	0,93	1,00	1,27	1,30	1,40
10.1989	1,05	1,05	1,00	0,93	0,93	0,93
12.1989	1,08	1,00	1,00	1,15	1,23	1,28
02.1994	1,00	1,00	1,00	0,89	1,00	0,83
10.1994	1,00	1,06	1,00	0,94	0,92	0,81
11.1990	0,97	1,03	1,00	0,97	0,93	0,84
11.1995	0,94	0,98	1,00	1,02	1,03	0,95
Среднее	1,03	1,04	1,00	0,99	0,98	0,86

Значения передаточных коэффициентов усреднялись для каждого анализируемого пункта в отдельности (см. табл. 2). Это в некоторой степени уменьшает влияние на полученные результаты погрешностей исходной метеорологической информации, в частности, скорости ветра над морем. При этом для исключения влияния случайных факторов экстремальные отклонения не учитывались. Установлено, что вариации значений передаточных коэффициентов увеличиваются с удалением от опорного пункта (см. табл. 2). Это обусловлено сложным рельефом дна и конфигурацией береговой черты залива, различием синоптических условий формирования нагонов вследствие разнообразия траекторий движения циклонов.

По исследованиям А.В. Савельева (ДВНИГМИ Росгидромета) траектории движения циклонов над исследуемым районом можно классифицировать на три типа. К первому типу относятся морские циклоны, смещающиеся с акваторий Японского, Восточно-Китайского, Филиппинского морей в направлении с юго-запада на северо-восток. Их траектории проходят в основном южнее о. Сахалин. При этом над заливом Анива наблюдаются достаточно сильные ветры восточных и северо-восточных направлений. Примерно половина нагонов в исследуемом районе обусловлена именно этим типом циклонов. Штормовые нагоны достигают наибольшей величины на западном побережье залива (из отобранных для численных экспериментов ситуаций к ним можно отнести нагоны 1-2 октября 1969 г. и 13-16 декабря 1981 г.), в районе Корсакова нагоны имеют умеренную величину.

Ко второму типу относятся «западные» циклоны, зарождающиеся над районами Монголии или Северного Китая и перемещающиеся с запада на восток через южную оконечность о. Сахалин (их повторяемость составляет около 20%). При таких ситуациях над акваторией залива Анива доминируют ветры южных и юго-восточных румбов. Максимальные высоты нагонов формируются в вершине залива, в бухте Лососей на побережье Анивского района, вблизи посёлков Песчановское, Рыбацкое (прибрежный район г. Анива),

Таранай. Примером является нагон 17-18 сентября 1970 г. (рис. 3). Величина нагона плавно уменьшается на участке побережья п. Корсаков – п. Пригородное – п. Озёрский, и более резко далее, до п. Новиково.

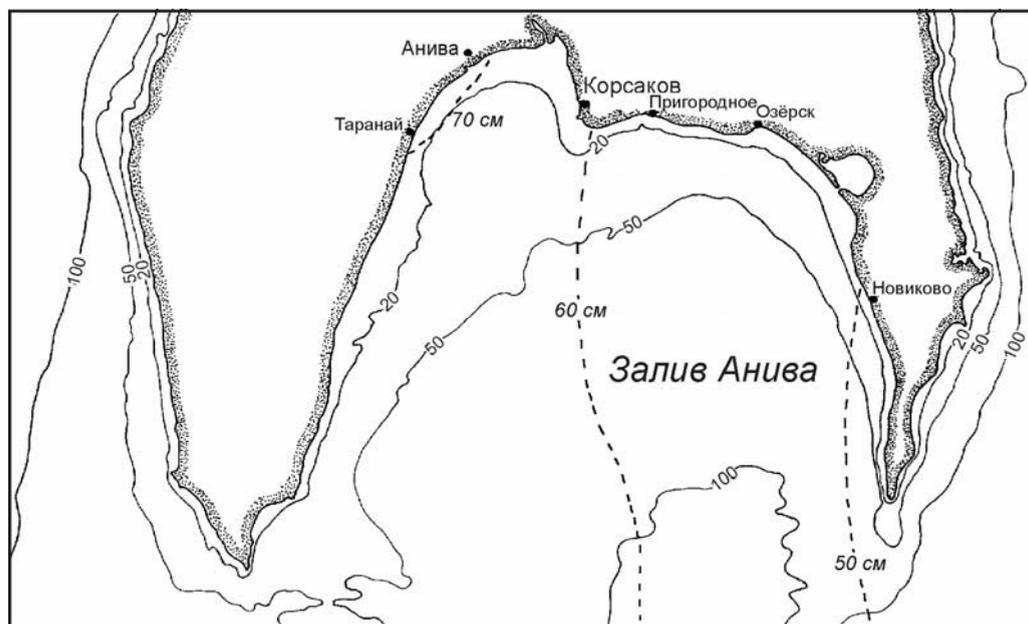


Рис. 3. Максимальные величины штормового нагона 17 сентября 1970 г., (модельные расчёты)

К третьему типу относятся морские циклоны, смещающиеся через Японское море и пересекающие южную часть о. Сахалин. Их повторяемость также составляет около 20%. Центр циклона в момент максимума нагона располагается в южной части Татарского пролива и над заливом Анива наблюдаются ветры юго-западных направлений. Максимальные величины нагонов формируются на участке изгиба линии берега вблизи п. Озёрский. Примером такой ситуации является штормовой нагон 7-9 ноября 1995 г. (рис. 4). Высота нагона несколько уменьшается от п. Озёрский в сторону п. Пригородного и Корсакова и более интенсивно – в направлении п. Новиково. Вдоль западного побережья залива величина нагона существенно уменьшается от г. Анива на юг, в сторону п. Таранай, и далее, в направлении м. Крильон. К данному типу относятся катастрофические нагоны 9-11 ноября 1990 г. и 12-13 октября 1994 г., вызвавшие наиболее тяжёлые последствия для хозяйственных объектов на побережье залива Анива.

Этап 4. Для определения высот штормовых нагонов редкой повторяемости в каждом пункте средние значения передаточных коэффициентов умножались на соответствующие оценки высот нагонов малой вероятности для п. Корсаков (см. табл. 1).

Максимальные значения экстремальных высот штормовых нагонов получены для вершины залива Анива – бухты Лососей (табл. 3). Высоты

штормовых нагонов редкой повторяемости в районе предполагаемого строительства нового порта в п. Пригородное всего на 2% меньше, чем в Корсакове, но они значительно уменьшаются в п. Новиково (см. табл. 3).

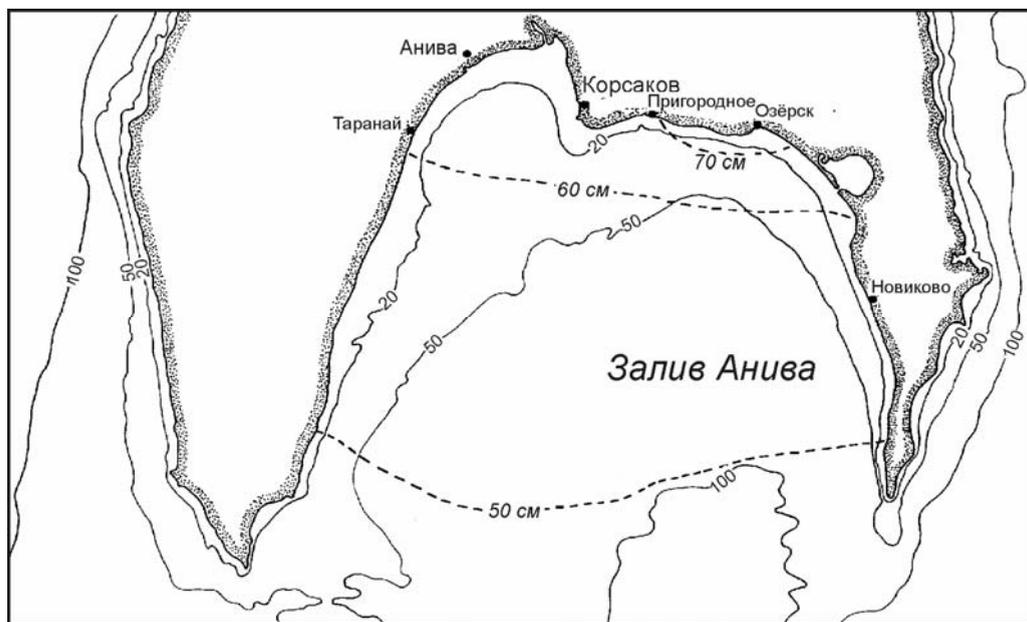


Рис. 4. Максимальные величины штормового нагона 8 ноября 1995 г., (модельные расчёты)

Таблица 3

Высоты штормовых нагонов редкой повторяемости для побережья залива Анива (см)

Повторяемость, лет	Таранай	Анива	Корсаков	Пригородное	Озёрский	Новиково
25	81,9	82,7	79,5	79,7	77,9	68,4
50	89,8	90,7	87,2	86,3	85,4	75,0
100	97,6	98,6	94,8	93,8	92,9	81,5

Следует отметить, что полученные оценки не учитывают вклада в формирование экстремальных уровней моря сейш и волнового нагона. Известно, что собственные колебания рассматриваемого бассейна, возбуждаемые проходящими циклонами, в значительной мере определяют усиление волн цунами в районе п. Корсаков [5, 9].

В.В. Иванов (ИМГиГ ДВО РАН), обследовавший побережье залива Анива в районе п. Пригородного, обнаружил большие различия в воздействии штормового волнения на берег в зависимости от направления подхода волн. Это свидетельствует о значительной пространственной изменчивости величины волнового нагона, который формируется при нелинейной трансформации

ветровых волн на мелководье. Подобный эффект был обнаружен на юго-восточном побережье Сахалина при проведении специального эксперимента с постановкой нескольких донных станций в прибрежной зоне [4].

Для надёжного учёта волнового нагона и сейш при проектировании таких объектов, как специальный терминал по отгрузке сжиженного газа или подводный трубопровод для транспортировки углеводородного сырья, повреждение которых может привести к серьёзным экологическим последствиям, необходимо проводить дополнительные экспериментальные исследования непосредственно в районе предполагаемого строительства.

Заключение

На основе адаптации гидродинамико-вероятностного метода впервые получены оценки высот штормовых нагонов редкой повторяемости для побережья залива Анива от п. Таранай до п. Новиково, включая прибрежные участки шельфа, на которых не производились наблюдения над уровнем моря.

Расчётные характеристики могут быть использованы при разработке территориальных строительных норм, принятии решений о размещении новых объектов в береговой зоне, планировании мероприятий по развитию и защите имеющейся транспортной инфраструктуры и рыбодобывающих предприятий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вольцингер Н.Е., Пясковский Р.В. Теория мелкой воды. Океанологические задачи и численные методы. Л.: Гидрометеоиздат, 1977. 207 с.
2. Герман В.Х., Левиков С.П. Вероятностный анализ и моделирование колебаний уровня моря. Л.: Гидрометеоиздат, 1988. 231 с.
3. Като Э., Миськов О.А., Шевченко Г.В. Штормовые нагоны на побережье острова Сахалин в конце XX века // Динамические процессы на шельфе Сахалина и Курильских островов. Южно-Сахалинск, 2001. С. 160-176.
4. Ковалев П.Д., Шевченко Г.В., Ковалев Д.П. Исследование трансформации волн у юго-восточного побережья острова Сахалин // Современные методы и средства океанологических измерений. Материалы VI международной научно-технической конференции. Москва, 2000. С. 153-156.
5. Ковалев П.Д., Шевченко Г.В., Ковалев Д.П. Изучение опасных морских явлений в порту города Корсаков // Динамические процессы на шельфе Сахалина и Курильских островов. Южно-Сахалинск, 2001. С. 138-145.
6. Любичкий Ю.В. Расчёт штормовых нагонов на юго-восточном побережье острова Сахалин // Метеорология и гидрология, 1983. №10. С. 73-79.
7. Любичкий Ю.В. Численное гидродинамическое моделирование штормовых нагонов в Сахалинском заливе и Амурском лимане // Природные катастрофы и стихийные бедствия в Дальневосточном регионе. Владивосток: ДВО АН СССР, 1990. С. 227-240.
8. Некрасов А.В. Приливные волны в окраинных морях. Л.: Гидрометеоиздат, 1975. 247 с.
9. Храмушин В.Н., Шевченко Г.В. Метод детального цунамирайонирования на примере побережья Анивского залива // Океанология, 1994. Т. 34. №2. С. 218-233.
10. Шевченко Г.В. Вероятностные оценки риска морских опасных явлений в порту Корсакова // Геодинамика тектоносферы зоны сочленения Тихого океана с Евразией; Т. VII. Цунами и сопутствующие явления. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 1997. С. 91-105.
11. Шевченко Г.В., Любичкий Ю.В., Като Л.Н. Проявления штормовых нагонов в южной части острова Сахалин. Препринт. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 1994. 44 с.

ТИПИЗАЦИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА И ВЛИЯЮЩИХ НА НЕГО МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА АКВАТОРИИ БЕРИНГОВА МОРЯ

Морской ледяной покров является важнейшей составляющей климатической системы, поскольку присутствие льда существенно меняет интенсивность процессов энергообмена между океаном и атмосферой, а от дрейфа льда, его таяния и нарастания зависит пресноводный баланс Берингова моря. Вопросами исследования ледового режима в Беринговом море занимались Цуриков [15, 16, 17], Бирюлин [1], Якунин [20, 21] и др., в работах которых выявлены черты межгодовой, многолетней и пространственной изменчивости основных характеристик, определены вероятностные границы распространения льда в море, проведен ряд работ, детализирующих положение отдельных ледовых параметров. Из исследований прогностического направления необходимо отметить работы Леонова [10], Саускан [13, 14], Крындина [8, 9] и многих других, занимавшихся поиском связей ледовых условий с комплексом гидрометеорологических факторов. Ими на ограниченном материале наблюдений были выдвинуты многочисленные гипотезы, на основе которых разрабатывались методы прогнозов. При этом ледяной покров рассматривался как единое явление без учёта характерной пространственно-временной динамики его элементов. Не учитывалось и ответное влияние самого ледяного покрова на внешние вынуждающие факторы. Вследствие этого с появлением новых данных о ледяном покрове и гидрометеорологических элементах найденные связи нарушались и методы прогнозов устаревали. В результате в настоящее время нет достаточно надёжных методов прогноза ни по одному элементу ледового режима. Выход из создавшегося положения нами видится в проведении многопараметрической типизации параметров ледяного покрова совместно с элементами окружающей среды.

В последнее время активизировались исследования, связанные с типизацией атмосферных процессов [2, 5, 6]. В тоже время работы по типизации морского режима, особенно при исследовании льда, не получили столь широкого распространения.

Опыт типизации ледяного покрова Берингова моря ограничен типизацией суровости зим на основе учёта суммарной ледовитости за зимний период [4]. Кроме этого по результатам работы [3] можно выделить ряд зимних периодов с учётом положения кромок льда в зависимости от гидрологических особенностей подстилающих лед вод. К элементам неполной пространственной типизации можно отнести и характеристики средней многолетней изменчивости параметров льда (сплочённость, возраст, формы, границы тяжёлого льда) на акватории Берингова моря, представленные в [11, 12], а также карты вероятности встречи со льдом [18, 19]. Несмотря на достаточно большое количество исследований, ледяной покров моря изучен недостаточно полно. Это касается прежде всего понимания физических закономерностей, обуславливающих существование ледяного покрова, его взаимодействия с атмосферными и гидрологическими процессами.

Ледяной покров Берингова моря характеризуется большой динамичностью, вследствие чего конфигурация и положение его кромок существенно изменяются. Различия в географическом положении, характер крупномасштабной циркуляции атмосферы в регионе, наличие постоянных и периодических течений, локальные особенности акваторий и т.п. – все это определяет неравномерность развития и разрушения ледяного покрова, обуславливает различную продолжительность ледового периода в разных частях моря. В связи с этим, представляется интересным проследить пространственную динамику льда с учётом временных масштабов, а именно, скорость увеличения (нарастания) площади ледового покрова и его уменьшения (таяния, разрушения).

Исходными данными послужил архив сведений о положении кромок льда, полученный на основе разработанной в ДВНИГМИ методики измерения расстояния от реперной точки до кромки льда по системе лучей и построения карт их положения. Всего обработано 672 кромок за период с 1961 по 1989 гг.

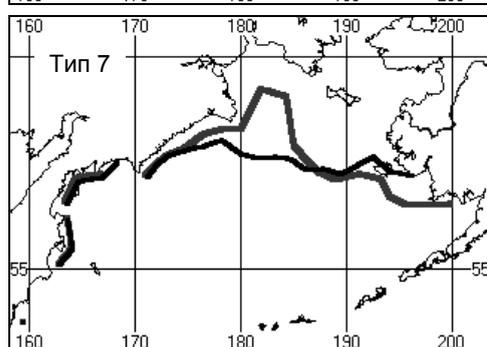
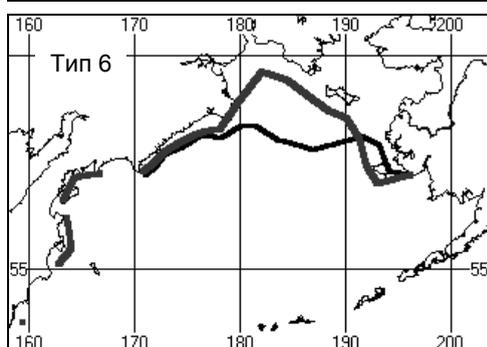
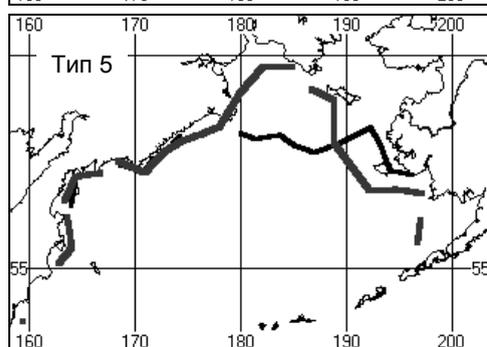
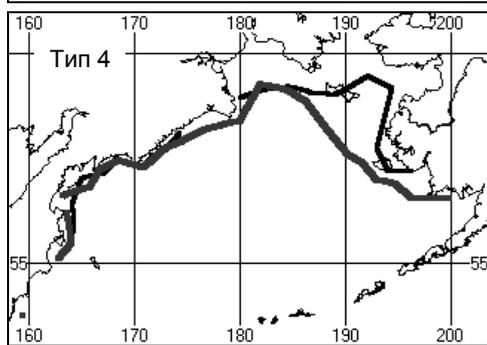
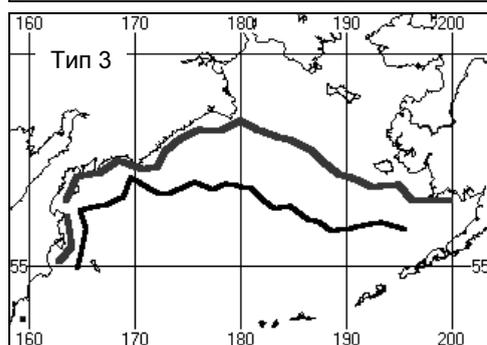
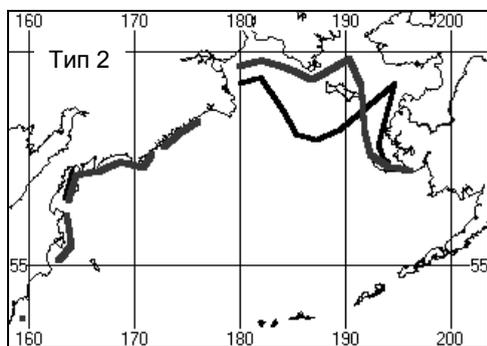
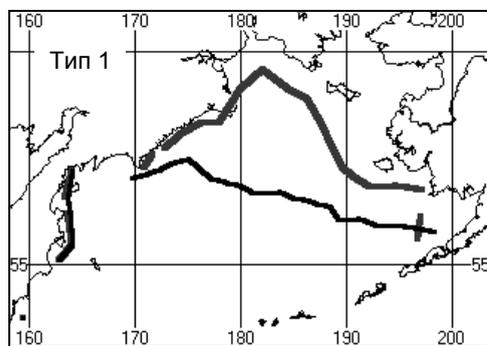
Методика работы заключалась в следующем: строились карты положения кромок льда для каждой декады за 29-летний период. По каждой декаде выбирались границы максимального, среднего и минимального распространения льда. Путём наложения кромок льда соответствующих декад конкретного зимнего периода (каждого отдельного года) на эти области выделялись зоны максимального, среднего и минимального распространения льда. Характерные положения кромок льда группировались в следующие шесть групп:

- 1) резкое нарастание льда (зона максимального распространения льда);
- 2) умеренное нарастание льда (зона среднего распространения льда);
- 3) медленное нарастание льда (зона минимального распространения льда);
- 4) резкое таяние льда (зона минимального распространения льда);
- 5) умеренное таяние льда (зона среднего распространения льда);
- 6) медленное таяние льда (зона максимального распространения льда).

Затем анализировался ход ледяного покрова зимнего периода каждого года за все декады вместе. В результате анализа было выделено 7 типов ледовых ситуаций (рис. 1), отражающих основные черты характера ледообразования – скорость увеличения (нарастания) площади ледового покрова и его уменьшения (таяния, разрушения). С каждым из них связано формирование в районе Берингова моря определённого типа погодных и гидротермических условий:

- ◆ Тип 1 – умеренное нарастание льда и медленное таяние льда;
- ◆ Тип 2 – медленное нарастание льда и резкое таяние льда;
- ◆ Тип 3 – резкое нарастание льда и медленное таяние льда;
- ◆ Тип 4 – умеренное нарастание льда и резкое таяние льда;
- ◆ Тип 5 – умеренное нарастание льда и умеренное таяние льда;
- ◆ Тип 6 – медленное нарастание льда и умеренное таяние льда;
- ◆ Тип 7 – резкое нарастание льда и умеренное таяние льда.

В соответствии с перечисленными типами был получен каталог лет в зависимости от характера ледообразования (табл. 1).



Обозначения:
 — декабрь
 — май

Рис. 1. Типизация по характеру ледообразования

Типы ледовых ситуаций и их каталог

Тип	Годы
1	1964, 1965, 1971, 1973, 1975
2	1962, 1982
3	1976, 1977
4	1967, 1989
5	1961, 1963, 1968, 1969, 1972, 1974, 1979, 1980, 1981, 1983
6	1966, 1970, 1978, 1984, 1985, 1986
7	1987, 1988

Статистические расчёты с использованием сведений о положении кромок льда по данным расстояний от реперной точки до кромки льда (31 луч) подтверждают представленную выше типизацию.

В настоящей работе рассматривались не только характеристики ледяного покрова, но и отдельные компоненты основных влияющих на его существование факторов, а именно – характеристики центра действия атмосферы (ЦДА) в северном полушарии. В зимний сезон район Берингова моря находится под влиянием циркуляционных процессов, определяемых Алеутской депрессией, Сибирским и Канадским максимумами и циркуляцией над Арктическим бассейном. С учётом сказанного, объектами комплексной типизации были выбраны: ледовитость моря, расположение центров действия атмосферы (Алеутской депрессии и Сибирского максимума) и их градиентных полей относительно района исследования.

Материалом для исследования послужили декадные значения ледовитости за период с 1960 по 1988 гг., среднемесячные значения приземного атмосферного давления в центрах Алеутской депрессии и Сибирского максимума и их географические координаты [7]. Отмеченный период был выбран из условия однородности информации о ледяном покрове, полученной на основе авиаразведок. В последнее же десятилетие основной информацией о ледяном покрове служат данные спутниковых наблюдений, которые в ряде случаев существенно отличаются от авиаразведок.

За основу типизации ледяного покрова Берингова моря были приняты величины суммарной ледовитости (ΣL), которые определялись суммированием ежедекадных значений, а также их графики для каждого зимнего периода. При выделении типов ледовитости учитывались не только максимальные величины накопленной (суммарной) ледовитости, как было сделано ранее [4], но и вид самой кривой, характеризующий скорость суммарного ледонакопления. Критерием для типизации были приняты 20%-е пределы изменчивости суммарной ледовитости (табл. 2).

Выделенным типам можно присвоить следующие условные обозначения: тип 1 – максимальная накопленная ледовитость; тип 2 – умеренно максимальная накопленная ледовитость; тип 3 – средняя накопленная ледовитость; тип 4 – умеренно минимальная накопленная ледовитость; тип 5 – минимальная накопленная ледовитость.

Типы ледовитости в Беринговом море и соответствующие им годы

Тип	20%-е пределы изменчивости ΣL	Годы
1	682,70-601,58	1974, 1975, 1976
2	601,58-520,46	1960, 1963, 1964, 1970, 1971, 1972, 1973
3	520,46-439,34	1961, 1962, 1965, 1967, 1968, 1969, 1979, 1982, 1983, 1987
4	439,34-358,22	1977, 1981, 1984, 1985, 1986, 1988
5	358,22-277,10	1966, 1978

Сопоставление 7 типов ледовых ситуаций (см. табл. 1) с типами ледовитости (см. табл. 2), позволяет сделать следующие выводы:

- ◆ в годы с максимальной накопленной ледовитостью происходит резкое нарастание и медленное таяние льда;
- ◆ в годы с умеренно максимальной накопленной ледовитостью отмечается умеренное нарастание льда и медленное таяние льда;
- ◆ в годы со средней накопленной ледовитостью наблюдается умеренное нарастание льда и медленное таяние льда, умеренное нарастание льда и умеренное таяние льда, резкое нарастание льда и умеренное таяние льда;
- ◆ в годы с умеренно минимальной накопленной ледовитостью наблюдается медленное нарастание льда и резкое таяние льда, медленное нарастание льда и умеренное таяние льда, умеренное нарастание льда и резкое таяние льда, умеренное нарастание льда и умеренное таяние льда;
- ◆ в годы с минимальной накопленной ледовитостью наблюдается медленное нарастание льда и умеренное таяние льда.

Для совместной типизации ледовитости и атмосферных параметров предварительно была выполнена типизация последних, а именно: географического положения ЦДА по широте и долготе на основе выделения средних положений и предельных отклонений географических координат в широтном и меридиональном направлениях, а также величин барических градиентов по долготе (Grad P). Критерием для проведения типизации, аналогично ледовитости, были выбраны их 20%-е градации. Таким образом, для каждого из указанных параметров было выделено 5 типов. К примеру, для типизации положения ЦДА по широте получены следующие типы: тип 1 – южное, тип 2 – умеренно южное, тип 3 – среднее, тип 4 – умеренно северное, тип 5 – северное. Аналогично была проведена типизация географического положения ЦДА и барических градиентов между Сибирским максимумом и Алеутской депрессией по долготе.

Попытка обнаружить помесечные зависимости между параметрами ЦДА и ледовитостью не дала положительных результатов и не позволила провести комплексную многопараметрическую типизацию. Вследствие этого авторами анализировались осреднённые по сезонам характеристики ЦДА: осень (сентябрь, октябрь, ноябрь), зима (декабрь, январь, февраль) и весна (март, апрель, май). Результаты представлены в табл. 3-5.

Типы положения центра Сибирского максимума и соответствующие им годы

Сезон	Тип	Годы
<i>По широте</i>		
Осень	5	1964
	4	1961, 1962, 1983
	3	1960, 1963, 1966, 1968, 1970, 1972, 1975, 1977, 1987
	2	1965, 1969, 1971, 1973, 1974, 1976, 1978, 1979, 1981, 1982, 1984, 1985, 1986, 1988
	1	1967, 1980
	<i>По долготе</i>	
	5	1987, 1968
	4	1965, 1969, 1975, 1983
	3	1962, 1963, 1966, 1967, 1970, 1972, 1973, 1974, 1976, 1977, 1978, 1979, 1980, 1981, 1982, 1984, 1985, 1986, 1988
	2	1960, 1964, 1971
1	1961	
<i>По широте</i>		
Зима	5	1968
	4	1971, 1976
	3	1962, 1965, 1969, 1972, 1988
	2	1960, 1961, 1963, 1966, 1970, 1974, 1975, 1977, 1978, 1979, 1982, 1983, 1984
	1	1964, 1967, 1973, 1980, 1981, 1985, 1986, 1987
	<i>По долготе</i>	
	5	1960
	4	1961, 1972, 1974
	3	1966, 1970, 1973, 1975, 1976, 1977, 1978, 1979, 1980, 1981, 1982, 1983, 1984, 1986, 1987, 1988
	2	1963, 1964, 1965, 1967, 1969, 1971, 1985
1	1962, 1968	
<i>По широте</i>		
Весна	5	1960
	4	1968, 1972, 1974, 1982
	3	1961, 1977, 1978, 1979, 1984, 1985, 1986, 1987, 1988
	2	1962, 1964, 1967, 1971, 1970, 1980, 1981
	1	1963, 1965, 1966, 1969, 1973, 1975, 1976, 1983
	<i>По долготе</i>	
	5	1968, 1973
	4	1987, 1978
	3	1960, 1961, 1967, 1969, 1974, 1977, 1979, 1980, 1983, 1984, 1986, 1988
	2	1962, 1965, 1970, 1971, 1972, 1975, 1976, 1981, 1982, 1985
1	1963, 1964, 1966	

Типы положения центра Алеутской депрессии и соответствующие им годы

Сезон	Тип	Годы	
<i>По широте</i>			
Осень	5	1968, 1971, 1976, 1977	
	4	1962, 1963, 1967, 1972, 1973, 1974, 1975, 1982, 1984, 1985, 1986	
	3	1960, 1964, 1966, 1969, 1970, 1978, 1981, 1983, 1987, 1988	
	2	1961, 1965, 1980	
	1	1979	
	<i>По долготе</i>		
	5	1960, 1962, 1963, 1964, 1965, 1973	
	4	1970, 1971, 1974, 1978, 1984, 1985	
	3	1961, 1967, 1972, 1975, 1982, 1986	
	2	1968, 1976, 1977, 1979, 1980, 1983, 1987	
1	1966, 1969, 1981, 1988		
<i>По широте</i>			
Зима	5	1962, 1968, 1972, 1982	
	4	1985, 1986	
	3	1963, 1964, 1965, 1975, 1976, 1971, 1973, 1978, 1980, 1981	
	2	1961, 1974, 1970, 1977, 1979, 1983, 1984, 1987	
	1	1960, 1966, 1967, 1969, 1988	
	<i>По долготе</i>		
	5	1973, 1979, 1982, 1985	
	4	1960, 1961, 1964, 1965, 1968, 1975	
	3	1962, 1967, 1969, 1970, 1974, 1981, 1987	
	2	1966, 1971, 1972, 1976, 1977, 1978, 1980, 1983, 1986, 1988	
1	1963, 1984		
<i>По широте</i>			
Весна	5	1974, 1964	
	4	1962, 1963, 1965, 1970, 1978, 1979, 1980, 1984	
	3	1966, 1971, 1973, 1975, 1982	
	2	1967, 1969, 1981, 1986, 1988	
	1	1960, 1961, 1968, 1972, 1976, 1977, 1983, 1985, 1987	
	<i>По долготе</i>		
	5	1972	
	4	1971, 1975, 1977, 1982	
	3	1960, 1961, 1962, 1963, 1964, 1965, 1966, 1967, 1974, 1979, 1980, 1983, 1984,	
	2	1968, 1969, 1970, 1973, 1978, 1981	
1	1976, 1985, 1986, 1987, 1988		

Типы барических градиентов между ЦДА (Сибирский максимум – Алеутская депрессия) по долготе и соответствующие им годы

Сезон	Тип	Годы
Осень	5	1972, 1980, 1982, 1983, 1987, 1988
	4	1961, 1968, 1969, 1974, 1977, 1981, 1985, 1986
	3	1964, 1965, 1970, 1971, 1976, 1978, 1979
	2	1960, 1966, 1975
	1	1962, 1963, 1967, 1973
Зима	5	1962, 1963, 1967
	4	1960, 1966, 1971, 1979
	3	1961, 1964, 1968, 1972, 1987
	2	1965, 1970, 1973, 1974, 1980, 1981, 1982, 1984, 1986
	1	1969, 1975, 1976, 1977, 1978, 1983, 1985, 1988
Весна	5	1961, 1963, 1964, 1967, 1968, 1974, 1978, 1986
	4	1960, 1962, 1965, 1966, 1972, 1973, 1975, 1977, 1982, 1983, 1984, 1985, 1987, 1988
	3	1969, 1970, 1971, 1976, 1979, 1981
	2	-
	1	1980

Анализ соответствия ледовитости (см. табл. 2) и характеристик ЦДА проводился отдельно для каждой из характеристик. Отмечается определённая тенденция соответствия этих типов. Для случаев максимальной и умеренно максимальной ледовитости характерно южное и юго-западное положение Алеутской депрессии. Минимальная и умеренно минимальная ледовитость, как правило, отмечается при северном и северо-восточном положении депрессии. Указанная закономерность сохраняется во все сезоны года.

Сибирский максимум при максимальной и умеренно максимальной ледовитости характеризуется восточным и юго-восточным положением, при минимальной и умеренно минимальной ледовитости – тенденцией смещения к западу.

В табл. 6-8 представлены статистические характеристики соответствия типов ледовитости Берингова моря типам параметров ЦДА.

Таблица 6

Статистические характеристики соответствия типов ледовитости типам барических градиентов между ЦДА (Сибирский максимум – Алеутская депрессия)

Сезон	Тип ледовитости	Тип барических градиентов	% соответствия между типами
Осень	1-2	2, 3	75,0
	3-5	1, 4, 5	76,0
Зима	1-2	4	25,0
	3-5	1, 2, 3	81,0
Весна	1-2	3	37,5
	3-5	1, 4	61,9

Таблица 7

Статистические характеристики соответствия типов ледовитости типам положения Сибирского максимума

Сезон	Тип по накопленной ледовитости	Тип по широте, долготе	% соответствия между типами
<i>По широте</i>			
Осень	1-2	3, 5	62,5
	3-5	1, 2, 4	76,2
Зима	1-2	2, 4	87,5
	3-5	1, 3, 5	61,9
Весна	1-2	2, 5	50,0
	3-5	1, 3, 4	81,0
<i>По долготе</i>			
Осень	1-2	2	37,5
	3-5	1, 3, 4, 5	100,0
Зима	1-2	2, 5	50,0
	3-5	1, 3, 4	81,0
Весна	1-2	1, 2	75,0
	3-5	3, 4, 5	66,7

Таблица 8

Статистические характеристики соответствия типов ледовитости типам положения Алеутской депрессии

Сезон	Тип ледовитости	Тип по широте, долготе	% соответствия между типами
<i>По широте</i>			
Осень	1-2	5	25,0
	3-5	1, 2, 3, 4	90,5
Зима	1-2	3	62,5
	3-5	1, 2, 4, 5	76,2
Весна	1-2	3, 5	50,0
	3-5	1, 2, 4	85,7
<i>По долготе</i>			
Осень	1-2	4, 5	75,0
	3-5	1, 2, 3	71,4
Зима	1-2	1, 4	50,0
	3-5	2, 3, 5	81,0
Весна	1-2	4	25,0
	3-5	1, 2, 3, 5	90,5

Согласно данным таблиц, процент соответствия типов ледовитости типам положения центров Сибирского максимума и Алеутской депрессии и барических градиентов между ними по долготе в среднем варьирует от 50 до 80%. Например, суровым ледовым условиям осенью (типы ледовитости 1 и 2) в 75% случаях соответствуют типы градиентов давления 2 и 3. Заметим, что

выделенным типам параметров ЦДА относительно хорошо соответствуют лишь объединенные в группы типы ледовитости. Первую группу составляют максимальные и умеренно максимальные типы ледовитости, вторую – умеренные, умеренно минимальные и минимальные типы ледовитости.

Совместный анализ ледовитости и параметров атмосферы (в форме географического положения основных ЦДА и градиентов между ними по долготе) позволяет условно выделить два наиболее устойчивых типа, характеризующие собой суровые и не суровые зимние условия.

Полученные результаты отражают сложность происходящих в холодный период года процессов, их существенную недетерминированность. На их основе можно утверждать, что, несмотря на наличие прямых зависимостей между ледовитостью Берингова моря и параметрами ЦДА, их явно недостаточно для разработки физико-статистических методов прогноза. Необходим комплексный анализ всех гидрометеорологических процессов, происходящих в зимний период, на основе многопараметрической типизации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бирюлин Г.М. К вопросу о прогнозировании ледовитости Охотского и Берингова морей // Тр. ДВНИГМИ, 1970. Вып. 30. С. 89-93.
2. Богдановская Т.В., Богдановский А.А., Изменчивость положения центров действия атмосферы Азиатско-Тихоокеанского региона и их вклад в формирование аномалий температуры воздуха Сахалина // Тематический выпуск ДВНИГМИ №3. Владивосток: Дальнаука, 2000. С. 26-33.
3. Варламов С.М., Лучин В.А., Семилетов И.П., Пипко И.И., Пугач С.П. Дашко Н.А., Прошутинский А.Ю., Веллер Г. Закономерности межгодовой изменчивости зимних климатических условий в Беринговоморском регионе // Тр. Арктического регионального центра, 1998. Т. 1. С. 65-85.
4. Гидрометеорология и гидрохимия морей / Под ред. к.г.н. Ф.С. Терзиева. СПб: Гидрометеоиздат, 1999. Т. 10, Вып. 1. С. 246-279.
5. Глебова С.Ю. Типы атмосферных процессов и связанных с ними условий погоды на Беринговом море // Метеорология и гидрология, 2001. №1. С. 63-71.
6. Журавлёва Т.М., Манько А.Н. Объективный календарь типов циркуляции на уровне H500 для второго естественно-синоптического района и некоторые результаты его анализа // Юбилейный вып. ДВНИГМИ. Владивосток: Дальнаука, 2000. С. 188-200.
7. Каталог параметров атмосферной циркуляции. Северное полушарие: Центры действия атмосферы. Планетарная высотная фронтальная зона. Блокирующие антициклоны / Под ред. д.г.н. М.Х. Байдала, к.г.н. А.И. Неушкина. Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 1988. С. 3-27.
8. Крындин А.Н. Роль температурного поля океана в формировании аномалий атмосферной циркуляции и аномалий суровости зим на морях (на примере северо-западной части Тихого океана) // Тр. НИИАК, 1966. Вып.36. С. 37-45.
9. Крындин А.Н. Сезонные и межгодовые ледовитости и положение кромки льда на дальневосточных морях в связи с особенностями атмосферной циркуляции // Тр. ГОИН, 1964. Вып. 71. С. 5-83.
10. Леонов А.К. Ледовый режим Берингова моря и прогноз его ледовитости // Тр. ААНИИ, 1976. Т. 38, С. 2-56.
11. Плотников В.В. Изменчивость ледяного покрова Берингова моря // Тр. Арктического регионального центра, 1998. Т. 1. С. 86-100.
12. Плотников В.В. Пространственно-временная сопряжённость ледовитости дальневосточных морей // Метеорология и гидрология, 1997. №3. С.71-77.

-
-
13. Саускан Е.М. Прогноз весенних ледовых явлений на Беринговом море // Тр. ЦИП, 1959. Вып. 91. С. 51-57.
 14. Саускан Е.М. Прогноз осенних ледовых явлений на Беринговом море// Тр. ЦИП, 1958. Вып. 76. С. 81-89.
 15. Цуриков В.Л. Анализ нарастания морского льда под снежным покровом // Океанология, 1963. Т. 3, Вып. 3, С. 459-469.
 16. Цуриков В.Л. О влиянии солёности морского льда на его прочность // Тр. ГОИН, 1947. Вып. 2 (14), С. 89-106.
 17. Цуриков В.Л. Солёность формирующегося ледяного покрова в зависимости от скорости его нарастания и солёности воды // Тр. коорд. совещаний по гидротехнике, 1965. Вып. 17. С. 236-244.
 18. Якунин Л.П. Атлас ледовитости дальневосточных морей СССР. Владивосток: ПОП ПУГКС, 1987. 80 с.
 19. Якунин Л.П. Атлас границ распространения и крупных форм льда дальневосточных морей СССР. Владивосток: ОНТИ ТОИ ДВО РАН, 1995. 58 с.
 20. Якунин Л.П. К вопросу о колебаниях ледовитости дальневосточных морей в зависимости от цикличности солнечной активности // Записки ПФГО СССР. Владивосток, 1966. Т. 25. С. 88-93.
 21. Якунин Л.П. Количество льда и затраты на его таяние в дальневосточных морях // Проблемы Арктики и Антарктики, 1986. №62. С. 93-96.

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ТАЛО-ДОЖДЕВОГО СТОКА В БАССЕЙНЕ СРЕДНЕГО АМУРА

Особенности моделирования процесса формирования тало-дождевого стока в бассейне Среднего Амура имеют два аспекта – физико-географический и информационный. Оба они существенны как при описании закономерностей пространственного распределения характеристик, определяющих гидрологический режим, так и при разработке методов расчёта, отражающих объективные физические процессы, происходящие на водосборах.

Бассейн Среднего Амура включает в себя водосборы таких крупных рек, как Зeya с притоками Селемджа и Бурея. Актуальность изучения этого региона продиктована работой Зейского и вводом в действие Бурейского водохранилищ.

Математические модели формирования стока разработаны для многих регионов Земного шара. В одних, приуроченных, обычно, к очень малым водосборам (до 100 км²) на воднобалансовых или стоковых станциях, для детального описания элементарных процессов стокообразования используют аппарат дифференциального исчисления. В других, как правило, при анализе крупных водосборных площадей (свыше 20 тыс. км²) используется математический аппарат множественной регрессии. Естественным первым шагом при построении математической модели процесса формирования стока является использование любой разработанной модели с последующей модификацией и адаптацией к местным условиям. Однако физико-географические особенности бассейнов рек Среднего Амура таковы, что даже результаты расчётов снеготаяния по общепринятым в практике теоретическим формулам (уравнению теплового баланса П.П. Кузьмина) здесь не совпадают с данными наблюдений (подробнее об этом будет сказано ниже). При этом южнее, в Приморье, согласно [6], методы П.П. Кузьмина, Е.Г. Попова, В.Д. Комарова, А.Г. Ковзеля обеспечивают достаточную точность расчётов.

Рассмотрим сначала особенности моделирования процессов формирования стока, связанные с пространственным распределением гидрометеорологических характеристик.

Бассейны рек Среднего Амура относятся к северо-западной периферии области муссонов [8]. И.Н. Гарцман [4] разделяет формы зональности на два типа: формы зональности I рода (широтная, высотная, экспозиционная), характеризующие распределение тепла, и формы зональности II рода (продольно-циркуляционная, экспозиционно-циркуляционная и барьерная), характеризующие, главным образом, потоки влаги. В Приамурье рельеф средней высоты существенно ослабляет затененность одних хребтов другими, при этом уменьшается значимость экспозиционной формы и возрастает влияние атмосферно-циркуляционных форм зональности. Кроме того, бассейны рек Зеи и Селемджи находятся в переходной зоне между районами с муссонным и континентальным климатом [7]. Русло Нижней Зеи имеет меридиональную направленность, русло реки Селемджи – широтную, русло Буреи –

диагональную (с северо-востока на юго-запад). Независимо от различий бассейны всех этих рек имеют ярко выраженную высотную форму зональности.

Бассейн Верхней Зеи имеет широтную направленность долины и находится в котловине. Окружающие хребты создают препятствие для распространения любых типов зональности, кроме барьерной, создавая свой замкнутый микроклимат и оставляя значимость только высотной пояности, а также смены муссонного климата континентальным.

Таким образом, в данном районе изменения гидрометеорологических характеристик с высотой местности отражают практически все имеющиеся здесь физико-географические особенности, представленные И.Н. Гарцманом различными формами географической зональности. Поэтому для моделирования пространственного распределения характеристик достаточным условием может служить выявление и математическое описание этих зависимостей.

Другой существенной особенностью рассматриваемой территории является слабая освещенность метеорологическими и гидрологическими наблюдениями. При наличии высот в бассейнах рек более 2000 м максимальная высота расположения метеостанций не превышает 500 м в бассейне р. Зеи и 900 м в бассейне р. Буреи, причём общее количество станций в последнее время сократилось до пяти-шести при площади водосбора 60 тыс. км². Такой объём информации не отражает всей картины пространственного распределения составляющих элементов расчёта. Поэтому, используя только данные гидрометеорологических станций, невозможно построить адекватную модель формирования стока. Решить этот вопрос можно лишь с привлечением дополнительных источников информации, в качестве которых могут быть использованы данные наблюдений по суммарным осадкомерам и высотные снегосъёмки, если таковые когда-либо проводились на этих водосборах.

Рассмотрим некоторые особенности моделирования в бассейне Среднего Амура, связанные с выбором методов расчёта тех или иных характеристик процесса формирования стока.

При создании математической модели формирования стока в период половодья основной задачей является разработка модели процесса истощения запаса воды в снежном покрове. Чётко выраженная вертикальная зональность метеозлементов обуславливает существенную неоднородность снежного покрова по высоте и сложность динамики процесса формирования снежного покрова на различных высотах бассейна, что вызывает значительные трудности при математическом описании процесса таяния. Особенности расчёта динамики снегозапасов в период снеготаяния в рассматриваемом районе связаны: во-первых, с отсутствием наблюдений за снежным покровом в горной части бассейна и, во-вторых, с невозможностью определения запаса воды в снежном покрове методами, разработанными для равнинных территорий.

Расчёт интенсивности снеготаяния обычно проводится по уравнению теплового баланса и эмпирическим зависимостям между отдельными слагаемыми этого баланса и метеорологическими или геоморфологическими элементами. Использование уравнения теплового баланса для описания снеготаяния в горных бассейнах по сравнению с расчётом для равнинных рек сопряжено с рядом дополнительных трудностей, в числе которых наличие склонов значительной крутизны и разной экспозиции, неравномерность

залегания снежного покрова.

Наиболее широкое распространение на практике получили расчёты интенсивности снеготаяния, основанные на использовании температуры воздуха как показателя теплоприхода и коэффициентов стаивания. Коэффициент стаивания имеет широкий диапазон изменений. Так, например, И.Д. Шенцис [10] указывает пределы изменения коэффициента стаивания от 2,0 до 7,0 мм/(°С·сут). Ю.Б. Виноградов [2] предлагает ещё более широкий диапазон (0,4-10,4) · 10⁻⁸ м/(°С·с). Исследования зависимости слоёв таяния от температуры воздуха в бассейне Среднего Амура показали, что она настолько неоднозначна, что требует каждый год использовать свой индивидуальный коэффициент стаивания (рис. 1).

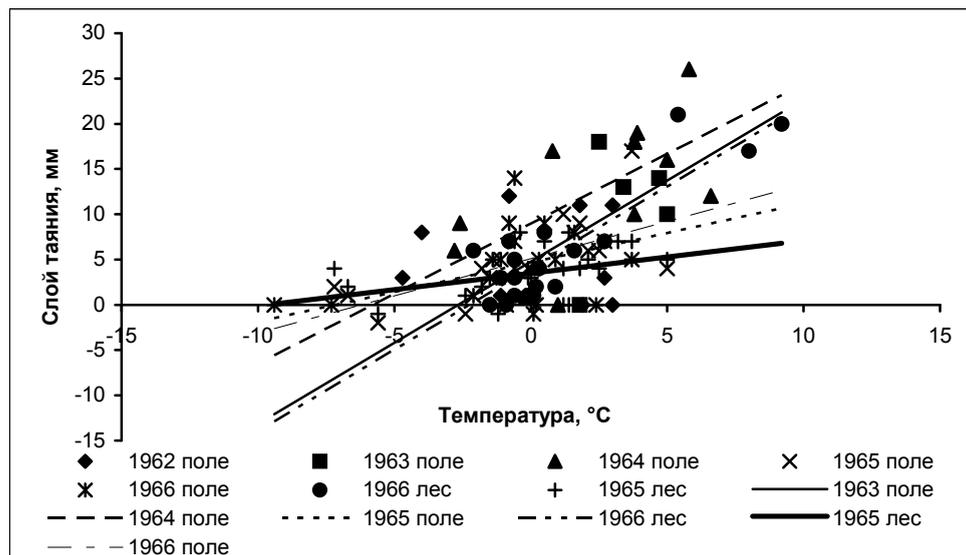


Рис. 1. Зависимость слоя таяния от температуры воздуха

Предпринятая попытка использовать известные методы расчёта снеготаяния по формулам П.П. Кузьмина и Е.Г. Попова не дала удовлетворительных результатов. Согласно результатам расчётов (рис. 2), слои таяния, рассчитанные по методикам П.П. Кузьмина и Е.Г. Попова, плохо согласуются с величинами, полученным на стоковой станции Бомнак. Вероятно, это обусловлено тем, что упомянутые методы разработаны для Украины и Европейской территории России. Другой причиной может служить качество исходных данных, используемых в формулах, а также недостаточная освещённость наблюдениями территории бассейна Среднего Амура.

Третьей особенностью при моделировании процессов формирования стока в бассейне Среднего Амура является задача разработки уравнения расчёта величин снеготаяния, соответствующих слоям, рассчитываемым на стоковых станциях.



Рис. 2. Ход снеготаяния (лес), 1965 г.

Следующей особенностью, характерной для всего Приамурья, является исчезновение снежного покрова задолго до начала таяния и, тем более, до перехода среднесуточной температуры через ноль. Для объяснения этого явления существуют две причины: во-первых, испарение снежного покрова, величины которого, очевидно, существенно больше, чем в западных районах России, во-вторых, таяние снега в дневные часы на южных склонах (на Дальнем Востоке при большой суточной амплитуде температуры воздуха этот процесс имеет место задолго до общего начала таяния), просачивание его в мёрзлую почву и замерзание там ночью. Поэтому, при моделировании процессов формирования стока на юге Дальнего Востока учёт испарения со снега, которым в западных районах России пренебрегают, и просачивания в мёрзлую почву обязателен.

Еще один вопрос, требующий особого внимания, это расчёт динамики площади снеготаяния. На равнинах обычно строят интегральные кривые распределения запаса воды в снеге. Если выразить снеготаяния в долях от среднего, то получаются типовые кривые, которые аппроксимируются с достаточной точностью уравнением биномиальной кривой с $C_s = 2C_v$ при $C_v = 0,45$:

$$P_{x \geq x_i} = 1 - \frac{\gamma^\gamma}{\tilde{A}(\gamma)} \int_0^{x_i} x^{\gamma-1} e^{-\gamma x} dx,$$

где x – запас воды в снежном покрове, выраженный в долях от его средней величины;

$\tilde{A}(\gamma)$ – гамма-функция;

$P_{x \geq x_i}$ – вероятность того, что $x \geq x_i$, (в нашем случае это площадь, на которой запас воды больше x_i).

Для леса расчёты проводятся по аналогичным кривым, $C_v = 0,15-0,20$ [1]. В горных районах коэффициенты вариации запасов воды в снеге значительно превышают соответствующие величины для равнины. Поэтому обычно при моделировании динамику площади снеготаяния рассчитывают по положению снеговой линии, например в САНИИ [9, 11]. Снеговая линия, разделяющая зоны сплошного залегания снежного покрова и зоны без снега, для Приамурья оказывается размытой. Объясняется это наличием весьма широкой зоны несплошного залегания снежного покрова, до 400-800 м шириной по вертикали. Для высокогорных районов эта величина несколько уже и незначительна по сравнению с высотой гор. Для бассейна Среднего Амура с горами до 2-2,5 км зона несплошного залегания снежного покрова занимает более половины площади водосбора. При построении интегральных кривых запаса воды в снежном покрове перед началом таяния оказалось, что, несмотря на выражение величин в нормированном виде, каждая высотная зона имеет свою индивидуальную кривую. Поэтому типовую кривую провести невозможно. Следовательно, необходимо искать иной путь учёта динамики площади снеготаяния для моделирования процесса формирования талого стока в бассейне Среднего Амура.

Рассмотрим ещё задачу расчёта времени добегающего растаявшего снега до русловой сети. Нигде в литературе по моделированию процессов формирования стока и расчётам времени добегающего не упоминается о различных скоростях стекания воды от снега и от дождя во время таяния. Вероятно, в западных районах России при отсутствии вечной мерзлоты подобная проблема не возникала. В бассейне Среднего Амура время склонового добегающего талой воды больше, чем дождевой. Время добегающего дождевой воды на маленьких площадях водосбора варьирует здесь от 10 минут (при интенсивном дожде) до 4-6 часов, на больших – 1-2 суток. Время склонового добегающего талой воды составляет от 0 до 10 суток для водосборов площадью до 50 км² и 4-11 суток для площадей более 1000 км². Это можно объяснить низкой скоростью таяния снега (2-3 часа в сутки) и только в период максимальных температур воздуха. Во время своего пути талая вода отдаёт тепло окружающей мёрзлой почве, снегу и льду и замерзает, не успевая добежать за это время до русла. Подобное явление рассматривал Л.С. Кучмент [5] при разработке модели процесса формирования стока для р. Колымы посредством моделей теплового баланса системы почва-снег. Аналогичных моделей разработано немало, но большинство из них рассматривает задачу в замкнутом объёме без учёта пришедшей с верхней части склона воды со своим запасом энергии. Но даже если теоретически решить эту задачу в полном объёме, встает вопрос о наличии информации для её использования на практике, поскольку исследование этого явления в бассейне Среднего Амура до настоящего времени не проводилось. Кроме того, удобный для моделей суточный интервал придется разбивать на неравные части, с разными энергетическими и физическими процессами в каждом. Это очень сильно усложнит модель, и приведёт к возможным ошибкам, которые могут оказаться большими, чем сами величины влияния этих процессов.

Таким образом, характерными особенностями при создании общей модели

процесса формирования тало-дождевого стока на реках бассейна Среднего Амура, обусловленными особым физико-географическим положением региона, являются следующие:

- ◆ отражение практически всех форм географической зональности данного региона в одном типе зональности – высотной. Поэтому основная задача моделирования состоит в выявлении зависимостей гидрологических характеристик от высоты местности и их математическое описание;
- ◆ невозможность применения разработанных для других районов расчётных формул по определению характеристик гидрологического режима из-за неудовлетворительных результатов. Необходимость разработки новых формул, в частности, для расчёта интенсивности снеготаяния и динамики площади снеготаяния;
- ◆ обязательный учёт испарения со снега, просачивания талой воды в мёрзлую почву и замерзание её по пути к руслу как процессов, существенно влияющих на сток в период весеннего половодья.

Редкая сеть гидрометеорологических станций в рассматриваемом районе обуславливает следующие особенности моделирования процесса формирования стока:

- ◆ необходимость поиска дополнительной информации или проведения дополнительных работ по определению многолетних параметров уравнений и зависимостей, входящих в модель;
- ◆ необходимость разработки новых методов расчёта, дающих приемлемую точность при недостатке оперативной информации.

В заключение можно отметить, что попытка учёта всех перечисленных особенностей была предпринята в отделе гидрометеорологических исследований и прогнозов ДВНИГМИ при создании модели поступления воды на поверхность водосбора в период весеннего половодья для рек бассейна Среднего Амура [3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Апполов Б.А., Калинин Г.П., Комаров В.Д. Курс гидрологических прогнозов. Л.: Гидрометеоиздат, 1974. 419 с.
2. Виноградов Ю.Б. Математическое моделирование в гидрологии. Опыт критического анализа. Л.: Гидрометеоиздат, 1988. 312 с.
3. Возняк А.А., Сиднева Л.П., Жутьмагамбетова Т.Г., Нефедова И.А. Модель расчёта тало-дождевого стока в бассейнах рек Среднего Амура // Природные ресурсы Забайкалья и проблемы природопользования. Материалы научной конференции 10-15 сентября 2001 г. Чита: издание ЧИПР СО РАН, 2001. С. 99.
4. Гарцман И.Н. Проблемы географической зональности и дискретность гидрометеорологических полей в горных условиях муссонного климата // Тр. ДВНИГМИ, 1971. Вып. 35. С. 3-31.
5. Кучмент Л.С., Гельфан А.Н., Демидов В.Н. Модель формирования стока на водосборах зоны многолетней мерзлоты (на примере Верхней Колымы) // Водные ресурсы, 2000. № 4. С. 435-444.
6. Лыло В.М., Попова Э.А. Прогноз хода стока половодья при снегодождевом питании горных рек Дальнего Востока // Тр. ДВНИГМИ, 1971. Вып. 35. С. 32-45.
7. Федоровский А.С. Закономерности пространственного распределения атмосферных осадков на юге Дальнего Востока / Гидрометеорологические исследования на юге Дальнего Востока. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1984. С. 3-12.

-
-
8. Хромов С.П. Муссоны в общей циркуляции атмосферы / А.И. Воейков и современные проблемы климатологии. Л.: Гидрометеоиздат, 1956. С. 84-108.
 9. Царев Б.К. Результаты спутниковых наблюдений за динамикой сезонной снеговой границы в горах Западного Тянь-Шаня // Тр. ГосНИЦИПР, 1980. Вып. 8. С.128-136.
 10. Шенцис И.Д. К вопросу расчёта таяния снежного покрова в горах по температуре воздуха // Тр. СарНИГМИ, 1983. Вып. 91 (172). С. 3-13.
 11. Шенцис И.Д. Макромасштабная модель формирования снежного покрова на территории горного района // Тр. САНИИ, 1986. Вып. 111 (192). С. 15-27.

ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛИ ПАВОДОЧНОГО ЦИКЛА МАЛОГО РЕЧНОГО БАССЕЙНА В РАСЧЁТАХ МАКСИМАЛЬНОГО СТОКА

Введение

Анализ современных научных публикаций, а также практика инженерно-гидрологических расчётов показывает, что проблема расчётов максимального стока остаётся неразрешённой, в особенности для малых рек. Отмечаются как неудовлетворительность имеющихся данных наблюдений, так и неадекватность применяемых законов распределения для максимальных расходов [1, 2, 6, 15]. Решение проблемы возможно на основе динамико-стохастического моделирования – сочетания детерминированной модели стока со стохастическим описанием процессов на входе и некоторых параметров модели. В этом направлении привлекательны, во-первых, принципиально лучшие, по сравнению с чисто стохастическим подходом, перспективы обеспечения данными наблюдений, во-вторых – возможности развития физической теории стока.

Моделирование процессов формирования стока из осадков остаётся одной из ключевых задач современной гидрологии, которая до сих пор ещё далека от своего полного решения. Анализ имеющихся разработок [2, 14, 17, 18, 19] показывает, что количество существенно различных моделей стока исчисляется многими десятками. Характер их изменяется в широком диапазоне – от простейших точечных до распределённых с десятками параметров и сотнями пространственных элементов.

Однако пока не существует модели, удовлетворяющей следующим требованиям: параметры модели должны иметь физический смысл и определяться независимо, в том числе для гидрологически неизученных водосборов; модель должна допускать корректную адаптацию к реальным бассейнам на основе доступной гидрометеорологической информации; модель должна быть устойчива к несовершенству исходных данных и приемлема по техническим требованиям реализации для массового использования на практике. По мнению авторов, приблизится к такому результату возможно на основе системного подхода в понимании И.Н. Гарцмана [9, 10]. В настоящей работе внимание уделено только моделированию дождевого стока при «летнем» режиме потерь – без учёта замерзания и оттаивания влаги, и только для решения задач инженерных расчётов.

Структура и алгоритмы модели паводочного цикла

Предпосылки и основные этапы разработки модели паводочного цикла малого речного бассейна (ПЦ-модели МРБ) рассмотрены в ряде публикаций [3-8]. Концепция модели включает следующие предположения:

- 1) существует критический расход $Q_{кр}$, фиксирующий переполнение бассейновой ёмкости;
- 2) существуют характерные значения влагозапасов составляющих бассейновой ёмкости, отвечающие их наполнению;

3) свободная динамика всех стокообразующих элементов бассейна описывается степенными зависимостями расхода от объёма влагозапаса;

4) расход в замыкающем створе функционально связан с величиной гравитационной составляющей бассейнового влагозапаса;

5) при расходе $Q_{кр}$ приток в русловую ёмкость равен расходу, также равны и их производные.

Показано [4, 5], что аналитический алгоритм модели позволяет выполнять в межпаводочные периоды ежедневную увязку 8-членного водного баланса, включающего: объёмы руслового, почвенного гравитационного (грунтового) и почвенного негравитационного (капиллярного) влагозапасов; расход в замыкающем створе; приток в русловую ёмкость; приток в гравитационную ёмкость (слой стокообразования); осадки; испарение. Из них осадки и сток измеряются, испарение берётся среднее за межпаводочный период, остальные рассчитываются на основе принятых предположений и воднобалансовых соотношений. Расчёты выполняются на основе стандартных массовых гидрометеорологических данных за периоды времени между двумя паводками с $Q_{max} > Q_{кр}$ в течение одного тёплого сезона. Эту информацию рассматриваем далее как фактические данные (с учётом их точности), на основании которых выполняется алгоритмизация и верификация ПЦ-модели.

Расчётный алгоритм ПЦ-модели имитирует динамику водного баланса составляющих бассейновой ёмкости. Первым этапом стокообразования является разделение выпадающих осадков между гравитационной и негравитационной (почвенной капиллярной) составляющими бассейновой ёмкости, которые связаны соотношением

$$c = av^n + b, \quad (1)$$

где a , b и n – постоянные коэффициенты;

c и v – относительные свободные ёмкости, соответственно негравитационная и гравитационная.

Переход к абсолютным значениям выполняется по формулам

$$c = \frac{(HB - C)}{HB}, \quad v = \frac{(ГКВ - V)}{ГКВ}, \quad (2)$$

где C и V – текущие величины негравитационного и гравитационного влагозапасов;

HB (наименьшая влагоёмкость) и $ГКВ$ (гравитационная критическая влагоёмкость) – характерные значения этих влагозапасов при $Q = Q_{кр}$.

Сумма HB и $ГКВ$ даёт полную влагоёмкость ($ПВ$ МРБ), русловая критическая влагоёмкость ($РКВ$) составляет часть $ГКВ$ при $Q = Q_{кр}$. Предполагая непрерывное соблюдение (1), получаем выражение для доли осадков, идущих на стокообразование k_x :

$$k_x = \frac{ГКВ^n}{n \cdot a \cdot (ГКВ - V)^{(n-1)} \cdot HB + ГКВ^n}. \quad (3)$$

Данное соотношение применяется при $V < \Gamma_{KB}$, иначе осадки полностью идут на стокообразование. Обратим внимание, что формально k_x может быть с равным успехом выражен как функция S или V ; принятый вариант обусловлен тем, что V можно рассматривать как «наблюдаемую» величину на основании её функциональной связи с Q . Принятые зависимости в сопоставлении с эмпирическими данными представлены на рис. 1а, б.

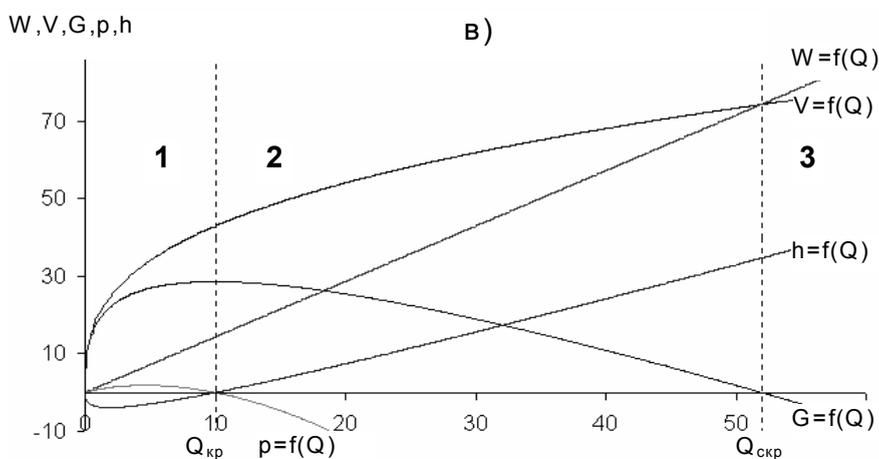
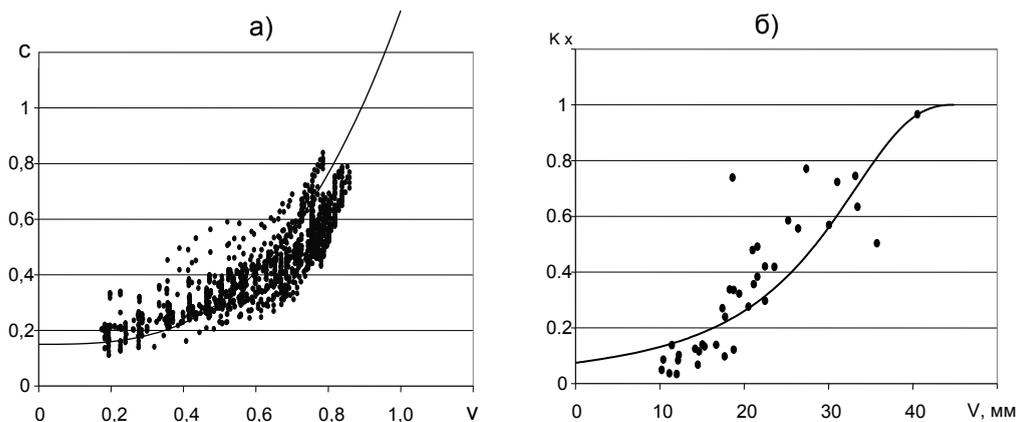


Рис. 1. Основные функциональные зависимости ПЦ-модели МРБ на примере бассейна р. Комаровка-Центральный: (а) – зависимость $c=f(g)$ [1] – аналитическая кривая и эмпирические точки; (б) – зависимость $k_x=f(V)$ [3] – аналитическая кривая и эмпирические точки; (в) – фазовый портрет динамики гравитационной ёмкости [7], режимы стокообразования внутриобъёмный 1, поверхностный 2, «провальный» 3

Стокоформирующая доля осадков попадает сначала в промежуточную ёмкость, которая обозначается термином «верховодка» и имитирует трансформацию осадков при пересечении верхней границы бассейна. В применяемой версии ПЦ-модели верховодка описывается как единичная

линейная ёмкость – постоянным коэффициентом пропорциональности между текущим значением влагозапаса и расходом $R_{\text{вер}}$. Её влияние сказывается только при $R_{\text{вер}} < 1$, как задержка части слоя стокообразования. В действительности трансформационная функция более сложная, но при постоянстве расчётного интервала погрешность округления незначительна.

Наиболее важным элементом модели является гравитационная ёмкость и связанная с ней русловая ёмкость бассейна. Связь между ними не является ни последовательной, ни параллельной. Принятый тип связи можно назвать «вложением» – русловая ёмкость является частью гравитационной, причём доля руслового влагозапаса в гравитационном изменяется в зависимости от величины последнего. Такая структура введена для описания процессов превращения влаги из одних форм в другие, не полностью учитываемых стоковыми моделями добегания, основанными на идеологии генетической формулы стока.

При основном режиме функционирования бассейна (внутриобъёмное стокообразование, $Q < Q_{\text{кр}}$) в модели присутствуют три формы жидкой влаги, движущейся под влиянием силы тяжести и расходуемой на сток – русловая, грунтовая и верховодка. Под русловым влагозапасом подразумевается весь объём влаги, образующий в каждый момент времени сеть свободных потоков, непрерывных от начала до замыкающего створа. Эта понятие включает не только поверхностную русловую сеть, но и сеть подземных дрен, стекание в которых происходит аналогично свободным потокам. Эта дренажная система бассейна обеспечивает постоянство кривой истощения, которая является средством измерения руслового влагозапаса. Показатель истощения стока $R_{\text{рус}}$ определяется как обычно, путём построения нижней огибающей поля точек в координатах $\{Q_i, Q_{i+1}\}$ [3].

Под грунтовым влагозапасом подразумеваем гравитационную влагу в толще почвогрунтов, гидравлически связанную с системой свободных потоков и движущихся по закону фильтрации в насыщенном слое. Грунтовой и русловой влагозапас вместе образуют гравитационный. Верховодка отвечает влагозапасу на поверхности и в толще бассейна, движущемуся также под действием силы тяжести, но не связанному непрерывной гидравлической связью с замыкающим створом, а проходящим до него этап фильтрации в ненасыщенной среде. Четвёртая форма жидкого влагозапаса – почвенная негравитационная (капиллярная), куда относятся все формы связанной почвенной влаги, движущейся не под действием гравитации и расходуемой на испарение.

Превращения менее подвижных форм в более подвижные и обратно происходят при увеличении/уменьшении, соответственно, степени насыщения вмещающей среды, относительно независимо от движения влаги в пространстве. Абстрактно этот процесс описан в форме инвариантно-генетической последовательности [7, 9, 10]. Практически в рассматриваемом случае переход грунтового влагозапаса в русловой происходит при интенсивном «попятном» развитии поверхностной и подземной дренажной сети в периоды поступления больших объёмов осадков. При дальнейшем насыщении профиля почвогрунтов верховодка также включается в состав гравитационного влагозапаса, а при переполнении бассейновой ёмкости наличие свободного поверхностного стекания полностью определяет расход в замыкающем створе по величине и динамике.

Весь сток этого периода можно считать поверхностным, а русловой влагозапас – единственно функционирующим и включающим в себя все прочие, до тех пор, пока уменьшение увлажнённости вновь не приведёт к его «расщеплению» на различные формы и переходу к внутриобъёмному режиму стекания. Согласно [11], наличие даже тонкого слоя поверхностного стекания приводит к исчезновению капиллярных сил. Возможно, что даже капиллярный влагозапас в отдельные моменты экстремального переувлажнения может переходить в гравитационный. Соответствующий режим стокообразования назван «сквозным» или «провальным» [5], и пока его можно считать гипотетическим. Какие либо специфические закономерности этого режима в модели не введены, его эмпирический анализ затруднён редкостью вероятного появления и трудностью достоверной фиксации.

Таким образом, предполагаем три качественно различных режима стокообразования – внутриобъёмный, поверхностный и «провальный». В применяемой версии ПЦ-модели это предположение представлено следующим аналитическим описанием. Водный баланс гравитационной ёмкости, состоящей из русловой и грунтовой, может быть описан системой уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dW}{dt} = -k_1W + p(t) \\ \frac{dV}{dt} = -k_2V^3 + h(t) \end{cases}, \quad (4)$$

где W и V – русловая и гравитационная ёмкость, соответственно;
 k_1 и k_2 – постоянные коэффициенты (k_1 определяется через $R_{\text{рус}}$);
 $p(t)$ – приток в русловую ёмкость из грунтовой (грунтовая ёмкость $G=V-W$);
 $h(t)$ – функция внешнего притока в гравитационную ёмкость.

Система (4) решается при выполнении двух условий:

$$Q = k_1W = k_2V^3, \quad (5)$$

$$k_2 = \frac{k_1^3}{27Q_{\text{ёг}}^2} \quad (6)$$

Условие (5) основано на предположении 4, а (6) – на предположении 5 из сформулированных выше. Решая (4) с учётом (6), исключив при этом t и приняв Q за независимую переменную, получим фазовый портрет системы ([5], рис. 1в), где

$$W = \frac{Q}{k_1}; \quad V = \frac{Q^3}{k_2}; \quad G = \frac{Q^3}{k_2} - \frac{Q}{k_1}; \quad p = Q - \frac{3k_2^{1/3}}{k_1Q^{5/3}}; \quad h = Q - \frac{k_1}{3} \left(\frac{Q}{k_2} \right)^{1/3}. \quad (7)$$

Здесь видно, что приток в русло p имеет отрицательную величину при $Q > Q_{\text{кр}}$, а G становится отрицательным в точке, которая определяется выражением

$$Q_{скр} = \sqrt{27}Q_{кр} \quad (8)$$

Таким образом, две особые величины расхода в замыкающем створе фиксируют переходы к двум сверхкритическим режимам стокообразования.

Зависимость (7) для h отражает минимально необходимую величину внешнего притока, необходимую для того, чтобы обеспечить $p \geq 0$. При внутриобъёмном режиме стокообразования (поле 1 рис. 1в) это условие всегда выполняется, и величина h не принимается в расчёт. При поверхностном режиме стокообразования необходимая величина дополнительного притока берётся из текущего влагозапаса верховодки. Если этот влагозапас исчерпан, то $h=0$ и p будет меньше нуля. Это соответствует, однако, не обратному движению влаги из русловой ёмкости в грунтовую, а превращению её из более подвижной формы в менее подвижную при распаде части временной периферийной дренажной сети. Отрицательная величина грунтового влагозапаса в модели при $Q > Q_{скр}$, очевидно, неприемлема по физическим соображениям. Как упоминалось выше, в данной версии модели «провальный» режим стокообразования (поле 3 рис. 1в) не исследуется. В рамках эксперимента это не приводит ни к вычислительной неустойчивости, ни к заметным нарушениям водного баланса, и не сказывается на эффективности оптимизации из-за крайней редкости проявления этого режима.

Следуя [7], ПЦ-модель ориентирована на интегральное описание динамики МРБ вблизи состояния полной влагоёмкости, процессы внутрпочвенного влагообмена, испарения и т.д. описаны в ней с максимальной «грубостью». Она отвечает идеологии моделирования Г.П. Калинина: «Критические моменты гидрологического цикла, когда осуществляются основные революционные переходы (скачки), определяют дальнейшее развитие гидрологической системы и могут характеризоваться минимальным числом параметров, очень информативных... В «спокойные» периоды, носящие черты эволюционного развития процессы можно рассматривать как стохастические, определяющиеся большим числом взаимно уравновешивающихся факторов, которые мало информативны и трудно учитываемы.» [12].

Негравитационный почвенный влагозапас рассматривается как единое целое. Его баланс заключается в приёме доли осадков и испарении, суточная величина которого принята постоянной для всего тёплого периода года, за исключением особых случаев. При выпадении осадков более 10 мм/сут. испарение считаем равным нулю, в некоторые моменты низкой межени действует механизм ограничения испарения и подпитки капиллярного влагозапаса за счёт гравитационного с постоянной интенсивностью $Z_{зр}$. Этот механизм контролируется предельным отношением свободной капиллярной ёмкости к свободной гравитационной ёмкости, выраженном через $k_{пор}$ – коэффициент относительной свободной пористости бассейна. При переполнении почвенной негравитационной ёмкости (выше НВ) избыток влаги поступает в ёмкость верховодки. Взаимодействие гравитационного влагозапаса бассейна с глубокими подземными горизонтами описывается постоянным потоком влаги $g_{глуб}$, положительным или отрицательным.

Таким образом, используемая версия ПЦ-модели представляет собой очень простой по сравнению с наиболее современными моделями «осадки-сток»

алгоритм формирования слоя стокообразования и трансформации его в расход в замыкающем створе. В расчётах, которые легко реализуются в любой среде программирования, используются только стандартные массовые данные по осадкам и стоку. Число параметров модели невелико, почти все они имеют ясную физическую интерпретацию и определяются либо по данным многолетних наблюдений на бассейне, либо на основании индикационных зависимостей по физико-географическим и структурно-информационным характеристикам бассейнов [16].

Объекты и методика численного эксперимента

В качестве объектов для численных экспериментов выбраны семь малых речных бассейнов в Приморье. Экспериментальные бассейны выбирались, во-первых, по наличию данных по осадкам и стоку стандартной полноты и точности и достаточной продолжительности (более 25 лет). Исключением является бассейн р. Комаровки, где точность измерения стока выше стандартной, а плотность осадкомерной сети на два порядка превышает среднюю по краю. В эксперименте использовались только данные по двум осадкомерным пунктам, чтобы приблизить ситуацию к обычной. Географически бассейны располагаются в южной части горной системы Сихотэ-Алинь и выбраны таким образом, чтобы отразить максимально возможное разнообразие природных условий. Бассейн р. Маргаритовки располагается на восточном макросклоне Сихотэ-Алиня и, несмотря на небольшие размеры, охватывает всё разнообразие ландшафтов от главного водораздела до морского побережья. Остальные шесть бассейнов располагаются в пределах западного макросклона, представляя, по возможности, типичные условия региональных областей формирования, транзита и концентрации водных ресурсов (ФВР, ТВР и КВР – по два бассейна в каждой области), как они описаны в [13].

Основные сведения о физико-географических условиях бассейнов и используемых данных наблюдений приведены в табл. 1, 2. Необходимо отметить, что в работе представляются результаты только первых экспериментов по применению ПЦ-модели в расчётах дождевого стока на ограниченном количестве объектов, расположенных в пределах небольшой территории. Поэтому географическая интерпретация результатов не может быть полноценной и представляет собой задачу дальнейших исследований.

Методика численного эксперимента заключается в следующем. На первом этапе по каждому бассейну выполняется многократный расчёт стока по осадкам за многолетний период времени, называемый далее зависимым рядом (табл. 2). Используются ежедневные данные только за тёплый период каждого года – с июня по сентябрь. Целью является подбор оптимальных значений краевых условий за каждый год – среднесуточного испарения и начального негравитационного влагозапаса. Результатом являются погодичные выборки значений краевых условий, которые служат для выбора законов распределения и оценок параметров этих случайных величин. Признаком оптимальности служит максимальное совпадение наблюденного и моделированного гидрографов каждого года, оцениваемое тремя показателями – средним абсолютным отклонением, среднеквадратическим отклонением и мерой Нэша-Сатлифа [17, 19].

Таблица 1

Основные характеристики экспериментальных бассейнов

№	Река – пункт	$F_{\text{бас}}$, км ²	$H_{\text{ср}}$, м	$i_{\text{ср}}$, ‰	$K_{\text{лес}}$, %	$K_{\text{бол}}$, %	$Q_{\text{ср}}$, м ³ /с	Ландшафтно-гидрологические области
1	р. Уссури-с. Березняки	536	879	216	91	0	6,34	ФВР
2	р. Каменка – с. Каменка	138	629	228	91	0	1,67	ФВР
3	р. Арсеньевка – с. Виноградовка	940	635	176	99	-	9,27	ТВР
4	р. Комаровка – Центральный	157	300	260	99	0	1,50	ТВР
5	р. Белая – с. Руновка	350	196	93,8	69	10	2,78	КВР
6	р. Осиновка – с. Осиновка	289	160	65,2	42	7	1,35	КВР
7	р. Маргаритовка – с. Маргаритово	763	468	260	88	0	9,74	Вкл. все

Обозначения: $F_{\text{бас}}$ – площадь водосбора; $H_{\text{ср}}$ – средняя высота бассейна; $i_{\text{ср}}$ – средний уклон бассейна; $K_{\text{лес}}$ и $K_{\text{бол}}$ – коэффициенты залесённости и заболоченности соответственно; $Q_{\text{ср}}$ – норма годового стока.

Таблица 2

Сведения о гидрометеорологических данных на экспериментальных бассейнах

№ бас.	Период совместных наблюдений за осадками и стоком		Метеостанции, использованные при оптимизации	Опорные метеостанции	
	зависимый	полный		название	период
1	1955-1986	1955-1994	Березняки	Березняки	1940-1995
2	1947-1987	1947-1997	Каменка	Березняки	1940-1995
3	1951-1987	1951-1996	Виноградовка, Молчановка	Анучино	1936-1995
4	1954-1987	1954-1997	Центральный, Комаровский	Тимирязевский	1911-1993
5	1954-1981	1954-1981	Руновка	Тимирязевский	1911-1993
6	1955-1987	1955-1997	Осиновка, Раковский	Ивановка	1940-1998
7	1951-1987	1951-1997	Маргаритово, Щербаковка	Черноручье	1916-1998

Одновременно выполнялась оценка трёх параметров модели (констант) также путём оптимизации, но не за каждый год, а по всему зависимому ряду по тем же критериям. Оптимизируемые параметры являются второстепенными, так как пределы их изменения незначительны и влияние на величину критериев оптимизации невелико. Основные динамические и ёмкостные параметры ПЦ-модели для бассейнов определяются заранее на основе анализа гистограмм максимальных расходов паводков и построения «псевдофазовых диаграмм» (табл. 3). Процедуры численной оптимизации при оценке этих параметров не использовались [5].

На втором этапе полученные законы распределения используются для задания краевых условий при выполнении численного эксперимента методом Монте-Карло. В эксперименте на входе модели используются стохастические модели осадков суточной дискретности, краевые условия задаются как случайные функции среднего суточного испарения, начальных негравитационного и гравитационного влагозапасов, а на выходе получаются гидрографы стока за тёплый период суточной дискретности, позволяющие рассчитывать как объёмные, так и экстремальные его характеристики.

Параметры ПЦ-модели для экспериментальных бассейнов

№ бас.	Оцениваются независимо								Оптимизируются		
	$R_{рус}$	$Q_{кр}$, мм/сут	ПВ, мм	НВ, мм	ГКВ, мм	РКВ, мм	$k_{пор}$	n	$R_{вер}$	$g_{глуб}$, мм/сут.	$Z_{гр}$, мм/сут.
1	0,319	8,64	181,0	130,8	50,2	16,7	0,277	3,5	0,8	0,5	0,4
2	0,359	7,26	200,0	153,8	46,2	15,4	0,231	3	0,95	0,2	0,4
3	0,240	7,35	177,0	141,0	36,0	12,0	0,203	4	0,9	0,1	0,4
4	0,254	9,47	194,4	151,6	42,8	14,3	0,220	3	1	-0,2	0,4
5	0,205	6,57	155,0	125,1	29,9	10,0	0,193	4	0,8	-0,1	0,4
6	0,171	5,50	168,0	144,7	23,3	7,8	0,139	2,5	0,95	-0,2	0,4
7	0,229	8,27	240,0	200,5	39,5	13,2	0,165	3	0,9	0,4	0,4

Обозначения: $k_{пор}$ – коэффициент свободной пористости МРБ, равный отношению ГКВ к ПВ; $g_{глуб}$ – постоянная величина глубокого подземного водообмена (+ приток/ - отток); $Z_{гр}$ – величина максимально возможного испарения из гравитационного влагозапаса в маловодные периоды; остальные по тексту.

Описывая в рамках динамико-стохастической модели собственно гидрологические процессы детерминированной компонентой, мы тем самым ставим адекватность вероятностных оценок стоковых характеристик в прямую зависимость от качества стохастической модели осадков. Между тем, разработки по стохастическому моделированию многолетних рядов осадков суточной дискретности для Дальневосточного региона России практически отсутствуют. С другой стороны, использование в качестве модели напрямую рядов наблюдений за осадками существенно искажает результаты за счёт ограниченности содержащейся в них информации. Причём искажения велики именно в области значений малой обеспеченности, оценка которых является главной целью моделирования.

В настоящей работе эти трудности преодолевались следующим образом. В качестве моделей использовались многолетние ряды измеренных осадков по метеостанциям в пределах экспериментальных бассейнов и по опорным метеостанциям с длинными рядами наблюдений, максимально близким по местоположению и ландшафтным условиям. Численный эксперимент в каждом случае заключался в 20-кратном моделировании стоковых рядов с использованием одного и того же ряда осадков и при стохастическом задании краевых условий. На основании полученных рядов формировались 20 выборок максимальных годовых расходов одинакового объёма. Все выборки ранжировались и осреднялись по одноранговым значениям, кроме того, выбирались крайние значения по каждому рангу, которые использовались как оценки границ доверительного интервала.

Полученные осреднённые выборки экстраполировались обычным способом – аппроксимацией аналитической кривой распределения. Применялось логнормальное распределение с переменным нижним пределом. Так получались различные модельные значения $Q_{1\%}$: по зависимому ряду наблюдений метеостанции на бассейне ($^{M3}Q_{1\%}$); по полному ряду наблюдений той же метеостанции ($^{MP}Q_{1\%}$); по полному ряду наблюдений опорной метеостанции ($^{MO}Q_{1\%}$). Для сравнения рассчитывались $Q_{1\%}$ по рядам наблюдения за стоком – зависимому ($^{H3}Q_{1\%}$) и полному ($^{HP}Q_{1\%}$). Применяемая схема может

рассматриваться только как паллиатив, поскольку не снимает вопроса о типе и параметрах аналитического закона распределения. Преимущества динамико-стохастического моделирования при этом в полной мере не используются, но выводы о свойствах динамической компоненты модели могут быть сделаны.

Результаты верификации ПЦ-Модели

Как показали многочисленные оптимизационные расчёты, несмотря на простоту структуры и существенные огрубления, допущенные при формулировке алгоритма, модельные гидрографы стока хорошо соответствуют наблюдаемым в многоводные и средние по водности годы (рис. 2). В маловодные годы совпадения значительно хуже, что полностью соответствует идеологии модели. Качество моделирования в наибольшей степени определяется полнотой и репрезентативностью исходных данных, а также диапазоном изменения расходов. На бассейне р. Комаровки с исключительно хорошими данными наблюдений точность моделирования стока за многие годы не уступает стандартной точности его измерения. Также хорошие величины мер сходимости получены по бассейну р. Маргаритовки, так как его высокая общая водность и экстремальная «паводковость» уменьшают относительную ошибку. Наиболее грубые ошибки моделирования всегда связаны с прохождением локальных дождей на части территории бассейна, неадекватно фиксируемых редкой осадкомерной сетью.

Параметры ПЦ-модели для всех экспериментальных бассейнов сведены в табл. 3. Прежде всего следует отметить их региональную устойчивость и ландшафтно-географическую обусловленность, которые уже анализировались ранее [4, 16]. Отчётливо проявляются закономерности при переходе от центральной части Сихотэ-Алиня к Приханкайской низменности (области ФВР, ТВР и КВР). Параметры $R_{\text{рус}}$, ГKB, РКВ, $k_{\text{пор}}$ при этом монотонно и существенно снижаются, менее определённа такая же тенденция присуща параметрам $Q_{\text{кр}}$, ПВ, НВ. Это отражает уменьшение ёмкости и стокообразующей роли дренажных систем. Характерно изменение параметра глубокого притока $g_{\text{глуб}}$ – от положительного в области ФВР к отрицательному в области КВР. Бассейн на восточном макросклоне характеризуется конвергенцией признаков – большинство его параметров ближе к области ТВР, некоторые – к области ФВР.

Статистические оценки оптимизируемых значений среднесуточного испарения и начального капиллярного влагозапаса, а также начального гравитационного влагозапаса, определяемого по начальному расходу расчётного периода каждого года, должны рассматриваться как совершенно предварительные (табл. 4). Для обеих характеристик влагозапасов характерно уменьшение средних значений и увеличение дисперсии при переходе от области ФВР к КВР. Для гравитационного влагозапаса как будто проявляется также возрастание положительной асимметрии, зато для капиллярного асимметрия изменяется от больших отрицательных величин до нуля.

Оценка результатов по среднесуточному испарению должна быть особенно осторожной, так как модель наиболее чувствительна к этой характеристике. В некоторых случаях (для маловодных лет) отмечена неустойчивость оптимизационной процедуры, приводящая к появлению в выборках явно завышенных величин порядка 10 мм/сут. Наличие таких значений сильно влияет на параметры выборок, что не позволяет пока делать никаких выводов о

географических закономерностях для расчётного испарения. Для бассейнов, где погодичная оптимизация всегда заканчивалась устойчивым решением и завышенных величин испарения нет (р. Комаровка и р. Осиновка), средние значения в 1,5-2 раза, а коэффициенты вариации – в 2-3 раза меньше, чем для остальных.

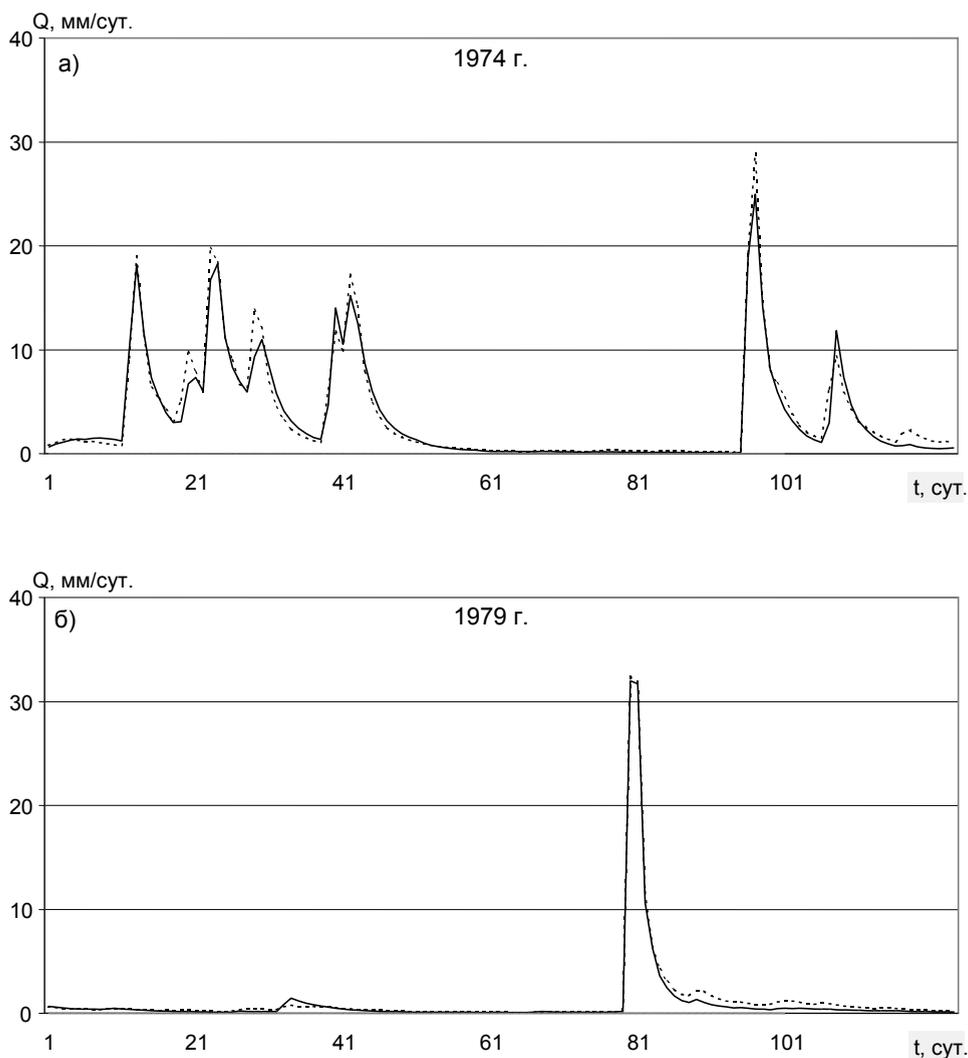


Рис. 2. Временной ход измеренных (сплошная линия) и расчётных (пунктирная линия) гидрографов для бассейна р. Комаровка – Центральный: (а) – 1974 г., (б) – 1979 г.

Статистические характеристики моделированных выборок

Статистические характеристики	Номер экспериментального бассейна						
	1	2	3	4	5	6	7
<i>Значения капиллярного влагозапаса на начало расчётного периода каждого года</i>							
Среднее	107,4	131,6	112,4	123,1	83,54	104,9	162,8
Минимум	48,18	70,15	53,76	64,1	35,92	46,27	78,4
Максимум	130,7	153,5	141	145,1	122,3	144,6	200,4
Коеф. вариации	0,218	0,182	0,255	0,149	0,343	0,323	0,248
Коеф.асимметр.	-0,98	-0,96	-0,65	-1,37	0,01	-0,44	-0,96
<i>Значения гравитационного влагозапаса на начало расчётного периода каждого года</i>							
Среднее	30,378	29,946	20,519	21,144	13,083	7,4574	21,749
Минимум	18,495	17,489	11,482	13,741	7,2476	4,473	10,43
Максимум	44,448	44,955	37,982	31,777	23,16	25,219	41,386
Коеф. вариации	0,2109	0,1645	0,266	0,2322	0,2902	0,5135	0,3022
Коеф.асимметр.	0,29	0,32	1,15	0,35	0,64	3,61	1,30
<i>Значения среднесуточного испарения за расчётный период каждого года</i>							
Среднее	4,28	3,66	3,27	2,32	4,52	2,95	3,58
Минимум	1,3	1,6	1,4	1,4	2,1	1,7	1
Максимум	9,8	10,1	10	4	10,1	5,7	9,8
Коеф. вариации	0,668	0,625	0,645	0,214	0,566	0,284	0,633
Коеф.асимметр.	0,86	1,94	1,72	1,38	1,08	1,61	1,59
<i>Значения максимального расхода за расчётный период каждого года, наблюдения/модель</i>							
Среднее	10,4/9,04	6,11/6,18	12,2/10,9	12,8/12,2	7.41/6.50	9,26/8,25	23,2/20,9
Минимум	1,79/1,34	0,89/0,82	1,03/0,67	0,23/0,19	0,14/0,12	0,04/0,02	0,35/1,39
Максимум	39,0/34,5	22,2/24,7	54,8/43,5	45,8/44,4	47,6/44,9	36,8/35,6	188/181
Коеф. вариации	0,89/0,95	0,91/0,99	1,06/1,00	0,83/0,89	1,44/1,60	1,19/1,20	1,51/1,55
Коеф.асимметр.	1,49/1,26	1,69/1,86	2,20/1,81	1,27/1,32	2,47/2,50	1,20/1,30	3,61/4,02
Коеф. коррел.	0,93	0,97	0,97	0,98	0,99	0,97	0,98
<i>Количество пиков паводков по грациям величины, наблюдения/модель</i>							
$Q_{\text{пик}} > 1 \text{ мм/сут.}$	230/303	287/254	243/226	168/167	72/47	70/51	162/225
$Q_{\text{пик}} > 3 \text{ мм/сут.}$	86/62	75/53	87/68	84/71	22/19	44/37	94/85
$Q_{\text{пик}} > 9 \text{ мм/сут.}$	22/19	13/10	26/19	34/34	11/8	19/16	42/39
$Q_{\text{пик}} > 27 \text{ мм/сут.}$	2/1	-/-	3/3	4/4	2/2	3/2	12/9
<i>Отношение средних слоёв стока ($Q_{\text{мод}}/Q_{\text{набл}}$) по месяцам и за расчётный период</i>							
VI	0,79	0,75	0,81	0,93	0,98	0,87	0,80
VII	0,89	0,91	0,89	0,92	1,01	0,92	0,90
VIII	1,05	0,95	1,12	1,03	1,07	1,16	0,97
IX	1,02	0,88	1,09	1,09	0,95	1,01	0,89
VI-IX	0,94	0,86	0,97	1,01	0,99	1,01	0,89
<i>Коеф. корреляции слоёв стока $r(Q_{\text{мод}}, Q_{\text{набл}})$ по месяцам и за расчётный период</i>							
VI	0,97	0,90	0,97	0,98	0,98	0,98	0,98
VII	0,77	0,88	0,77	0,94	0,91	0,995	0,86
VIII	0,95	0,85	0,96	0,98	0,99	0,99	0,98
IX	0,93	0,95	0,96	0,98	0,99	0,98	0,97
VI-IX	0,95	0,93	0,95	0,98	0,98	0,99	0,95

При аппроксимации законов распределения среднего испарения и начального гравитационного влагозапаса использовались кривые Пирсона III типа, для начального капиллярного влагозапаса использовалось трёхпараметрическое функционально-нормальное распределение С-3 с отрицательной асимметрией [2]. Для получения обоснованных оценок этих характеристик необходимы дальнейшие исследования на основе регионального обобщения и, по-видимому, установления типовых распределений по ландшафтно-гидрологическим областям с корректировкой для конкретных бассейнов.

Результаты моделирования оценивались также сравнением некоторых характеристик максимального и сезонного стока по зависимому многолетнему ряду, полученные по измеренным и моделированным гидрографам. Для максимального стока сравнивались статистические параметры выборок годовых максимумов, и оценивалась корреляция между ними. Кроме того, сравнивалось общее количество пиков паводков, попадающих в различные градации по величине максимального расхода. Для сезонного стока сравнивались средние величины месячного стока за каждый месяц расчетного периода года и суммарного за весь период, а также корреляция этих величин.

Средние из максимальных годовых расходов на всех, кроме одного, экспериментальных бассейнах несколько занижены. Отклонение модели от измерений по этой характеристике составляет от -12 до +1%. Для наибольшего из максимальных расходов закономерность такая же, относительные отклонения составляют от -21 до +11%. Анализ показывает, что расхождение в средних обусловлено в большей степени погрешностями в области небольших паводков с $Q_{max} \leq Q_{кр}$. Данные об общем количестве паводочных пиков по градациям величины показывают, что наибольшие расхождения отмечаются для малых паводков и ниже среднего, в верхней части данные измерений сближаются с модельными. Наилучшее совпадение распределений пиков паводков по градациям, пожалуй, демонстрируют бассейны области ТВР и бассейн восточного макросклона. Для бассейнов области КВР характерно значительно большее количество малых паводков, чем даёт модель – это обусловлено низкой регулирующей способностью равнинных бассейнов, где заметные паводки формируются локальными дождями, не учитываемыми осадкомерной сетью.

Обратная тенденция заметна для бассейнов с площадями более 500 км². Здесь на измеренном гидрографе не выражены многие малые паводки, присутствующие на модельном. Причина этого в отсутствии механизмов собственно пространственного добегания (типа интеграла Дюамеля), которые целесообразно включать, когда время бассейнового добегания приближается к величине расчётного интервала модели (сутки). Отсутствие такой же закономерности для бассейна р. Арсеньевки, скорее всего, связано с наибольшим из всех бассейнов систематическим занижением паводочных максимумов, явно обусловленным наибольшей нерепрезентативностью используемой осадкомерной сети. Систематическая ошибка в паводочных расходах обусловлена и характером оптимизационной процедуры – сходимость результатов оценивалась по всему гидрографу. При использовании схемы оптимизации, ориентированной именно на максимальный сток, результаты его моделирования наверняка улучшатся.

Сравнение средних объёмов суммарного стока за расчётный период года показывают близость данных модели к наблюдениям. В 4 случаях из 7 расхождение варьирует в пределах $-3 - +1\%$ (области ТВР и КВР), в остальных случаях сток занижен на 6, 11 и 14%. В месячном стоке также преобладает занижение объёмов стока, диапазон отклонений от -25% до $+16\%$. Просматриваются отчетливые внутрисезонные закономерности систематической ошибки, которые связаны, в первую очередь, с учётом сезонного хода испарения. Коэффициенты корреляции для сезонных объёмов стока высоки (0,93-0,99), для месячных объёмов несколько ниже.

В целом опыт верификации ПЦ-модели МРБ показывает хорошие перспективы использования её для расчётов не только максимального, но и сезонного стока рек с преобладанием паводочного режима, после доработки некоторых вспомогательных и технических вопросов. В пользу этого свидетельствуют незначительные величины отклонений модельных характеристик от измеренных, их устойчивый, систематический характер, высокие значения соответствующих коэффициентов корреляции.

Оценка максимальных расходов 1%-й обеспеченности

Вопрос о достоверности результатов моделирования режима максимального стока весьма сложен и неизбежно решается в значительной мере субъективно. При недостаточной длительности, низкой точности и большой асимметрии рядов наблюдений на Дальнем Востоке можно утверждать, что «истина», с которой следует путём объективной процедуры сравнить результаты моделирования, нам неизвестна – имеющийся эмпирический материал явно нельзя рассматривать как хорошее приближение к «истине». Очевидно, что систематические ошибки оценки квантилей малой обеспеченности велики при большой дисперсии, асимметрии и неизвестном типе закона распределения. В целом, по данным табл. 5 видно значительное превышение модельных оценок $Q_{1\%}$ над полученными по рядам наблюдений для бассейнов западного макросклона. Для ${}^{H3}Q_{1\%}$ получены величины 38,9-112 мм/сут., для ${}^{MO}Q_{1\%}$ – 104-192. Для восточного макросклона результат обратный, причем величины более 300-400 мм/сут. представляются недостоверными.

Таблица 5

Расходы 1% обеспеченности по данным наблюдений и моделирования

№ бас	Q _{1%} по рядам максимальных годовых расходов		Q _{1%} по результатам моделирования по рядам ежедневных осадков		
	зависимый, ${}^{H3}Q_{1\%}$	полный, ${}^{HP}Q_{1\%}$	зависимый, ${}^{M3}Q_{1\%}$	полный, ${}^{MP}Q_{1\%}$	опорная м/с, ${}^{MO}Q_{1\%}$
1	59,9	127	60,5	112	112
2	38,9	72,8	44,3	118	108
3	103	87,7	75,8	71,4	104
4	58,4	110	150	135	151
5	112	112	138	170	178
6	63,7	59,0	118	101	192
7	331	369	260	444	271

Оценки ${}^{HP}Q_{1\%}$ в 4 случаях значительно (до 100%) выше, чем ${}^{H3}Q_{1\%}$, и только в одном случае несколько ниже. По мере увеличения объёма использованной при

расчёте информации оценки для различных бассейнов сближаются. Так, ${}^{\text{H}^3}\text{Q}_{1\%}$ различаются примерно в 8 раз, для ${}^{\text{M}^0}\text{Q}_{1\%}$ эта величина составляет всего около 2,5. Величины ${}^{\text{M}^0}\text{Q}_{1\%}$ также демонстрируют наиболее чёткую тенденцию роста с запада на восток и хорошую сходимость результатов внутри ландшафтно-гидрологических областей. Учитывая общие представления о формировании дождевых паводков, проявление таких закономерностей в результатах моделирования представляется аргументом в пользу модели. В большинстве случаев ${}^{\text{M}^{\text{П}}}\text{Q}_{1\%}$ очень близки к ${}^{\text{M}^0}\text{Q}_{1\%}$, использование зависимого ряда осадков нередко также даёт удовлетворительное приближение, иногда – даже лучшее. Устойчивость результатов моделирования по различным станциям и рядам осадков разной длительности открывает перспективу эффективных прикладных решений, основанных на применении немногих районированных моделей осадков.

Рассмотрим более детально результаты по отдельным объектам. В условиях р. Комаровки моделирование по различным рядам осадков дало оценки $\text{Q}_{1\%}$, равные 150, 135 и 151. ${}^{\text{H}^3}\text{Q}_{1\%}$ составляет всего 58,4 мм/сут, однако добавление всего 10 независимых лет (к 32-м) резко увеличивают оценку – ${}^{\text{H}^{\text{П}}}\text{Q}_{1\%}=110$. Можно предположить, что ПЦ-модель значительно эффективнее использует информацию, заключённую в рядах наблюдений и даёт хорошую оценку даже по короткому ряду. На рис. 3 показан пример сопоставления различных аналитических и эмпирических кривых обеспеченности с учётом величин $\text{Q}_{\text{кр}}$ и $\text{Q}_{\text{скр}}$. Эмпирическая кривая соответствует теории в пределах доверительного интервала в поле режимов 2 и 3. В режиме 1 модель даёт значительное занижение максимальных расходов, кроме самых малых. Подобная картина прослеживается для всех остальных бассейнов. Отчётливо проявляется скачкообразный характер переходов через критические состояния.

Кажется чрезмерно большим ${}^{\text{M}^0}\text{Q}_{1\%}$ для водосбора р. Каменка – 108 мм/сут. Максимальное значение в зависимом ряду всего 22,2, большое наводнение 1989 г. увеличивает его до 45,4 мм/сут. Однако бассейн р. Уссури-Березняки даёт в том же году величину 84,0 мм/сут., другой бассейн в области ФВР (р. Дальняя – п. Восток) – 104 мм/сут. Следовательно, оценки $\text{Q}_{1\%}$ для области ФВР более 100 мм/сут. вполне реалистичны. Выделяются низкие значения модельных оценок $\text{Q}_{1\%}$ для бассейна р. Арсеньевки. Как упоминалось выше, имеющиеся метеостанции для этого бассейна наименее репрезентативны, так как находятся в крупной долине, открытой к северу – в обратную сторону от направлений подхода основных потоков влаги. Заметно также большое превышение оценки ${}^{\text{M}^0}\text{Q}_{1\%}$ над всеми остальными для бассейна р. Осиновки, причиной чему может служить неудачный выбор опорной метеостанции.

Одной из причин систематического превышения модельных оценок над оценками по измеренным рядам может быть неучёт редукции осадков по площади. Однако влияние этого не должно быть значительным, так как верификация модели проводилась по тем же данным. Более существенная причина заключается в специфических условиях формирования дождевых паводочных максимумов.

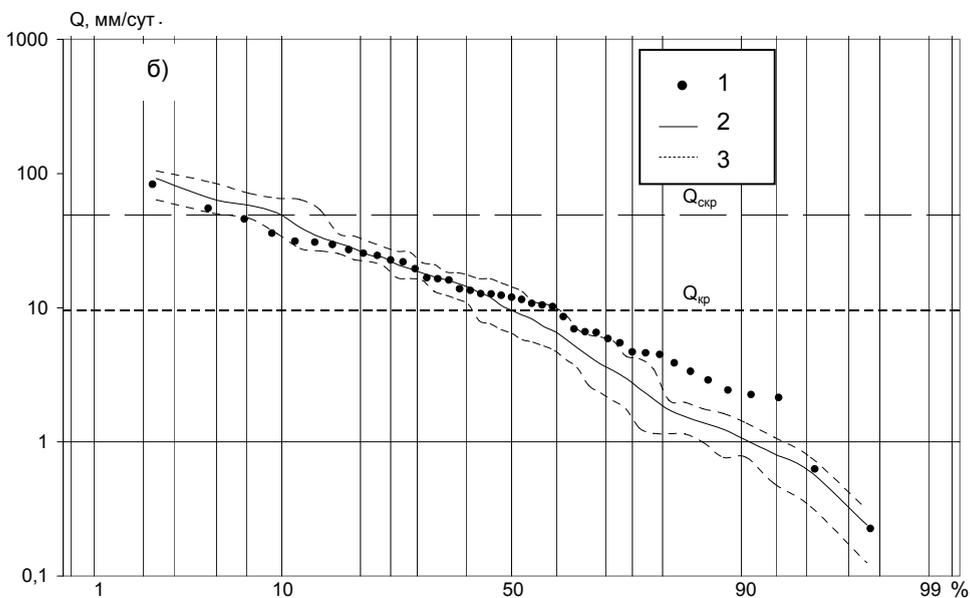
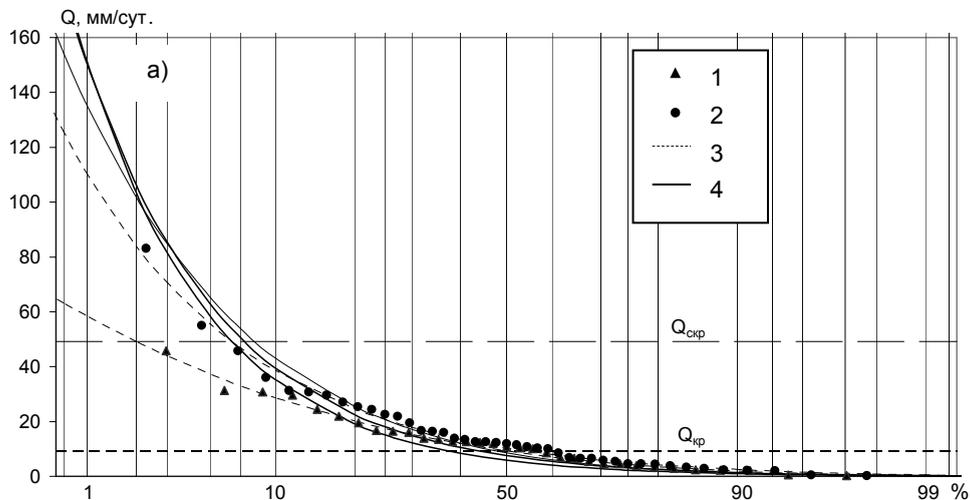


Рис. 3. Кривые обеспеченности максимальных расходов для бассейна р. Комаровка-Центральный: (а) 1 и 2 – эмпирические кривые обеспеченности измеренных Q_{max} по зависимому и полному ряду наблюдений за стоком, 3 – соответствующие аналитические кривые обеспеченности, 4 – различные варианты кривых обеспеченности по моделированным рядам; (б) 1 – эмпирическая кривая обеспеченности Q_{max} по полному ряду наблюдений за стоком, 2 – осреднённая ранжированная выборка моделированных Q_{max} , 3 – крайние пределы рассеивания одноранговых значений Q_{max} по 20-кратному модельному расчёту (логарифмический масштаб вертикальной оси)

При большой асимметрии форма верхней части кривой распределения определяется редкими событиями, как правило одной-двумя эмпирическими точками. Выпадение этих событий из выборки резко изменяет вид кривой и приводит к значительному смещению параметров, тем более, квантилей малой обеспеченности. Кажется, что обычные способы пространственного обобщения данных путём осреднения с учётом одного-двух факторов даже более эффективны для максимального стока, чем для годового, так как из-за быстрого убывания коэффициентов корреляции в пространстве ряды максимального стока могут считаться более независимыми.

В действительности поля метеозлементов, формирующих паводки, имеют синоптические масштабы, и динамика близлежащих малых бассейнов является тесно связанной общими условиями паводкообразования. Причина низких коэффициентов корреляции заключается в крайней неустойчивости отклика бассейнов на одинаковые воздействия при небольшой вариации краевых условий, что хорошо демонстрирует модель. Например, на р. Комаровке при 20-ти кратном модельном расчёте за 1965 г. получены значения годового максимума: 4 раза в диапазоне 11-18 мм/сут., 8 раз в диапазоне 20-26, 2 раза в диапазоне 31-36, 6 раз в диапазоне 46-54. Распределение отклика имеет не только большую дисперсию и асимметрию, но и многомодально, степень же корреляции в пространстве зависит от величины осадков и предпаводочного увлажнения.

На рассматриваемой территории выдающиеся осадки, сформировавшие исторические максимумы на большинстве рек, наблюдались в 1950 г. Аналогичное событие, но относительно меньшей интенсивности, наблюдалось в 1989 году. В зависимый ряд наблюдений ни тот, ни другой год не входят, следовательно модель верифицировалась на недостаточно репрезентативной выборке. Включение в анализ 1989 г. приводит к существенной корректировке кривых максимальных расходов, но не по всем бассейнам, в силу упомянутых выше причин.

Напрашивается вывод, что модельные оценки по опорным станциям являются наиболее адекватными из всех рассмотренных, а в оценках по данным наблюдений присутствует значительное отрицательное смещение. Поскольку данные наблюдений являются сильно зависимыми (хотя и слабо скоррелированными), это смещение не может быть устранено путём прямого регионального обобщения данных, которое не столько увеличит точность оценивания, сколько подкрепит субъективную уверенность в надёжности ошибочных решений. Вывод подтверждается примером р. Маргаритовки. Многолетняя динамика максимального стока на ней иная, чем в центральных районах Приморья, и в ряду наблюдений оказалась группировка особо высоких паводков. Это привело к значительному завышению оценок по сравнению с $^{10}Q_{1\%}$.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 01-05-65128.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Болгов М.В., Писаренко В.Ф. О распределении максимальных расходов воды рек Приморья // Водные ресурсы, 1999. Т. 26. №6. С. 710.

-
-
2. Виноградов Ю.Б. Математическое моделирование процессов формирования стока. Л.: Гидрометеоздат, 1988. 311 с.
 3. Гарцман Б.И. О некоторых подходах к системному моделированию речного стока // География и природные ресурсы, 1990. №3. С.136.
 4. Гарцман Б.И. Паводочный цикл малого речного бассейна. Автореферат диссертации на соискание уч. степ. к.г.н. Иркутск: ИГ СО РАН, 1993.
 5. Гарцман Б.И. Феномен контррегулирования стока в модели паводочного цикла малого речного бассейна // География и природные ресурсы, 2001. №2. С. 51.
 6. Гарцман Б.И., Степанова М.В. Особенности гидрологических расчётов максимального стока на Дальнем Востоке // География и природные ресурсы, 1996. №4. С. 103.
 7. Гарцман Б.И., Шамов В.В. Системные исследования водного баланса малых речных водосборов // География и природные ресурсы, 1991. №4. С. 11.
 8. Гарцман Б.И., Шамов В.В., Третьяков А.С. Система воднобалансовых моделей малого речного бассейна // География и природные ресурсы, 1993. №3. С. 27.
 9. Гарцман И.Н. Некоторые аспекты системного подхода в гидрометеорологии // Тр. ДВНИГМИ, 1976. Вып. 54. С. 3.
 10. Гарцман И.Н. Системные аспекты моделирования в гидрологии // Тр. ДВНИГМИ, 1977. Вып. 63. С. 3.
 11. Калинин Г.П. Проблемы глобальной гидрологии. Л.: Гидрометеоздат, 1968. 375 с.
 12. Калинин Г.П., Курилова Ю.В., Колосов П.А. Космические методы в гидрологии. Л.: Гидрометеоздат, 1977. 184 с.
 13. Карасёв М.С., Гарцман Б.И., Тащи С.М. Пространственно-временные закономерности руслового морфогенеза горных стран муссонной зоны // География и природные ресурсы, №1. 2000. С. 106.
 14. Расчёты паводочного стока. Методы расчётов на основе мирового опыта. Л.: Гидрометеоздат, 1978. 304 с.
 15. Раткович Д.Я., Болгов М.В. Стохастические модели колебаний составляющих водного баланса речного бассейна. М: ИВП РАН, 1997. 262 с.
 16. Степанова М.В. Использование модели паводочного цикла малого речного бассейна для прогноза стока рек Приморья // География и природные ресурсы, 1997. №4. С. 133.
 17. Федоровский А.С. Региональная адаптация моделей круговорота воды. Диссертация на соискание уч. степ. д.г.н. Владивосток: ТИГ ДВО РАН, 1999.
 18. Franchini M.& Pacciani M. Comparative analysis of several conceptual rainfall-runoff models // J. Hydrol, 1991. V. 122. P. 161.
 19. Nash J.E., Sutcliffe J.V. River flow forecasting through conceptual models. Part 1 – A discussion of principles // J. Hydrol, 1970. V. 10. P. 282.

ГЕНЕЗИС МАКСИМАЛЬНОГО СТОКА РЕК ЮГА ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА И РАСЧЁТ МАКСИМАЛЬНЫХ РАСХОДОВ ДОЖДЕВЫХ ПАВОДКОВ

Речные наводнения являются одним из наиболее опасных стихийных явлений. По статистическим оценкам за 1963-1992 гг., величина причиненного ущерба, количество погибших и число пострадавших от наводнения занимают первое место среди других стихийных бедствий. В последнее время участились наводнения во многих регионах Земного шара, в том числе и в Азиатско-Тихоокеанском регионе [8, 9]. Так, наводнения в наиболее паводкоопасной стране – Китае – происходили раз в 50 лет до нашей эры, а теперь в течение года здесь нередко случается несколько таких катастроф [1]. Последнее десятилетие отмечено группировкой мощнейших наводнений в различных частях Земного шара. В шести случаях за этот период годовой ущерб от наводнений в одной стране превышал 10 миллиардов долларов, при максимальной оценке около 32 млрд. [9].

По числу наводнений первое место все годы стабильно занимает Азия, идущая со значительным отрывом от других частей света. Из стран лидирует Китай, в котором за 1997-2000 годы произошло 58 наводнений, на втором месте США – 52 наводнения. В Бангладеш, Вьетнаме, Индии, Индонезии, Корее, Таиланде, Филиппинах, Мексике, Бразилии, Австралии, Сомали, Румынии и России случилось более 10 наводнений в каждой. Но из всех стран мира более всего страдает от наводнений Бангладеш, где равнинные территории, затопляемые Гангом, Брахмапутрой, Мегхной и небольшими реками, составляют примерно 2/3 всей площади страны [1].

В России больше всего страдает от наводнений Дальний Восток. На Амуре и его притоках Шилке, Зее, Бурее, Уссури, наводнения, вызываемые летними дождями, наблюдаются, как правило ежегодно, а иногда и несколько раз в год. В последние годы отмечено серьёзное усиление паводковой опасности в некоторых других регионах страны, таких как Якутия и Северный Кавказ.

Несмотря на исключительно быстрое развитие информационных технологий, в России почти не ведётся работа по созданию современной технологической и методической основы инженерно-гидрологических расчётов, пригодной для массового практического применения. Такая основа должна состоять из автоматизированных баз исходных данных и банков программных средств специального статистического анализа. Потребность в развитии современного инструментария усиливается тем, что традиционно отмечаемая недостаточность данных наблюдений, как по плотности сети, так и по длительности рядов, усугубляется в настоящее время ожиданием существенных гидрологических последствий глобального изменения климата.

Условия формирования и режим максимального стока дальневосточных рек отличается неоднородностью и неустойчивостью как во внутригодовом, так и в многолетнем аспекте, что обусловлено преимущественно горным характером территории и расположением на северной границе распространения восточно-

азиатского муссона. Дождевые паводки в тёплую часть года, достигающие нередко катастрофических размеров, являются характерной чертой гидрологического режима рек. Несмотря на значительное количество исследований в этой области, изученность закономерностей процессов формирования максимального стока для получения надёжных расчётных значений максимальных расходов воды остаётся недостаточной.

Методы расчётов, рекомендуемые действующими нормативными документами, не учитывают некоторые существенные особенности дождевых паводков муссонной зоны: сложную пространственную структуру процессов увлажнения и формирования максимального стока; повторяемость высоких паводков не каждый год, но нередко многократно в течение тёплого периода года; преобладание в отдельные годы максимумов снегового либо сложного происхождения и т.п. В статистическом смысле это означает отсутствие генетической однородности выборки максимальных годовых расходов воды и неполную её адекватность, т.к. реальная последовательность выдающихся паводковых событий лишь частично отвечает годичной периодизации. При таких условиях расчёты должны строиться на тщательном анализе статистических свойств рядов исходных данных и на специальном обосновании используемых законов распределения.

Для расчётов при наличии наблюдений применяются различные стохастические модели гидрологических процессов. Наиболее часто употребляются кривые вероятностей гамма-распределения, распределения экстремумов Гумбеля, логнормальное распределение, трёхпараметрическое гамма-распределение С.Н. Крицкого и М.Ф. Менкеля и другие. Эти модели достаточно подробно изложены в работах [13, 11]. Действующий СНиП 2.01.14-83 рекомендует кривые распределения Пирсона III типа и Крицкого-Менкеля и параметрические методы аппроксимации – моментов и приближённого наибольшего правдоподобия. Опыт работы проектно-изыскательских организаций в Дальневосточном регионе показывает, что эти рекомендации, как правило, оказываются малопригодными для определения расчётных максимальных расходов воды. В практике наиболее успешно применяется графоаналитический метод Г.А. Алексева, рекомендованный как дополнительный. Расчётные значения максимальных расходов воды малой обеспеченности (1-2%) в проектах бывают как сильно завышенными, так и заниженными (до 50% и более). Теоретическая и практическая необходимость разработки новых методов расчётов максимальных расходов признаётся в настоящее время большинством исследователей [10, 12, 14, 3].

Несмотря на то, что обычно на Дальнем Востоке расчётной характеристикой является максимальный расход дождевого паводка, на некоторых реках пики весенних половодий соизмеримы с максимумами дождевого стока. Требование статистической однородности выборок, используемых при расчётах, тесно связано с их генетической однородностью. Генетическая же однородность, то есть единообразие условий формирования максимальных расходов, включенных в выборку, обусловлена в первую очередь источниками питания рек и характером потерь стока в экстремальных фазах гидрологического режима. В зависимости от преобладающего характера генезиса максимального стока можно рекомендовать использовать ту или иную выборку для определения расчётных характеристик максимального стока.

Изучение региональных особенностей генезиса максимальных расходов воды и сравнительный анализ применимости методов их расчёта проведен для рек Дальневосточного региона – бассейна Амура и рек бассейна Японского моря (цв. ил. 1, стр. 194). Привлечены наблюдения по рекам правобережных притоков Амура (бассейны Сунгари, Уссури) и р. Раздольной (Суйфун) на территории КНР. Сведения о состоянии водосборных площадей рек Северного Китая отсутствуют, поэтому можно только в общем судить об этом на основании анализа физических карт, сведений о темпах роста хозяйственной деятельности, обезлесивании и т.п. Водосборы представляют распаханнные площади, практически, до водораздельных линий; сток частично зарегулирован, построены многочисленные каналы различного назначения.

При анализе использованы данные 237 гидрологических постов, 13 из них – на реках, протекающих по территории КНР. Для обработки отбирались станции с наиболее длительными рядами наблюдений за стоком воды (не менее 26 лет) и с площадями не более 100000 км². Реки в указанном диапазоне площадей – малые и средние, в режиме которых наиболее полно отражаются зональные и местные особенности гидрологического режима. Обобщение гидрологических характеристик таких рек позволяет исследовать региональные закономерности формирования стока, рассмотреть наиболее сложные и типичные проблемы, возникающие в практике инженерно-гидрологических расчётов. Лучше всего освещены материалами наблюдений бассейны рек с площадями водосборов от 100 до 10 000 км² – 78%, хуже всего – малые реки до 100 км². Период наблюдений за стоком в 40% случаев менее или равен 30 годам, в 20% случаев – более 50 лет.

Анализ однородности исходных выборок максимальных расходов

При применении вероятностных методов расчётов вопрос о статистической однородности совокупности исходных данных является первоочередным. Поскольку продолжительность имеющихся рядов наблюдений, в особенности, за максимальным стоком, как правило, недостаточна для анализа однородности чисто статистическими методами, то для её обеспечения принято использовать генетически однородные выборки. Под генетической однородностью подразумевается единообразие источников питания и характера потерь стока в экстремальные фазы гидрологического режима.

Для рек Дальневосточного региона характерно наличие двух многоводных фаз: весенняя и летне-осенняя. Дождевые паводки различной интенсивности, накладываясь друг на друга, создают дальневосточный тип гидрографа стока. Сроки начала и окончания фаз водности (весеннего половодья и дождевых паводков) изменяются во времени. Установление временных границ для каждой реки – дело индивидуальное. Для массового статистического анализа возникла необходимость установить жёсткие временные границы фаз водности. При обработке материалов наблюдений в каждом году отбирался наибольший срочный расход дождевого паводка, выбранный за период с июня – до появления устойчивых ледовых образований (летне-осенний период). Максимум весеннего половодья – наибольший максимальный расход, выбранный за период от начала таяния льда по май включительно. Особенности режима смешанного питания рек в весенний период дают основание причислить рассматриваемую фазу дождевого стока (конец апреля – май) в условиях

глубоко промерзшей или оттаивающей подстилающей поверхности к весеннему половодью. В питании рек в эту фазу водного режима участвуют дождевые, талые и грунтовые воды.

Весной поступление воды в русловую сеть обусловлено процессами снеготаяния. Основными факторами весенних половодий являются запасы воды в снеге к моменту таяния и характер их распределения по площади водосбора; вода, поступающая в виде дождя; метеорологические условия, определяющие интенсивность таяния снега, степень влажности и промерзания почвогрунтов водосборов, определяющих потери стока. Для условий европейской части России понятие «весенний сток» приравнивается к понятию «талый сток». Но для условий бассейна Амура, как указывает И.Н. Гарцман [6, 4], «тождество понятий «весенний сток» и «талый сток» является совершенно неприемлемым».

Двойное – внутриснежное и внутрипочвенное – регулирование влаги сопутствует стокообразованию талых вод и сопровождается фазовыми переходами из жидкого состояния в твёрдое и обратно. В первую фазу стока к дате схода снежного покрова большая часть стока не реализуется в виде стока, а затрачивается на испарение, повышение влагозапасов в почво-грунтах до уровня, соответствующего наименьшей влагоёмкости, и временную аккумуляцию в зоне аэрации сверх наименьшей влагоёмкости, благодаря фазовому переходу в твёрдое состояние. Вторая фаза стока, продолжающаяся от даты схода снежного покрова до окончания половодья, отличается питанием исключительно талыми водами, в том числе и дождевого происхождения; режим истощения слоя стокообразования, подвергающегося внутрипочвенному регулированию, обусловлен интенсивностью прогрева зоны аэрации. Третья фаза стока (фаза повышенной водности) совпадает по времени со второй фазой, отличается исключительно дождевым питанием и по режиму носит типично паводочный характер [5]. Средняя дата окончания первой части весеннего половодья для некоторых рек Приморской воднобалансовой станции – 18-23 мая.

Таким образом, на реках юга Дальнего Востока наблюдается особая фаза стока, характерная тем, что действуют дождевые источники питания, а потери определяются мёрзлым состоянием подстилающей поверхности.

Е.Г. Иванов [7] выделяет для тёплого времени года с точностью до месяца следующие характерные периоды в зависимости от источников питания, процессов стока, водности и характера водного режима:

- ◆ весна (апрель-май) – период смешанного снегодождевого питания, преимущественно поверхностного и почвенно-грунтового стока, высокой водности и неустойчивого водного режима рек;
- ◆ лето (июнь-сентябрь) – период резкого преобладания дождевого питания, преимущественно поверхностного и почвенно-грунтового стока, высокой водности и неустойчивого водного режима рек;
- ◆ осень (октябрь-ноябрь) – период смешанного дождевого и грунтового питания, почвенно-грунтового и подземного стока, средней водности и стабилизации водного режима.

Формирование высокого стока в летне-осенний период (дождевых паводков), прежде всего, обусловлено летне-осенними дождями, которые связаны с выходом на территорию южных циклонов и выносом влажных морских

масс воздуха. Гидрометеорологическая сторона формирования дождевых паводков определяется интенсивностью и площадью распространения дождей, расходом дождевой волны на фильтрацию и поверхностное задержание, и особенностями строения водосборов. Как правило, определить максимальный расход дождевого паводка в бассейне Амура не представляет трудностей. Быстрое, сравнительно кратковременное повышение расхода воды, что отличает категорию паводка от категории весеннего половодья, а для большинства рек до 6–7 паводков в году наблюдается практически ежегодно на исследуемой территории. В годы отсутствия высоких подъёмов воды вследствие отсутствия интенсивных и продолжительных осадков на некоторых реках за величину дождевого паводка принимался наибольший расход воды летне-осеннего периода.

Установление календарной границы: максимальный расход за апрель-май – расход весеннего половодья и расход за период июнь-октябрь – расход дождевого паводка, является вполне обоснованным для массового статистического анализа преобладания максимумов того или иного происхождения. «Максимумы весеннего периода» и «весеннего половодья», и соответственно, «максимумы летне-осеннего периода» и «дождевые паводочные максимумы» в дальнейшем изложении используются как тождественные понятия.

Оценка генетической однородности заключается в анализе соотношения экстремумов различного происхождения по следующим признакам:

- ◆ по количеству максимумов весеннего и дождевого происхождения в ряду абсолютных годовых максимальных расходов воды;
- ◆ по величинам абсолютных максимальных значений расходов половодного и паводочного происхождения.

Оценка выполнена для бассейнов крупных притоков Амура (Шилки, Аргуни, Зеи, Буреи, Уссури, Амгуни), отдельно для малых и средних притоков Среднего и Нижнего Амура и рек побережья Японского моря. Анализ количества и соотношения максимумов половодного и паводочного происхождения в ряду годовых максимальных расходов (табл. 1) подтвердил, что на территории бассейна наблюдается общее преобладание максимумов дождевого стока. Однако в бассейне р. Амгуни и р. Уссури количество станций с преобладанием весенних максимумов в годовой выборке значительно – 29% и 21%, соответственно; в бассейне р. Уссури также высока доля станций с равным количеством лет (19%).

Преобладание весенних максимумов и/или равное соотношение максимумов различного генезиса локализируются в двух районах (цв. ил. 1, стр. 194). Один из них включает притоки нижнего течения Зеи и реки, непосредственно впадающие в Амур до устья р. Буреи. Отмеченные реки протекают по Амуро-Зейско-Буреинской равнине. Другой район – реки бассейна оз. Ханка и реки верхнего и среднего течения Уссури, протекающие по Западно-Приморской равнине (большая часть водосборов располагается на Приханкайской низменности). В северной части бассейна Амура (река Амгунь) также прослеживается преобладание или равное соотношение в году экстремумов того или иного происхождения. Реки этого бассейна также расположены в низменной местности и принадлежат Эворон-Чукчагирской равнине.

**Сведения о структуре максимальных годовых расходов
(число максимумов половодий и паводков по макробассейнам)**

Бассейн	Общее число станций	Станции с преобладанием по количеству лет максимальных расходов				Станции с равным количеством лет максимальных расходов половодий и паводков	
		половодий		паводков		количество	%
		количество	%	количество	%		
р. Шилка	54	1	2	52	96	1	2
р. Аргунь	9	0	0	9	100	0	0
р. Зея	20	1	5	17	85	2	10
р. Бурея	14	0	0	14	100	0	0
р. Уссури	57	11	21	34	60	12	19
р. Амгунь	8	2	29	5	71	0	0
Средний и Нижний Амур	34	1	9	28	79	5	12
Побережье Японского моря	28	1	4	27	96	0	0
Всего	223	17	9	186	83	20	8

Локализация территории на равнинных участках не случайна. По-видимому, отмеченная особенность объясняется тем, что на равнинных реках объём и продолжительность снеготаяния весной гораздо меньше, чем на горных, а характер его более напоминает дождевые паводки. Это обусловлено малыми снеготаяниями, отсутствием высотной дифференциации и лесного покрова на равнинах. В низменных частях равнин только 2-5% территории покрыто лесом, на возвышенных залесенность достигает 20-40%. С другой стороны, более раннее потепление на равнинах увеличивает долю дождевого питания рек весной. Таким образом, указанная тенденция связана скорее не с увеличением роли снеготаяния в формировании максимального стока, а с выравниванием условий его формирования в течение всего тёплого периода при определяющей роли дождевого питания.

Анализ значений абсолютных максимумов (табл. 2) свидетельствует о преобладании экстремумов дождевого генезиса. Такие станции составляют здесь 91%, экстремумы половодья преобладают для 6% станций, 4% станций имеют равные значения максимумов половодья и паводков. Количество станций с преобладанием абсолютных максимумов весеннего половодья над дождевыми значительно в бассейне Амгуни – 43%, что обусловлено его северным расположением. Со сменой климатических условий к северу наблюдается тенденция увеличения доли снегового питания – максимумы половодий постепенно превосходят по абсолютной величине дождевые максимумы.

Сведения о станциях на реках бассейна Амура с преобладанием абсолютных значений максимальных расходов половодья и паводков

Бассейн	Общее число станций	Станции с преобладанием абсолютного значения				Станции с равными абсолютными значениями	
		половодья		паводка		количество	%
		количество	%	количество	%		
р. Шилка	54	4	7	49	91	1	2
р. Аргунь	9	0	0	9	100	0	0
р. Зея	20	2	10	16	80	2	10
р. Бурея	14	0	0	14	100	0	0
р. Уссури	57	2	4	52	91	3	5
р. Амгунь	7	3	43	3	43	1	14
Средний и Нижний Амур	34	2	6	31	91	1	3
Побережье Японского моря	28	0	0	27	96	1	4
Всего	223	13	6	201	91	9	4

Статистический анализ однородности рядов наблюдений заключается в проверке предположения об отсутствии существенного различия между параметрами сравниваемых рядов (нулевая гипотеза). Различие оценивается некоторой статистикой, величина которой сравнивается с критической величиной, отвечающей принятому уровню значимости. В данном случае оценивается однородность двух средних значений выборок максимумов дождевых паводков и весеннего половодья с использованием критерия Стьюдента при уровне значимости 1% и 5%. В зависимости от результатов расчёта ряды могут рассматриваться как однородные и неоднородные в соответствии с принятым уровнем значимости.

Для наиболее эффективной оценки однородности сравниваемых рядов привлечены результаты генетического анализа с учетом длительности рядов наблюдений, т.е. степени надёжности выводов. В зависимости от результатов оценки статистической однородности выборочных средних и результатов генетического анализа выделено 6 групп рек с учётом комбинации различных признаков (табл. 3). Деление на подгруппы учитывает продолжительность наблюдений. Для практических расчётов максимального стока можно определённо рекомендовать пользоваться выборками годовых максимальных расходов в случае, если расчётный створ принадлежит группам 1, 2 и 6 (I, II, VI), поскольку ошибка расчётов, привносимая неоднородностью выборки, в этих случаях мала по сравнению с совокупной ошибкой измерений и расчётов. Для

группы 5 (V) следует выделять генетически однородные совокупности и расчёт проводить отдельно для рядов максимальных весенних расходов и рядов дождевого стока. Для групп 3 и 4 (III, IV) рекомендуется дополнительный анализ в каждом конкретном случае.

Таблица 3

Группы рек по комбинации различных признаков

Характеристика группы	до 40 лет	более 40 лет
Ряды неоднородны при уровне значимости 1% ($t - test < 1$), среднее значение ряда дождевых максимумов больше среднего весенних максимумов ($\bar{x}_{лет} > \bar{x}_{вес}$), дождевые паводки по количеству лет преобладают в ряду годовых максимумов ($n_{лет} > n_{вес}$)	1	I
Ряды неоднородны при уровне значимости 5% ($t - test < 5$), среднее значение ряда дождевых максимумов больше среднего весенних максимумов ($\bar{x}_{лет} > \bar{x}_{вес}$), дождевые паводки по количеству лет преобладают в ряду годовых максимумов ($n_{лет} > n_{вес}$)	2	II
Ряды неоднородны при уровне значимости 5% ($t - test < 5$), среднее значение ряда дождевых максимумов больше среднего весенних максимумов ($\bar{x}_{лет} > \bar{x}_{вес}$), равное соотношение дождевых и весенних максимумов в ряду годовых ($n_{лет} = n_{вес}$)	3	III
Ряды неоднородны при уровне значимости 5% ($t - test < 5$), среднее значение ряда дождевых максимумов больше среднего весенних максимумов ($\bar{x}_{лет} > \bar{x}_{вес}$), максимумы весеннего периода преобладают в ряду годовых ($n_{вес} > n_{лет}$)	4	IV
Ряды однородны по критерию Стьюдента ($t - test > 5$), максимумы того или иного происхождения могут преобладать в ряду годовых расходов	5	V
Ряды неоднородны при уровне значимости 1% ($t - test < 1$), среднее значение весенних максимумов больше среднего дождевых максимумов ($\bar{x}_{вес} > \bar{x}_{лет}$), в ряду максимальных годовых расходов преобладают максимумы снегового происхождения ($n_{вес} > n_{лет}$)	6	VI

Распределение анализируемых рек по группам показано в табл. 4. Видно, что в целом по региону к 1-2 группам относится около 70%, к 5 – около 26%, 4% относятся к группам 3-4 и лишь 1 станция из 223 отнесена к 6 группе. То же распределение рек по группам, нанесенное на карту (цв. ил. 2, стр. 195), позволяет выявить пространственные закономерности максимального стока. Водосборы рек, где сравниваемые выборки максимумов весеннего периода и летне-осенних дождевых паводков однородны (5 группа), локализуются в пределах Западно-Приморской равнины и в пределах Амуро-Зейско-Буреинской равнины, что отражает закономерность, уже описанную выше.

Распределение станций по группам рек, выделенных в бассейне Амура

Бассейн	Общее число станций	Период наблюдений									
		менее 40 лет						более 40 лет			
		1	2	3	4	5	6	I	II	III	V
р. Шилка	54	18	6	1	–	12	–	10	5	–	2
	100 %	33	11	2	–	22	–	19	9	–	4
р. Аргунь	9	4	3	–	–	2	–	–	–	–	–
	100%	44	33	–	–	22	–	–	–	–	–
р. Зея	20	6	1	–	–	3	–	8	–	–	2
	100%	30	5	–	–	15	–	40	–	–	10
р. Бурея	14	6	3	–	–	–	–	4	–	–	1
	100%	43	21	–	–	–	–	29	–	–	7
р. Уссури	57	9	7	2	1	11	–	11	4	3	9
	100%	16	12	4	2	19	–	19	7	5	16
р. Амгунь	7	–	2	–	–	1	1	–	–	–	3
	100%	–	29	–	–	14	14	–	–	–	43
Средний и Нижний Амур	34	11	2	1	–	3	–	12	–	–	5
	100%	32	6	3	–	9	–	35	–	–	15
Побережье Японского моря	28	12	1	–	–	3	–	11	1	–	–
	100%	43	4	–	–	11	–	39	4	–	–
Всего	223	66	25	4	1	35	1	56	10	3	22
	100%	30	11	2	1	16	1	25	5	1	10

Тенденции изменения максимального стока прослеживаются как в широтном, так и в меридиональном направлениях. По мере продвижения от побережья к континентальным районам, с изменением климатических условий, атмосферной циркуляции, сменой ландшафтных условий формирование максимального стока происходит в большей степени под воздействием факторов, действующих на водосборах в весенний период. Статистическая проверка однородности рядов указывает на однородность средних максимальных при уровне значимости 5%. Вклад весеннего половодья и дождевого стока в формирование максимального стока в различные годы неодинаков. В одни годы максимум формируется за счёт процессов снеготаяния на водосборах, в другие годы максимум обусловлен прохождением дождевого паводка. На цв. ил. 2 (стр. 195) видно скопление таких станций в бассейне р. Шилки, где значительную роль в формировании стока приобретает и фаза весеннего половодья.

В меридиональном направлении прослеживается также тенденция увеличения доли снегового питания, когда при продвижении на север увеличиваются снеготаяния и продолжительность холодного периода на водосборах. В северной части побережья Японского моря и в бассейне Амгуни $t - test > 5 \%$, т.е. при расчётах максимального стока следует разделять выборки на генетически однородные.

Сравнительный анализ методов расчётов для максимальных дождевых расходов

Теоретический анализ и сопоставление «основной» и «альтернативной» схем расчётов, включая вывод о большей адекватности «альтернативной» схемы для расчёта экстремальных характеристик стока, изложены в работах [7, 2]. Проверка эффективности применения альтернативной схемы проведена для рядов экстремального дождевого стока по исследуемой территории, включая реки Китая в бассейнах Среднего Амура и Уссури. По выборкам строились эмпирическая кривая распределения и восемь вариантов аналитических кривых, построенных в соответствии с «основной» и «альтернативной» схемами расчётов. Под «основной» схемой подразумевается точное выполнение рекомендаций СНиП 2.01.14-83, включая использование законов распределения Пирсона III типа и Крицкого–Менкеля, а также методов оценки параметров: для кривой Пирсона – моментов и графоаналитического, для кривой Крицкого–Менкеля – моментов и приближённого наибольшего правдоподобия. Всего по основной схеме строились 4 варианта аналитических кривых.

«Альтернативная» схема расчётов основана на предложениях Ю.В. Виноградова и подробно изложена в [7, 2]. Она основана на использовании семейства функционально-нормальных законов распределения. В настоящей работе использовались трёхпараметрическое логнормальное распределение и распределение С-3, описываемое преобразованием

$$z = 0,5(x^a + 1)\ln x, \quad (1)$$

где z – нормально распределённая случайная величина.

Для аппроксимации использовался непараметрический метод, который заключается в прямой численной подгонке аналитических кривых с использованием различных мер (критериев) сходимости. В качестве исходной информации принимаются несмещённые оценки координат эмпирической функции распределения, и вычисляются параметры аналитической функции распределения, исходя из условия минимизации критерия.

В качестве меры сходимости использовались величина суммарного относительного расхождения эмпирической и аналитической кривой по вероятности

$$w = \sum_{i=1}^n \left(\frac{|p_i^* - p_i^{**}|}{p_a^* - p_b^*} \right)_i, \quad (2)$$

где p_i^* – эмпирическая вероятность членов вариационного ряда, $p_i^* = m/n$;

p_i^{**} – аналитическая вероятность членов вариационного ряда;

p_a^* и p_b^* – границы доверительного интервала для вероятности p при данных m и n и заданном уровне значимости; m и n – ранг i -го значения и общий объём выборки.

Минимум величины w обеспечивает сходимость аналитической и эмпирической кривых по вероятности и характеризует *надёжность* принимаемого решения. В другом случае использовалась мера сходимости по абсолютной величине, характеризующая *точность* принимаемого решения

$$s = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (k_p^* - k_p^{**})^2}, \quad (3)$$

где k_p^* и k_p^{**} – равнообеспеченные квантили эмпирического и аналитического распределений в форме модульных коэффициентов.

Таким образом, по «альтернативной» схеме также строились 4 варианта аналитических кривых распределения: логнормальная с аппроксимацией по w и по s , и С-3 с аналогичной аппроксимацией.

В дальнейшем показатели w и s используются как оценочные критерии для сравнительной оценки всех 8 вариантов аналитических кривых. Третий оценочный критерий, характеризующий запас *прочности* принимаемого решения, представляет собой процентное соотношение между расчётными максимальными расходами воды 1%-ной обеспеченности и максимальным расходом, измеренным за период наблюдений. Результаты расчётов по каждому ряду оценивались по *прочности*, *надёжности* и *точности*. По каждой характеристике выбирался наилучший из восьми вариантов аналитической кривой. Результаты оценок обобщались по макробассейнам с учётом объёмов выборок и площадей водосборов, причём подсчитывался процент наилучших результатов, выпадающих на каждый вариант аналитической кривой по каждой из оценочных характеристик.

Установлено, что «альтернативная» схема в целом даёт лучший результат, чем основная (табл. 5). Наиболее отчетливо это проявляется по критериям *прочности* и *надёжности*. Самые высокие доли наилучших оценок приходятся на логнормальные кривые. Исключение составляют реки Японского моря по критерию прочности при площадях водосбора менее 100 км².

Из рис. 1 видно, что большой запас прочности приходится на кривые Виноградова С-3 (s) и логнормальную кривую (s). Из вариантов «основной» схемы лучший результат приходится на кривую Пирсона III типа, параметры которой оцениваются графоаналитическим методом Алексева. Следует отметить, что при оценке параметров кривой распределения этим методом применяется условие совпадения аналитической кривой обеспеченности по трем опорным квантилям, достаточно хорошо соответствующей расположению эмпирических точек. Этот принцип опорных координат в значительной мере отвечает идеологии аппроксимации «альтернативной» схемы. На Верхнем и Среднем Амуре процент лучших оценок «альтернативной» схемы по критерию прочности возрастает с увеличением площадей водосбора и объёма выборки. На Нижнем Амуре и реках бассейна Японского моря наблюдается обратная тенденция (табл. 5).

Распределение лучших результатов расчётов максимальных расходов дождевых паводков (в % от общего количества рядов) по разным оценочным критериям в зависимости от площадей водосбора (F , тыс. км²) и объёма выборки (V , лет)

Бассейн	Верхний Амур		Средний Амур		Нижний Амур		Бассейн Японского моря	
	«Основная» схема	«Альтернативная» схема	«Основная» схема	«Альтернативная» схема	«Основная» схема	«Альтернативная» схема	«Основная» схема	«Альтернативная» схема
F	<i>Прочность</i>							
<0,1	0	100	0	100	0	100	100	0
0,1-1	0	100	25	75	0	100	0	100
1-10	8	92	9	91	9	91	0	100
10-100.	0	100	0	100	0	100	50	50
V								
26-40	5	95	9	91	0	100	10	90
> 40	0	100	1	99	7	93	12	88
F	<i>Надёжность</i>							
<0,1	0	100	50	50	0	100	50	50
0,1-1	0	100	0	100	21	79	6	94
1-10	8	92	4	96	9	91	0	100
10-100.	36	64	0	100	0	100	0	100
V								
26-40	11	89	5	95	21	79	0	100
> 40	13	87	5	95	14	86	19	81
F	<i>Точность</i>							
<0,1	0	100	0	100	25	75	0	100
0,1-1	29	71	37	63	42	58	56	44
1-10	38	62	26	74	58	42	17	83
10-100.	55	45	44	56	64	36	0	100
V								
26-40	39	61	36	64	46	54	60	40
>40	33	67	25	75	55	45	25	75

По критерию надёжности лучшие оценки приходятся на долю логнормальных кривых (w) и кривой Виноградова С-3. Из вариантов «основной» схемы лучший результат показывает кривая Крицкого-Менкеля, параметры которой вычислены методом моментов (рис. 2). С увеличением площади водосбора «основная» схема даёт лучший результат по критерию надёжности для рек Верхнего Амура и, наоборот, альтернативные кривые для рек бассейна Японского моря имеют относительно лучшие оценки в двух последних градациях площадей водосборов.

Значительно меньше проявляется преимущество «альтернативной» схемы по критерию точности (рис. 3). Для больших площадей водосбора количество наилучших оценок альтернативных кривых снижается в бассейнах Верхнего, Среднего и Нижнего Амура. Для рек бассейна Японского моря наблюдается обратная тенденция: с увеличением площади водосбора лучшие оценки дают альтернативные кривые. Альтернативные кривые имеют наилучшие оценки по

критериям прочности и надёжности независимо от объёма выборки.

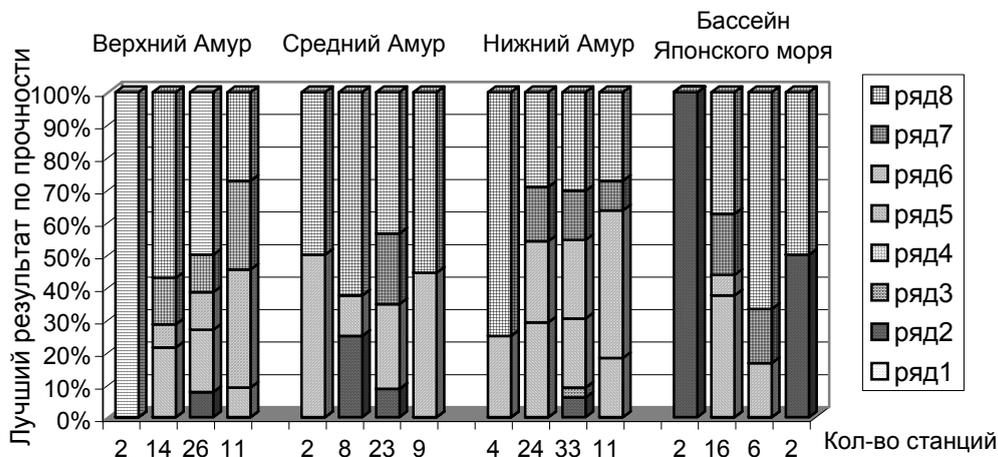


Рис. 1. Гистограмма распределения лучших результатов по критерию прочности для различных площадей водосбора (для каждого бассейна столбики соответствуют $F < 0,1$, $0,1-1$, $1-10$ и $10-100$ тыс. км²): ряд 1, 2 - кривая Пирсона III типа, метод моментов и графоаналитический; ряд 3, 4 - кривая Крицкого-Менкеля, метод моментов и наибольшего правдоподобия; ряд 5, 6 - логнормальное распределение (w) и (s); ряд 7, 8 - распределение С-3 (w) и (s)

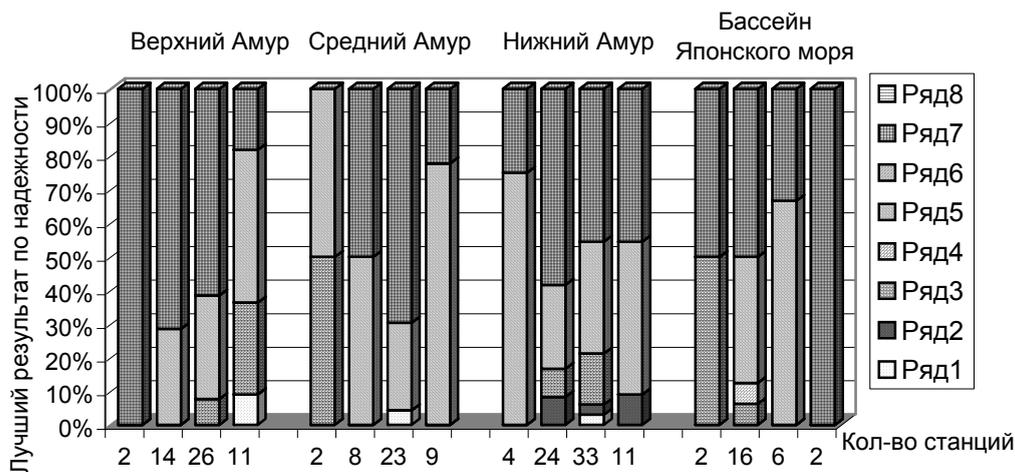


Рис. 2. Гистограмма распределения лучших результатов по критерию надёжности для различных площадей водосбора (условные обозначения см. на рис. 1)

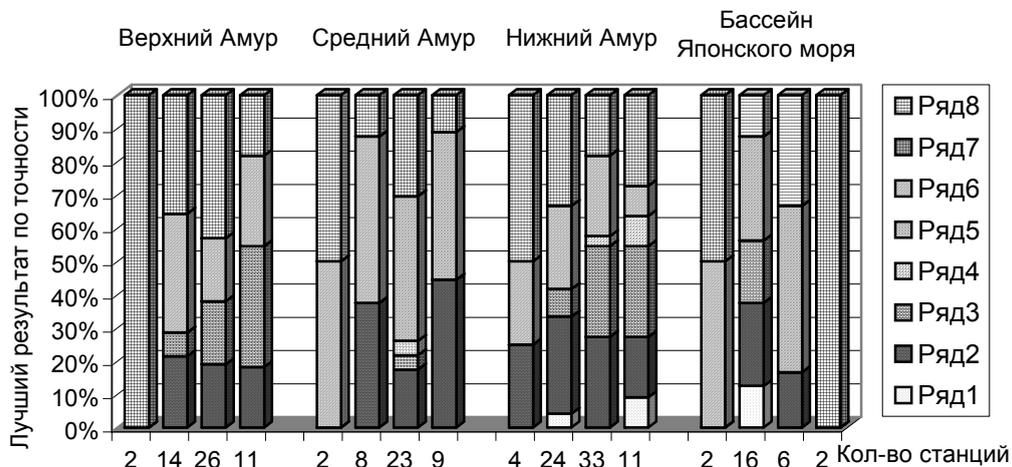


Рис. 3. Гистограмма распределения лучших результатов по критерию точности для различных площадей водосбора (условные обозначения см. на рис. 1)

Расчёты, выполненные для рек Китая, также демонстрируют преимущество альтернативных кривых – на их долю приходятся лучшие оценки по всем трём оценочным критериям (табл. 6). Лучший результат показали кривые Виноградова С-3 по точности и по надёжности и логнормальная кривая – по точности. Оценивая кривые визуально, в 11 случаях для расчёта принимаются логнормальные кривые, в одном случае расчётной кривой является кривая Крицкого-Менкеля (по правдоподобию), в одном случае кривая Виноградова С-3. В ряде случаев оказалось невозможным автоматизированное построение кривых: Пирсона III типа (метод моментов) – 3 случая; Крицкого-Менкеля (метод моментов) – 5 случаев; то же (метод правдоподобия) – 4 случая.

Таблица 6

Распределение лучших оценок (в % от общего числа анализируемых рядов) для рек территории Китая

Оценки	«Основная» схема расчёта				«Альтернативная» схема расчёта			
	Пирсона III типа		Крицкого-Менкеля		Логнормальное		С-3	
	Моментов	Графо-аналит.	Моментов	Правдоподобия	w	S	w	s
Прочность	0	8	0	0	8	15	15	54
Надёжность	0	0	8	0	23	0	69	0
Точность	0	23	15	0	0	46	0	15
<i>В целом по каждой схеме</i>								
Прочность	8				92			
Надёжность	8				92			
Точность	38				62			

Особый интерес представляет нижняя граница аналитических кривых. Физически непротиворечивой является ситуация, когда нижняя граница

аналитического распределения находится между нулём и наименьшим значением наблюдаемых максимальных расходов воды. Кривая Пирсона III типа только лишь в одном частном случае, при $C_s=2C_v$, начинается от нуля. Нижняя граница, как правило, получается выше минимального значения в ряду максимальных значений расходов. При $C_s < 2C_v$, напротив, кривая уходит в область отрицательных значений. Кривая Крицкого-Менкеля всегда стремится к нулю. Это основная причина значительных расхождений с эмпирической кривой в нижней части. Нижняя граница логнормальной кривой всегда ниже наименьшего значения в выборке максимальных расходов (из требований расчётной схемы) и может уходить в область отрицательных значений, а кривые Виноградова С-3 всегда имеют нижний предел равный нулю. Логнормальные кривые (табл. 7) имеют явное преимущество по оценочному критерию *граница* и реже уходят в область отрицательных значений.

Таблица 7

Число случаев попадания оценочного критерия границы в область от нуля до наименьшего значения в ряду максимальных расходов

Бассейн	Общее кол-во станций	Распределение			
		Пирсона III типа		Логнормальное	
		Метод определения параметров			
		Моментов	Графоаналит.	w	s
Верхний Амур	53	3	8	25	32
Средний Амур	42	5	21	23	36
Нижний Амур	72	4	25	32	32
Побережье Японского моря	26	2	5	11	11
Территория КНР	13	0	4	9	10

Выводы

Ведущую роль в формировании максимального стока рек юга ДВ России играют летне-осенние дождевые паводки. Это выражается как в количестве паводочных максимумов, входящих в выборку максимальных годовых расходов воды (их преобладание выявлено для 60-100% гидрологических станций, расположенных в различных макробассейнах, в целом по региону – 83%), так и по абсолютному значению максимального расхода (абсолютный максимум дождевого происхождения отмечен для 43-100% станций по макробассейнам, в целом по региону – 91%).

На основании проведённого анализа исследуемой территории выделено 6 относительно однородных групп рек. Внутри групп выделяются подгруппы по продолжительности наблюдений, т.е. по степени надёжности оценок. Локализация водосборов, для которых максимумы летне-осеннего и весеннего стока близки по величине и имеют самостоятельное значение, приурочена к равнинам – Западно-Приморской, Амуро-Зейско-Буреинской и Эворон-Чукчагирской.

Кроме указанной тенденции прослеживается изменение генезиса максимального стока в меридиональном и широтном направлениях. В меридиональном направлении по мере продвижения вглубь материка и ослабления океанического влияния частота и интенсивность паводков

ослабевают, но на большей части бассейна Амура это проявляется скорее в снижении величин максимального стока, чем в ослаблении ведущей роли дождевых паводков в формировании стока. Лишь на самом западе территории, в бассейне Верхнего Амура, в большей степени начинают играть роль процессы весеннего снеготаяния на водосборах, и в формирование максимального стока обеспечивают как максимумы весеннего половодья, так и максимумы дождевого стока.

Расчёты максимальных расходов воды с использованием наиболее современных данных наблюдений подтверждают теоретические выводы о наибольшей адекватности «альтернативной» схемы, использующей семейство функционально-нормальных кривых и непараметрические методы аппроксимации, по сравнению со схемой СНИП. На альтернативные кривые приходится лучший результат по оценочным критериям надёжности, прочности и границы по сравнению с кривыми, рекомендованными нормативными документами для рек с площадями до 100000 км², за исключением малых рек площадью менее 100 км² в бассейне Японского моря.

Преимущества альтернативной схемы уменьшаются с применением оценочного критерия точности. С увеличением площадей водосборов рек лучшие результаты нередко показывает основная схема расчётов, причём доля таких результатов возрастает до 50-60% для рек с площадью водосбора 10000-100000 км².

Установлено, что результаты сравнения расчётных схем не зависят от объёма инструментальных наблюдений за стоком воды.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (03-05-06499) и NWO (047.014.011)

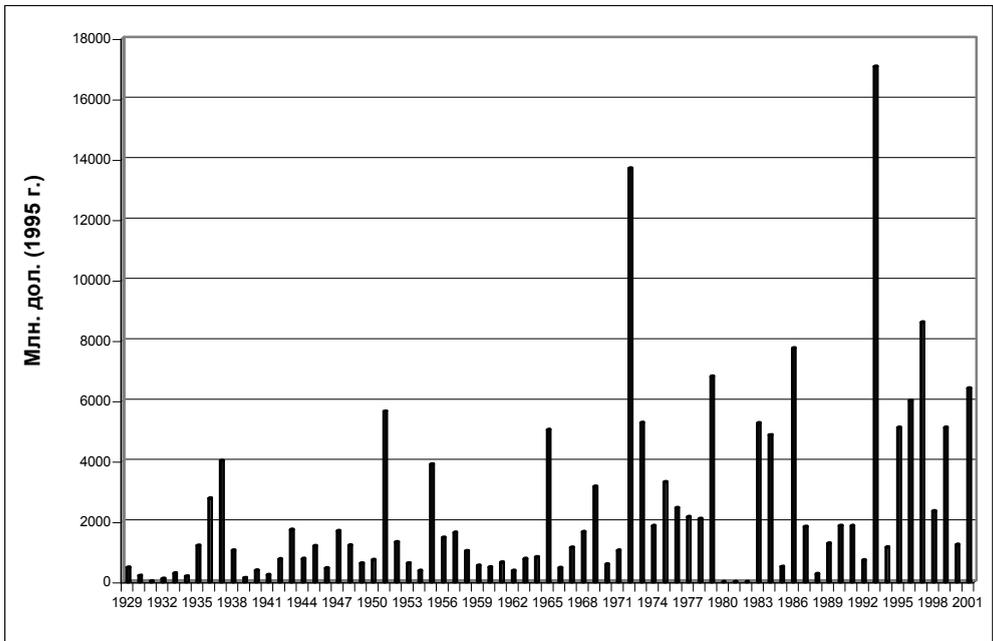
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авякян А.Б., Истомина М.Н. Природные причины наводнений // Энергия, 2001. №4. С. 27-31.
2. Виноградов Ю.В. Математическое моделирование процессов формирования стока. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 365 с.
3. Владимиров А.М. Гидрологические расчёты. Л.: Гидрометеиздат, 1990. 364 с.
4. Гарцман И.Н. К определению расчётных максимальных расходов воды на реках бассейна Амура // Сборник научных работ ДВНИИС. Вып. 4. Владивосток: Приморское книжное из-во, 1963. С. 87-90.
5. Гарцман И.Н. Особенности режима смешанного питания рек юга Дальнего Востока в весенний период половодий // Тр. ДВНИГМИ, 1971. Вып. 35. С. 84-87.
6. Гарцман И.Н. Снежный покров и весеннее половодье на реках Приморского края // Сообщения ДВ филиала Сибирского отделения Академии наук СССР, 1959. Вып.10. С. 199-202.
7. Иванов Е.Г. Исследование внутригодового распределения стока рек Приморского края // Тр. ДВНИГМИ, 1975. Вып. 52. С. 3-15.
8. Корнфорд С.Г. Социально-экономические последствия явлений погоды в 1997 г. // Бюллетень ВМО, 1998. Т. 47. №4. С. 471-489.
9. Корнфорд С.Г. Социально-экономические последствия явлений погоды в 1998 г. // Бюллетень ВМО, 1999. Т. 48. №4. С. 476-499.
10. Писаренко В.Ф., Болгов М.В., Осипова Н.В., Рукавишникова Т.А. Применение теории экстремальных событий в задачах аппроксимации распределений вероятностей максимальных расходов воды // Водные ресурсы, 2002. Т. 29. №6. С.645-657.

-
-
11. Расчёты паводочного стока. Методы расчётов на основе мирового опыта / Под ред. А.А. Соколова, С.Е. Рантца, М. Роша. Л.: Гидрометеиздат, 1978. 304 с.
 12. Раткович Д.Я., Болгов М.В. Стохастические модели колебаний составляющего водного баланса речного бассейна. М.: Институт водных проблем РАН, 1997. 262 с.
 13. Рождественский А.В., Чеботарев А.И. Статистические методы в гидрологии. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 426 с.
 14. Христофоров А.В., Круглова Г.В., Самборский Т.В. Стохастическая модель колебаний речного стока паводочного периода. М.: Из-во МГУ, 1998. 211 с.

ОПАСНЫЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В ПРИМОРСКОМ КРАЕ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ЭКОНОМИКУ

В последнее десятилетие резко участилась повторяемость опасных гидрологических явлений, и, в первую очередь, наводнений. Возросла опасность этих явлений в различных частях земного шара и ущерб от них. Это подтверждается материалами по ущербу от наводнений, собранными за период 1929-2000 гг. и систематизированными Геологической службой США (рис. 1).



**Рис. 1. Ущерб от наводнений в США
(по данным Геологической службы США www.usgs.gov)**

Тяжёлые последствия наводнений связаны не только с природными причинами, но и с хозяйственной деятельностью человека [3]. В России участились экстремальные наводнения, иногда не имеющие аналогов в историческом прошлом, в регионах, традиционно не относимых к наиболее паводкоопасным (заторные наводнения на Лене, наводнения в бассейне р. Кубань). Разовые ущербы от наводнений последних лет в России достигают 5-15 млрд. руб., что в значительной мере обусловлено несовершенством превентивных и оперативных противопаводковых мероприятий.

В Приморье регулярно повторяющиеся наводнения наносят существенный ущерб хозяйству. При этом на преимущественно горной территории края

практически отсутствует возможность снижения ущербов за счёт простого выноса застройки и хозяйственной деятельности из зон затопления. Несмотря на действующую в крае Федеральную целевую программу по защите от наводнений, улучшения ситуации не происходит. Напротив, в последнее время в проблеме наводнений наметились совершенно новые аспекты – снижение качества питьевой воды при паводках, некомпенсируемое очистными мощностями; проявления паводковой опасности при неправильном управлении малыми водохранилищами.

Сведения о наводнениях в Приморском крае систематизированы в справочниках «Ресурсы поверхностных вод» за 1967 г. и 1968-1994 гг., а также в отчётах о НИР ДВНИГМИ [4]. Более поздние обобщённые сведения об опасных гидрологических явлениях в крае автору не известны.

Общепринятой классификации наводнений в настоящее время не существует. При определении интенсивности наводнений в «Ресурсах поверхностных вод» приняты следующие градации:

- ◆ **обычные наводнения** – такие, при которых начинается затопление отдельных строений, сельхозугодий и пахотных земель (без значительных убытков народному хозяйству);
- ◆ **большие наводнения** – при которых затапливаются основные жилые массивы, большие площади сельхозугодий (со значительными и большими убытками);
- ◆ **катастрофические наводнения** – при которых происходит значительное и полное затопление сельхозугодий, населённых пунктов и промышленных предприятий с последующим повреждением или полным разрушением.

Существует классификация наводнений [2], увязанная с классификацией МЧС РФ, которая включает в себя следующие типы наводнений:

- ◆ **среднее весеннее половодье или дождевой паводок** – при вероятности превышения максимального стока (P) в диапазоне от 26 до 40%, которое может привести к незначительному (менее 10%) и непродолжительному (менее суток) затоплению пойменных массивов, используемых под сельское хозяйство;
- ◆ **высокое весеннее половодье или дождевой паводок** – при вероятности превышения максимального стока в диапазоне от 11 до 25%, которое может привести к незначительному (10-25% площади) и непродолжительному (1-3 суток) затоплению населённых пунктов и сельскохозяйственных угодий;
- ◆ **опасное** – весеннее половодье или дождевой паводок с максимальным уровнем или расходом с вероятностью превышения $P=5-10\%$, которое может привести к частичному (25-50% площади) и непродолжительному (от 3 до 7 суток) затоплению населённых пунктов и сельскохозяйственных угодий;
- ◆ **катастрофическое** – весеннее половодье или дождевой паводок с максимальным уровнем или расходом воды с вероятностью превышения $P<5\%$, которое может привести к продолжительному (более 7 суток) и значительному по площади (более 50%) затоплению населённых пунктов.

При классификации наводнений следует осторожно относиться к такому классификационному признаку, как продолжительность затопления. Большая

продолжительность затопления (до двух месяцев и более) отмечается, в основном, на реках Приханкайской низменности и обусловлена особыми гидрологическими и литологическими условиями. Имеются случаи, когда наводнение по обеспеченности максимального стока можно отнести к обычным, а по продолжительности затопления к большим или опасным.

Поэтому в настоящей работе в качестве классификационной характеристики использовалось только значение эмпирической обеспеченности максимального стока:

- ◆ **Большое наводнение** – при обеспеченности максимального стока в диапазоне от 11 до 25%.
- ◆ **Опасное наводнение** – при обеспеченности максимального стока в диапазоне от 5 до 10%.
- ◆ **Катастрофическое наводнение** – при обеспеченности максимального стока менее 5%.

За последние 35 лет (1968-2002 гг.) в Приморье произошло 24 наводнения [6] различных по высоте подъёма уровня воды, охвату территории и экономическому ущербу (рис. 2, 3). Из них 16 были вызваны дождями тайфунного происхождения. Особенность наводнений последних лет – влияние на паводочный режим рек сразу нескольких тайфунов. К таким наводнениям, в частности, можно отнести наводнения 1990, 1994, 2000 гг., когда на край за два месяца выходило 3-4 тайфуна. За рассматриваемый период катастрофическое наводнение 1989 г. стоит первым в ряду максимальных для бассейнов рек Партизанская, Малиновка, Большая Уссурка, верхнего и среднего течения Усури. Катастрофическое наводнение 2000 г. было наиболее значительно в бассейне р. Раздольной. Однако в многолетнем ряду наблюдений катастрофические наводнения последних лет не являются экстремальными. Для многих бассейнов «непревзойдёнными» считаются наводнения 1927, 1931-1932, 1938, 1943, 1950, 1956-1957, 1966-1967 гг. (цв. ил. 3, стр. 196).

Существует несколько причин появления наводнений в Приморье. К одной из основных можно отнести **особенности рельефа Приморского края**. Из-за дефицита пригодных для освоения земель большинство населённых пунктов, промышленных предприятий и сельхозугодий в Приморье находится в зоне затопления. Площадь зоны затопления – 1110 тыс. га, что составляет 7% территории края. Если учесть, что более 80% территории Приморья занимают горы, то оказывается, что в зоне затопления находится половина равнинной территории края, которая и является селитебной и сельскохозяйственной зоной. В целом по Приморью в зоне затопления проживает 212 тыс. человек в 178 населённых пунктах, в том числе и в главных городах края, а также находятся 320 тыс. га сельхозугодий, в том числе 130 тыс. га пашни, 750 км автомобильных дорог.

Помимо отмеченных чисто географических факторов наводнения могут быть вызваны рядом других причин.

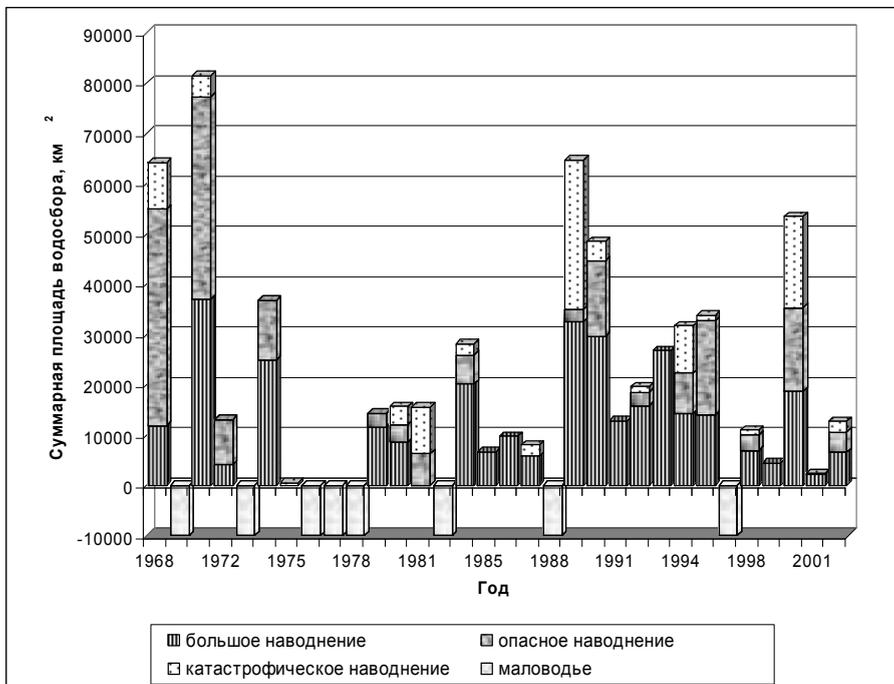


Рис. 2. Суммарная площадь водосборов рек Приморского края, на которых зафиксированы наводнения (дополнительно отмечены годы с маловодьем) в период 1968-2002 гг.

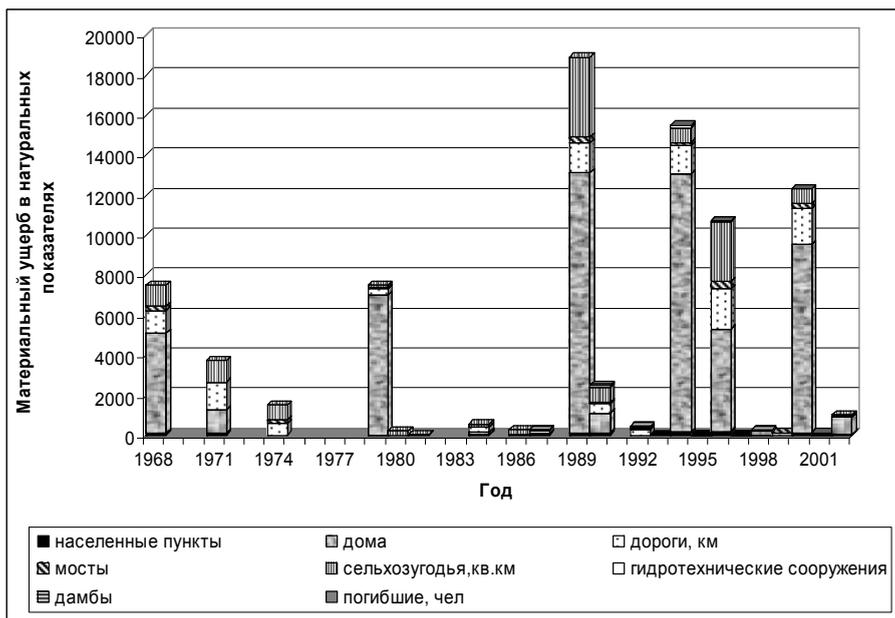


Рис. 3. Учётный ущерб от наводнений по Приморскому краю за 1968-2002 гг.

Метеорологические причины. К ним относятся частые и интенсивные дожди, преимущественно тайфунного происхождения, которые имеют одну особенность – наличие на фоне обширных площадей орошения отдельных ливневых пятен, формирующих катастрофические паводки на отдельных водосборах, либо только в верхнем, среднем или нижнем течении реки. В горных бассейнах такие дожди нарастающим валом скатываются вниз по рекам, сметая всё на своем пути и нанося огромный ущерб хозяйству Приморского края.

Примерами могут служить ливень в августе 2001 г, нанесший огромный ущерб инфраструктуре Владивостока и пригорода и вызвавший на р. Цукановке паводок обеспеченностью в 1%, а также наводнение на реках Казачке и Борисовке в июле 2002 г., во время которого было затоплено и подтоплено более 700 домов в Октябрьском и Уссурийском районах.

Причины, обусловленные русловыми особенностями рек. Здесь рассматриваются сравнительно короткие реки с небольшими площадями водосборов и слабоврезанными руслами и резкие переходы от горных частей бассейнов к равнинным. Уклоны дна русел рек в верховьях достигают 20-40%, а к устьям уменьшаются до 0,01% и менее. Низменные части бассейнов рек обычно отличаются повышенной извилистостью. На таких реках при быстром сбросе воды в верховьях в нижнем течении рек с незначительными уклонами и слабой пропускной способностью волна паводка надолго задерживается, оставляя воду на полях, в сёлах и городах на месяц и более.

Антропогенные причины. Указанные причины имеют всё больший вес в наводнениях последних лет и подразделяются на несколько видов:

- ◆ Антропогенная деятельность на водосборах и, в частности, бесконтрольное сведение лесов, преимущественно в горных частях бассейнов рек, в результате чего уменьшается инфильтрационная способность почв, увеличивается поверхностная составляющая стока и риск затопления.
- ◆ Влияние гидротехнических сооружений. Пропускная способность многочисленных дорожных труб и мостов недостаточна для пропуска паводковых вод, что усугубляет последствия и ущербы от наводнений. Строительство противопаводковых сооружений в Приморье началось в 50-е годы прошлого века при реконструкции первых трёх рисоводческих совхозов. Тогда на реках Приморья было построено свыше 1200 км дамб, защищающих территорию площадью 140 тыс. га. Большая часть дамб была построена в рисосеющей зоне Приханкайской низменности и в бассейне р. Арсеньевки. Дамбы, построенные в 50-е годы, были рассчитаны на пропуск максимальных расходов 5, 10, 25%-ной обеспеченности. Помимо дамб мелиоративного назначения, за последние 25 лет по инициативе местных руководителей в поймах рек было возведено большое количество насыпей, дамб, мостов, причём строительство велось без соответствующих расчётов, а иногда и без проектов [7]. В результате во время паводка 1989 г. было размыто 240 км дамб. Основной причиной разрушения оказался перелив паводочного потока через гребень дамб из-за недостаточной высоты или устройства неорганизованных переездов, либо подмыв основания напорного откоса дамб. Часть дамб (в бассейне Большой Уссурки) по решению чрезвычайной комиссии в 1989 г. была специально разрушена из-за угрозы затопления промышленных предприятий с опасным производством.

Регулирование стока водохранилищами противопаводкового и комплексного назначения в Приморском крае реализовано слабо. В настоящее время большая часть малых водохранилищ представляет опасность для жителей близлежащих сёл, многие из них брошены, разрушаются гидротехнические сооружения, создается угроза прорыва плотин.

Для защиты городских территорий от затопления в Приморье применяется как обвалование рек, так и регулирование русла. Например, во Владивостоке в 1962-1965 гг. по трассам городских речек были построены железобетонные каналы. Однако из-за бесхозяйственного отношения к сооружениям защиты от наводнений (своевременный ремонт каналов, чистка ливневой канализации) они редко в полной мере выполняют свои функции. Об этом свидетельствуют катастрофические последствия ливня 7 августа 2001 г. для инфраструктуры Владивостока.

При достаточной водообеспеченности Приморского края (средняя удельная водность рек Приморья $10,2 \text{ л/с-км}^2$) распределение водных ресурсов по территории края характеризуется ярко выраженной неравномерностью. Наиболее обеспечены водой северные и восточные районы края, на долю которых приходится около 70% стока, формирующегося на территории края. На долю наиболее обжитых и густонаселённых южных и западных районов приходится не более 30% стока. Поэтому, несмотря на существующую со времён освоения края проблему защиты от наводнений, актуальна и проблема нехватки воды.

Маловодье, наблюдавшееся в южных районах края в течение 1997 и первой половины 1998 г., привело к катастрофическому положению с водоснабжением городов Владивосток, Артём и других пунктов южного Приморья. Спад воды в Артёмовском водохранилище начался в третьей декаде июня 1997 г. и продолжался до августа 1998 г. Объём водохранилища уменьшился до 17,5 млн. м³, что составило 15% полезного объёма. Такой низкой отметки не отмечалось за весь период эксплуатации водохранилища с 1978 г. Общее понижение уровня воды в водохранилище составило 13,2 м. Из Пионерского и Богатинского водохранилищ забор воды был полностью прекращён из-за снижения уровня воды до отметки мёртвого объёма. Длительное маловодье наблюдалось также в 1970, 1972, 1976-1978, 1973, 1982, 1985, 1988 гг. на многих реках края, вызывая перебои с водоснабжением населённых пунктов, ухудшение качества воды в водохранилищах и условий для лесосплава на реках.

Степень влияния наводнений на экономику края оценивается наносимым ими ущербом. При этом величина ущербов от наводнений является функцией уровня развития экономики и размеров капиталовложений на её развитие, если оно не сопровождается защитными противопаводковыми мероприятиями. Системного учёта и исследований экономического ущерба от наводнений в XX веке организовано не было. Можно говорить о более стабильном, но не полном учёте ущербов, начиная с 1989 г. В доперестроечный период сведения о количестве погибших и количестве разрушенных гидротехнических сооружений имели ограниченный доступ. Анализ экономического ущерба за 1989-1999 гг. [5] показал, что в этот период ущерб от наводнений варьировал в пределах 0,1-7,7% от объёма валового регионального продукта и в среднегодовом исчислении составил 2,6%. Среди видов хозяйственной деятельности наиболее всего страдают от наводнений сельское хозяйство, автодороги и мосты,

жилищно-коммунальное хозяйство (рис. 3).

Частое затопление освоенных территорий оказывает существенное влияние и на социальное развитие края. Ещё Н.М. Пржевальский, упоминая наводнения 1867 и 1868 гг., отмечал: «Все эти истории повторяются из года в год то в большей, то в меньшей степени, и сильно тормозят развитие земледелия на Усури, отбивая у казаков всякую охоту к труду, который часто не даёт никакого вознаграждения». Во время паводков гибнут люди. Отмечается ухудшение здоровья населения, что не в последнюю очередь связано с простудными заболеваниями, вызванными повышенной сыростью помещений, а также со стрессовыми состояниями, которые испытывают люди во время наводнений.

Несмотря на то, что наводнения стали явлениями глобального масштаба, до настоящего времени отсутствует единая система комплексного учёта ущерба, причинённого ими, а также общепринятая концепция защиты от них. Реализовать такую концепцию можно лишь при условии создания разветвлённой системы противопаводковой защиты, включающей прогнозирование, предупреждение, планирование и проведение мероприятий до, в период и после стихийного бедствия [1]. Для этого необходим комплексный анализ специфики наводнений в ряду других природных бедствий, оценка ущербов и их пространственного распределения в зависимости от интенсивности самих наводнений и степени хозяйственного освоения паводкоопасных территорий.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (03-05-06499) и NWO (047.014.011)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авакян А.Б., Истомина М.Н. Наводнения в мире в последние годы XX в. // Водные ресурсы, 2000. №5. С. 517-523.
2. Доброумов Б.М., Тумановская С.М. Наводнения на реках России: их формирование и районирование // Метеорология и гидрология, 2002. №12. С. 70-78.
3. Клиге Р.К. Современные гидроклиматические изменения // в кн. Глобальные и региональные изменения климата и их природные и социально-экономические последствия. М.: ГЕОС, 2000. С. 3-28.
4. Отчёт о научно-исследовательской работе «Усовершенствовать методы расчётов и прогнозов характеристик катастрофических наводнений на Дальнем Востоке и оценки вызываемого ими ущерба». Владивосток. ДВНИГМИ, 1995. 217 с.
5. Созинов В.А. Экономический ущерб и регулирование хозяйственной деятельности в зонах затопления // Россия в XXI веке: экономика, политика, культура, 2000. №1. С. 72-98.
6. Технические отчёты об опасных гидрологических явлениях за 1968-2002 годы. Владивосток: Приморское межрегиональное территориальное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды.
7. Федеральная целевая программа по защите от наводнений населённых пунктов, ценных и других земель в Приморском крае на 1995-2000 годы (под ред. В.Ф. Балябина и В.П. Амачаева). Владивосток, 1996. 82 с.

*А.А. Богдановский, И.Е. Кочергин, И.А. Аршинов, В.Д. Будаева,
В.Г. Макаров, В.Ф. Мишуков, С.И. Рыбалко, В.П. Тунеголовец*

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ РАЗЛИВОВ НЕФТИ В ЗАЛИВЕ АНИВА И ПРОЛИВЕ ЛАПЕРУЗА

Введение

До настоящего времени развитие нефтегазоносных морских месторождений на Дальнем Востоке проводилось в основном на шельфе северо-восточного побережья о. Сахалин. Для этого района авторами были выполнены оценки потенциальных разливов нефти [1], разработана и реализована система оперативного прогноза поведения нефти [2]. Активная реализация проектов Сахалин-1 и 2 предусматривает многократное увеличение добычи нефти и газа, строительство трубопроводов и новых терминалов для её транспортировки. В этой связи увеличивается риск возникновения аварийных ситуаций, связанных с разливами нефти в морскую среду. В первую очередь это относится к заливу Анива Охотского моря и заливу Чихачева Японского моря, где начинается строительство терминалов и других потенциально опасных объектов нефтегазового комплекса и планируется осуществление танкерных перевозок нефти.

Цель работы – оценка наиболее потенциально опасных мест возможных разливов, анализ статистических характеристик поведения нефти в морской среде, включая вероятность поражения побережья Южного Сахалина и охотоморского побережья о. Хоккайдо. В статье впервые приводятся предварительные результаты моделирования потенциальных разливов для акватории залива Анива и пролива Лаперуза.

Сценарии возможных разливов

По результатам анализа деятельности, связанной с хранением, загрузкой и перевозкой нефти, определено четыре вероятных сценария разливов (табл. 1, рис. 1). Выбранные для моделирования сценарии связаны со столкновениями и авариями танкеров или судна-бункеровщика, последствия которых могут считаться наиболее катастрофическими. Потенциальные разливы в районе пос. Пригородное рассматриваются как возможный результат повышения вероятности аварий при развитии проекта Сахалин-2, связанных с планируемым строительством нефтеперерабатывающего завода и морского терминала. В районе пролива Лаперуза проходят действующие маршруты танкерных перевозок. Этот район характеризуется повышенной опасностью для судоходства, обусловленной интенсивной гидродинамикой и сильными ветрами. Порт Корсаков является одним из основных портов о. Сахалин. Здесь также повышен риск развития аварий вследствие большой интенсивности судоходства. Выделенные районы в Региональном плане ликвидации аварийных разливов нефти рассматриваются как места повышенной опасности. Расчётные объёмы разливаемой нефти для потенциальных разливов при аварии танкеров, определены с учетом требований Постановления правительства РФ №613 от 21.08.2000.

Потенциальные сценарии аварийных разливов нефти в районе залива Анива и пролива Лаперуза

№	Источник разлива	Объём разлива, т	Продолжительность разлива, ч	Тип нефти	Местоположение	Гидрометеорологические условия	Количество просчитанных вариантов
1	авария танкера	5500	0,083	нефть с Пильтун-Астохского месторождения	вблизи пос. Пригородное	климатические условия для ноября и ситуация со слабыми северными ветрами в ноябре	4 трехсуточных траектории с разными начальными фазами прилива, 1 десятисуточная траектория для слабых ветров
2	авария танкера	5500	0,083	нефть с Пильтун-Астохского месторождения	район пролива Лаперуза	климатические условия для ноября	4 трехсуточных траектории с разными начальными фазами прилива
3	авария судна	300	1	мазут, дизельное топливо	акватория порта Корсаков	летние, осенние и зимние типовые условия	14 шестисуточных траекторий для типовых ветровых ситуаций, 1 траектория для экстремально сильного ветра
4	авария танкера	3000	6	нефть с Чайво месторождения	район пролива Лаперуза	летние, осенние и зимние типовые условия	16 шестисуточных траекторий для типовых ветровых ситуаций, 1 траектория для экстремально сильного ветра

гидрометеорологических условий при проведении траекторного и физико-химического моделирования разливов нефти.

Построение типовых полей ветра осуществлялось на основе данных пяти прибрежных ГМС (м. Крильон, Новиково, Бухта Лососей, Корсаков и Кирилово) за 15-ти летний период и данных ретроспективного анализа по приводному ветру (NCEP NOAA). Точки расположения ГМС и узлов сетки реанализа показаны на рис. 1. На первом этапе проводилось выделение типовых ветровых ситуаций на основе таблицы повторяемости, построенной для ближайшей к точке разлива ГМС (цв. ил. 4, стр. 197). Для указанных в табл. 1 сценариев разливов – это ГМС Корсаков (сценарии №1 и 3) и ГМС Крильон (сценарии №2, 4).

Для ГМС Корсаков в летний период наиболее вероятны южные ветры, хотя также высокую вероятность имеют ветры восточного и северо-восточного направлений. Средняя скорость ветра составляет 4 м/с, максимальные наблюдаемые скорости ветра достигают 20 м/с и характерны для ветров восточного и юго-западного румбов. Осенью в районе п. Корсаков преобладающими становятся западные ветры, однако в розе ветров выражены также южная и северная мода. Средняя скорость ветра осенью составляет 5 м/с, максимальные скорости достигают 28 м/с и наблюдались при ЮВ, З, СЗ ветрах. В зимний период преобладающим является северный ветер, средняя скорость которого 4 м/с, а максимальные скорости могут составлять 24 м/с. Для района мыса Крильон в летний период ветры восточных и западных румбов примерно равновероятны, средняя скорость ветра – 6 м/с. В осенний период преобладающими ветрами являются западные ветры со средней скоростью 9 м/с. В зимний период ветры примерно с одинаковой вероятностью могут дуть с З, СЗ, С, СВ и В. Средняя скорость зимой – 9 м/с. Максимальные скорости ветра, зарегистрированные на ГМС Крильон достигали 40 м/с и наблюдались как в летний, осенний и зимний периоды.

Типизация ветров в районе ГМС Корсаков и Крильон проводилась путём объединения градаций таблицы повторяемости по направлениям и скорости, с учётом климатических особенностей района, влияния приводного ветра на формирование поверхностных течений, высокой повторяемости ситуации, специфики переноса нефтяного загрязнения и экспертных оценок (табл. 2). Кроме типовых ветровых ситуаций, были выделены случаи с экстремально высокими скоростями ветра редкой повторяемости.

Для каждой выделенной ветровой ситуации в исходных рядах (данные по ГМС и реанализа) производилась выборка синхронных данных по ветру и рассчитывались средние вектора в каждой точке. Затем производилась интерполяция данных по ветру в узлы регулярной расчётной сетки.

На основе гидродинамических расчетов в рамках линейной бароклинной модели экмановского типа [3] с усвоением полученных полей ветра были построены диагностические схемы течений. При реконструкции полей плотности использовались исторические массивы океанографических данных из Регионального центра океанографических данных (РЦОД) ДВНИГМИ за период с 1948–1992 гг. и данные гидрологических съёмки в заливе Анива, проведённых СахНИРО в 2002 г. На рис. 2 приведены примеры расчёта скоростей непривливаемых течений в исследуемом районе для разных ветров.

Пример таблицы повторяемости ветра (%) с выделенными ситуациями для моделирования

Градации	зимний период						летний период						осенний период											
	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
штиль	7						10 ⁽¹⁾						6											
1-4 м/с	43 ⁽¹⁾		8 ⁽³⁾	0,5	1,2	0,4	10 ⁽⁴⁾		24 ⁽²⁾		4	19 ⁽⁴⁾		15 ⁽⁶⁾		1,6	31 ⁽⁵⁾			1,4	16 ⁽¹⁾		14 ⁽²⁾	
5-9 м/с	24 ⁽²⁾			0,2	1,1	0,8		10 ⁽⁴⁾		12 ⁽³⁾		0,8	11 ⁽⁵⁾		0,3				1,2		3,8		18 ⁽³⁾	2,3
10-14 м/с		0,4		0,1	0,1		1,8		0,2	0,2	0,5		0,3		0,2	0,6	0,5	1,0	0,4	0,9	1,2		0,3	
15-19 м/с	0,3	0,3	0,2				0,2				0,1							0,1				0,1		0,1
20-24 м/с	0,1	0,1	0,1								0,1												0,4 ⁽⁴⁾	
25-29 м/с																								

Примечание:

ветровые ситуации, по которым проводится моделирование нефти, обозначены серой заливкой;

ветровая ситуация (4) для осеннего периода не является типичной и выбрана для оценки поведения нефти при экстремально высоких скоростях ветра;

в скобках указаны номера ситуаций, ниже даны их названия:

	зимний период	летний период	осенний период
(1)	слабые СЗ-С-СВ ветры	(1) штиль	(1) слабые, умеренные Ю ветры
(2)	умеренные, сильные СЗ-С-СВ ветры	(2) слабые С-СВ-В ветры	(2) слабые ЮЗ-З-СЗ ветры
(3)	слабые, умеренные В ветры	(3) умеренные С-СВ-В ветры	(3) умеренные, сильные З ветры
(4)	слабые, умеренные З ветры	(4) слабые Ю ветры	(4) экстремально сильные З ветра
		(5) умеренные Ю ветры	(5) слабые, умеренные С-СВ-В ветры
		(6) слабые, умеренные ЮЗ-Ю ветры	

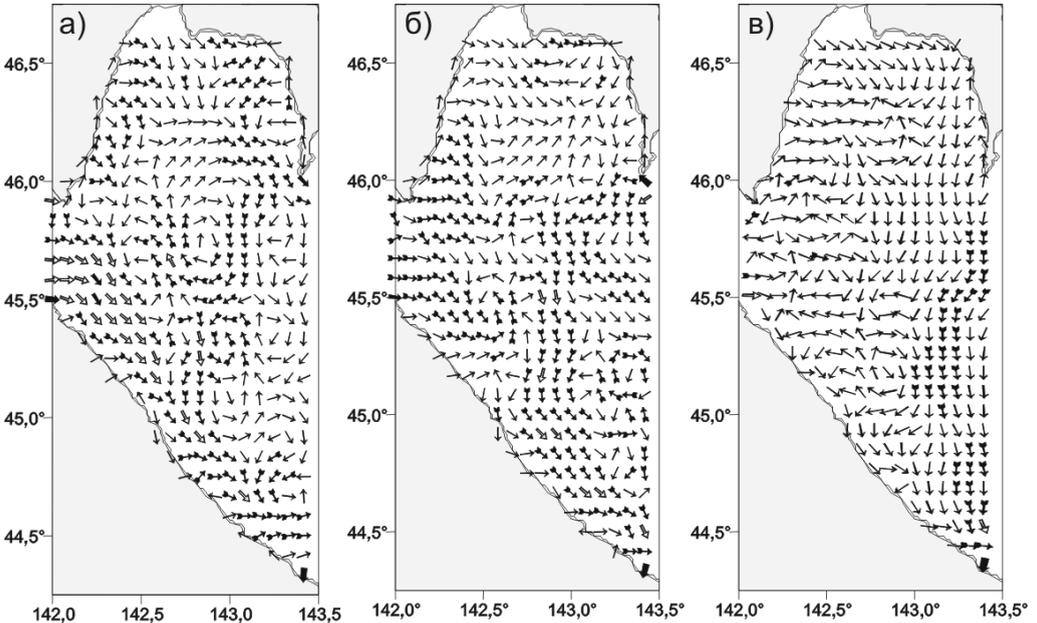


Рис. 2. Пример расчётных неприливных схем течений для разных ветровых ситуаций (а) – слабые С-СВ ветры, лето; (б) – сильные ЮЗ-З-СЗ ветры, осень; (в) – слабые умеренные С ветры, зима

Расчёт полей приливных течений производился на основе выделения гармонических постоянных из рядов инструментальных наблюдений за

скоростью и направлением течений и дальнейшей интерполяции гармонических постоянных на регулярную расчётную сетку с учетом пространственной изменчивости амплитуды и фазы по 6 основным гармоникам (K1, M2, O1, P1, Q1, S2).

Используемые модели

Моделирование поведения разливов нефти в морской среде проводилось с помощью модели VOS 3, разработанной в ДВНИГМИ [1]. Выходные результаты содержат траектории перемещения нефтяного разлива с указанием положения пятна по времени (цв. ил. 5-7, стр. 198-199), площади пятна, толщины, параметры взаимодействия с берегом и другие характеристики пятна. Моделирование включает расчёт физико-химических процессов в нефтяном пятне: испарение, диспергирование, эмульгирование и др. (цв. ил. 8, стр. 200, рис. 3). Эти расчеты проводились с помощью модели, разработанной в ТОИ ДВО РАН [5] и ADIOS II, разработанной в NOAA и MMS.

Проведённое моделирование позволяет оценить наиболее вероятные направления движения нефти в рассматриваемых точках разливов для лета, осени и зимы (в последнем случае рассматривались ситуации с отсутствием ледяного поля).

Результаты

По результатам моделирования для статистически значимых ситуаций сделаны следующие оценки. Летом при разливе в северной части залива Анива (сценарии 1, 3 в табл. 1) нефтяное пятно будет выноситься преимущественно в открытое море на юг (вероятность более 60%), хотя и существует вероятность выхода на берег при ветрах южных румбов (около 30%). Осенью нефть будет дрейфовать в восточном направлении, благодаря западным ветрам (более 30%) или выноситься на юг, под воздействием ветров северных румбов (около 30%), существует вероятность выхода на берег в северной части залива при южных ветрах (около 15%). В зимний период все рассмотренные г/м ситуации демонстрируют перенос нефти в южном (75%) и юго-восточном направлениях (10%). При моделировании разливов в северной части залива Анива фаза прилива в момент разлива не имеет здесь особого значения, поскольку скорости приливных течений малы.

Анализ расчётов потенциальных разливов нефти и нефтепродуктов в районе пролива Лаперуза (сценарии 2, 4 в табл. 1) показал, что летом нефтяное пятно будет распространяться преимущественно в восточном направлении. Следует также отметить высокую вероятность переноса нефти вдоль охотоморского побережья о. Хоккайдо и её вынос непосредственно на берег. В 35% случаев нефтяное пятно может попасть в южный сектор залива Анива. Осенью в 30% случаев нефть может выноситься в западном направлении, т. е. попадать в Японское море, в 60% случаев нефть переносится на восток, однако, в отличие от летних условий, нефть за 6 суток не попадает в прибрежную зону о. Хоккайдо, и только в 9% случаев она может попасть в южный сектор залива Анива, в остальных случаях нефть переносится в восточном направлении. В зимний период около 35% случаев ведут к выносу нефти в Японское море, в остальных случаях нефть переносится на юго-восток параллельно побережью о. Хоккайдо. Следует отметить, что в районе пролива Лаперуза фаза прилива в

момент разлива имеет большое значение, особенно это необходимо учитывать при разработке планов реагирования на разливы, так как скорости приливных течений здесь могут превышать 2 м/с как в восточном, так и в западном направлениях.

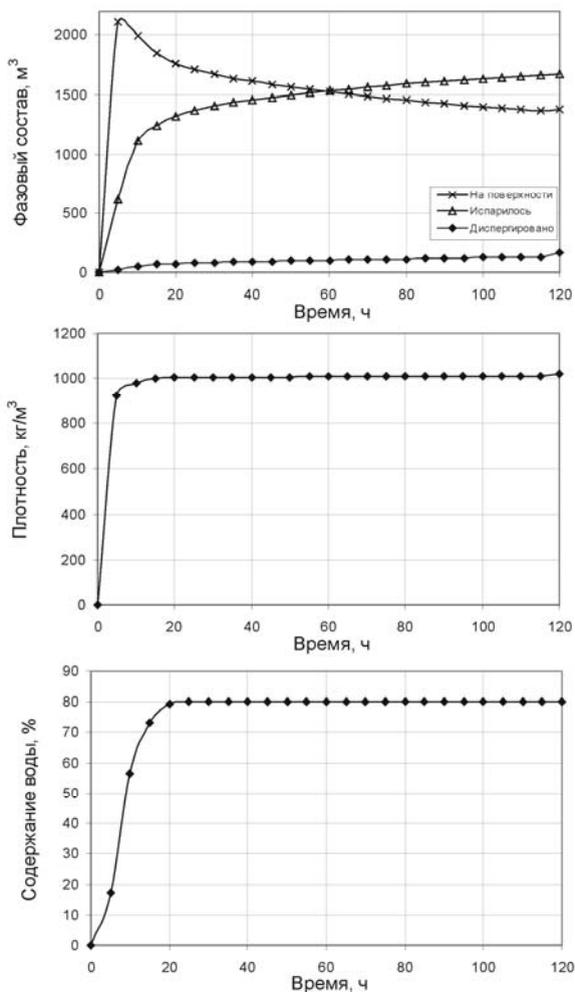


Рис. 3. Пример результатов расчётов физико-химических процессов в нефтяном пятне в морской среде по модели NOAA ADIOS II. Сценарий №4. Летние климатические условия

В настоящей статье приводится лишь предварительный анализ статистических характеристик поведения возможных разливов нефти в заливе Анива и проливе Лаперуза. Значимые статистические величины могут быть получены только на основе результатов комплексного моделирования, с построением и анализом до 1000 и более траекторий, с учетом реальных погодных условий и модельных течений за период не менее 10 лет.

Авторы благодарны: СахНИРО (Г.В. Шевченко), ООО ЭКС (В.Ф. Путову) за

предоставленные океанографические данные в заливе Анива, ЗАО ЦНИИМФ за финансовую поддержку работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кочергин И.Е., Богдановский А.А., Будаева В.Д., Варламов С.М., Дашко Н.А., Макаров В.Г., Путов В.Ф., Рыбалко С.И. Построение гидрометеорологических сценариев для задач оценки воздействия на окружающую среду // Тематический вып. ДВНИГМИ №3. Владивосток: Дальнаука, 2000. С. 223-240.
2. Bogdanovsky A.A., Kochergin I.E., Budaeva V.D., Makarov V.G., Mishukov V.F., Putov V.F., Rybalko S.I., Uraevsky E.P. On-Line Modeling Technique for the Oil Spill Fate as Applied to the Northeastern Sakhalin Shelf (the First Internet Version) Proceedings of CREAMS'2000 International Symposium // Oceanography of the Japan Sea. Vladivostok: Dalnauka, 2001. P. 86-93.
3. Budaeva V.D., Makarov V.G. Peculiar water regime of currents in the area of Eastern Sakhalin shelf // Proceeding of the Second PICES Workshop on the Okhotsk Sea and Adjacent Areas. №12, 1999. P. 131-138.
4. Kochergin I.E., Bogdanovsky A.A., Mishukov V.F. & Putov V.F. Oil spill scenario modeling for Sakhalin shelf // Proceedings of WITpress "Oil and Hydrocarbon Spills II", 2000. 39-50 pp.
5. Michoukov V., Abramova O. Experimental Study of Oil Degradation in the Sea of Okhotsk. // Proceedings of International Marine Science Symposium on "Biogeochemical Processes in the North Pacific" (1996), Mutsu, Japan, November 12-14, 1996, Published by Japan Marine Science Foundation, Tokyo, March, 1997. P. 376-391.

ОЦЕНКА РОЛИ ДИНАМИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ В ПЕРЕНОСЕ И РАСПРЕДЕЛЕНИИ ПРИМЕСИ В АНАДЫРСКОМ ЗАЛИВЕ НА ОСНОВЕ ЧИСЛЕННОЙ МОДЕЛИ

Введение

Прибрежные акватории являются приёмными бассейнами как непосредственно сбрасываемых в море, так и поступающих сюда с речным стоком промышленных и бытовых твёрдых примесей. В связи с этим, проблема оценки экологического состояния и разработки методологии охраны таких акваторий от загрязняющих веществ в настоящее время приобрела особую актуальность.

Для успешного решения поставленных вопросов необходимы знания закономерностей распределения взвеси с различными количественными и размерными характеристиками, особенно в областях смешения речных и морских вод. Здесь формируются барьерные зоны с высокими значениями гидрофизических, гидрохимических и гидробиологических параметров, функционирование которых приводит к коренным изменениям структуры взвеси.

Исследованиями в эстуариях крупнейших рек Востока Азии [6, 28], находящихся под воздействием муссонной атмосферной циркуляции, выявлены значительные пространственно-временные вариации переноса взвеси. Показано, что определяющую роль в изменении динамики поведения и структуры взвесенесущего потока играют процессы синоптических масштабов [2, 3].

Объектом изучения в настоящей работе был выбран Анадырский залив (рис. 1), северо-западная часть которого является приёмным бассейном стока реки Анадырь – одной из крупнейших в бассейне Берингова моря. Значительный размер залива при относительной мелководности и наличии крупного эстуария, включающего залив Онемен, Анадырский лиман и непосредственно Анадырский залив, оказывают существенное влияние на гидродинамические и литодинамические процессы. По данным [12, 14], в поверхностных водах Анадырского залива отмечаются максимальные для всей западной части Берингова моря величины взвешенного материала, что объясняется «вспышкой» цветения диатомных водорослей и поступлением речной взвеси с водами р. Анадырь. Предполагается, что вынос поверхностных вод залива, обогащённых взвешенным органическим веществом, может служить источником их поступления в прибрежные воды западной части моря. Натурными наблюдениями, осуществлёнными во время комплексных океанографических работ в июне 1992 г. (НИС «Академик А. Несмеянов») и в сентябре 2000 г. (ГС «Николай Коломийцев»), выявлены резкие отличия в содержании взвеси между Анадырским лиманом и одноимённым заливом. При содержании взвеси в лимане в период весенне-летнего половодья до 80 мг/л (июнь) в шлейфе стоковых вод в Анадырском заливе оно оказалось на порядок ниже и не превышало 7 мг/л, а в начале осенней межени (сентябрь) максимальные

значения составляли 2 мг/л. Таким образом, лишь 5% от среднегодового объёма взвешенного стока р. Анадырь (3,1 млн. т) транспортируется в Анадырский залив, тогда как оставшаяся часть не достигает его [2, 9].

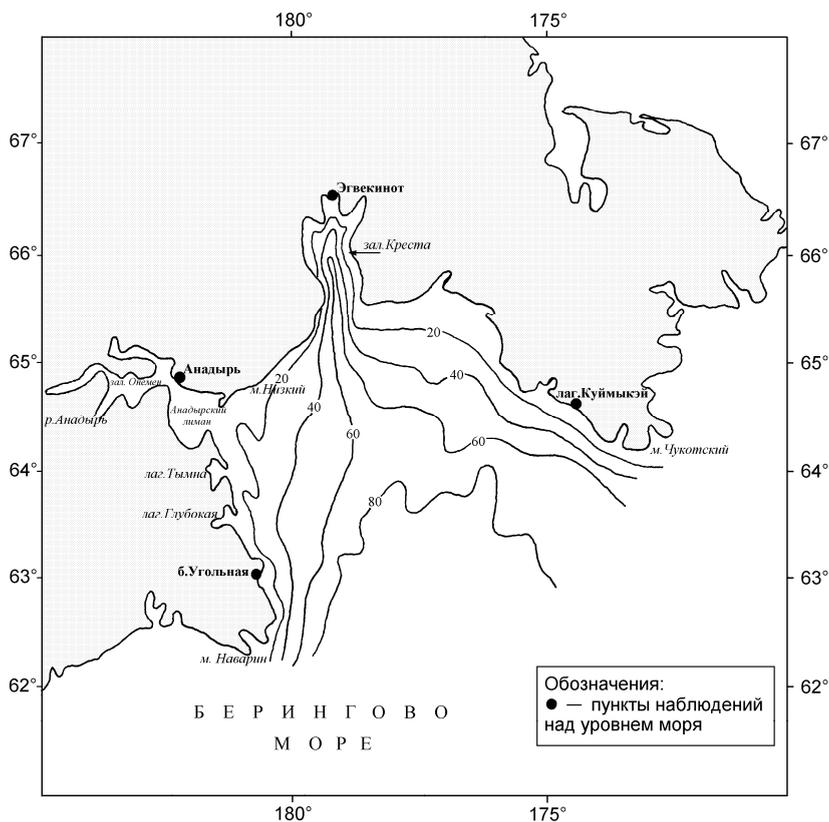


Рис. 1. Район исследований (Анадырский залив)

Слабая изученность пространственно-временной изменчивости распределения взвеси в Анадырском заливе в настоящее время не позволяет получить полное представление о динамике поступающего с речным стоком вещества. Цель настоящей работы – анализ распределения взвеси в Анадырском заливе при различных синоптических условиях и объёмах стока р. Анадырь на основе численной гидродинамической модели.

Постановка задачи

Расчёт распределения речной взвеси проводился по осреднённому по вертикали уравнению турбулентной диффузии [19, 20]:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + U \frac{\partial C}{\partial x} + V \frac{\partial C}{\partial y} = K \left(\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} \right), \quad (1)$$

где C – средняя по глубине концентрация взвеси, мг/л;

U, V – компоненты проинтегрированных по вертикали скоростей течений (полных потоков);

K – коэффициент горизонтальной турбулентной диффузии.

Уравнение решалось методом расщепления посредством введения дробных шагов для усиления устойчивости разностной схемы [10, 18, 19]. Разностная аппроксимация системы на дробных шагах для уравнения (1) выполнялась по явной схеме с центральными разностями для пространственных и временных производных.

В начальный момент времени концентрация принималась равной нулю во всех узлах сеточной области кроме источника. На твёрдых границах концентрация также равна нулю. В качестве источника поступления в залив взвеси рассматривалась р. Анадырь. Источник задавался величиной расхода реки в 2 узлах сеточной области, расположенных в Анадырском лимане и непосредственно примыкающих к устью реки. Расходы р. Анадырь выбирались по данным Гидрологических ежегодников [7] для двух ближайших к устью пунктов наблюдений: совхоз Снежный и р. Утесики.

Временной шаг при расчёте распределения примеси определялся исходя из двух критериев устойчивости конечно-разностной схемы:

$$\frac{4\Delta t K}{h^2} < 1 \text{ и } \frac{\Delta t}{h} (|U| + |V|) < 1, \quad (2)$$

где h – пространственный шаг, м;

Δt – шаг по времени, с.

Коэффициент турбулентной диффузии оценивался исходя из выражения [24]:

$$K = 1,16h / 2. \quad (3)$$

При заданном пространственном шаге оптимальная для расчётов величина K была принята равной $5,8 \cdot 10^5 \text{ см}^2/\text{с}$.

При расчётах учитывалось пошаговое уменьшение концентрации примеси за счёт осаждения частиц на дно в каждой точке расчётной сетки согласно выражению:

$$C_o = CW_n \Delta t / H, \quad (4)$$

где C – концентрация взвеси, мг/л;

C_o – концентрация осевших частиц, мг/л;

W_n – скорость осаждения частиц, м/с;

H – глубина места, м.

Скорость осаждения как функция от размера частиц примеси рассчитывалась по формуле Стокса:

$$W_n = 2r^2 g (\rho_s - \rho_a) / 9\eta, \quad (5)$$

где r – размер частиц, мм;
 g – ускорение свободного падения;
 η – вязкость (принята равной 0,012 г/см·с);
 $\rho_ч$ – плотность частиц (2,6 г/см³);
 $\rho_в$ – плотность воды (1 г/см³).

Численные эксперименты выполнялись для трёх фракций взвеси: крупных (размеры частиц 0,05-0,01 мм), средних (размеры частиц 0,01-0,005 мм) и мелких (размеры частиц <0,005 мм). Вычисленные скорости осаждения равны 0,007, 0,00029 и 0,000011 см/с, соответственно.

Для определения компонент полных потоков U и V , входящих в уравнение (1), решались проинтегрированные по вертикали линеаризованные уравнения мелкой воды [4, 5]:

$$\frac{\partial \xi}{\partial t} + \frac{\partial(UH)}{\partial x} - \frac{\partial(VH)}{\partial y} = 0, \quad (6)$$

$$\frac{\partial U}{\partial t} = f \cdot v - \frac{1}{\rho_w} \cdot \frac{\partial P_a}{\partial x} - g \frac{\partial \xi}{\partial x} - \frac{\tau^S x - \tau^B x}{\rho_w \cdot H}, \quad (7)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} = f \cdot u - \frac{1}{\rho_w} \cdot \frac{\partial P_a}{\partial y} - g \frac{\partial \xi}{\partial y} - \frac{\tau^S y - \tau^B y}{\rho_w \cdot H}, \quad (8)$$

где U, V – осреднённые по вертикали составляющие скорости течения по оси X и Y ;

t – время, с;

ξ – возвышение поверхности моря над средним уровнем, м;

f – параметр Кориолиса, $f = 2\omega \sin \varphi$ (ω – угловая скорость вращения Земли, φ – широта места);

P_a – приземное атмосферное давление, гПа;

H – полная глубина, $H = \xi + R$ (R – глубина моря при невозмущённом состоянии), м;

$\tau^S x$ и $\tau^S y$ – составляющие касательного напряжения ветра на поверхности моря;

$\tau^B x$ и $\tau^B y$ – составляющие придонного трения;

ρ_w – плотность морской воды, г/м³;

g – ускорение свободного падения.

Расчёты выполнялись, в основном, для средних метеорологических условий. При таких условиях перепады атмосферного давления над акваторией залива незначительны, в связи с чем членами, учитывающими его пространственные изменения, можно пренебречь.

Трение на поверхности задавалось в виде общепринятой квадратичной зависимости касательного напряжения ветра от его скорости [23, 24]:

$$\tau^S x = \lambda W_x \sqrt{W_x^2 + W_y^2}, \quad \tau^S y = \lambda W_y \sqrt{W_x^2 + W_y^2}, \quad (9)$$

где λ – коэффициент поверхностного трения;
 W_x, W_y – составляющие скорости ветра, м/с.

Трение на дне выражалось в виде:

$$\tau^B x = \rho_w r U \sqrt{U^2 + V^2}, \quad \tau^B y = \rho_w r V \sqrt{U^2 + V^2}, \quad (10)$$

где r – коэффициент придонного трения.

Величина коэффициента поверхностного трения принималась равной $3,2 \cdot 10^{-3}$, которая наиболее часто используется при решении такого рода задач [23-25, 26].

Уровень моря и составляющие скорости течения в начальный момент времени принимались нулевыми. На твёрдой границе (берег) составляющие скорости потока по нормали к берегу принимались равными нулю. Жидкая граница области расчёта расположена в южной части залива между м. Наварин и м. Чукотский. На ней использовалась суперпозиция двух условий.

1) Условие излучения [22, 25, 27]:

$$\xi_{\bar{A}} = \pm U \{V\} \sqrt{H_{\bar{A}}/g} \quad (11)$$

где $U\{V\}$ – составляющая скорости течения в зависимости от узла расчётной сетки, м/с.

2) Приливо-отливные колебания на «жидкой» границе задавались по известной формуле:

$$\xi_{iB} = \sum_{i=1}^N F_i X_i \cos[q_i t + (v_0 + u)_i - G_i], \quad (12)$$

где F – редуцированный множитель i -той волны;
 X – средняя полуамплитуда приливного уровня;
 G – угол положения (фаза) волны;
 Q – угловая скорость волны;
 t – время, с;
 $(v_0 + u)$ – начальный астрономический аргумент волны.

Предвычисления выполнялись для 8 основных волн прилива: $M_2, S_2, N_2, K_2, K_1, O_1, P_1, Q_1$. Гармонические постоянные волн X_i и G_i выбирались для наиболее близко расположенных к жидкой границе пунктов б. Угольная и лагуна Куймыкэй (рис. 1). Далее производилась интерполяция гармонических постоянных каждой волны между пунктами для всех точек расчёта уровня на жидкой границе.

Численная аппроксимация уравнений (6-8) выполнялась по явной схеме с центральными разностями для пространственных и временных производных [13, 15, 17, 23]. Пространственный шаг расчётной сетки составлял 10 км. Шаг по

времени при решении уравнений мелкой воды определялся критерием устойчивости Куранта – Фридрихса – Леви [23, 24]:

$$2\Delta t \leq 2h / \sqrt{2gH_{\max}}, \quad (13)$$

где H_{\max} – максимальная глубина исследуемого района, м.

В связи с отсутствием надёжных данных по течениям верификация модельных расчётов по уравнениям мелкой воды выполнялась посредством сравнения непериодических колебаний уровня, наблюдаемых на береговых станциях (б. Угольная, Анадырь и Эгвекино, рис. 1) и вычисленных для нескольких экстремальных штормовых периодов. Поскольку поля уровня и течений неразрывно связаны друг с другом, удовлетворительные расчёты колебаний уровня моря на побережье могут косвенно свидетельствовать о достоверности численной реконструкции полей течений. В этом плане представляет интерес рис. 2, на котором представлены наблюдаемые и модельные непериодические колебания уровня. Для оценки качества расчётов использовались следующие характеристики [1, 11, 16]:

- ♦ средняя ошибка расчёта

$$\Delta = 1/N \sum_{i=1}^N (\xi_i^H - \xi_i^P); \quad (14)$$

- ♦ средняя абсолютная ошибка расчёта

$$|\Delta| = 1/N \sum_{i=1}^N (\xi_i^H - \xi_i^P); \quad (15)$$

- ♦ средняя квадратическая погрешность расчётов

$$S = \sqrt{\sum_{i=1}^N (\xi_i^H - \xi_i^P)^2 / N - 1}; \quad (16)$$

- ♦ параметр качества расчёта

$$\varepsilon = S / \sigma; \quad (17)$$

- ♦ коэффициент корреляции r между ξ_i^H и ξ_i^P ;

- ♦ ошибка определения высот максимумов

$$\Delta \xi = \xi_{\max}^H - \xi_{\max}^P; \quad (18)$$

- ♦ ошибка по времени наступления максимума

$$\Delta t = t_{\max}^H - t_{\max}^P; \quad (19)$$

В выражениях (14-19) приняты следующие обозначения:

ξ_i – ежечасные значения уровня моря, см;

N – число ежечасных уровней, использованное для сравнения;

σ – среднее квадратическое отклонение наблюдаемого ряда уровня;

n, p – наблюдаемые и рассчитанные характеристики.

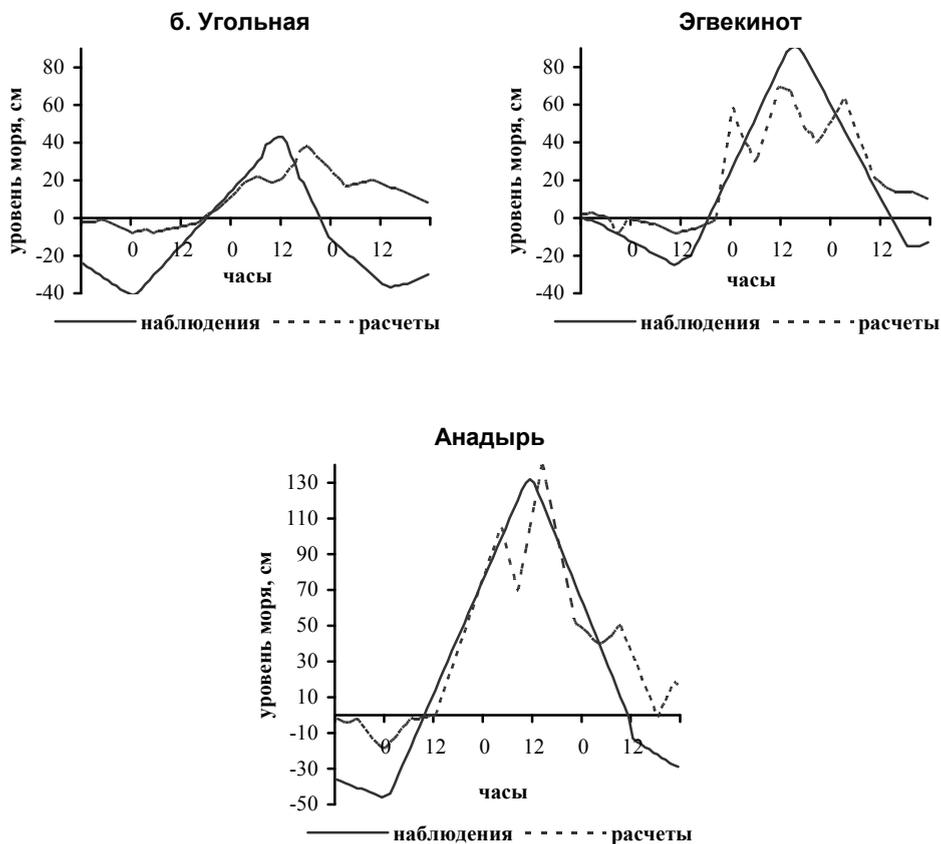


Рис. 2. Наблюденные и рассчитанные неперIODические колебания уровня в пунктах побережья Анадырского залива 17-19 ноября 1982 г.

Для вычисления перечисленных характеристик использовались только отклонения уровня, превышающие 10 см (табл. 1).

Существенные расхождения между наблюденными и рассчитанными максимумами уровней были получены только за период 12-14 ноября 1982 г. в Анадыре. Исключая этот случай, верификация показала удовлетворительное совпадение максимумов уровня (средняя ошибка не превышает ± 11 см).

Обнаруживается хорошее совпадение моментов наступления максимумов (в среднем Δt не превышает $\pm 2-3$ ч). Согласно [11], в практике морских гидрологических расчётов результаты можно отнести к удовлетворительным в том случае, если $\varepsilon \leq 0,67$ при $N > 25$. Исходя из такого критерия качества, модельные расчёты уровня в целом можно считать удовлетворительными.

Характеристики качества расчётов неперiodических колебаний уровня

Пункт сравнения	Период сравнения	Наблюдённый максимум, см	Расчитанный максимум, см	N	Δ , см	$ \Delta $, см	S, см	$\Delta\xi$, см	Δt , ч	r	ε
Анадырь	12-14.11.1965	118	70	28	20,0	22,2	29,4	48	2	0,80	0,43
Анадырь	22-25.11.1965	108	133	33	-8,0	18,3	23,7	-25	-3	0,80	0,34
Эгвекинот	22-27.01.1969	124	122	104	22,5	23,1	29,3	2	2	0,81	0,56
Эгвекинот	17-20.03.1971	88	90	61	30,7	30,9	37,2	-2	1	0,66	0,63
Эгвекинот	18-21.11.1975	83	73	61	13,5	17,2	22,1	10	5	0,62	0,47
б. Угольная	08-11.11.1978	78	53	43	10,0	15,9	18,9	25	0	0,81	0,36
б. Угольная	19-22.01.1979	75	73	98	-1,8	5,3	6,4	2	1	0,96	0,19
Анадырь	17-20.11.1982	132	143	40	5,4	22,7	28,6	-11	-4	0,75	0,35
Эгвекинот		91	65	37	-0,2	17,8	22,3	26	5	0,66	0,42

Сведения о течениях имеются лишь по одной суточной станции, выполненной на НИС «Академик А. Несмеянов» 28-29 июня 1992 г. [2]. Однако вследствие того, что наблюдения выполнялись только на поверхности и вблизи дна, а результатом модельных расчётов являются проинтегрированные по глубине течения, их непосредственное сравнение затруднительно. Тем не менее, при осреднении по вертикали геометрическим способом векторов наблюдённых течений обнаруживается хорошее соответствие суточного хода фактических и модельных скоростей при некоторых различиях в направлении течений, которые, вероятно, связаны с осреднением натуральных данных всего по двум горизонтам

Результаты верификации колебаний уровня и течений позволяют сделать вывод о применимости предлагаемой модели для расчёта транспорта речного взвешенного вещества.

Результаты и обсуждение

Расчёты производились только для безлёдного периода, поскольку ледовый покров препятствует воздействию ветра на водную поверхность и не позволяет проследить влияние синоптических процессов на циркуляцию вод и распределение взвеси в заливе. Кроме того, в летние месяцы наблюдаются максимальные величины стока р. Анадырь (до 85% годового объёма, табл. 2), которым соответствует максимальный объём взвеси, транспортируемой из устья реки.

Таблица 2

Среднегодовое ежемесячные (Q_{cp}) и максимальные ($Q_{cp, макс.}$) расходы и средний месячный объём стока (W) р. Анадырь (период осреднения 1955-1987 гг.)

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	XI	X	XI	XII
Q_{cp} , м ³ /с	45	33	26	24	273	7227	4045	2454	1318	440	120	67
$Q_{cp, макс.}$, м ³ /с	53	36	29	25	1794	10455	6604	3832	2114	918	161	90
$W \cdot 10^6$, м ³ /мес.	116	85	67	62	707	18720	10485	6360	3420	1140	311	173

Летняя структура поля взвеси формируется под влиянием доминирующих ветров южного и юго-восточного направлений (табл. 3). Поэтому для получения характерной ветровой циркуляции и соответствующего распределения взвеси в модельных расчётах задавался ветер направления ЮВ со скоростью 7 м/с, имеющий наибольшую повторяемость (41%).

Таблица 3

Летние режимные характеристики ветра в Анадырском заливе (по [8])

Характеристики	Направление ветра							
	СЗ	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З
V_{cp} , м/с	7	5	6	9	7	6	5	5
P , %	9	5	6	10	41	20	2	7

Обозначения: V_{cp} – средняя многолетняя скорость ветра; P – повторяемость направлений ветра.

Моделирование циркуляции и переноса взвеси осуществлялось для 90 расчётных суток. При этом было установлено, что для получения стационарного поля распределения взвеси мелких фракций достаточно 30 расчётных суток, после чего характер распределения остаётся неизменным. Для получения установившегося поля взвешенных частиц более крупных размеров требуется ещё меньшая продолжительность.

Моделирование распределения взвеси без учёта приливной циркуляции. На рис. 3 представлена интегральная непериодическая циркуляция Анадырского залива при среднегодовом стоке 4600 м³/с и ЮВ ветре 7 м/с. Основные потоки следуют на север – северо-запад вдоль берегов к вершине залива, а также из Анадырского лимана в противоположном южном–юго-восточном направлении. Наибольшие скорости (15-20 см/с) отмечаются в Анадырском лимане (стоковое течение), в северо-восточной части Анадырского залива и на выходе из залива Креста. В центральной части залива прослеживается компенсационный поток вод южного направления (6-8 см/с).

Рис. 4 иллюстрирует модельное поле осреднённого по глубине содержания речной взвеси (в % от концентрации источника, принятой за 100%) для размеров частиц различных фракций, формирующегося летом под воздействием ЮВ ветра. Крупные компоненты взвеси не выходят за пределы Анадырского лимана, составляя основу осадочного материала этого участка. Лишь менее 10% взвеси крупных фракций транспортируется из лимана в Анадырский залив и распространяется по его акватории на расстояние до 45 км от границы с лиманом. Расчёты для средних и мелких фракций показали идентичные

результаты вследствие низких величин скорости осаждения частиц, в связи с чем в дальнейшем будет рассматриваться их совместное распространение. До 20% объёма взвеси средних и мелких фракций выносятся за пределы Анадырского лимана, причём шлейф указанной взвеси распространяется на 130 км в южном и юго-восточном направлениях и на 90 км – в северо-восточном.

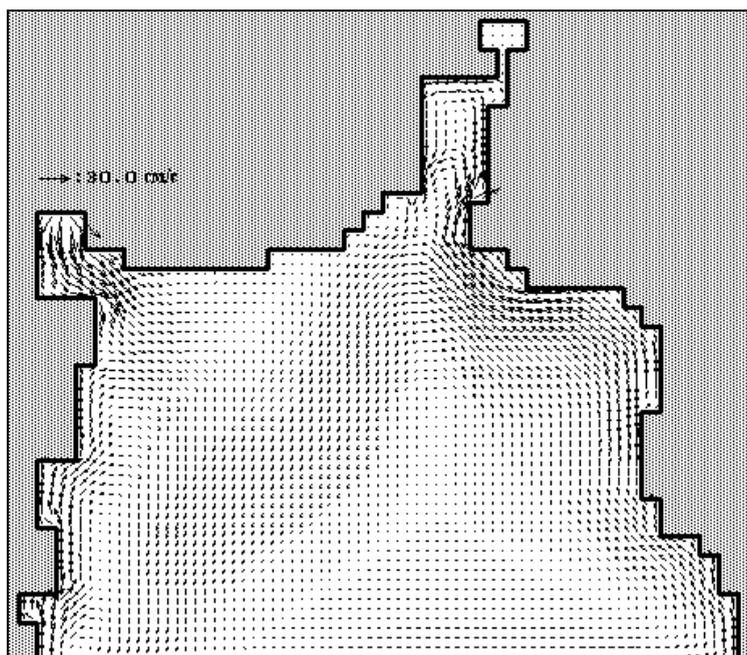


Рис. 3. Установившиеся неперриодические течения в Анадырском заливе. Лето, ветер ЮВ, 7 м/с, расход р. Анадырь 4600 м³/с

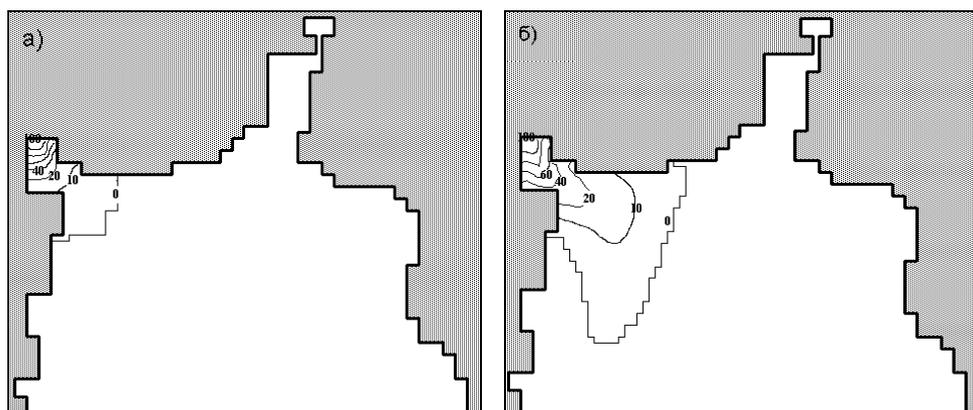


Рис. 4. Поле речной взвеси крупных (а) и средних – мелких (б) фракций в Анадырском заливе (в % от концентрации источника, принятой за 100%). Лето, ветер ЮВ 7 м/с, расход р. Анадырь 4600 м³/с

Результаты расчётов согласуются с данными натуральных наблюдений, в соответствии с которыми до 95% объёма крупных фракций твёрдого речного стока задерживается в заливе Онемен и Анадырском лимане. Их акватории являются ловушкой терригенного материала и областью транзита в Анадырский залив оставшегося в переносе мелкого и коллоидного материала [2, 3, 9, 21].

Моделирование распределения взвеси с учётом приливной циркуляции. Приливно-отливные течения вносят существенные коррективы в интегральную циркуляцию вод залива (рис. 5). Скорости приливно-отливных течений значительно превышают средние ветровые и стоковые. Суммарная циркуляция вследствие этого приобретает отчетливо выраженный реверсивный характер, при котором поток меняет свое направление с периодичностью около 12-14 ч (черты неправильных полусуточных приливов). Наибольшие скорости (до 40-50 см/с на стадии максимальных приливных течений и до 60-70 см/с на стадии максимальных отливных течений) отмечаются у входа в Анадырский лиман. В южной части залива Креста скорость потока варьирует от 30-35 см/с до 45-55 см/с. На большей части акватории Анадырского залива максимальные скорости суммарных течений составляют 15-20 см/с, с тенденцией увеличения в направлении восточного берега до 25-30 см/с.

Численные эксперименты показали, что влияние приливной компоненты течений (без учёта ветра и стока реки) может обеспечивать лишь слабый поступательный транспорт взвеси средних и мелких фракций (рис. 6а). Это обусловлено морфологическими особенностями эстуария. Он включает последовательно соединенные между собой приливные акватории залива Онемен, где расположено устье; полузакрытый Анадырский лиман с ограниченным водообменом; свободно сообщающийся с морем Анадырский залив, выход в который блокирован крупными косами-стрелками и удален от устья на 140 км. По указанным причинам моменту кульминации прилива при входе из Анадырского залива в лиман соответствует пик отлива к вершине залива Онемен [6]. На определённом этапе расчётов поле распределения взвеси стационарирует, оставаясь далее неизменным на фоне приливных колебаний. По-видимому, это вызвано быстрой сменой направлений приливных течений, в результате чего за полупериод (6-8 ч) поле взвеси не успевает существенно модифицироваться. Таким образом, транспорт речной взвеси из источника в Анадырский залив осуществляется преимущественно непериодическими (стоковыми и ветровыми) течениями [2, 3].

Структура поля взвеси средних и мелких фракций, формирующейся под влиянием суммарной летней циркуляции при среднем ЮВ ветре, в целом соответствует типу без учёта приливов. Однако влияние приливов сказывается в том, что в залив проникает менее 10% выносимого рекой объёма взвешенного вещества (рис. 6б).

Обусловленное суммарной циркуляцией распределение взвеси крупных фракций мало отличается от соответствующей без учёта приливов (см. рис. 4). Поэтому дальнейшие численные эксперименты выполнялись только для взвеси средних и мелких фракций.

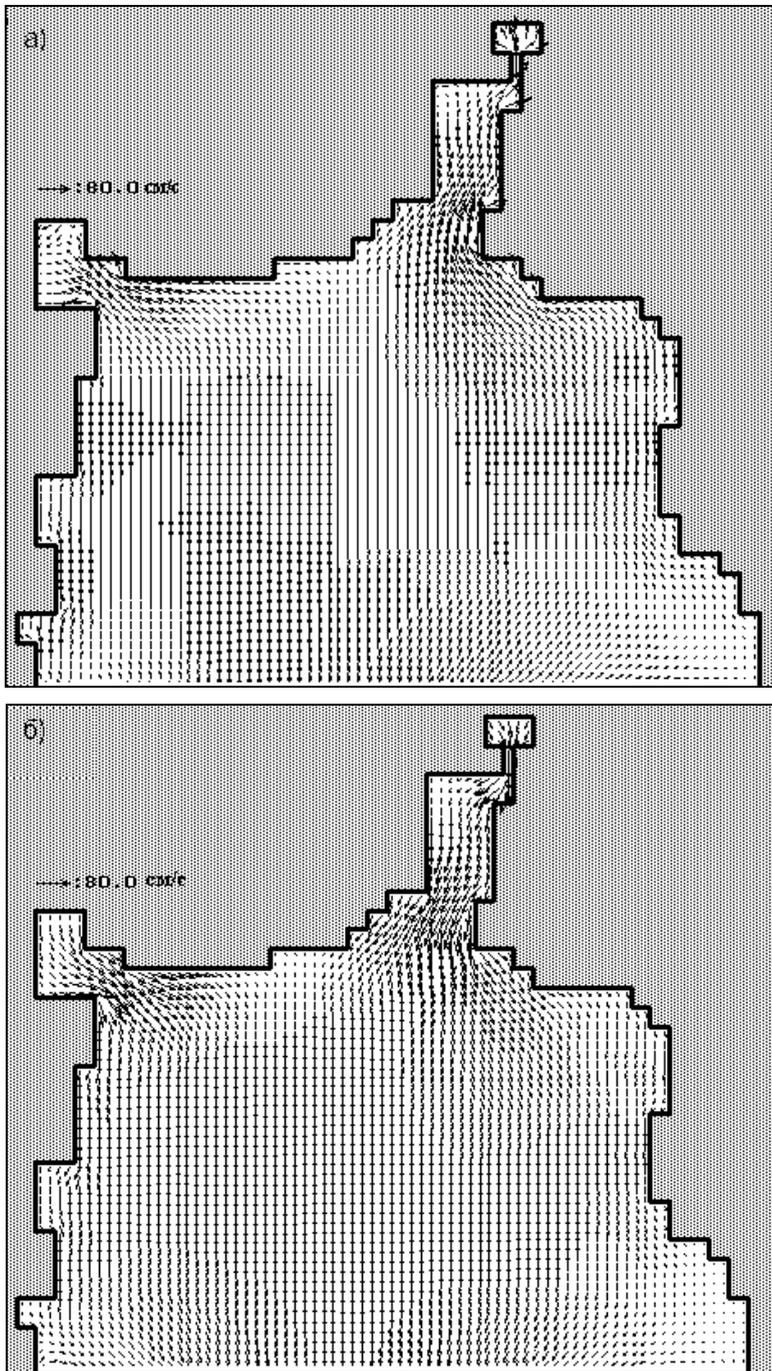


Рис. 5. Поле установившихся суммарных течений в Анадырском заливе в моменты максимального прилива (а) и отлива (б). Ветер ЮВ 7 м/с, расход р. Анадырь $4600 \text{ м}^3/\text{с}$

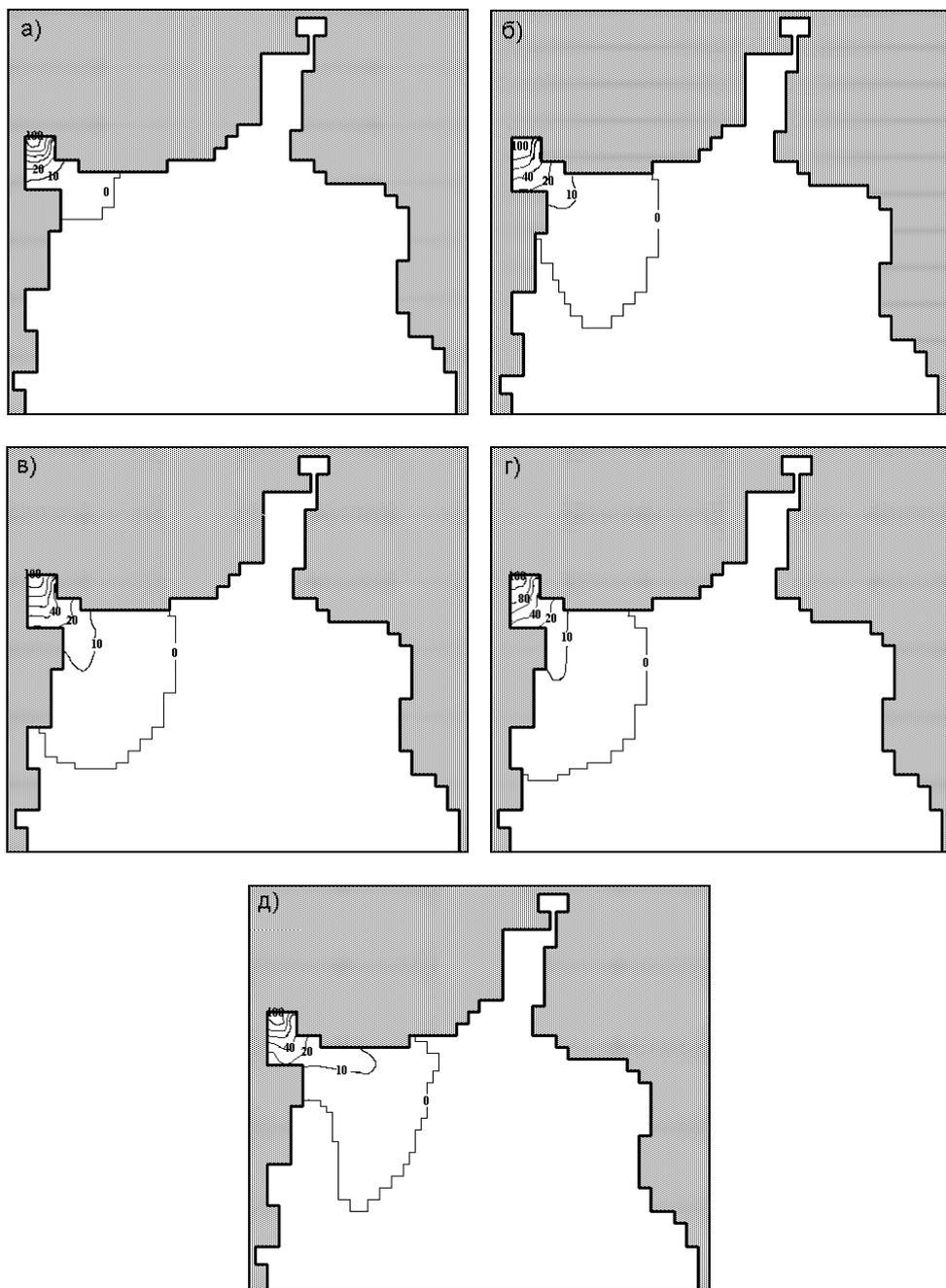


Рис. 6. Летние типовые поля взвеси средних и мелких фракций (в % от концентрации источника, принятой за 100%) в Анадырском заливе: (а) – с учётом приливных; (б) – суммарных течений, ветер ЮВ 7 м/с, (в) – суммарных течений, ветер СЗ 7 м/с, (г) – суммарных течений, ветер СЗ 20 м/с (д) – суммарных течений, ветер ЮВ 20 м/с. Расход р. Анадырь 4600 м³/с

Воздействие ветра вносит коррективы в распределение взвеси. При смене характерного для лета ЮВ ветра на СЗ скоростью 7 м/с (повторяемость в летний период составляет 9%) и продолжительностью 5 суток (естественный синоптический период) установившееся поле взвеси изменяется незначительно, смещаясь в южном направлении (рис. 6в). Более значительные изменения происходят под воздействием сильного ветра скоростью 20 м/с того же направления, дующего 2 суток (максимальная продолжительность действия сильных ветров одного направления в данном районе). В этом случае, как показали результаты моделирования (рис. 6г), шлейф 10%-го содержания взвеси вытягивается широкой полосой вдоль западного берега Анадырского залива, смещаясь в южном направлении до лагуны Тымна. При воздействии в течение 2-х суток сильного ЮВ ветра 20 м/с поле взвеси отжимается от западного берега залива к востоку, а шлейф её 10%-го содержания простирается от Анадырского лимана вдоль северного побережья до м. Низкий (рис. 6д).

Значительное уменьшение ареала речной взвеси следует ожидать в зимне-весенний период при минимальных значениях параметров речного стока и наличии ледяного покрова, исключая воздействие ветра на водную поверхность.

Для получения типового поля распределения взвеси на акватории Анадырского залива в абсолютных значениях в источнике задавалось содержание взвеси 75 мг/л, согласно [2]. Оказалось, что в случае суммарной циркуляции при среднем ЮВ ветре на большей части акватории залива содержание взвешенного вещества составляет 1-4 мг/л (рис. 7а). Представленные результаты хорошо согласуются с натурными наблюдениями, выполненными в июне 1992 г. (рис. 7б) при ветрах, близких по скорости и направлению к средним для летнего периода [2].

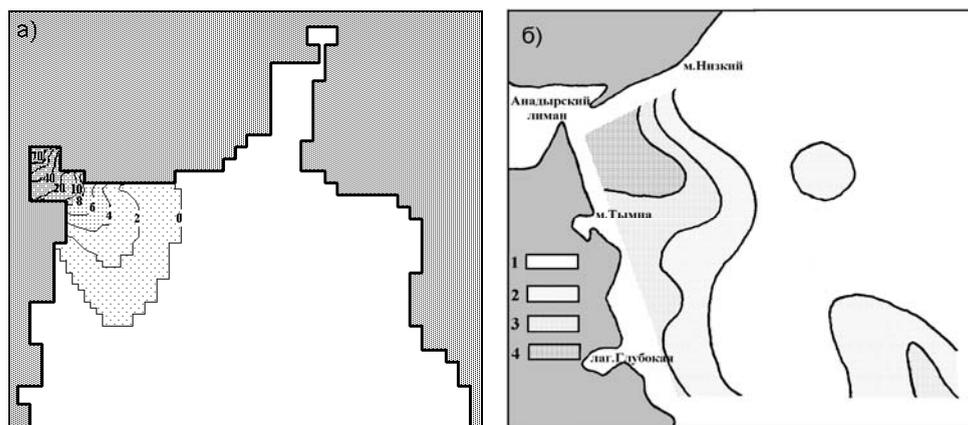


Рис. 7. Летнее типовое поле абсолютной величины содержания взвеси средних и мелких фракций (мг/л) в Анадырском заливе: (а) – с учётом суммарных течений, ветер ЮВ 7 м/с, расход р. Анадырь 4600 м³/с, содержание взвеси в источнике – 75 мг/л; (б) – распределение взвеси в поверхностном горизонте (мг/л) по натурным данным 1992 г.: 1 – <1 мг/л; 2 – 1-2 мг/л; 3 – 2-4 мг/л; 4 – >4 мг/л [9]

Отметим, что в приведённых выше численных экспериментах задавался средний многолетний для лета расход р. Анадырь. В реальных условиях он может существенно превышать данный показатель, что отражается на характере распределения взвеси. Результаты модельных расчётов свидетельствуют, что увеличение расхода реки до $7227 \text{ м}^3/\text{с}$ (среднемноголетнее значение для июня, см. табл. 2) при сохранении неизменными ветровых характеристик вдвое увеличивает ареал взвеси (рис. 8а). При сочетании экстремальных условий стока и сильных северных ветров скоростью 15-20 м/с поле взвеси, смещаясь в южном направлении, может достигать внешней границы залива и выноситься в открытое море (рис. 8б). Такой случай был зафиксирован в сентябре 2000 г. в экспедиционном рейсе ТОИ ДВО РАН на ГС «Николай Коломийцев» (рис. 9).

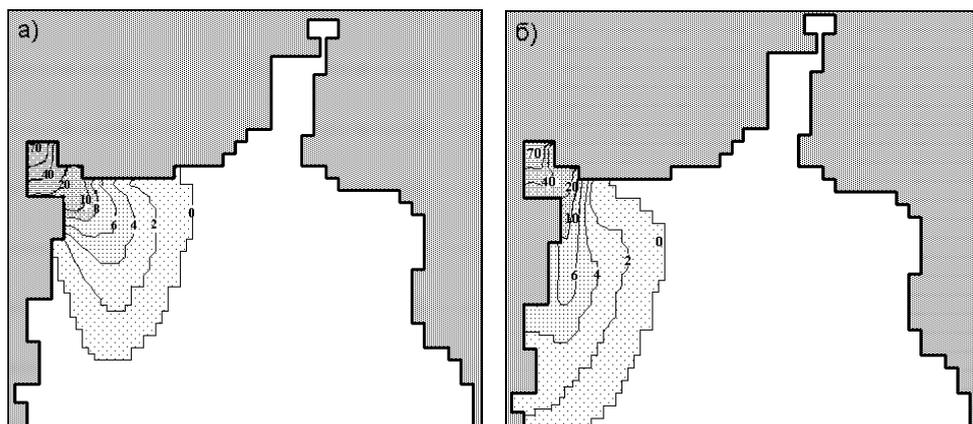


Рис. 8. Летние типовые поля взвеси средних и мелких фракций (мг/л) в Анадырском заливе: (а) – с учётом суммарных течений, ветер ЮВ 7 м/с; (б) – суммарных течений, ветер С 20 м/с. Средний многолетний расход р. Анадырь в июне $7227 \text{ м}^3/\text{с}$

Выводы

- 1) Реализована адаптированная для Анадырского залива модель переноса осреднённой по глубине примеси, основанная на решении уравнений диффузии и уравнений движения в рамках теории мелкой воды. Основными компонентами движения воды в модели служат ветровые течения, сток р. Анадырь и приливо-отливные явления.
- 2) На основе модельных расчётов исследованы процессы транспорта и формирования полей речной взвеси на акватории залива при различных синоптических условиях и гидрологических фазах р. Анадырь в летний период.
- 3) Численные эксперименты показали, что приливные течения без учёта стоковой и ветровой составляющих имеют реверсивный характер и способны обеспечить только слабый поступательный транспорт мелкой взвеси.

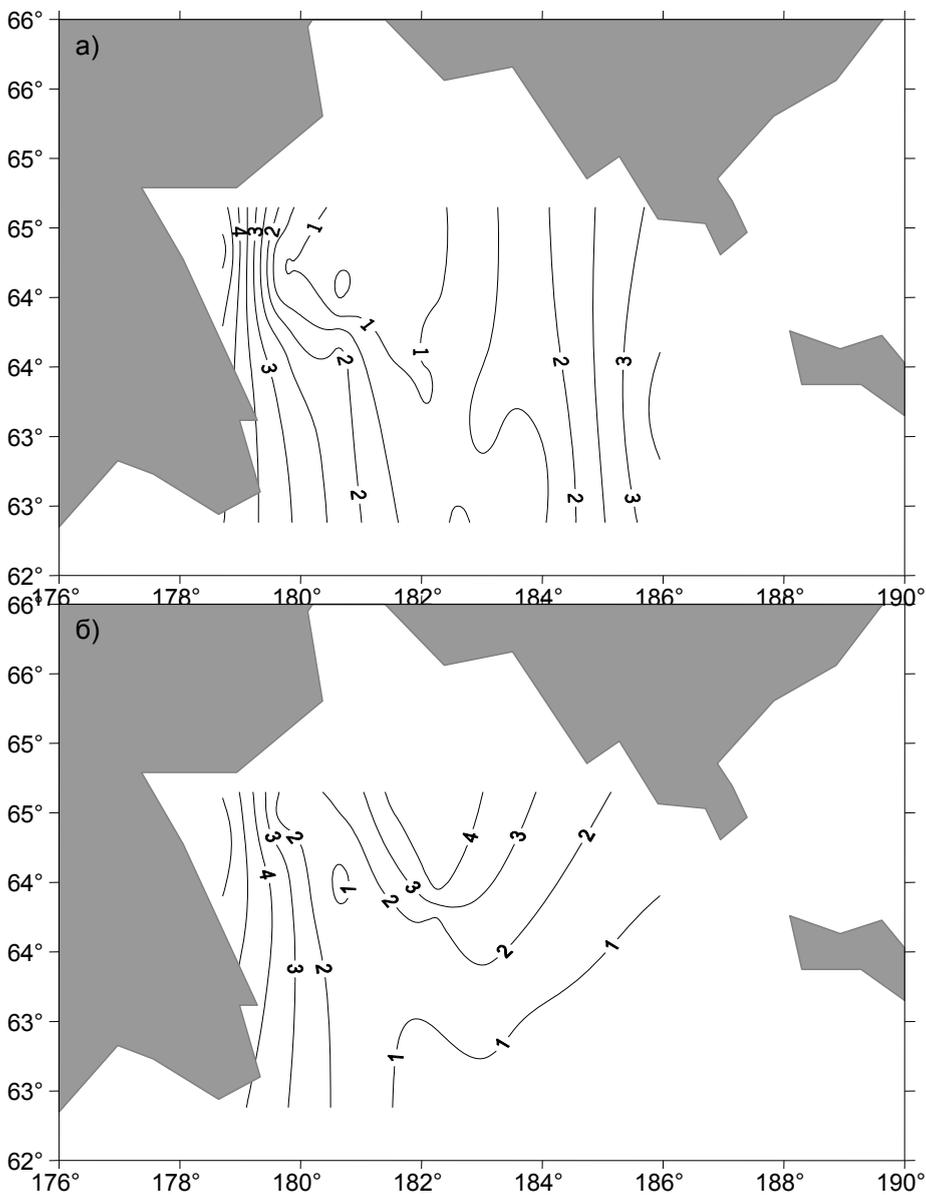


Рис. 9. Поле взвеси (мг/л) в поверхностных (а) и придонных (б) водах Анадырского залива в сентябре 2000 г.

- 4) Ареал взвеси средних и мелких фракций практически идентичен. Шлейф взвеси средних и мелких фракций, формирующийся под влиянием характерных для лета ЮВ ветра, стока р. Анадырь и приливов, может распространяться в заливе на 130 км в южном – юго-восточном и на

90 км в северо-восточном направлениях от источника. Однако за пределы лимана выносятся не более 10% такой взвеси. Частицы крупных фракций, обладая повышенной гидравлической крупностью, не способны транспортироваться в Анадырский залив и поэтому являются приходной частью баланса осадочного материала в заливе Онемен и лимане. Менее 10% взвеси фракций может проникать в Анадырский залив, однако такая взвесь распространяется на расстояние не более 40 км от границы с лиманом.

- 5) Поле взвеси средних и мелких фракций меняется с изменением синоптических условий, что проявляется в вариациях структуры шлейфа и направлениях его перемещений.
- 6) Вариации стока реки Анадырь оказывают существенное влияние на распределение взвеси. При сочетании экстремальных условий стока (июнь) с сильными северными ветрами поток взвешенного вещества может достигать внешней границы Анадырского залива и выходить за его пределы в Берингово море.
- 7) Сравнение расчётных и натуральных данных свидетельствует, что результаты моделирования хорошо отражают реальную картину распределения взвешенного материала под влиянием динамических факторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абузяров З.К., Шамраев Ю.И. Морские гидрометеорологические информации и прогнозы. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 219 с.
2. Аникиев В.В. Дударев О.В., Колесов Г.М., Сапожников Д.Ю., Боцул А.И. Влияние литодинамических факторов на распределение благородных металлов во взвеси и донных отложениях морской части эстуария р. Анадырь // Геохимия, 1997. №5. С. 535-551.
3. Аникиев В.В. Дударев О.В., Колесов Г.М., Боцул А.И., Уткин И.В. Факторы, определяющие мезомасштабную изменчивость распределения взвешенного вещества и химических элементов в водах эстуария р. Амур – Охотское море // Геохимия, 2001. №1, С. 71-94.
4. Вольцингер Н.Е., Пясковский Р.В. Основные океанологические задачи теории мелкой воды. Л.: Гидрометеиздат, 1968. 300 с.
5. Вольцингер Н.А., Пясковский Р.В. Теория мелкой воды. Л.: Гидрометеиздат, 1977. 207 с.
6. Гидрология морских устьев рек Дальнего Востока // Тр. ДВНИГМИ, 1989. Вып.38. 183 с.
7. Гидрологические ежегодники. Т. 8. Бассейны морей Восточной Сибири, Чукотского и Берингова морей. Вып. 8. Т. 9. Бассейн Тихого океана. Вып. 7. Магадан: Колымское УГМС, 1955-1987.
8. Гидрометеорология и гидрохимия морей. Т. 10. Берингово море. Вып. 1. Гидрометеорологические условия. СПб: Гидрометеиздат, 1999. 300 с.
9. Дударев О.В., Боцул А.И., Аникиев В.В., Колесов Г.М., Сапожников Д.Ю. Современное осадкообразование в криолитозоне северо-западной части Анадырского залива (Берингово море) // Тихоокеанская геология, 2001. Т. 20. №3. С. 12-25.
10. Земляная Н.В., Савельева Н.И. Распространение примесей дождевого стока по акватории Амурского залива // Межвузовский сб.: «Технические средства исследования Мирового океана». Владивосток, 1994. С. 24-35.
11. Кудрявая К.И., Серякова Е.И., Скриптунова Л.И. Морские гидрологические прогнозы. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 310 с.

-
-
12. Лисицин А.П. Процессы современного осадкообразования в Беринговом море. М.: Наука, 1966. 574 с.
 13. Любичкий Ю.В. Расчёт штормовых нагонов на юго-восточном побережье о. Сахалин // Метеорология и гидрология, 1983. № 10. С. 73-79.
 14. Люцарев С.В., Коннова Ю.В., Конов В.А. Состав и распределение взвешенного органического вещества в Беринговом море // Океанология, 1988. Т. 28. Вып. 1. С. 72-77.
 15. Меновщиков В.А., Савельев А.В. Применение уравнений мелкой воды для расчёта течений на шельфе Берингова моря при штормовых ситуациях // Тр. ДВНИГМИ, 1989. Вып. 39. С. 77-86.
 16. Наставление по службе прогнозов. Разд. 3. Ч. 1 и 2. Л.: Гидрометеиздат, 1970. 56 с.
 17. Савельев А.В. Численное моделирование динамического состояния вод на шельфе восточного побережья о. Сахалин, формирующегося под воздействием ветра // Тр. ДВНИГМИ, 1989. Вып. 39. С. 63-77.
 18. Савельева Н.И. О методах оценки качества воды и донных отложений в прибрежных морских акваториях (на примере залива Петра Великого) // Материалы 1-ой международной конф. «Экологическая адаптация общества на постсоветском пространстве». СПб., 1999. С. 218-222.
 19. Филиппов Ю.Г. Исследование сходимости разностных схем расчёта распространения примеси в море // Тр. ГОИН, 1977. Вып. 141. С. 121-133.
 20. Шкудова Г.Я. Метод расчёта переноса примеси и загрязняющих веществ от источников различного типа в мелком бароклинном море // Тр. ГОИН, 1977. Вып. 141. С. 133-151.
 21. Clark R.A., Windom H.L. Quantification of natural background and anthropogenic contaminants in a pristine Arctic environment: the Anadyr River basin, Chukotka Peninsula, Russia // Mar. Poll. Bull., 1999. V. 38. №4. P. 276-284.
 22. Davies A.M., Flather R.A. Computations of the storm surges of 1 to 6 April 1973 using numerical model of the North-West European Continental Shelf and the North Sea // Deutsche Hydrogr. Zeitschr., 1977. V. 30. №5. P. 139-162.
 23. Duun-Christensen J.T. Investigations on the practical use of a hydrodynamic numeric method for calculations of sea level variations in the North Sea, the Skagerrak and Kattegat // Deutsche Hydrogr. Zeitschr., 1971. V. 24. №5. P. 73-89.
 24. Duun-Christensen J.T. The representation of the surface pressure field in a two-dimensional hydrodynamic numerical model for the North Sea, the Skagerrak and Kattegat // Deutsche Hydrogr. Zeitschr., 1975. V. 28. №3. P. 97-116.
 25. Henry R.F., Heaps N.S. Storm surges in the southern Beaufort Sea // Journ. Fish. Res. Board of Canada, 1975. V. 33. №10. P. 2362-2376.
 26. Martinsen E.A., Gjevik B., Røed L.D. A numerical model along the western coast of Norway // Journ. Phys. Oceanogr., 1979. V. 9. P. 1126-1138.
 27. Reid R.O. and Bodin B.R. Numerical model for storm surges in Galveston Bay // J. Waterways and Harbor Division, ASCE, 1968. V. 94. NWWI. P. 33-57.
 28. Whitledge T.E., Bidigare R.R., Zecman S.I. et al. Biological measurements and related chemical features in Soviet Union and United States region of the Bering Sea // Cont. Shelf Res., 1988. V. 8. №12. P. 1299-1301.

ХАРАКТЕРИСТИКА ОЖИДАЕМЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ ПРИ РАЗРАБОТКЕ НЕФТЕГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА ШЕЛЬФЕ САХАЛИНА

Освоение месторождений нефти на шельфе применительно к условиям северо-восточного Сахалина включает следующие типовые виды работ, связанные с загрязнением атмосферы: строительство буровых площадок, комбинатов по подготовке нефти к транспортировке, трубопроводов и нефтеотгрузочных терминалов, других объектов инфраструктуры, транспортировка и установка морских буровых платформ; бурение и испытание скважин; эксплуатация перечисленных объектов.

При строительстве и эксплуатации объектов нефтедобычи в атмосферу поступают продукты сгорания природного газа и нефти, дизельного топлива, отходов; пары дизельного топлива, нефти и нефтяной основы буровых растворов; компоненты сварочного аэрозоля; различная пыль при производстве строительных и буровых работ, а также другие загрязняющие вещества. Критическим веществом, определяющим размеры зон потенциального загрязнения (поля с концентрациями загрязняющих веществ, превышающими 1 ПДК для населённых мест), чаще всего является диоксид азота (NO_2). Это связано с малым значением ПДК для диоксида азота ($0,085 \text{ мг/м}^3$ для населённых мест) и с большим количеством источников, выбрасываемых продукты сгорания топлива, нефти и газа, в составе которых и поступает в атмосферу диоксид азота.

При проведении оценки воздействия на атмосферный воздух работы по освоению месторождений шельфа можно разделить на этапы, кардинально отличающиеся друг от друга по видам источников выбросов загрязняющих веществ. Для береговых буровых площадок и морских платформ можно выделить три основных этапа: строительство площадки/установка платформы, бурение скважин и их эксплуатация; для других объектов нефтедобычи – два этапа: строительство и эксплуатация. На одном этапе могут наблюдаться различные режимы работ, связанные, например, с пусконаладочными и ремонтными работами или с испытаниями и продувками скважин. Также должна проводиться оценка воздействия на атмосферный воздух для аварийных ситуаций, связанных с возможными проектными и непроектными авариями.

При бурении и эксплуатации объектов нефтедобычи в соответствии с нормативными требованиями РФ разрабатывается комплекс мероприятий по охране атмосферного воздуха, отвечающий передовым технологиям, используемым при разработке и эксплуатации месторождений углеводородов.

Типовые источники загрязнения атмосферного воздуха на этапе строительства наземных объектов и установки морских платформ

На этапе строительства наземных объектов нефтедобычи источниками выделения загрязняющих веществ в атмосферу являются двигатели дорожно-строительной техники, автотранспорта и судов, приводы электрогенераторов, сварочные посты, инсинераторы для сжигания отходов и другие типичные для

производства строительных работ источники. При транспортировке и установке морских платформ в качестве источников загрязнения атмосферы рассматриваются суда обеспечения, а также тот минимум оборудования на самой платформе, который необходим для жизнеобеспечения экипажа – электрогенератор, котел и прочее.

Типовые источники загрязнения атмосферного воздуха на этапе бурения и испытаний скважин

В процессе бурения и эксплуатации скважин должно быть предусмотрено применение технических средств и технологических процессов, предотвращающих возникновение нефтегазопроявлений и открытых фонтанов, что может оказывать наиболее опасное влияние на атмосферу, а при возгорании – катастрофическое.

В буровой период на береговых площадках и морских платформах источниками выделения загрязняющих веществ в атмосферу являются дизельные приводы буровых установок, электрогенераторов, машин и механизмов; котлы и огневые подогреватели воздуха; факельные установки сжигания пластового продукта во время испытаний и продувок скважин; сепараторы и другое нефтегазовое оборудование; резервуары хранения дизельного топлива; хранилища компонентов буровых и цементных растворов; инсинераторы; морской и наземный транспорт и др.

Самыми мощными источниками, оказывающими основное воздействие на атмосферный воздух, в этот период являются дизельные приводы буровых установок и факела. В штатном режиме бурения выбросы дизельных приводов буровых установок обычно вносят основной вклад в загрязнение приземного слоя атмосферы. Содержание загрязняющих веществ в выбросах дизельных установок регламентируется ГОСТом Р 51249-99 [1].

В периоды испытаний и продувок скважин основным источником загрязнения атмосферы является факел. Факельные установки должны удовлетворять ряду требований, основными из которых являются: полнота сгорания, исключая образование альдегидов, кислот и других вредных продуктов; безопасное воспламенение; сжигание, исключая образование дыма и сажи; устойчивость факела при изменении количества и состава газовых выбросов. Одной из наиболее современных установок бессажевого сжигания нефти является горелка «EverGreen», разработанная компанией Шлюмберже (рис. 1). В целях сведения недожога к минимуму используется пневматическое распыление, и обеспечиваются улучшенные условия подачи воздуха для достижения большей полноты сгорания, не требующие впрыскивания воды в пламя в процессе сгорания. Применение сильного струйного эффекта, создаваемого при подаче сжатого воздуха, обеспечивает прямо направленное сильное пламя с турбулизацией потока за счёт охвата окружающего атмосферного воздуха.

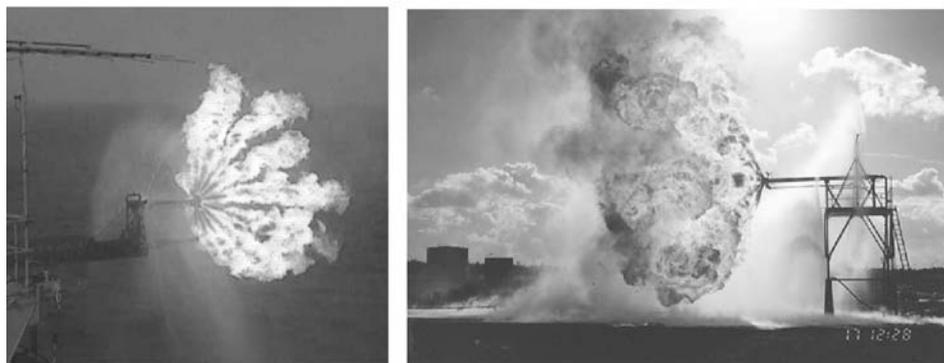
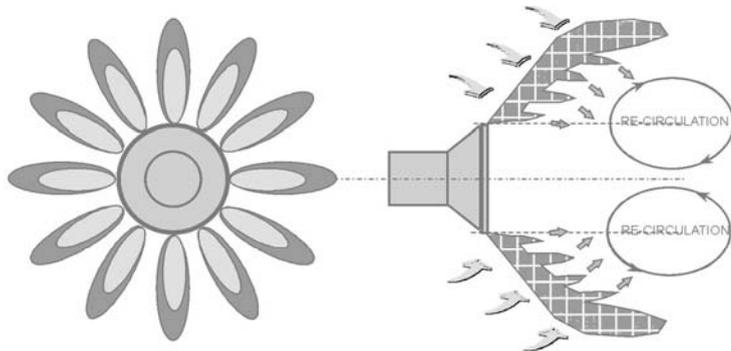


Рис. 1. Схема и работа факельной горелки «EverGreen» системы Шлюмберже

Основные компоненты буровых и цементных растворов: нефтепродукты (в случае использования бурового раствора на нефтяной основе), барит, бентонит и цемент, доставляются на место проведения буровых работ преимущественно в трюмах морского транспорта. Компоненты, используемые в сравнительно небольших количествах, транспортируются в закрытой таре. Для уменьшения выбросов пыли при перекачивании пневмотранспортом сыпучих материалов в хранилища силосные банки должны быть оборудованы очистными устройствами. Например, рукавные фильтры типа ФРИД-Б с импульсно-эжекционной продувкой, разработанные НИИОГАЗом, могут обеспечить остаточную концентрацию на выходе не более $0,05 \text{ мг/м}^3$ [4, 10]. Для хранения нефтяной основы бурового раствора, также как и ГСМ, должны быть предусмотрены закрытые ёмкости, оборудованные клапанами и воздушниками. Для снижения выбросов паров углеводородов может быть предусмотрен ряд мер, таких как: использование отражательно-тепловой защиты от солнечной радиации (использование экранов-отражателей, окраска наружной и внутренней поверхности резервуаров в светлые тона); оборудование резервуаров плавающими крышами и проч.

Типовые источники загрязнения атмосферного воздуха на этапе эксплуатации объектов нефтедобычи

В эксплуатационный период на буровых площадках и морских платформах оставляется минимум оборудования, которое не оказывает значимого

воздействия на окружающую среду. И только во время ежегодных ремонтов скважин в течение непродолжительного времени могут быть задействованы буровые установки.

На этапе эксплуатации комбинатов по подготовке нефти к транспортировке основными источниками выделения ЗВ являются газотурбинные установки, факельные системы, огневые подогреватели, резервуары и другое нефтегазовое оборудование, приводы дизельных генераторов, двигатели автомобилей, инсинераторы и т.д.

Для предотвращения загрязнения атмосферы углеводородами должна быть предусмотрена герметизация технологического оборудования, применение емкостей и аппаратов с закрытым дренированием, кольцевание продувочных линий и воздушников с последующей утилизацией или сжиганием газа на факелах. Факельные системы комбинатов должны быть рассчитаны на одновременный приём прогнозируемых выбросов из всех устройств сброса давления, включая предохранительные и продувочные клапаны. При этом объёмы сжигаемого газа в условиях различных режимов эксплуатации объекта могут отличаться в тысячи раз. Для обеспечения беспламенного горения скорость газа на выпуске из факельной колонны должна достичь скорости звука. Для того чтобы одну факельную трубу можно было использовать при различных нагрузках, применяются трубы с тюльпанообразной заглушкой, усиленной пружинами (рис. 2). Конструкция дна «тюльпана» такова, что вырывающийся газ формирует тонкую плёнку вдоль стенок тюльпана. Эта плёнка, используя энергию сжатого газа для захвата и смешивания больших объёмов воздуха, создаёт горючую смесь, которая поджигается дежурной горелкой. Форма верхушки «тюльпана» создаёт пламя струйного реактивного типа (узкое и длинное), что позволяет производить сжигание на факеле без чрезмерного излучения на земле. При этом высота факела может достигать 150 м, а температура 1500°С.

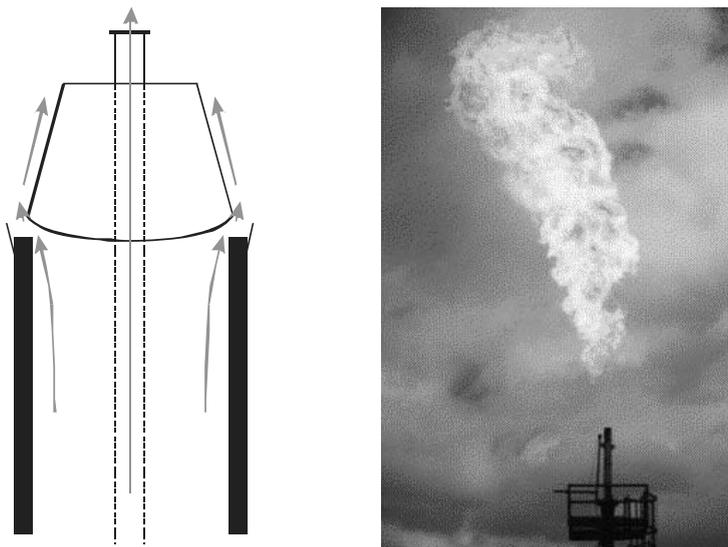


Рис. 2. Схема и работа факельной горелки с тюльпанообразной заглушкой

На нефтеотгрузочных терминалах в эксплуатационный период источниками выбросов загрязняющих веществ в атмосферу являются газотурбинные и дизельные приводы электрогенераторов; резервуары нефти, трюмы танкеров, другое нефтегазовое оборудование; двигатели наземного и морского транспорта; инсинераторы и т.д.

Терминалы являются мощными источниками выбросов паров нефти в связи с большими объёмами перегружаемой нефти в береговые или плавучие резервуары и в трюмы танкеров. На терминалах должны быть предусмотрены меры для уменьшения выбросов в атмосферу летучих углеводородов. Резервуары могут быть оборудованы плавающей крышей, позволяющей снизить поступление в атмосферу паров нефти более чем в 7 раз. Подача в трюмы инертного газа позволяет снизить выбросы углеводородов при загрузке танкеров на 35%.

Для перекачивания нефти и выработки электроэнергии на объектах нефтедобычи применяются мощные установки с газотурбинными приводами. Содержание загрязняющих веществ в выбросах приводов газовых турбин регламентируется ГОСТами 28775-90 и 29328-92 [2, 3]. Для достижения в выбросах нормативных значений концентраций оксидов азота и углерода турбины могут быть обеспечены системой «Dry Low NOx» (DLN). Система DLN состоит из ступенчатой камеры сгорания, позволяющей ограничить образование загрязняющих веществ в зоне горения, используя технологию «горение предварительно смешанной и обеднённой топливной смеси» [11].

Для предотвращения поступления в атмосферу диоксинов в составе продуктов сгорания отходов температурный режим сжигания отходов в инсинераторах должен удовлетворять требованиям СНиП 2.01.28-85 [7, 9].

Для очистки дымовых газов от твёрдых веществ инсинераторы, котлы и огневые подогреватели можно оборудовать циклонами, а для улучшения рассеивания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе они укомплектовываются дымососами.

Оценка воздействия на атмосферный воздух

Существующая система регламентации выбросов базируется на санитарно-гигиенических нормативах, направленных на сохранение здоровья человека. Северо-Восточный Сахалин малонаселен. Если в зоне возможного влияния выбросов отсутствуют места постоянного проживания населения, то расчёты рассеивания загрязняющих веществ в атмосфере проводятся только для получения общей экологической информации [5]. Для оценок масштаба и уровня загрязнения рабочей зоны целесообразно провести модельные расчёты полей приземных концентраций, сравнивая приземные концентрации с ПДК рабочей зоны. При наличии населённых мест в зоне возможного влияния выбросов расчёты проводятся с целью определения воздействия на селитебную зону и для определения размеров санитарно-защитной зоны.

Модельные расчёты полей максимальных приземных концентраций проводятся для дискретного кругового перебора направлений ветра с шагом 1° для 10-ти скоростей (от 0,5 м/с до скорости ветра, повторяемость превышения которой по многолетним данным составляет не более 5% (U^*)) [6]. С целью выявления сезонных различий картины фонового загрязнения атмосферы можно провести расчёт и для характерных муссонных ветров, используя

фиксированные пары значений «направление/скорость ветра».

На рис. 3 приведён пример распределения суммарных приземных концентраций критической группы, включающей диоксида азота и серы, рассчитанные с учетом дискретного кругового перебора направлений ветра и для фиксированной пары «направление/скорость ветра». Расчётные поля демонстрируют возможное фоновое загрязнение атмосферы при ремонтных и пуско-наладочных работах на этапе эксплуатации комбината подготовки нефти в условиях воздействия зимнего муссона (январь). Для моделирования используются унифицированные программы, разработанные в соответствии с [6], в частности, «ЭКОЛОГ-ГАЗ ПРО», версия 2.55с (см. рис. 3). Программа позволяет по данным об источниках выбросов примесей и условиях местности рассчитать разовые (осреднённые за 20-ти минутный интервал) концентрации примесей в атмосфере при неблагоприятных метеорологических условиях.

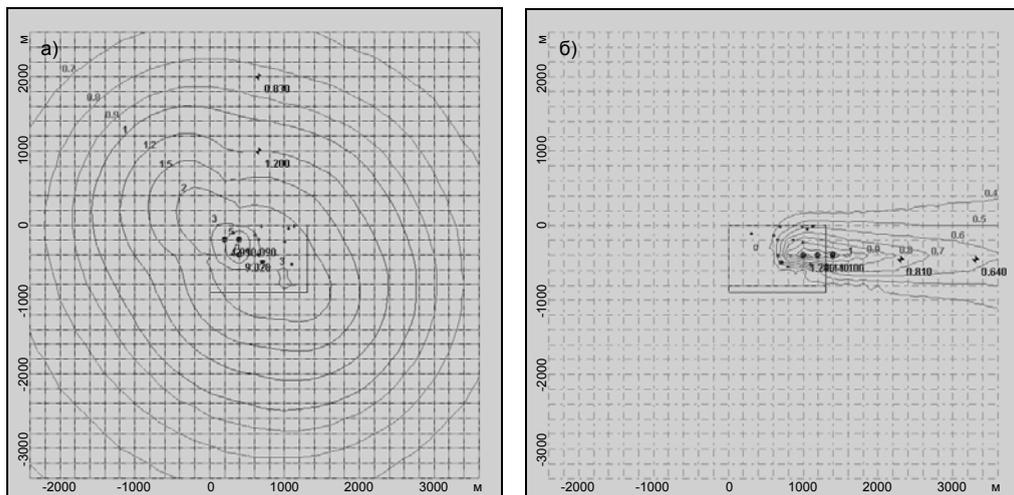


Рис. 3. Расчётное поле максимально разовых концентраций критической группы веществ (в долях ПДК м.р.): (а) – с учетом дискретного кругового перебора направлений ветра; (б) – для фиксированной пары «направление/скорость ветра» (январь)

По экспертным оценкам максимальные зоны потенциального загрязнения атмосферного воздуха на различных этапах работ составляют:

- ♦ строительство объектов нефтедобычи – 2-3 км при максимальной интенсивности проведения строительных работ;
- ♦ буровой период, штатный режим бурения – 3-3,5 км при использовании буровых установок большой мощности (порядка 6000 кВт);
- ♦ буровой период, испытания скважин на продуктивность и очистка скважин, сопровождаемые сжиганием добываемого флюида на факеле – в зависимости от дебита скважины 3-12 км (в последнем случае дебит составляет 55 т/ч нефти);

- ◆ эксплуатация буровых площадок и морских платформ, штатный режим – при соблюдении природоохранных мер не превышает значений нормативной СЗЗ (1000 м);
- ◆ эксплуатация буровых площадок и морских платформ, ремонтные работы – 2-2,5 км;
- ◆ эксплуатация комбинатов и нефтеналивных терминалов, штатный режим – при соблюдении природоохранных мер не превышает значений нормативной СЗЗ (1000 м для комбинатов и 500 м для терминалов);
- ◆ эксплуатация комбинатов и нефтеналивных терминалов, пуско-наладочные и ремонтные работы – 1-1,7 км.

В качестве примера на рис. 4 приведены максимальные зоны загрязнения для типового комбината подготовки нефти на различных этапах работ.

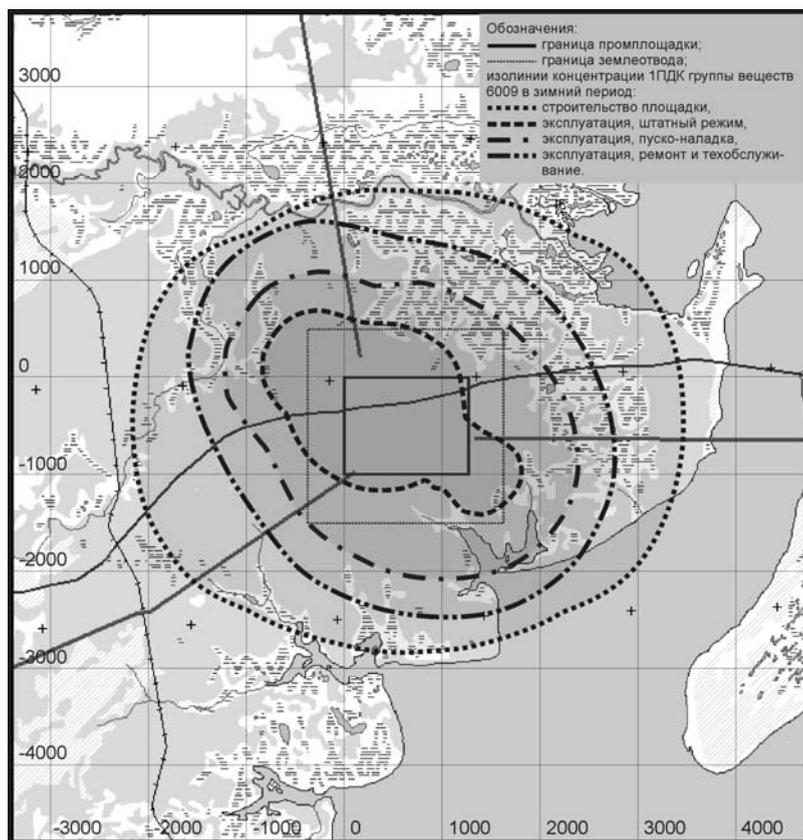


Рис. 4. Арел загрязнения атмосферного воздуха выбросами типового комбината подготовки нефти

При размещении объектов нефтедобычи в зоне влияния друг друга необходимо оценить их кумулятивное воздействие на атмосферу, учитывая эффект одновременности проведения видов работ на объектах. При

перекрещивании зон загрязнения объектов размеры расчётных зон увеличиваются, вытягиваясь в противоположных направлениях.

Заключение

На основе опыта работ по оценке воздействия на атмосферный воздух объектами нефтедобычи северо-восточного шельфа Сахалина осуществлён анализ видов источников выделения загрязняющих веществ в атмосферу, выполнены оценки суммарных выбросов в атмосферу и модельные расчёты полей приземных концентраций, проведён анализ уровня загрязнения атмосферы на различных этапах строительства и эксплуатации объектов.

Наибольшие размеры зон загрязнения соответствуют периодам проведения общестроительных работ на промышленных площадках и трубопроводах, а также в период бурения скважин. На этапе бурения наибольшее воздействие на атмосферу отмечается во время испытаний и продувок скважин, сопровождаемые сжиганием добытого продукта на факелах. Но периоды строительства и испытаний непродолжительны, источники выбросов вредных веществ при строительстве характеризуются подвижностью источников загрязнения в пространстве и во времени.

В условиях штатной эксплуатации объектов добычи и транспорта их воздействие на атмосферный воздух незначительно, если соблюдаются природоохранные меры. В этих случаях зоны загрязнения атмосферного воздуха будут намного меньше минимальных нормативных размеров СЗЗ (1000 м для добычных и перерабатывающих площадок и 500 м для терминалов отгрузки нефти [8]). Однако залповые и проектно-аварийные выбросы, являясь неотъемлемыми для проектных режимов эксплуатации, предусматривающих пусковые, наладочные и ремонтные работы, влекут увеличение размера потенциальной зоны загрязнения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 51249-99. Дизели судовые, тепловозные и промышленные. Выбросы вредных веществ с отработавшими газами.
2. ГОСТ 28775-90. Агрегаты газоперекачивающие с газотурбинным приводом.
3. ГОСТ 29328-92. Установки газотурбинные для привода турбогенераторов.
4. Каталог газоочистного оборудования. Методическое пособие. СПб., 2001. 288 с.
5. Методическое пособие по расчёту, нормированию и контролю выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух. СПб., 2002. 127 с.
6. ОНД-86. Методика расчёта концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. Л.: Гидрометеиздат, 1987. 93 с.
7. Пособие (к СНиП 2.01.28-85) по проектированию полигонов, по обезвреживанию и захоронению токсичных промышленных отходов. М., 1990. 45 с.
8. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03. Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов.
9. СНиП 2.01.28-85 Полигоны по обезвреживанию и захоронению токсичных промышленных отходов.
10. Справочник по методам и техническим средствам снижения выбросов ЗВ в атмосферу, применяемым при разработке проекта нормативов ПДВ. СПб., 2001. 122 с.
11. Davis L.B., Black S.H. Dry Low NOx Combustion Systems for GE Heavy-Duty Gas Turbines // GE Power Systems, 2000. GER 3568G. 26 pp.

ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ВОДОТОКИ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ПОДРУСЛОВЫХ ПЕРЕХОДОВ

Введение

Для увеличения экспортных поставок российской нефти и газа планируется создание новых транспортных систем. Основные перспективы развития транспорта нефти и газа связаны со строительством и обслуживанием систем магистральных трубопроводов.

При трассировании учитываются такие факторы как: протяжённость и диаметр трубопровода, извилистость трассы, количество переходов и характер водных объектов, геоэкологические характеристики трассы и др. На этапе обоснования инвестиций и технико-экономического обоснования строительства проводятся не только обязательные гидрологические и гидрохимические обследования водных объектов, но и оценка уровня воздействия на водные объекты. В РФ существует ряд методик, позволяющих оценить уровень воздействия на водную среду при сбросе загрязняющих веществ (ЗВ) в составе сточных вод [1, 3, 6]. В тоже время, отсутствуют утверждённые методики по проведению оценки воздействия на водные объекты в период проведения строительных работ. Вышедшие в 1999 г. методические указания по разработке нормативов предельно допустимого вредного воздействия (ПДВВ) [5], рекомендуют учитывать природные и климатические условия, целевое использование, экологическое состояние водных объектов, и др.

Целью настоящей работы является разработка методики оценки уровня воздействия на водные объекты (водотоки) во время строительства подрусловых переходов на примере прокладки магистральных трубопроводов.

Требования нормативных документов к охране окружающей среды / оценке воздействия на окружающую среду (ООС/ОВОС) при строительстве переходов

Оценка воздействия на водные объекты при строительстве переходов осуществляется с соблюдением постоянно корректирующихся строительных норм и правил в соответствии с законодательством РФ, санитарных требований, предъявляемых к водным объектам, и на основании нормативно-методической документации, с учётом влияния строительства и эксплуатации трубопровода на экологическую ситуацию в регионе:

- ◆ Федеральный закон Российской Федерации от 10.01.2002 №7-ФЗ «Об охране окружающей среды»;
- ◆ Водный кодекс Российской Федерации от 16.11.1995 №167-ФЗ (с изм. и доп. от 30.12.2001 №194-ФЗ);
- ◆ Постановление Правительства Российской Федерации «Об утверждении Положения о водоохранных зонах водных объектов и их прибрежных защитных полосах №1404 от 23.11.1996;

-
-
- ♦ Санитарные нормы и правила, ГОСТы, ОСТы, ОНД, постановления местных административных органов управления.

Закон РФ «Об охране окружающей среды» является основополагающим в области законодательства и определяет правовые основы государственной политики в области охраны окружающей среды, регулирует отношения в сфере взаимодействия общества и природы, возникающие при осуществлении хозяйственной и иной деятельности, связанной с воздействием на природную среду.

Водный кодекс РФ (ст. 108, 109, 145) регламентирует использование водных объектов для проведения работ, связанных с использованием дна водных объектов, строительства и эксплуатации подводных и надводных сооружений осуществляемых на основании лицензии на водопользование, выдаваемой в установленном порядке.

Строительными нормами и правилами СНиП 2.05.06-85* [7] определяется выбор створов переходов через реки, устанавливаются нормы на проектирование и реконструкцию трубопроводов и ответвлений от них.

При строительстве новых и реконструкции действующих магистральных трубопроводов для транспортирования нефти, нефтепродуктов, природного и попутного, естественного и искусственного углеводородных газов из районов их добычи, производства или хранения до мест потребления необходимо соблюдать правила в соответствии со СНиП III-42-80* [10] и СНиП 2.05.13-90 [8].

Технологические решения, применяемые при строительстве переходов через водотоки, должны соответствовать санитарным нормам и СНиП 3.06.04-91 [9].

Требованиями ГОСТ 17.1.3.10-83 [2] устанавливаются общие положения по охране водных объектов суши (водоёмов, водотоков и подземных вод) от загрязнения нефтью и нефтепродуктами при их транспортировании по трубопроводу.

Методы переходов и оптимизация их выбора для конкретных рек

Подрусловые переходы трубопроводов (СНиП 2.05.06-85 и СНиП III-42-80*) проектируются на основании данных гидрологических, инженерно-геологических и топографических изысканий в заданном районе пересечения трубопроводом водной преграды и требований по охране рыбных ресурсов.

Створы переходов через водотоки выбираются на прямолинейных устойчивых плёсовых участках с пологими не размываемыми берегами при минимальной ширине заливаемой поймы. Створ подводного перехода, как правило, предусматривается перпендикулярным динамической оси потока, избегая участков, сложенных скальными грунтами. Устройство переходов на перекатах не допускается. При выборе створа перехода трубопровода учитываются гидрологические и морфологические характеристики каждого водоёма или водотока и прогнозы возможных изменений в течение срока эксплуатации подводного перехода.

Способ строительства перехода через водоток определяется его значимостью для местного рыбного промысла и территориальными особенностями (СНиП 3.06.04-91), накладывающими ограничения на строительство такого перехода.

Выбор варианта строительства перехода при пересечении ручьёв и рек, относимых к категории рыбопромысловых, ограничен в наибольшей степени. Возможности пересечения периодически пересыхающих малых водотоков предполагают большой выбор вариантов строительства переходов. Ограничения на строительную деятельность для высыхающих или промерзающих до дна водотоков наименьшие. Ниже рассматриваются особенности проектирования переходов для типичных условий рек Северного Сахалина и побережья Хабаровского Края.

Большинство переходов через водотоки целесообразно проектировать подрусовыми, с применением траншейных методов (способов) прокладки, к которым относятся:

- ◆ «открытая выемка» или «открытая траншея» – не включает никаких специальных технических решений и приспособлений при пересечении самых малых водотоков, при этом разработка траншеи проводится тем же способом, что и на суше;
- ◆ «дамба с перекачкой» – предназначен для более крупных ручьёв. Для водотоков с небольшим уклоном применяется способ «две дамбы с перекачкой». Данные способы предполагают использование дамб(ы) и насосной откачки;
- ◆ «дамба с быстротоком» – применяется для ещё больших по водности водотоков с большими уклонами. Метод включает отсечение участка перехода двумя дамбами и пропуск расхода воды через трубу, пропущенную через тело дамб.

Работы, связанные со строительством переходов траншейного типа, производятся в течение 2 суток, что позволяет минимизировать воздействие на водотоки. Глубина заложения трубы на 1,5-2,0 м ниже дна водотока обеспечивает отсутствие воздействия на водные объекты при эксплуатации.

Возможно строительство перехода через водотоки бестраншейным методом – «горизонтальное бурение», без прямого воздействия на водотоки.

Описание схем пересечения водотоков различными методами рассмотрены ниже. Схемы переходов, выполненные с помощью программы «3D Studio Max», представлены на цв. ил. 9, стр. 201.

Пересечение методом «открытая выемка»

Данный метод применяется при расходе реки, не превышающем 1,0 м³/с, либо при проведении строительных работ в русле высохшей реки и когда она находится в мёрзлом состоянии. В этом случае, связанные со строительством воздействия на водоток, ниже места пересечения, будут незначительными. В целях минимизации эрозии почвы русло и берега восстанавливаются и стабилизируются после завершения прокладки трубопровода.

Пересечение водотоков методом «открытая траншея» возможно с использованием следующих технических средств: одноковшовый и/или роторный экскаватор, драглайнер и траншейно-цепной экскаватор, и др. [11].

Пересечение методом «дамбы с перекачкой»

В зависимости от типа грунта и уклона водотока дамба устанавливается выше участка строительных работ. Общий сток реки отводят от места

производства работ (строительная площадка) с использованием погружного насоса производительностью не менее $1,0 \text{ м}^3/\text{с}$. Такой способ применяется при пересечении рек высокой рыбохозяйственной ценности. Плотины в основном изготавливают из стальных листовых щитов, вдавливаемых в подпочвенные слои.

Пересечение методом «две дамбы с перекачкой»

Метод применяется для водотоков с небольшим уклоном реки и аналогичен методу «дамбы с перекачкой». В данном случае, на водотоке устанавливаются две дамбы, выше и ниже места предполагаемой траншеи. Общий сток реки отводится от места производства работ (строительная площадка) за вторую («нижнюю») дамбу с использованием погружного насоса производительностью не менее $1,0 \text{ м}^3/\text{с}$. Вода, находящаяся между дамбами, отводится за вторую дамбу, для получения «сухого» русла водотока.

Пересечение методом «дамба с быстотоком»

Пересечение с акведуком (быстотоком) применяется для отведения потока при расходе реки до $4,0 \text{ м}^3/\text{с}$. Для обеспечения перехода необходимо поднять дамбой уровень воды на высоту от 600 до 900 мм. Это достигается при большом уклоне реки. Пересечения с акведуком применяют в руслах со стабильным грунтом при стоке от $1 \text{ м}^3/\text{с}$ до $3 \text{ м}^3/\text{с}$. Акведуки выполняют из двух секций шириной 4 м, высотой 4 м и длиной 16 м. Обе секции соединяются между собой для получения единого акведука длиной, приблизительно 32 м.

Пересечение методом «горизонтальное бурение»

Применение горизонтально пробуренных переходов позволяет свести нарушения в русле и на берегах реки к минимуму. Бестраншейный метод, основанный на использовании технологии наклонно-направленного бурения, позволяет подготовить и проложить трассу трубопровода и других коммуникаций под дном водных преград, железными и шоссейными дорогами, инженерными сооружениями и т.д. По заранее намеченной траектории скважина проводится под объектом, затем её ствол расширяется (до 1,5 м в диаметре), и в него протаскивают рабочий трубопровод, который предварительно сваривают, проверяют на прочность и герметичность. Строительство такого перехода связано с большими затратами и требует наличия обширных свободных участков по обеим сторонам реки.

На основе гидрологических характеристик, состава грунтов и технических решений по выбору способа перехода разработаны методы оценки уровня воздействия на водотоки при использовании одноковшового экскаватора.

Методы оценки уровня воздействия на водотоки

Оценка уровня воздействия при прокладке трубопровода под руслом водотока заключается в определении концентрации и скорости поступления ЗВ в водную толщу. Основным загрязнением являются частицы, которые переходят во взвешенное состояние (взвешенные вещества) при строительстве и обустройстве траншеи, укладке трубопровода на дно траншеи, (де) монтаже специальных технических сооружений.

Предлагаемая методика оценки концентрации и скорости поступления ЗВ в водоток при разработке «открытой траншеи» (выемка и засыпка грунта).

Концентрация ЗВ, переходящих в водную толщу, при разработке траншеи методом «открытая траншея» рассчитывается по формуле 1:

$$C = M / V \cdot 10^3, \quad (1)$$

где C – концентрация ЗВ в воде (мг/л);
 M – масса ЗВ, переходящих в водную толщу (кг);
 V – объём воды, несущей ЗВ (м³).

Масса ЗВ, переходящих в водную толщу при выемке и засыпке грунта рассчитывается разными методами.

При расчёте массы ЗВ (выемка грунта) учитываются эффекты просора [12] и содержание пылевато-глинистых частиц в разрабатываемом грунте [4]. Применение коэффициента просора позволяет учитывать только ту часть веществ, которые переходят во взвешенное состояние или смываются (размываются) при проведении работ. Расчётная формула для оценки массы ЗВ при выемке грунта имеет следующий вид:

$$M = \rho \cdot K_{ПР} \cdot K_{ПГЧ} \cdot V_{ЗВ} \cdot 10^3, \quad (2)$$

где ρ – плотность грунта в районе работ (т/м³);
 $K_{ПР}$ – коэффициент просора;
 $K_{ПГЧ}$ – коэффициент учитывающий содержание пылевато-глинистых частиц в разрабатываемом грунте;
 $V_{ЗВ}$ – объём вынимаемого грунта за одну операцию (м³).

При расчёте массы ЗВ для случая засыпки траншеи учитывается эффект «кома» [12], когда слипшиеся крупные частицы практически моментально оседают на дно водотока, увлекая за собой часть мелких частиц, не давая им переходить в водную толщу. Расчётная формула для оценки массы ЗВ при засыпке траншеи выглядит следующим образом:

$$M = \rho_{ЗАС} \cdot V_{ЗАС} \cdot (1 - K_{КОМА}) \cdot 10^3, \quad (3)$$

где $\rho_{ЗАС}$ – плотность засыпаемого грунта (т/м³);
 $V_{ЗАС}$ – объём засыпаемого грунта за одну операцию (м³);
 $K_{КОМА}$ – коэффициент «кома».

Расчёт объёма воды, несущей загрязнения, рассчитывается на основе гидрологических характеристик водотока с учётом технических параметров оборудования, используемого для операций выемки и засыпки грунта.

$$V = T_1 \cdot Q \cdot L_{КОВ} / L_{РЕК}, \quad (4)$$

где T_1 – время на одну операцию (с);
 Q – расход водотока в месте работ (м³/с);

$L_{КОВ}$ – условная длина ковша или участка выемки/засыпки грунта за одну операцию (м);

$L_{ПЕК}$ – ширина водотока в месте работ (м).

В случае, если длина ковша превышает ширину водотока в месте работ, т.е. $L_{КОВ} > L_{ПЕК}$, то объём воды, несущей загрязнения, рассчитывается по следующей формуле:

$$V = T_1 \cdot Q, \quad (5)$$

Т.е. в этом случае ширина участка выемки грунта принимается равной длине ковша ($L_{КОВ} = L_{ПЕК}$).

Оценка скорости поступления (или расхода) загрязнённых вод рассчитывается на основе расхода реки в месте проведения работ по следующей формуле:

$$v = Q \cdot L_{КОВ} / L_{ПЕК}, \quad (6)$$

где v – скорость поступления или расход загрязнённых вод (м³/с).

В случае, если длина ковша превышает ширину водотока в месте работ, т.е. $L_{КОВ} > L_{ПЕК}$, то длина ковша принимается равной ширине водотока на участке работ ($L_{КОВ} = L_{ПЕК}$), и расход загрязнённых вод приравнивается к расходу реки, т.е. весь объём водной толщи считается загрязнённым, т.е.:

$$v = Q \quad (7)$$

Предлагаемая методика оценки концентрации и скорости поступления ЗВ в водоток при строительстве перехода с использованием гидротехнических сооружений.

Концентрация ЗВ, переходящих в водную толщу, при строительстве переходов через водотоки с помощью гидротехнических сооружений, таких как дамба и быстроток, рассчитываются так же, как и для «открытой траншеи» (см. формулу 1).

Согласно натурным наблюдениям, наибольшая часть ЗВ переходит в водную толщу в момент демонтажа гидротехнических сооружений, когда происходит интенсивный смыв грунта, использованного в строительстве и укреплении сооружений, а также смыв уплотнённого грунта с ложа водотока в месте проведения земляных работ. Расчётная формула для оценки массы ЗВ при снятии гидротехнических сооружений имеет следующий вид:

$$M = \rho \cdot V_{ГР} \cdot K_{ПГЧ} \cdot 10^3, \quad (8)$$

где ρ – плотность грунта в районе работ (т/м³);

$V_{ГР}$ – объём размываемого грунта (м³);

$K_{ПГЧ}$ – коэффициент учитывающий содержание пылевато-глинистых частиц в разрабатываемом грунте.

Объём размываемого грунта рассчитывается на основе характеристик гидротехнических сооружений с учётом гидрологических условий водотока. Расчётная формула выглядит следующим образом:

$$V_{ГР} = H_{ГР} \cdot L_{РЕК} \cdot D, \quad (9)$$

где $H_{ГР}$ – слой размываемого грунта в месте работ (м);

$L_{РЕК}$ – средняя ширина водотока в месте работ (м);

D – длина участка земляных работ (м).

Объём воды, несущей загрязнения, рассчитывается на основе гидрологических характеристик водотока, при этом принимается, что весь объём воды, проходящей по участку земляных работ, будет нести взвешенные частицы. Следовательно, формула расчёта объёма загрязненной воды будет иметь следующий вид:

$$V = Q \cdot T_1, \quad (10)$$

где Q – расход реки в месте работ (м³/с);

T_1 – время на операцию по снятию гидротехнических сооружений (с);

Оценка скорости поступления ЗВ в водную толщу (или расхода загрязнённых вод) определяется на основе расхода реки в месте проведения работ. Предполагается, что весь объём воды проходящей по участку земляных работ будет нести взвешенные частицы, следовательно, расход загрязнённых вод условно равен расходу водотока в месте работ:

$$v = Q. \quad (11)$$

Пример расчёта уровня воздействия

Для выявления уровня негативного воздействия на типичный водоток северо-восточной части Сахалина проведена серия расчётов с учетом перехода через водоток различными методами.

Характеристики гидротехнических сооружений и оборудования выбирались из справочной литературы [11]. Гидрологические и технические параметры, принятые для проведения расчётов, приведены в табл. 1.

Подставляя значения из табл.1 в формулы, приведённые выше, проводится расчёт концентрации и скорости поступления взвешенных веществ в водоток на условной отметке в один метр вниз по течению от точки работ. Результаты расчётов представлены в табл. 2.

По результатам расчётов, приведённых в табл. 2, видно что, максимальное воздействие на водоток будет оказываться во время работ по засыпке «открытой траншеи». Источник воздействия действует около 5-6 ч, в этот период в водоток поступают взвешенные вещества с повышенной концентрацией. По экспертным оценкам, восстановление гидрохимических характеристик до нормального уровня будет проходить в течение 15-30 ч после прекращения работ, что обусловлено длительностью восстановления нарушенных морфологических характеристик водотока (дно, берега и др.).

Таблица 1

Гидрологические и технические параметры

Обозначение	Наименование величины	Открытая траншея		Гидротехнические сооружения	
		выемка	засыпка	установка	снятие
ρ (т/м ³)	Плотность грунта в районе работ	1,5		1,5	1,5
$K_{ПР}$	Коэффициент просора	0,066			
$K_{ПГЧ}$	Коэффициент, учитывающий содержание пылевато-глинистых частиц в разрабатываемом грунте	0,02		2	2
$V_{ЗВ}$ (м ³)	Объём вынимаемого грунта за одну операцию	1			
$\rho_{ЗАС}$ (т/м ³)	Плотность засыпаемого грунта		1,2		
$V_{ЗАС}$ (м ³)	Объём засыпаемого грунта за одну операцию		1		
$K_{КОМА}$	Коэффициент «кома»		0,99		
T_1 (с)	Время на одну операцию	30	30	600	120
Q (м ³ /с)	Расход реки в месте работ	0,5	0,5	0,5	0,5
$L_{КОВ}$ (м)	Длина ковша или участка выемки / засыпки грунта за одну операцию	1	1	6	6
$L_{РЕК}$ (м)	Ширина водотока в месте работ	6	6	6	6
$H_{ГР}$ (м)	Слой размываемого грунта в месте работ			0,05	0,02
D (м)	Длина участка земляных работ			1	10

Таблица 2

Расчётные значения

Обозначение	Наименование величины	Открытая траншея		Гидротехнические сооружения	
		выемка	засыпка	установка	снятие
C (мг/л)	Концентрация ЗВ	720	4800	30	600
M (кг)	Масса ЗВ за одну операцию	1,8	12	9	36
V (м ³)	Объём воды, несущей загрязнения	2,5	2,5	300	60
ν (м ³ /с)	Расход загрязненной воды	0,08	0,08	0,50	0,50
$T_{ОБЩ.}$ (с)	Общее время работы источника	21600	18000	7200	3600
$M_{ОБЩ.}$ (кг)	Общая масса ЗВ за период работы источника	1296	7200	108	1080

Воздействие при выемке грунта во время разработки открытой траншеи будет меньше, чем при засыпке траншеи. Однако данный источник воздействия действует на протяжении 4-5 ч – во время непосредственной выемки грунта и

10-20 ч при естественном (постепенном) замывании траншеи в период проведения работ по прокладке трубопровода.

При монтаже гидротехнических сооружений оказывается минимальный уровень воздействия на водоток, так как установка дамб и быстротока происходит за довольно короткий промежуток времени, при этом нарушение морфологических характеристик водотока минимально. Несколько большее воздействие на водоток оказывается при демонтаже гидротехнических сооружений. В этом случае, за короткий промежуток времени (примерно в течение одного часа) в результате интенсивного смыва потоком воды в водоток поступает большое количество взвешенных веществ. Морфологические характеристики водотока восстанавливаются в «сухом» русле до периода демонтажа гидротехнических сооружения (плотин, быстротоков). Восстановительный период гидрохимических характеристик водотока до уровня, близкого к естественному, составляет 8-20 ч.

На основе информации по гидрологическим характеристикам водных объектов, составу грунтов и технических решений по выбору метода перехода (табл. 2), проводится оценка распространения взвешенных веществ в водотоке. Расчёт концентрации взвешенных веществ проводится по методике [3] для контрольных точек водотока, которые заданы на расстоянии 50, 100, 500 и 1000 м вниз по течению от места работ. Результаты расчётов для максимальной интенсивности воздействия источников приводятся в табл. 3.

Таблица 3

Оценка уровня воздействия при переходах через водотоки

Вид перехода	Концентрация взвешенных веществ (превышение над фоном, в мг/л) при удалении от места работ на				
	0 м	50 м	100 м	500 м	1000 м
Открытая траншея (выемка)	720,0	450,4	355,2	173,0	125,8
Открытая траншея (засыпка)	4800,0	2700,0	2121,0	986,7	703,3
Гидротехническое сооружение (установка)	30,0	19,1	15,3	7,9	6,0
Гидротехническое сооружение (снятие)	600,0	375,4	296,1	144,3	105,0

Расчёт концентрации взвешенных веществ при строительстве переходов через водотоки показал, что по достижении контрольного створа (для водотоков принимается не более 500 м):

- ◆ концентрация взвешенных веществ уменьшается примерно в 5-6 раз;
- ◆ на границе контрольного створа концентрация взвешенных веществ стабилизируется и практически не изменяется;
- ◆ основная часть взвешенных веществ оседает в непосредственной близости (0-50 м) от места работ.

На основе проведённых расчётов и натурных наблюдений, исходя из критерия минимизации негативного воздействия на окружающую среду, можно сделать следующие выводы:

- ◆ для водотоков, с расходом около 1-4 м³/с, целесообразно применение специальных технических сооружений в виде системы дамб с насосами или быстротоки;
- ◆ для водотоков высшей и первой рыбохозяйственной категории, при необходимости сохранения постоянного расхода, оптимально с учетом экологических требований? использование методов перехода «дамбы с перекачкой» или «быстроток»;
- ◆ использование метода «отрытая траншея» возможно при пересечении водотоков с малыми расходами (до 1 м³/с) или при его отсутствии (пересыхание/замерзание водотока), а также при расходах превышающих пропускную возможность гидротехнических сооружений.

Заключение

Разработана и опробирована методика оценки воздействия на водотоки при строительстве подрусловых переходов при проведении ОВОС/ООС по проектам освоения нефтегазовых месторождений на шельфе Сахалина в 2002-2003 гг.

В дальнейшем предполагается разработка и/или уточнение методики для различных видов водотоков, в зависимости от их гидрологических характеристик, технических параметров сооружений и механизмов.

Авторы выражают признательность (в алф. порядке) А.А. Богдановскому, И.Е. Кочергину, М.В. Мищенко, С.И. Рыбалко за высказанные замечания и помощь при подготовке статьи к публикации. Особую благодарность выражаем И.А. Аршинову за помощь в подготовке иллюстрационного материала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Временные рекомендации по проектированию сооружений для очистки поверхностного стока с территории промышленных предприятий и расчёту условий выпуска его в водные объекты. М.: ВНИИ ВОДГЕО и ВНИИВО, 1983. 47 с.
2. ГОСТ 17.1.3.10-83. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране поверхностных и подземных вод от загрязнения нефтью и нефтепродуктами при транспортировании по трубопроводу.
3. Методика расчёта предельно допустимых сбросов (ПДС) веществ в водные объекты со сточными водами. Харьков, 1990. 113 с.
4. Методика по расчёту платы за загрязнение акваторий морей и поверхностных водоёмов, являющихся федеральной собственностью Российской Федерации, при производстве работ, связанных с перемещением и изъятием донных грунтов, добычей нерудных материалов из подводных карьеров и захоронением грунтов в подводных отвалах. М.: НЦПИ, Государственный комитет РФ по охране окружающей среды (Госкомэкологии РФ) от 29.04.99. 33 с.
5. Методические указания по разработке нормативов предельно допустимых вредных воздействий на поверхностные водные объекты. Приказ МПР России, Госкомэкологии России от 26.02.1999.
6. Методические указания по расчёту платы за неорганизованный сброс загрязняющих веществ в водные объекты // Государственный комитет Российской Федерации по охране окружающей среды. М., 1998. 28 с.
7. СНиП 2.05.06-85 (2000). Магистральные трубопроводы.
8. СНиП 2.05.13-90. Нефтепроводы, прокладываемые на территории городов и других населённых пунктов.

-
-
9. СНиП 3.06.04-91. Мосты и трубы.
 10. СНиП III-42-80 (2000). Магистральные трубопроводы.
 11. Ялтанец И.М., Егоров В.К. Гидромеханизация. Справочный материал. М.: Издательство МГГУ, 1999. 338 с.
 12. Kochergin I.E., Bogdanovsky A.A. New version of contaminant transport model in sea // J. Pacific Oceanography, 2003. Vol. 1, №1. P. 53-60.

МАКРОБЕНТОС И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЕГО ТРОФИЧЕСКИХ ГРУППИРОВОК НА ШЕЛЬФЕ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО САХАЛИНА

Охотское море всегда привлекало внимание учёных различных направлений. Прежде всего, это связано с его исключительно промысловым значением. Однако в последние годы возрос интерес к Охотскому морю в связи с разработкой и добычей нефти и газа на шельфе северо-восточного Сахалина. Рациональное использование ресурсов шельфа Сахалина настоятельно требует всестороннего и грамотного подхода к изучению различных сторон функционирования этой сложной природной системы.

Изучение бентосного населения Охотского моря было начато еще Ушаковым, который дал первый обзор по фауне и флоре по материалам экспедиционных сборов 1932 г. [1]. Применение количественных методов в гидробиологии дало возможность Савилову А.И. [2] выделить основные экологические группы донных беспозвоночных Охотского моря по соотношению их биомассы. Исследования ТИНРО на шельфе Охотского моря в 1974, 1976, 1977 гг. позволили составить количественную характеристику основных групп макробентоса на всех участках охотоморского шельфа [3, 4].

Начиная с 1990 г. гидробиологические исследования на шельфе Охотского моря, преимущественно в районах нефтегазосных площадей, ведут сотрудники ДВНИГМИ [5, 6, 7].

В июле-сентябре 2000 г. Сахалинским Управлением Гидрометеорологической Службы (СахУГМС) совместно с СахНИРО в рамках программы «Комплексного экологического мониторинга морских и прибрежных вод в восточной части Сахалинского шельфа» были проведены обширные экспедиционные работы. Основная цель исследований заключалась в изучении современного состояния планктонного и донного сообществ. Задача настоящих исследований – описание качественной, количественной характеристик макробентоса и особенностей распределения его трофических группировок на шельфе северо-восточного Сахалина.

Материалы и методики

Материалы для данной работы были получены при проведении комплексного экологического мониторинга морских прибрежных вод северо-восточного побережья о. Сахалин на НИС «П. Гордиенко» сотрудниками СахНИРО, СахУГМС в июле 2000 г. и береговой полигонной съёмки СахУГМС в июле-сентябре 2000 г. (рис. 1).

Работы на шельфе проводились на пяти стандартных океанографических разрезах и четырех дополнительных. Всего было выполнено 34 дночерпательные станции и 43 литоральных.

Отбор проб бентоса осуществляли с помощью дночерпателя Van Veen (0,2 м²) по сетке разрезов, на литоральных станциях пробы были отобраны бентометром Леванидова (0,16 м²). На каждой станции было отобрано по 2

пробы, которые промывали на ситах с минимальным размером ячеей 1 мм и фиксировали 4% раствором формальдегида или этиловым спиртом согласно существующих методик [8, 9].

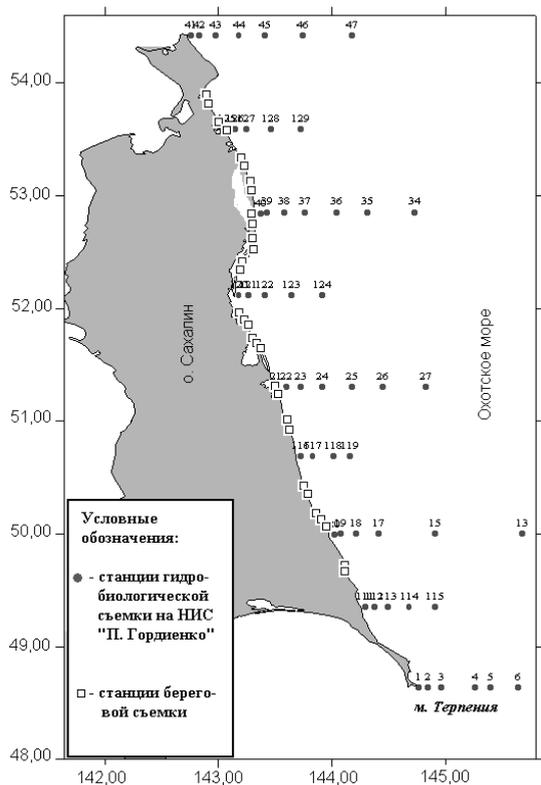


Рис. 1. Карта-схема района исследований

Первичную обработку проб бентоса (разборка до систематических групп) проводили в камеральных условиях в лаборатории прикладной экологии СахНИРО сотрудниками лаборатории Лабаем В.С., Печеновой Н.В., Шпилько Т.С. Видовое определение организмов бентоса осуществляли: Лабай В.С. – фораминиферы, кишечнорастворные, ракообразные, моллюски, иглокожие, мшанки; Немчинова И.А. – веслоногие раки; Печенева Н.В. – многощетинковые черви. Определение проводили по влажным экземплярам на бинокулярном микроскопе МБС-10 и фотомикроскопе «Olympus BH2». При необходимости изготавливали временные или постоянные препараты. Определённые организмы обсушивали на фильтровальной бумаге до исчезновения влажного пятна и взвешивали на электронных весах «ER-120A» с точностью до 0,0001 г. Данные обработки заносили на карточки и в электронную таблицу. Определённые организмы фиксировали и упаковывали для длительного хранения.

Для выяснения значимости отдельных видов и групп видов вычисляли следующие количественные показатели:

- ◆ среднюю численность;
- ◆ среднюю биомассу;
- ◆ частоту встречаемости находили как процент проб, в которых встречался тот или иной вид.

Для выделения трофических группировок использовали кластерный анализ на основе индекса [10]:

$$C_{xy} = 100 - 0,5 \sum (|p_x - p_y|), \quad (1)$$

где C_{xy} – индекс ценотического сходства станций x и y (%);

p – вклад конкретного вида в общую биомассу станций x и y , соответственно (%).

Результаты и обсуждения

Шельфовая зона северо-восточного Сахалина ограничена с запада слабоизрезанной береговой линией. Характеризуется широкой отмелью в северной части, плавно переходящей на юге в узкую ступень и крутым склоном [11].

В летний период 2000 г. шельфовые воды северо-восточного побережья Сахалина характеризовались относительно низким температурным фоном. Температура воды в поверхностном слое изменялась в пределах 2-12°C. Ниже 40 метров начинался холодный промежуточный слой. Температура воды в нём изменялась от 0°C до -1,7°C.

В распределении солёности были выявлены следующие особенности. На севере исследуемого района отмечалась обширная область с пониженными значениями солёности в верхнем 20-метровом слое, которая прослеживалась от широты мыса Елизаветы до залива Тропто. Значения солёности здесь составляли: на разрезе м. Елизаветы – м. Крутогорова – 21,2-26,1‰, на 4-м дополнительном разрезе – 26,1-28,1‰. Образование этой зоны с пониженными значениями солёности было связано с увеличением стока реки Амур (за счёт весеннего паводка и таяния льда). При продвижении к югу солёность возрастала и на разрезе Терпение-море достигала 32,1-32,3‰.

В целом, характер вертикального и горизонтального распределения и абсолютные значения температуры и солёности на шельфе северо-восточного Сахалина в период исследований были близки к среднемноголетним.

Основной тип осадков на шельфе северо-восточного Сахалина – пески, выстилающие большую часть отмели и опускающиеся на значительную глубину по склону в северной части. Более мелкие алевро-песчанистые осадки встречаются на отмели вблизи лагун Чайво и Ныйская, отдельным пятном в южной части исследуемого участка, исключая площади дна у м. Терпения [11].

Всего на шельфе северо-восточного Сахалина обнаружено 465 видов и подвидов донных организмов, представленных исключительно животными.

В пределах обследованных площадей дна распределение концентрации видов бентоса неоднородно (рис. 2). Отчетливо проявляется зависимость показателя от глубины. Максимальное количество видов (до 90 видов) отмечено для нижней сублиторали и склона. Минимальное (до 2 видов) – на литорали.

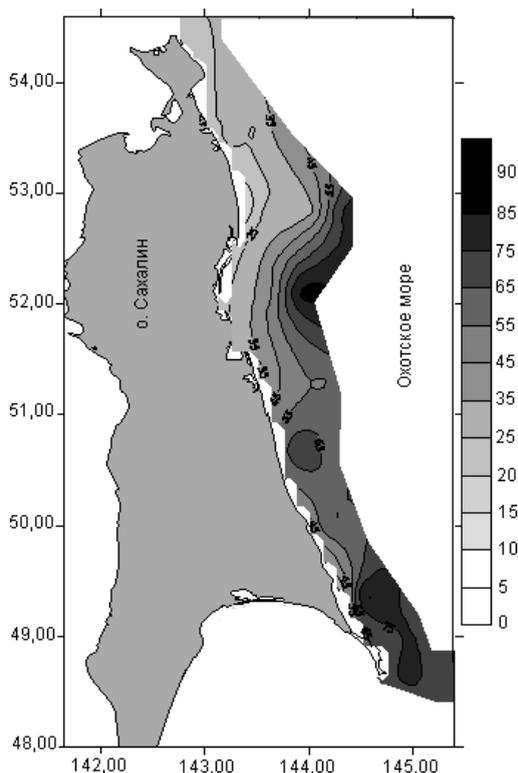


Рис. 2. Распределение числа видов донных организмов на шельфе северо-восточного побережья о. Сахалин

Выделяются три зоны повышенной концентрации видов. Первая зона характеризует нижнюю сублитораль и склон северной расширенной шельфовой зоны с максимумом, отмеченным на траверсе лагун Чайво и Ныйская. Вторая зона отмечена в нижней сублиторали на широте $52^{\circ}40'$. Третья зона характеризует нижнюю сублитораль и склон у м. Терпения.

Отмеченные выше районы ограничиваются площадями низкой концентрации видов донных гидробионтов. Наиболее значимым районом с низким показателем являются площади в северной части шельфа, соответствующие шельфовому расширению северо-восточного Сахалина. Другая такая зона узким клином тянется от прибрежных мелководий у лагун Чайво и Ныйская на юго-восток.

Изменения числа видов с глубиной по отдельным разрезам отображены на рис. 3. Визуально выделяется три группы разрезов. К первой группе относятся разрезы северной части шельфа (Елизавета-море, 4-й дополнительный, Пильтун-море). На перечисленных разрезах отмечено увеличение числа видов в интервале глубин 30-50 м, с последующим его уменьшением на 50-80 м и резким возрастанием к 200 м и более. Вторая группа разрезов характеризует южную, узкую прибрежную зону (Терпения-море, 1-й дополнительный, Низкий-море, 2-й дополнительный, Луньский-море). На этих разрезах отмечено увеличение числа

видов до глубин 100-140 м, с последующим его уменьшением. Вышеперечисленные группы разрезов, различающиеся характером изменения числа видов с глубиной, разделяет разрез 3-й дополнительный, на котором отмечено увеличение видового разнообразия уже к 50-60 м глубины.

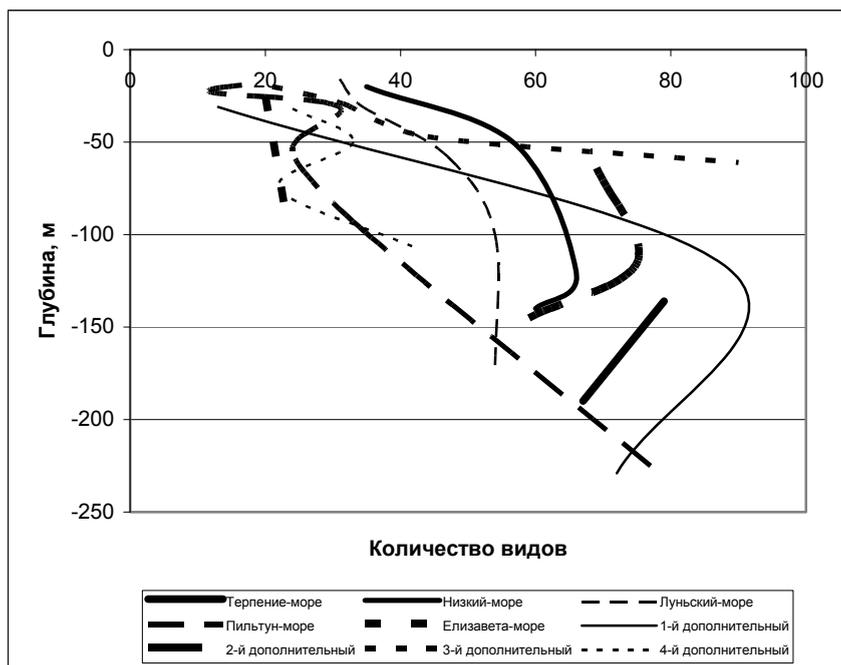


Рис. 3. Распределение числа видов донной фауны на шельфе северо-восточного Сахалина по разрезам

Подобное разделение шельфовой зоны на два района, с различными типами распределения концентрации видов обусловлено, в первую очередь, характером нарастания глубин и расположением склона: в северном районе сублитораль образует широкую ступень, со смещением склона на глубины от 100 м и более; в южном районе ступень узкая и склон смещён вверх.

В пределах обследованной акватории донная фауна характеризовалась следующими показателями. Общая биомасса достигала $1765,68 \text{ г/м}^2$ (ст. 124). Средняя общая биомасса (исключая станции литорали) составляла $326,56 \text{ г/м}^2$. По данным А.А. Нейман [12] биомасса бентоса на шельфе Восточного Сахалина изменялась от 100 до 700 г/м^2 . В.Н. Кобликов и др. [4] приводят следующие количественные показатели для макробентоса. Так, средняя общая биомасса бентоса на Восточном Сахалине составляет $374,9 \pm 30,2 \text{ г/м}^2$, изменяясь от $437,4 \pm 74,4$ в районе северо-восточного Сахалина до $226,0 \pm 27,7$. Несмотря на то, что при отборе бентоса в вышеприведённых исследованиях использовали дночерпатель «Океан-50», эти данные сопоставимы с теми, которые были получены нами в 2000 г. К тому же, анализ работы дночерпателей разных систем [12], показал, что на основной площади шельфа дночерпатели разных систем дают очень сходные результаты. Можно отметить, что в целом, значения

биомассы на шельфе Восточного Сахалина по данным разных лет, существенных изменений не претерпели.

Основную роль в составе донной фауны играют свободноживущие на поверхности дна подвижные животные (вагильный бентос) и инфауна (табл. 1).

Таблица 1

Распределение основных групп бентоса по глубине

Глубина, м	Вагильный бентос		Сессильный		Инфауна		Весь бентос: средняя биомасса, г/м ²
	средняя биомасса, г/м ²	биомасса, %	средняя биомасса, г/м ²	биомасса, %	средняя биомасса, г/м ²	биомасса, %	
0-50	245,3	85,6	4,1	1,4	37,3	13,0	286,7
50-100	338,0	75,7	18,9	4,2	89,8	20,1	446,7
100-200	58,5	4,6	100,2	7,9	1116,9	87,6	1275,6
более 200	142,8	83,1	2,1	1,2	26,8	15,6	171,7

В прибрежных районах шельфа (главным образом в верхней сублиторали на глубинах до 100 м), где распространены песчанистые грунты, ведущую роль играют представители вагильного бентоса. В нижней сублиторали (на глубинах 100-200 м) преобладают представители инфауны, обитающие здесь на мелкопесчанистых и алевритовых грунтах. На склоне в зоне распространения промывных песчанистых грунтов вновь превалирует вагильный бентос.

Как видно из рис. 4, значительная часть прибрежной зоны шельфа характеризуется биомассой 100-600 г/м², образованной, преимущественно, представителями вагильного бентоса, среди которых наибольшее значение имеют плоские ежи *Echinarachnius parma*, бокоплавы *Anonyx nuxax pacificus*, кумовые раки *Diastylis bidentata*, равноногие раки *Saduria entomon f. orientalis*, двустворчатые моллюски *Ciliatocardium ciliatum tchuktchese*, *Cyclocardia ventricosa ovata*, *Peronidia venulosa*, *Serripes groenlandicus*, *Yoldia seminuda*, полихеты *Enipo pavlovskii*, *Nephtys caeca*, *Nephtys longosetosa*. Только южнее 52° с.ш. (ст. 123) возрастает роль организмов инфауны, представленных бокоплавами *Ampelisca eschrichti* и *Ampelisca macrocephala*, строящими в толще грунта трубчатые домики. На этой же широте в нижнем горизонте верхней сублиторали (ст. 124), наряду с *Ampelisca eschrichti*, велика роль сессильного бентоса, в частности, мшанок *Leieshara subgracilis*, образующих на дне кустистые кораллоподобные заросли.

Достаточно высокие значения общей биомассы бентоса до 200-400 г/м² прослеживаются в нижней сублиторали (на глубинах 100-200 м) южной части обследованного шельфа (ст. 4, 17, 18) (рис. 4). Однако на разных станциях они определяются разными группами бентоса. У м. Терпения (ст. 4) на гравийных грунтах основную часть биомассы формировали сессильные асцидии, существенную роль в составе биомассы бентоса на этой станции играли и вагильные фораминиферы рода *Pseudonodosinella*. На расположенных севернее станциях 17 и 18 на илисто-песчаных грунтах повышенная биомасса обусловлена поселениями организмов инфауны: сипункулид *Phascolosoma sp.*, многощетинковых червей *Axiiothella catenata*, *Chaetozone setosa* и некоторых других форм инфауны.

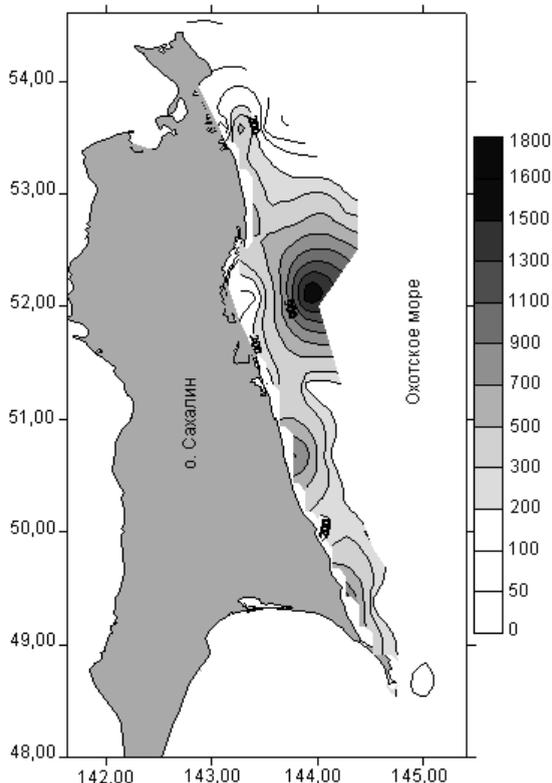


Рис. 4. Распределение общей биомассы бентоса ($г/м^2$) на шельфе северо-восточного побережья о. Сахалин

Высокая биомасса бентоса ($120-220 г/м^2$) наблюдается на склоне. В северной части района (ст. 35) она обусловлена поселениями голотурий *Chiridota pellucida*. В южной части – поселениями полихет *Nephtys caeca*.

Наряду с рассмотренными районами повышенной биомассы бентоса следует отметить участки шельфа, характеризующиеся весьма низкими показателями, не превышающими, как правило, $13 г/м^2$.

Минимальные показатели характеризуют литораль всего обследованного района. Здесь организмы бентоса не были обнаружены. Исключение составили только приустьевые зоны лагун, где биомасса достигала $3,85 г/м^2$. Вся биомасса была образована вагильными гидробионтами, преимущественно бокоплавами *Eogammarus schmidti*.

В верхней sublitorали у м. Елизаветы отмечен участок пониженной биомассы ($7-13 г/м^2$). Здесь основную биомассу формировали представители вагильного бентоса: плоский морской ёж *Echinarachnius parma*, двустворчатые моллюски *Yoldia myalis*, полихеты *Nephtys caeca* и представители сессильного бентоса – неопределённые губки.

В пределах обследованной акватории донная фауна характеризовалась следующими показателями численности. Общая численность варьировала от $0 экз./м^2$ до $117055 экз./м^2$ (ст. 38). Средняя общая плотность составила

15518 экз./м².

Выделяется два участка повышенных скоплений организмов бентоса, приуроченные к сублиторали (рис. 5). Первый – северная часть шельфа (ст. 38) с плотностью поселения 117055 экз./м². Здесь основную плотность формировали вагильные ракообразные, преимущественно кумовые раки *Diastylis bidentata*. Второй участок отмечен на траверсе Луньского залива (ст. 22-24) и далее на юг (ст. 117) с плотностью до 98040 экз./м². На этом участке шельфа основную плотность формировали также кумовые раки *Diastylis bidentata*. Вероятно, обнаруженные скопления временны, так как (по авторским наблюдениям) кумовые раки *Diastylis bidentata* обладают высокой миграционной активностью в пределах шельфовой зоны северо-восточного Сахалина.

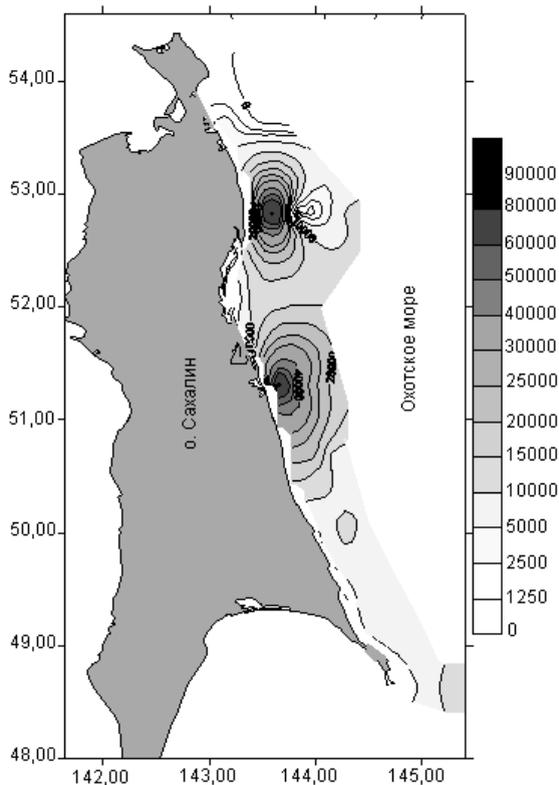


Рис. 5. Распределение общей численности донных организмов (экз./м²) на шельфе северо-восточного побережья о. Сахалин

Описанные районы ограничены зонами пониженной численности гидробионтов и разделены между собой участками низкой плотности (до 13000 экз./м²) на траверсе лагун Чайво и Ныйский залив (разрез 3-й дополнительный).

Кластерный анализ трофического сходства бентосных станций (рис. 6) и его картографическое отображение (рис. 7) показали удовлетворительное соответствие распределения трофических группировок с литодинамической

картой северо-восточного шельфа о. Сахалин [11]. При 50% уровне сходства на дендрограмме выделяется 5 кластеров, соответствующих трофическим группировкам.

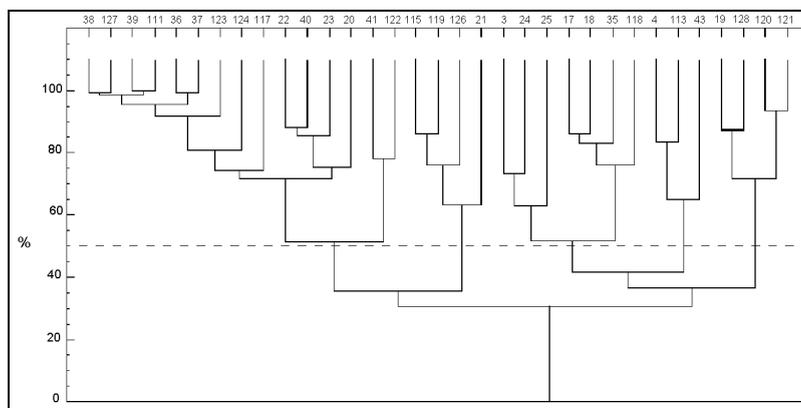


Рис. 6. Дендрограмма сходства трофической структуры бентоса на шельфе северо-восточного Сахалина (пунктиром выделен 50 % уровень сходства)

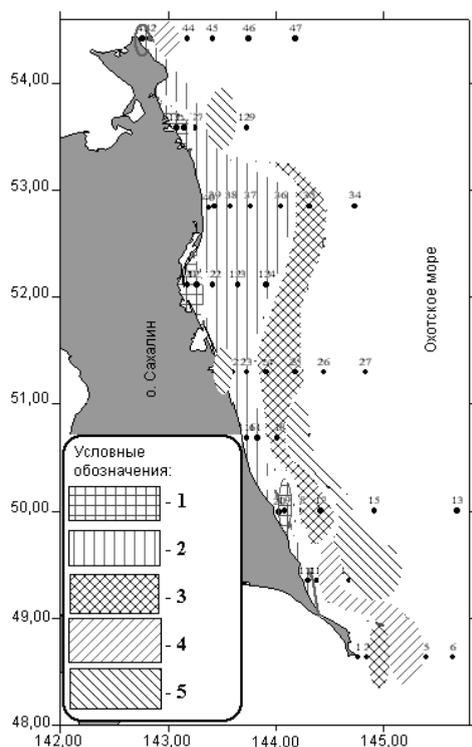


Рис. 7. Распределение трофических группировок на шельфе северо-восточного Сахалина: 1 – собирающие детритофаги; 2 – подвижные сестонофаги; 3 – грунтофаги; 4 – неподвижные сестонофаги + собирающие детритофаги + грунтофаги + плотоядные; 5 – плотоядные + грунтофаги

Группировка собирающих детритофагов

Группировка (ст. 19, 126, 120, 121) представлена отдельными участками в прибрежном мелководье на песчаных грунтах. Её основу составляют различные вагильные ракообразные, главным образом бокоплавы и равноногие раки, и некоторые виды двустворчатых моллюсков. Среди наиболее значимых видов можно выделить изопод *Saduria entomon* и амфипод *Eogammarus schmidti*, двустворчатых моллюсков *Peronidia venulosa* и *Yoldia seminuda*.

Группировка подвижных сестонофагов

Выделена по кластеру, включающим ст. 38, 127, 39, 111, 36, 37, 123, 124, 117, 22, 40, 23, 20, 41, 122. Ареал группировки занимает песчаные грунты сублиторали и совпадает с зоной транзита. Основную биомассу данной группировки формируют плоские морские ежи *Echinarachnius parma*, кумовые раки *Diastylis bidentata*, бокоплавы рода *Ampelisca*, двустворчатые моллюски *Ciliatocardium ciliatum tchuktchese*, *Serripes groenlandicus*, *Cyclocardia ventricosa ovata* и др.

Группировка грунтофагов

Выделена по кластеру ст. 3, 24, 25, 17, 18, 35, 118. Группировка занимает площади дна с песчано-алевритовыми и алевритовыми осадками в зоне смешанной потоковой и нефелоидной аккумуляции. В данной группировке доминируют безвыборочные грунтофаги, среди которых наиболее массовы сипункулиды *Phascolosoma sp.*, полихеты *Axiothella catenata* и др., голотурии *Chiridota pellucida*.

Группировка неподвижных сестонофагов + собирающие детритофаги + грунтофаги + плотоядные

Данная группировка характеризуется по кластеру ст. 4, 113, 43 и наблюдается на гравийных грунтах в смешанной зоне размыва-транзита у п-ова Шмидта и м. Терпения. Неоднородность зон литодинамики и особенности процессов транзита и осаднения органического вещества обусловили сложный состав группировки. Наиболее представлены в ней неподвижные сестонофаги, среди которых наиболее многочисленны неопределённые асцидии, актинии, гидроидные полипы и мшанки, и собирающие детритофаги, основную долю которых составляют различные бокоплавы и полихеты. Другие массовые группы – грунтофагов и плотоядных – представлены, в основном, многощетинковыми червями.

Группировка плотоядных + грунтофаги

Характеризуется по кластеру, включающему ст. 115, 119, 128, 21. Группировка, в основном, приурочена к зоне нефелоидной аккумуляции на песчано-илистых грунтах. Основу данной группировки составляют плотоядные, преимущественно трупоеды, среди которых наиболее многочисленны полихеты рода *Nephtys*, афродитиды и немертины. Менее обильные грунтофаги также представлены полихетами, сипункулидами и некоторыми офиурами.

Отнесение к этой трофической группировке бентоса ст. 21, где преобладают пески, можно объяснить большим количеством бокоплавов *Anopax lugax pacificus*, которые образуют массовые скопления и кочуют в придонном

горизонте в поисках отмершей органики.

Как видно из рис. 7, распределение трофических группировок бентоса на шельфе Восточного Сахалина носит поясной характер. Полученные данные подтверждают выводы А.П. Кузнецова [9] о распределении трофических зон по вертикали в окраинных морях, где изобаты и основные потоки переноса вод идут параллельно берегу. Такое чередование зон согласуется с закономерным ходом изменения гидродинамической активности вод, с её затуханием по мере увеличения глубин и удаленности от берегов.

Заключение

В распределении основных количественных показателей на шельфе северо-восточного Сахалина можно отметить следующие характерные особенности:

- ◆ увеличение числа видов происходит от литорали к нижней сублиторали и склону;
- ◆ максимальные значения общей биомассы донных организмов наблюдались на сублиторали;
- ◆ основную биомассу бентоса образуют вагильные организмы, приуроченные преимущественно к песчаным грунтам;
- ◆ максимальные значения общей численности донных организмов отмечены также в сублиторали и формируются, преимущественно, кумовыми раками *Diastylis bidentata*;
- ◆ по характеру распределения количественных показателей бентоса шельфовую зону можно разделить на три характерных района: северный шельф – от м. Елизаветы до лагуны Чайво, центральный район – от лагуны Ныйский залив до м. Низкий, южный район – от м. Низкий до м. Терпения.

Трофическая характеристика бентоса шельфовой зоны северо-восточного Сахалина во многом определяется его литодинамическим режимом, обуславливающим такие важные факторы как состав донных отложений в местах обитания гидробионтов, типы и темпы осаднения органического вещества.

Распределение трофических группировок бентоса на шельфе северо-восточного Сахалина носит поясной характер, что обусловлено особенностями гидрологического режима данного участка шельфа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ушаков П.В. Фауна Охотского моря и условия ее существования. М.: АН СССР, 1953. 459 с.
2. Савилов А.И. Экологическая характеристика донных сообществ беспозвоночных Охотского моря. // Тр. ИОАН СССР, 1961. Т. 46. С. 3-84.
3. Кобликов В.Н. Состав и количественное распределение макробентоса на охотоморском шельфе Сахалина // Известия ТИНРО, 1982. Т. 106. С. 90-96.
4. Кобликов В.Н., Павлючков В.А., Надточий В.А.. Бентос континентального шельфа Охотского моря: состав, распределение, запасы // Известия ТИНРО, 1990. Т. 111. С. 27-37.
5. Ткалин А.В., Белан Т.А., Климова В.Л. Экологические условия шельфа северо-восточного Сахалина. Владивосток: ДВНИГМИ, 1991. 30 с. (Деп. во ВНИИГМИ-МЦД, 1991).

-
-
6. Ткалин А.В., Ройл Д.Дж., Сергушева О.О. Некоторые результаты экологического мониторинга Пильтун-Астохской площади в 1998 году // Тематический вып. ДВНИГМИ №2. Владивосток: Дальнаука, 1999. С. 145-160.
 7. Белан Т.А., Олейник Е.В. Состав, распределение и современное состояние бентоса на Пильтун-Астохской нефтегазоносной площади // Тематический вып. ДВНИГМИ №3. Владивосток: Дальнаука, 2000. С. 166-177.
 8. Кузнецов А. П. Экология донных сообществ Мирового океана. М.: Наука, 1980. 243 с.
 9. Кузнецов А.П. Фауна донных беспозвоночных прикамчатских вод Тихого океана и северных Курильских островов. М.: АН СССР, 1963. 271 с.
 10. Schoener T.W. Nonsynchronous spatial overlap of lizards in patchy habitats // Ecology. V. 51. №3, 1970. P. 408-418.
 11. Рыбаков В.Ф. Литодинамика охотоморского шельфа о. Сахалина // Береговая зона Дальневосточных морей. Л.: АН СССР, 1991. С. 85-97.
 12. Нейман А.А. Некоторые закономерности количественного распределения бентоса на шельфах северной Пацифики // Труды ВНИРО. Т. 57, 1965. С. 447-457.
 13. Нейман А.А. Количественное распределение бентоса на шельфе и верхних горизонтах склона восточной части Берингова моря // Труды ВНИРО. Т. 48. Вып. 1, 1963. С. 145-205.

ОСНОВНЫЕ ЧЕРТЫ ТЕХНОГЕНЕЗА НА ПОБЕРЕЖЬЕ ПРИМОРЬЯ

Побережья Мирового океана в последние десятилетия превратились в арену интенсивной хозяйственной деятельности. Достаточно напомнить, что на побережьях Мирового океана в полосе шириной 50 км ныне проживает и занимается различными видами производства около 1/3 населения планеты, а в таких странах как Япония и Австралия – 90% и 79%, соответственно [2]. На побережье Приморья проживает около 1,5 млн. человек, или более половины населения края. Наибольшая плотность населения наблюдается на побережье залива Петра Великого в пределах Владивостокской и Находкинской агломераций. Побережье Приморья подвержено влиянию негативных экологических последствий техногенных процессов, свойственных побережьям Мирового океана. Под техногенезом здесь, вслед за Н.Ф. Реймерс [8], понимается процесс изменения природных комплексов под воздействием производственной деятельности человека. В связи с этим справедливыми являются идеи Г.А. Сафьянова [9] о «...переходе к новой концепции преобразовательской деятельности человека на берегах, принципиальной основой которой должно быть отношение к береговой зоне как к сфере многоцелевого использования, а в центре внимания должна находиться географическая система береговой зоны моря» и о том, что «...именно интересы природной системы (в том числе и человека как части системы), а не узко понимаемые «интересы человека» должны быть поставлены во главу угла новой концепции взаимодействия человека с природой» [8].

Структура антропогенного преобразования побережья Приморья имеет сложный характер, который различается как по способу дестабилизации природных систем побережья, так и по масштабу или уровню антропогенного воздействия. Влияние человеческой деятельности на современное развитие побережья можно разделить на две группы: прямое нарушение рельефа и слагающих его коренных или рыхлых пород и опосредованное, в основном связанное с изменением морфолитодинамических обстановок на конкретных участках. Уровни воздействия подразделяются на глобальный, региональный и локальный. Аналогичный подход был применен в [1] при анализе общих черт антропогенного воздействия на береговые зоны морей Мирового океана.

Интенсивность и масштаб антропогенных процессов в береговой зоне тесно связаны с фактором времени. По формальному признаку первые антропогенные нарушения на берегах Приморья начались в 1860 г. в бухтах Постовой (апрель) и Золотой Рог (июль), где были основаны первые поселения и проведены вырубки леса, постройки причалов и дорог. В последующие десятилетия на локальном территориальном уровне были осуществлены ощутимые деформации прибрежных геосистем в ограниченном числе бухт, связанные с гидротехническим строительством. Примером могут служить создание капитальных причалов и нескольких сухих доков в б. Золотой Рог (изъято и перемещено несколько сот тысяч м³ скальных и рыхлых пород), строительство судоходного канала на о. Русский в 1899 г., соединившего пролив Босфор Восточный с б. Новик (изъято и перемещено около 100 тыс. м³ скальных пород,

образован о. Елена). Была сформирована инфраструктура на побережье Южного Приморья. Наиболее мощный техногенный пресс на природные комплексы береговой зоны произошел в 1960-80-е годы в связи со строительством причалов, судоремзаводов, доков, грузовых терминалов в бухтах Врангель, Находка, Чажма, Большой Камень, Золотой Рог, Диомид, Славянка, Троицы, Новгородская. Таким образом, возраст антропогенного воздействия на береговую зону Приморья составляет 140 лет, в течение 30 последних лет это воздействие носит интенсивный характер.

Глобальное преобразование рельефа побережья вызвано современным повышением уровня Мирового океана, изначальной причиной которого многие исследователи считают хозяйственную деятельность человека в XX веке. На этом уровне техногенез осуществляется по сложной опосредованной схеме: сжигание промышленного топлива – образование и накапливание в атмосфере соединений CO_2 , CO , CH_4 , N_2O и др., – парниковый эффект – потепление климата – повышение уровня Мирового океана – затопление или размыв берегов. Известно, что за последние сто лет уровень Мирового океана повышается со скоростью 1,5 мм в год, по некоторым прогнозам эта скорость значительно увеличится и к 2100 году уровень океана может повыситься на 3,45 м [10]. Следствием наступления моря на сушу является размыв более 70% аккумулятивных песчаных побережий океанов [12]. Для берегов Приморья характерны два типа реакции на повышение уровня Мирового океана:

1) *Пассивное затопление прибрежной суши без активного волнового воздействия.* Для рассматриваемого региона наиболее уязвимы вершинные части риас (закрытые и полузакрытые бухты и заливы), где развиты низкие, менее 1 м, аккумулятивные террасы голоценового возраста. Поэтому при подъёме уровня океана всего на 1 м может произойти разрушение построек, засоление почв, затопление наиболее ценных сельскохозяйственных участков побережья. В этом случае нарушится инфраструктура прибрежных регионов Приморья, особенно пострадают железные и автомобильные дороги в приустьевых частях долин рек Гладкой, Раздольной, Артёмовки, Партизанской и др. и, в первую очередь, насыпи и мостовые переходы. При повышении уровня на 3-4 м в долине р. Раздольной море может ингрессировать на 30 км до ст. Барановская, поскольку продольный профиль долины на этом отрезке составляет 0,0008.

2) *Повышение уровня моря с активным размывом уступа прибрежной террасы и активизацией абразии клифов в коренных породах.*

Согласно морфодинамическому правилу Бруна-Зенковича, при подъёме уровня моря происходит размыв верхней части склона и надводного участка аккумулятивной формы с одновременным отступанием уреза в сторону суши. Примером подобного отступления суши в Приморье является Хасанское взморье, расположенное в юго-западной части залива Петра Великого. Скорость размыва берега составляет около 1 м в год, о чём свидетельствует разрушение волнами береговых сооружений на Молочном Валу, располагавшихся в 70-е годы прошлого столетия примерно в двух десятках метрах от берега [13]. Другим доказательством такой тенденции развития побережья этого района является продвижение пляжа и берегового вала на лагуну, выявленное в результате бурения, проведённого Тихоокеанской морской геолого-разведочной экспедицией (рис. 1).

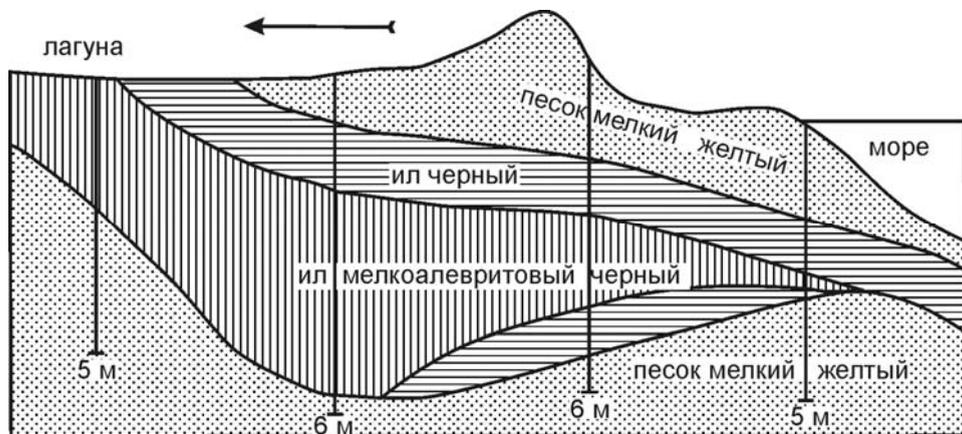


Рис. 1. Геолого-геоморфологический профиль побережья на Хасанском взморье. Надвигание пляжа и берегового вала на лагуну в результате размыва и отступления берега

В настоящее время сложно количественно оценить скорость и масштабы разрушения прибрежной равнины от устья р. Туманной до оз. Тальми. Полное разрушение равнины в ближайшие полвека исключено. Огромные запасы рыхлого материала и очень малые уклоны рельефа (менее 0,0001) неизбежно приведут к формированию большой по протяженности косы, подобной косе Назимова, которая отделяет бухту Рейд Паллады от бухты Экспедиции. Будущая коса протянется примерно от современного устья р. Туманной (или в нескольких километрах к северу от него) на северо-восток и, скорее всего, замкнется на один из денудационных останцов, возвышающихся сейчас над поверхностью равнины. В тылу косы будет сформирована большая мелководная лагуна, в пределах которой современные наземные ландшафты трансформируются в подводные со своей фауной и флорой. В связи с этим, возможно, возникнет необходимость коррекции международного проекта экономического развития области р. Туманной (проект «Туманган»).

На абразионных и абразионно-денудационных берегах повышение уровня моря не вызовет коренных перестроек поперечных профилей берега и их морфологии в целом. Береговые уступы региона сложены преимущественно устойчивыми геологическими породами (интрузивными, эффузивными и метаморфическими), скорость абразии которых очень низкая и не превышает 3-5 мм в год. При повышении уровня моря произойдет лишь временное преобразование абразионно-денудационных берегов в абразионные, подрезание конусов выноса и небольшое в плане смещение уреза воды в сторону суши.

Таким образом, характер и интенсивность воздействия волновых и неволновых факторов на побережье Приморья при повышении уровня моря (как фактора глобального техногенеза), в первую очередь, будет зависеть от уклонов подводного берегового склона и рельефа побережья. Минимальные последствия можно прогнозировать на крутых абразионных берегах (на мысах, полуостровах, островах), максимальные – в вершинах закрытых и полузакрытых бухт и заливов, вследствие чего абрис береговой линии сместится в сторону

суши в первом случае на несколько метров или десятков метров, во втором – на километры или несколько десятков километров.

В наибольшей степени техногенное воздействие на побережье связано с гидротехническим строительством. Исторически оно сосредоточено в многочисленных защищённых от штормов бухтах. Геолого-геоморфологическое строение прибрежных районов Приморья предопределило значительную изрезанность его береговой черты, особенно в заливе Петра Великого. По нашим расчётам, длина береговой линии залива составляет 1040 км (без островов), коэффициент изрезанности равен 5,0, в то время как средняя изрезанность берегов Мирового океана колеблется в пределах 1,2-3,0 [3]. В связи с этим отличительной чертой гидротехнического строительства в данном районе является малая доля волноломов, дамб и полное отсутствие бунов, подводных волноломов и др.

В пределах залива Петра Великого расположена крупнейшая агломерация Дальнего Востока – Владивостокская, на побережье которой антропогенный пресс носит комплексный характер [7]. Степень антропогенного воздействия на береговую зону агломерации в экологическом отношении можно разделить на три типа: критическую (южная часть полуострова Муравьева-Амурского от мыса Анерта до мыса Фирсова), напряжённую (остальная часть полуострова как в Амурском так и в Уссурийском заливах) и удовлетворительную (берега островов и полуострова Песчаный). Природные геосистемы полностью заменены техногенными на 12% городского побережья.

Всю совокупность техногенного воздействия на природные системы побережья Приморья можно разделить на две группы:

1) Прямое воздействие на рельеф и слагающие его породы (коренные и рыхлые). Принципиальные изменения в береговой зоне происходят на участках создания искусственных прибрежных террас, которые используются как площадки для строительства причалов, набережных, промышленных и спортивных сооружений, зон отдыха. Дефицит равнинных территорий в пределах прибрежных городов и поселков в Приморье вызывает необходимость проводить отсыпки грунта в мелководных частях прибрежных акваторий, срезание мысов и коренных склонов, чем достигается искусственная планиция рельефа [6]. При этом в береговую зону отсыпаются большие объёмы разнообразного грунта от скальных обломков до обычного городского мусора. Свалка грунта проводится в течение многих месяцев, а то и лет. Поэтому незащищённый мористый уступ вновь образованной неконсолидированной террасы подвергается постоянному размыву. Обломочный материал при этом перераспределяется в береговой зоне в соответствии с конкретной сложившейся литодинамической обстановкой. Часть материала движется вниз по подводному береговому склону, уничтожая донные биоценозы, часть может быть вовлечена во вдольбереговое перемещение. Такой процесс обычно продолжается до момента возведения защитной волноотбойной стенки.

На западном побережье п-ова Муравьева-Амурского в пределах города Владивостока путем отсыпки искусственных террас и кос созданы семь гаваней для стоянки маломерного и парусного флота. В районе Моргородка в одну из них выносит свои неочищенные воды ручей, в другую – р. Ишимка. В своем дальнейшем развитии эти гавани во многом сходны с лагунами. Имея ограниченный водообмен с морем, они, как своеобразные отстойники,

постепенно мелеют в результате накопления органики, в основном отмирающих водорослей, илистых осадков и различного городского мусора. Поэтому эти искусственные лагуны требуют периодической очистки и углубления. Улучшить ситуацию в этом отношении можно путём создания вторых проходов.

Локально, но очень сильно нарушают литодинамическую ситуацию с негативными последствиями подводные карьеры. Например, в районе полуострова Песчаный несколько лет со дна моря вблизи аккумулятивного берега интенсивно добывалась гравийно-галечная смесь длястроек Владивостока. В результате на дне площадью несколько гектаров глубина увеличилась на 4-7 м. Восстановление искусственно нарушенного динамического профиля равновесия вызвало перемещение наносов вниз по подводному береговому склону в направлении наибольших глубин в пределах карьера. Образовавшийся дефицит наносов в свою очередь спровоцировал размыв морской террасы на фронте несколько сот метров к юго-западу от мыса Песчаный. Часть наносов при этом была вовлечена во вдольбереговое перемещение в сторону мыса и за ним аккумуляровалась. Этот процесс продолжается на протяжении нескольких лет, о чем свидетельствуют повторные плановые съёмки берега этого участка (рис. 2). Образование новой суши за мысом привело к тому, что пассажирский причал оказался в десятках метров от уреза воды и потерял, вследствие этого, свое функциональное назначение. Новый причал длиной 150 м также стал замываться со скоростью 4-8 м в год, к середине 90-х годов ситуация относительно стабилизировалась. Так, в течение примерно 30 лет в данном районе стали развиваться два сопряжённых береговых литодинамических участка. В пределах первого (обращённого к преобладающему здесь юго-восточному волнению) доминируют процессы волнового разрушения берега и перемещение наносов в сторону мыса. На втором участке (в волновой тени за мысом) происходит разгрузка обломочного материала из вдольберегового потока наносов. Таким образом, непосредственное воздействие на дно (углубление) привело также и к опосредованной реакции на берегу – размыву террасы и формированию новой аккумулятивной суши площадью около 2,2 га.

При эксплуатации подводных карьеров образуются шлейфы мутных вод, которые, в зависимости от течений, могут распространяться на многие километры. Взвесь из этих шлейфов осаждается на дно, угнетая донные биоценозы.

Активное воздействие на донный рельеф и ландшафты оказывают суда и военные корабли при постановке и съёмке с якоря. Многотонные якоря образуют ямы глубиной до 1,5 м, а якорные цепи – борозды глубиной до 0,5 м и длиной до 100 м. Эти техногенные микроформы рельефа локализованы преимущественно в пределах портовых рейдов Посыета, Зарубино, Владивостока (один внутренний и два внешних рейда), Находки (четыре якорных стоянки), Ольги. В заливе Стрелок на большой площади наблюдается «распаханность» всех донных ландшафтов в результате траления и волочения якорных цепей крупнотоннажных судов [5]. Как правило, такому воздействию подвержены участки дна сложенные песками, пелитовыми или алевритовыми илами. При этом прямому физическому воздействию, преимущественно на фациальном уровне, подвергаются зообентос и фитобентос. Среди зообентоса наиболее уязвимыми являются малоподвижные виды – моллюски, звёзды, ежи и др.

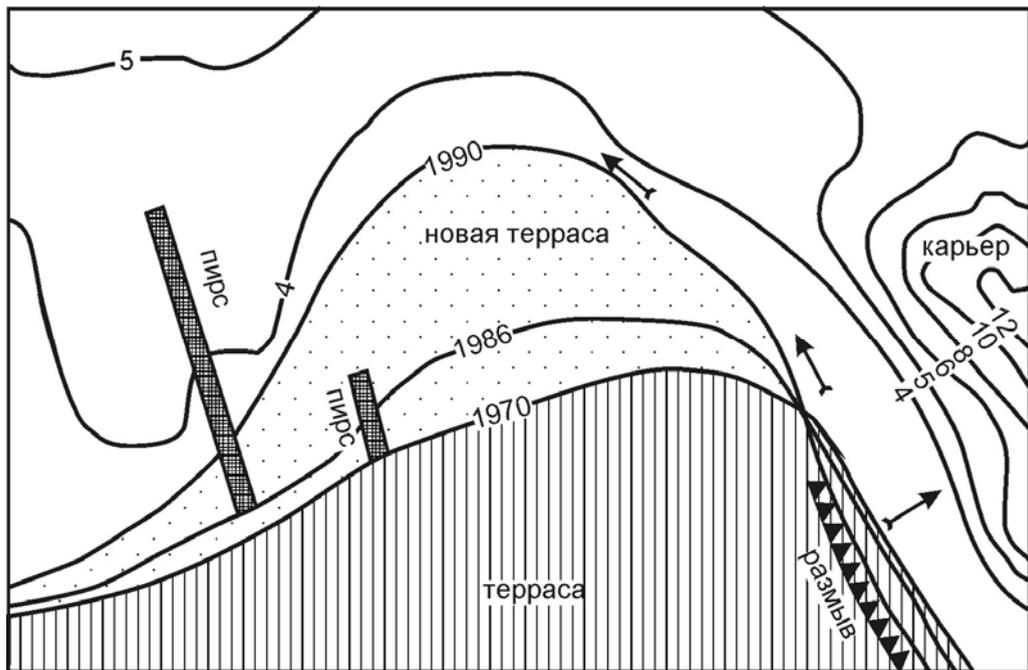


Рис. 2. Размыв голоценовой террасы и образование новой террасы площадью 2,2 га за период 1970-1990 гг. в районе мыса Песчаного в результате эксплуатации подводного карьера (стрелками показано направление перемещения наносов)

Другой пример деструкции подводного рельефа связан с установкой искусственных рифов. Наши наблюдения за функционированием искусственных рифов в Амурском заливе, поставленных в экспериментальном порядке с целью повышения биологической продуктивности прибрежных вод, показали, что рифы активно взаимодействуют с донным грунтом. Возникающие возле рифов активные турбулентные движения придонных вод приводят к размыву грунта и образованию эрозионных ложбин. На участках развития неуплотнённых илов глубина ложбин вокруг установок может достигать 1,0-1,5 м [4]. Рифы погружаются в эти ложбины, что понижает их биологическую продуктивность [11]. Это обстоятельство необходимо учитывать при массовой постановке рифов.

В пределах аллювиально-морских террас некоторых бухт и заливов эксплуатируются карьеры по добыче строительных материалов (гравий, песок). Объёмы добычи достигают от нескольких сот тысяч до нескольких миллионов кубометров. Нередко карьеры вплотную приближаются к верхней границе пляжа. В результате во время сильных штормов волны проникают в тыловую часть пляжей, что приводит к перестройке их поперечных профилей. Пляжи становятся двусклонными и ниже по абсолютной высоте. Иногда они теряют не только свои природно-эстетические свойства, но и функции по защите берегов от размыва. В пределах собственно карьеров сформированы своеобразные техногенные ландшафты, рельеф которых сильно расчленён, частично заполнен

водой и мало пригоден к какому-либо дальнейшему использованию без мелиоративных мероприятий. Такие явления наблюдаются на побережьях бухт Бойсмана, Баклан, Нарва, заливов Восток и Китовый. Масштабные изменения произошли на побережье залива Восток в районе устья р. Литовки, где экологическую ситуацию можно оценить как критическую. В 70-х годах прошлого столетия здесь из аккумулятивной аллювиально-морской террасы гидромеханизированным карьером ГлавВладивостокстроя изымалось ежегодно до 500 тыс. м³ песчаной смеси. В то время балансовые запасы только бетонных песков оценивались в 7337 тыс. м³. Таким образом, в прошлые годы были изъяты многие миллионы кубометров рыхлых пород и нанесен мощный дестабилизирующий удар по динамически равновесной береговой системе. Сравнение карт района показывает, что за 20-25 лет произошло отступление берега ориентировочно на 50-100 м. В небольших объёмах добыча песка осуществляется и в настоящее время.

2) Непосредственно-опосредованное техногенное воздействие на береговую зону. Оно связано, в частности, со строительством молов и причалов на мысах и их подводных продолжениях. Это приводит к тому, что часть акваторий бухт оказывается в волновой тени. В результате в бухтах, представлявших собой ранее равновесные береговые дуги, происходит образование асимметрии локальных встречных вдольбереговых потоков волновой энергии, а, вследствие этого, и асимметрии встречных миграций наносов. Возникшее однонаправленное перемещение наносов со стороны сохранившегося в естественном состоянии мыса в вершинную и «теневую» части бухты формирует дефицит наносов и вызывает последующий размыв аккумулятивного берега (рис. 3). Такие размывы наблюдаются в бухте Андреева (Уссурийский залив) и Спортивной гавани (Амурский залив).

Значительному техногенному воздействию подвержены устьевые участки побережья. В частности, на территории Владивостокской агломерации все устья наиболее крупных рек на протяжении примерно 100 лет развиваются в искусственно лимитированных условиях. Так, низовья рек и их долины в непосредственной близости от морского берега пересыпаны железнодорожными и автомобильными насыпями, а русла ограничены сечениями мостового отверстия. Кроме того, в районе каждого моста русло стало фиксированным (т.е. не может отклоняться в ту или иную сторону), что исключает естественное меандрирование рек на таких участках. Площади некоторых мостовых отверстий не соответствует расходам воды в период сильных паводков, вода не успевает уходить через них, происходит подпруживание и затопление значительных площадей городской территории, например, в районе Второй Речки, Океанской и др. По этой же причине произошло разрушение железнодорожного и автомобильного мостов в устьевой зоне р. Пионерской во время аномально интенсивного ливня 7 августа 2001 г. По нашему мнению, среди первоочередных мер по нормализации функционирования устьевых участков рек являются очистка и углубление их русел, запрет отсыпок грунта на этих участках, приведение пропускной способности мостовых отверстий в соответствие с максимальными расходами рек.

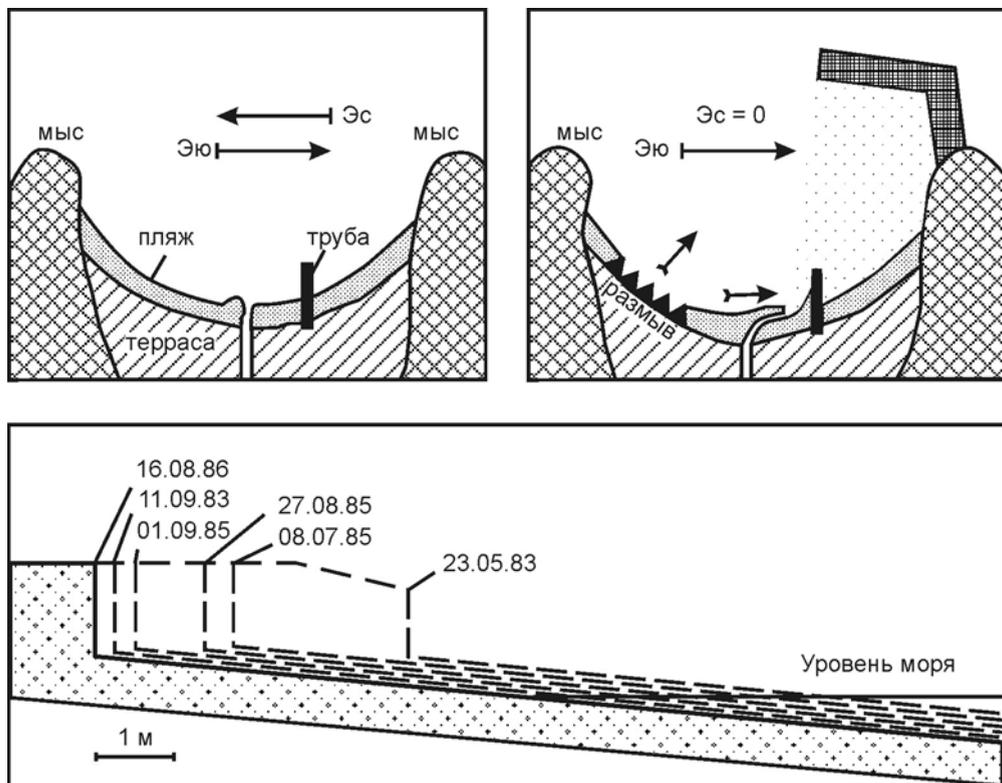


Рис. 3. Изменение морфолитодинамической обстановки в бухте Андреева в результате постройки мола и причала (размыв пляжа и террасы, смещение устья реки вправо, заполнение входящего угла осадками, обмеление северной части бухты). Стрелками указано направление перемещения наносов: Эс и Эю – волноэнергетические потоки с севера и юга, соответственно. На нижней схеме представлено отступление берега в 1983-86 гг. на участке размыва

Заключение

Современный облик побережья Приморья во многих своих чертах есть результат техногенного воздействия на его природные ландшафты. По интенсивности и масштабу оно сопоставимо с природными факторами рельефообразования. Техногенное воздействие наблюдается как на глобальном, так и на локальном уровнях. На глобальном уровне техногенез (затопление или размыв берегов) действует только опосредованно и его эффект не всегда можно отделить от естественного хода развития побережья, тесно связанного с эвстатическими движениями уровня Мирового океана и тектоническим режимом.

На локальном уровне техногенез проявляется, в первую очередь, в прямом физическом воздействии на рельеф побережья (деструкция рельефа и перемещение горных и рыхлых пород). Геоморфологический эффект таких процессов – расчленение рельефа побережья (карьеры, уступы в горных склонах, дамбы и др.) и его планация (цокольные и аккумулятивные

искусственные террасы). Опосредованный техногенез приводит практически к единственной реакции береговой зоны – размыву пляжей и террас и сопряженной с ним аккумуляцией. Степень антропогенного воздействия на побережье делится на критическую, напряженную и удовлетворительную. На ряде участков природные геосистемы побережья Приморья полностью заменены техногенными.

Оптимальный баланс интересов природы и человека можно достигнуть только при условии познания всех закономерностей природы побережья. Избежать или максимально уменьшить негативный эффект техногенного воздействия на побережье возможно лишь при условии комплексного исследования всех аспектов развития конкретных его участков и, главное, учёте результатов этих исследований на стадии проектирования и в период гидротехнического и иного строительства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Артюхин Ю.В. Общие черты антропогенного воздействия на береговые зоны морей // Проблемы развития морских берегов. М.: Наука, 1985. С. 88-91.
2. Атлас океанов. Человек и океан. СПб.: Главн. управ. навигации и океанографии, 1996. 320 с.
3. Леонтьев О.К., Никифоров Л.Г., Лукьянова С.А. Структурно-геоморфологический анализ берегов Мирового океана // Уровень, берега и дно океана. М.: Наука, 1978. С. 7-60.
4. Мануйлов В.А., Петренко В.С. Динамика подводного рельефа в связи с установкой искусственных рифов. Владивосток: ДВГУ, 1990. 14 с. (Деп. в ВИНТИ 27.04.90, №2281-В90).
5. Наумов Ю.А. О воздействии объектов военно-промышленного комплекса на экологическое состояние залива Стрелок // Известия ТИНРО, 1999. Т. 126. С. 637-649.
6. Петренко В.С. Экологические аспекты изучения берегов Приморья // Береговая зона дальневосточных берегов. Л.: Изд-во ГО СССР, 1991. С. 112-118.
7. Петренко В.С. Берега города Владивостока // Записки Общества изучения Амурского края, 2001. Т. XXXV. С. 132-135.
8. Реймерс Н.Ф. Природопользование. М.: Мысль, 1990. 638 с.
9. Сафьянов Г.А. Геоморфология морских берегов. М.: Изд-во МГУ, 1996. 400 с.
10. Хоффман Дж.С. Оценки подъёма уровня моря в будущем // Океан наступает? М.: Прогресс, 1989. С. 115-138.
11. Явнов С.В., Мануйлов В.А., Петренко В.С. Изучение динамики подводного рельефа в районах постановки искусственных рифов // Известия ТИНРО, 1994. Т. 113. С. 118-123.
12. Bird Eric C.F. Coastline Changes. A Global Review. John Wiley & Sons. 1985. 256 p.
13. Petrenko V.S. Geocological consequences of implementation of the «Tumangan» project for southwest of Primorye // Reports of the 7-th TEACOM meeting and international workshop on global change studies in Far East Asia. Vladivostok: Dalnauka, 1998. P. 127-134.

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПРИУСТЬЕВОЙ ОБЛАСТИ РЕКИ ТУМАННАЯ

Введение

Река Туманная является наиболее крупной рекой бассейна Японского моря, берёт начало на плоскогорье Чанбайшань, на протяжении почти 380 км течёт на северо-восток, а далее поворачивает на юго-восток и течёт в этом направлении до впадения в Японское море. Средний многолетний расход воды составляет около 260 м³/с, объём стока воды примерно – 8 км³/год. Общий поток наносов в акваторию залива Петра Великого оценивается в 2,5 млн. т/год.

В пределах бассейна реки расположены 3 страны: Китай, Северная Корея, Россия. По фарватеру реки проходит граница между Северной Кореей и Китаем, а в нижнем течении – между Северной Кореей и Россией. Лишь небольшая часть бассейна реки, площадью 25,8 км² и длиной примерно 16 км, принадлежит России (т.е. меньше 0,1% общей площади водосбора). Несмотря на это, река Туманная имеет для России большое стратегическое, политическое и экологическое значение.

В статье проводится оценка текущего экологического состояния российской территории реки Туманная и воздействующих на окружающую среду приустьевой области реки факторов. Первая экспедиция по изучению загрязнения вод реки Туманная и прибрежных морских вод была проведена совместно специалистами России и Северной Кореи в 1989 г. [3].

Подход к оценке воздействия на приустьевую область реки Туманная

Для оценки характеристик воздействия и состояния среды выделим основные абиотические компоненты окружающей природной среды приустьевой части реки Туманная и прибрежных вод моря:

- 1) поверхностные воды суши (река и её притоки, озёра и другие водоёмы бассейна реки);
- 2) атмосферный воздух над сушей и морем;
- 3) морские воды, примыкающие к приустьевой области реки;
- 4) грунтовые воды;
- 5) почвы суши и донные осадки.

Рассмотрим основные оказываемые воздействия на качество окружающей среды приустьевой области реки:

- 1) прямое антропогенное воздействие, связанное с жизнедеятельностью населения, включая сбросы и выбросы загрязняющих веществ (ЗВ) и утилизацию отходов;
- 2) трансграничный перенос ЗВ от источников антропогенного загрязнения;
- 3) природные процессы, в том числе экстремальные;
- 4) возможные природные и техногенные катастрофы, аварии.

Общий анализ показывает, что российская приустьевая часть реки

Туманная является малозаселённым районом, и основным воздействием на её экологическое состояние является трансграничный перенос. Источники антропогенного воздействия с российской территории вносят в загрязнение реки незначительный вклад, или их влияние отсутствует. Непосредственно вблизи реки расположен населённый пункт Хасан, не имеющий средних и крупных промышленных предприятий кроме железнодорожного узла. Железнодорожный узел соединяет в настоящее время Россию и Северную Корею и работает из-за снижения грузооборота с малой загруженностью. На остальной территории, прилегающей к приустьевой области реки Туманная, есть только небольшие места проживания или деятельности людей, практически не связанные с загрязнением. Здесь располагаются и особо охраняемые природные территории (ООПТ): Дальневосточный Государственный Морской Заповедник и Хасанский природный парк (рис. 1).

Далее рассмотрим детальнее трансграничное влияние на территорию, прилегающую к реке Туманная.



Рис. 1. Охраняемые территории в приустьевой области реки Туманная: Хасанский природный парк и Дальневосточный Государственный Морской Заповедник

Трансграничный перенос ЗВ в приустьевую область

В международном аспекте трансграничный перенос ЗВ и экологические вопросы трансграничных водотоков в основном регулируются международными конвенциями «Об оценке воздействия на окружающую среду в трансграничном контексте» (принята 25.02.1991), «По охране и использованию трансграничных

водотоков и международных озёр» (принята 17.03.1992), «О трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния» (принята 13.11.1979).

Согласно международной Конвенции по охране и использованию трансграничных водотоков и международных озёр 1992 г., река Туманная считается трансграничным водотоком, поскольку «обозначает, пересекает границы между двумя и более государствами...». Следовательно, любые воздействия на состояние бассейна реки Туманная, вызываемые деятельностью человека, должны рассматриваться как трансграничные. Необходимо также учитывать, что река Туманная в контексте трансграничных воздействий включает не только водные массы реки, но и связанные компоненты окружающей среды.

Трансграничный перенос ЗВ осуществляется речным стоком, воздушными массами, морскими течениями, грунтовыми водами.

Речной сток. Со стоком рек ЗВ поступают в приустьевую область из Китая и Северной Кореи со средним расходом, как указано выше, около 260 м³/с.

В Китайском секторе главными источниками загрязнения являются Кайшаньтуньская целлюлозная фабрика, Шисяньская бумагоделательная фабрика, Лунцзинская бумагоделательная фабрика, Хуньчуньская электростанция, строительное управление Хуньчуньской горнопромышленной зоны и Лесное управление уезда Ванцин. В этом районе не производится очистки сточных вод до требуемого уровня. Большие объёмы промышленных стоков поступают прямо в воды реки Туманная или сбрасываются вблизи, не достигая нормативов по очистке, определённых законодательством.

В секторе Северной Кореи расположен крупный Ундокский химический завод и другие предприятия. Вероятно, данные объекты вносят значительный вклад в загрязнение реки Туманная и затем в воды Залива Петра Великого.

В последнее время из-за возможности прорыва дамбы в условиях паводков и ухода реки с нынешнего русла в левобережные потоки Россией и Северной Кореей проводятся берегоукрепительные работы, что является источником поступления в воды реки взвесей и возможно других ЗВ.

Атмосферный перенос. Специалистами научных и производственных организаций оценён вклад различных направлений переноса воздушных масс в формирование состава приземного воздуха над территорией Приморского края по результатам работ в Сихотэ-Алиньском биосферном заповеднике. Исследования показали, что значительная часть ЗВ поступает с высотными потоками, поступающими с запада, что более характерно для холодного периода года. В тёплый период загрязнённые воздушные массы переносятся в основном с юга и востока. Направление приземных средних ветров в центральные месяцы сезонов, характеризующее ближние потоки трансграничного переноса в районе приустьевой области реки Туманная, и диаграммы повторяемости ветра представлены на рис. 2. Возможен также трансграничный перенос ЗВ с осадками, например, выпадение кислотных дождей, загрязняющих почвы и поверхностные воды.

Морские течения. Обобщённые схемы поверхностных морских течений для тёплого и холодного сезонов, построенные на основе анализа структуры вод и диагностических расчётов [6, 5], и розы течений в районе реки Туманная, полученные на основании обработки инструментальных наблюдений за

течениями [1], приведены на рис. 3. Наиболее вероятен трансграничный перенос ЗВ на акваторию Залива Петра Великого с северных районов прибрежной зоны Приморья и Японского моря за счёт генерального потока. В летние месяцы под действием преобладающих южных ветров Приморское течение в поверхностном слое может блокироваться, и в Залив Петра Великого могут проникать тёплые воды со стороны Корейского полуострова.

Сложная система течений и генерируемых различными процессами стационарных и нестационарных вихрей от м. Поворотный до м. Мусудан может менять характерные направления потоков переноса ЗВ в зависимости от метеорологических и гидрологических условий [2]. Эксперименты с дрейферами, результаты инструментальных наблюдений за течениями и моделирование показали, что преобладающий вынос ЗВ из района устья реки Туманная направлен для холодного периода на юго-восток, для тёплого периода на север в сторону Владивостока [6, 5]. Действие южных ветров летом будет усиливать тенденцию движения поверхностных вод на север.

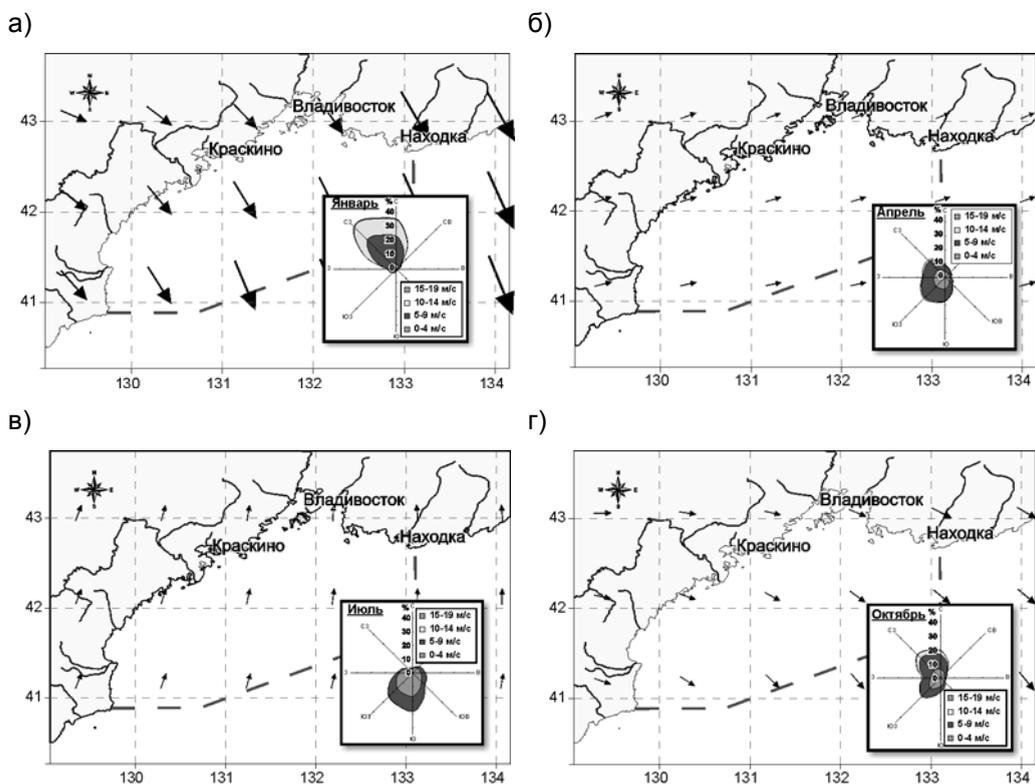


Рис. 2. Среднемесячные поля ветра и диаграммы повторяемости скорости и направления ветра: (а) – январь, (б) – апрель, (в) – июль, (г) – октябрь

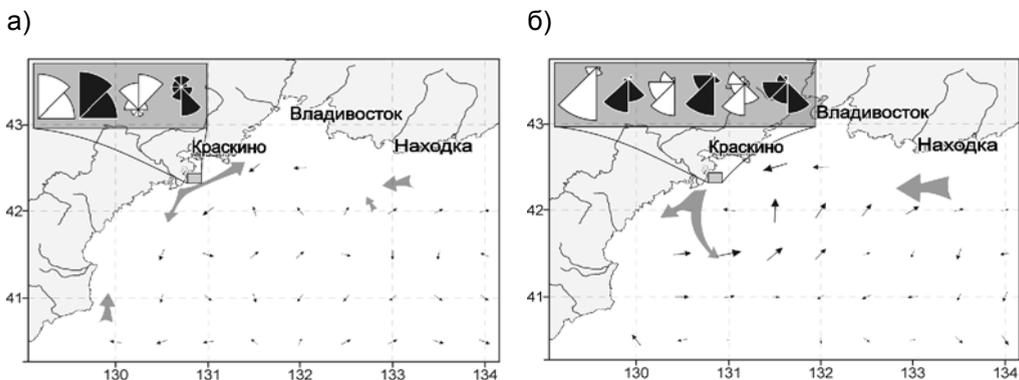


Рис. 3. Генеральные схемы переноса ЗВ в районе устья реки Туманной и прилегающей морской акватории: (а) – август, (б) – февраль

Состояние окружающей среды в приустьевой области реки Туманная

Атмосферный воздух. Состояние загрязнения воздушного бассейна приустьевой области реки Туманная складывается из загрязнения от глобальных и локальных источников, природных и антропогенных факторов. Глобальный фон достаточно равномерен на всей территории данного региона и в целом может считаться незагрязнённым. Определённый уровень концентраций различных примесей формируется под влиянием перемешивания, переноса и рассеивания вредных веществ, поступающих в атмосферу с выбросами промышленных источников и от различных видов транспорта. В целом атмосферный воздух над приустьевой областью реки Туманной характеризуется как незагрязнённый локальными источниками, концентрации ЗВ соответствуют глобальному фону над регионом.

Поверхностные воды и донные осадки. Состав и степень загрязнения поверхностных вод представляет большое значение не только для территорий, где эти воды находятся, а также для всего бассейна в целом, включая морскую акваторию. Загрязнение вод складывается из природного фона, состава атмосферных выпадений, состава сбросов и стоков с предприятий и населённых пунктов, а также смыва ЗВ.

К настоящему времени имеются отрывочные сведения об исследованиях качества воды и донных отложений Российской части реки. В 1989 г. была организована первая российско-корейская экспедиция по изучению влияния стока реки Туманная на гидрохимический режим и уровень загрязнения прибрежных вод Японского моря [3]. Летом 1993 г. проведена совместная экспедиция ДВНИГМИ и Дальморгеология в заливе Посьета и прибрежных водах в районе впадения реки Туманная по изучению содержания ЗВ в донных отложениях [7]. В 1996-1999 гг. проводились эпизодические исследования специалистами ДВО РАН, ПУГМС, ДВНИГМИ. В 2000 г. на станции Хасан был организован контроль за качеством воды и донных отложений: в сентябре – рекогносцировочные исследования, октябре-декабре – отбор проб по программе Государственной сети наблюдений (ГСН). Четырёхмесячный период наблюдений в осенне-зимний сезон характеризует отдельные фазы водного режима: осенний паводок и период ледостава. Качество воды реки Туманная по

химическим показателям оценивается как умеренно-загрязнённое. Превышение ПДК отмечается по содержанию в воде аммонийного азота, ионов меди, железа, фенолов и нефтяных углеводородов, что в целом является результатом антропогенного воздействия. По данным химического анализа проб донных отложений реки Туманная наблюдалось несколько повышенное содержание фенолов в октябре. Хлорорганические пестициды обнаружены в количествах, не превышающих характерных содержаний для среднезагрязнённых районов края (сумма пестицидов группы ГХЦГ составила 3,4-3,7, а сумма метаболитов ДДТ – 10,6-15,9 нг/г с.о.). Из токсичных металлов повышенные концентрации отмечены для кадмия и мышьяка.

В мае 2003 г. проведён отбор проб для уточнения параметров качества воды и донных отложений. Во время проведения летней гидрохимической съёмки 2003 г. водный режим характеризовался как устойчивая летняя межень, что позволяет считать полученные результаты типичными для данного сезона водного объекта. В день отбора проб наблюдалось ветровое волнение, что способствовало интенсивному перемешиванию водной массы. Пробы воды и донных осадков отбирались с левого берега (российская территория) на расстоянии 2-3 м от берега в поверхностном слое до 1 м. Схема отбора проб воды и донных отложений представлена на рис. 4.



Рис. 4. Схема станций отбора проб воды и донных отложений на реке Туманная

Основные исследуемые загрязняющие компоненты в воде – нефтепродукты, фенолы, пестициды, тяжёлые металлы, и в донных отложениях тот же список, за исключением фенолов и нефтепродуктов. Результаты анализа содержания ЗВ в поверхностных пробах приведены в табл. 1.

**Содержание органических ЗВ в поверхностных водах реки Туманная
(приустьевая часть)**

ЗВ	Концентрация	ПДК
Нефтяные углеводороды, мг/дм ³	0,00-0,67	0,05
Суммарные фенолы, мг/дм ³	0,002-0,005	0,001
Метаболиты α- и γ- ГХЦГ, мкг/дм ³	<0,002	Отсут.
Метаболиты ДДТ, мкг/дм ³	Следы	Отсут.

На месте отбора проб не было зафиксировано ни устойчивого запаха нефтепродуктов, ни плёнок. Высокая концентрация нефтепродуктов – 0,67 мг/дм³ на станции №3 возможно обусловлена локальным влиянием железнодорожной станции. Уровень загрязнения составил 13 ПДК, тогда как максимальная концентрация в период прохождения паводка в сентябре 2000 г. нефтепродуктов превысила норму ПДК лишь в 2,6 раза. Характерный уровень загрязнения меженного периода, как отмечают специалисты Китайской академии наук по окружающей среде [8], составляет в среднем 0,3 мг/дм³ за трёхлетний период наблюдений с 1997-1999 гг. в створе реки Туманная выше 1 км от впадения реки Хуньчунь. На расстоянии 10 км вниз по течению от впадения этого же притока – 0,13 мг/дм³.

Фенолы вероятнее всего поступают в речные воды с промышленными сточными водами семи китайских целлюлозно-бумажных, целлюлозных и бумагоделательных фабрик. Диапазон изменения концентрации фенолов составил 0,002-0,005 мг/дм³, наблюденные величины соответствуют содержанию фенолов в речных водах данного района.

Пестициды – ДДТ и его метаболиты (ДДЕ и ДДД), α- и γ-ГХЦГ – в водах реки обнаружены в следовых количествах (менее 0,002 мкг/дм³). В донных отложениях уже обнаружены только концентрации ДДТ и его метаболитов ДДД и ДДЕ, максимальное их содержание составило 9,4 нг/г (станция №1). Диапазон изменения суммы метаболитов ДДТ снизился и составил 4,9-9,4 нг/г с.о. по сравнению с диапазоном 2000 г. (10,6-15,9 нг с.о.). Так как донные отложения являются конечным звеном миграции элементов, то такое содержание свидетельствует о внесении в речные воды этого поллютанта в предшествующий период со смывом его с водосборной площади. Такие концентрации соответствуют среднезагрязнённым рекам Приморского края.

Из токсичных металлов повышенные концентрации отмечены для меди, цинка, марганца, кобальта по сравнению с принятым уровнем ПДК для пресных вод (табл. 2). По растворённой меди наблюдается превышение ПДК в 4,7-6,1 раз. Результаты июньской съёмки 2003 г. согласуются с результатами гидрохимической съёмки, проведенной в 2000 г. (2,4-4,4 мкг/дм³ в осенний период). Другими исследователями также обнаружено повышенное содержание меди в водах реки, но в меньших концентрациях 3-4 мкг/дм³, и отмечена сезонная динамика: в мае-июле содержание растворённой меди выше [4]. В донных осадках концентрация меди невысокая и не превышает фоновые уровни для почв Приморского края (13 мкг/г).

Содержание тяжелых металлов в воде и донных отложениях устьевоего участка реки Туманная

Ингредиент	Концентрация в воде, мкг/дм ³	ПДК, мкг/дм ³	Превышение ПДК	Концентрация в донных осадках, мкг/г сухого остатка	ПДК с учётом фона в почве, мкг/г
Медь	4,7-6,1	1	4,7-6,1	3,3-3,6	33 (14*)
Цинк	17-18	10	1,6-1,8	21-23	23 (52*)
Никель	2,4-3,1	10	–	5,7-7,1	20
Хром общ.	1,1-4,4	20	–	8,3-11,1	–
Кобальт	0,0-2,0	0	0-2	4,2-5,3	12*
Кадмий	0,0-3,1	5	–	0,2-0,6	0,5
Марганец	31-39	10	3,1-3,9	107-143	1500 (860*)
Мышьяк	<5,0-6,0	50	–	3,1-5,7	2
Свинец	н/о	100	–	3,1-5,7	32
Ртуть	н/о	0,1	–	0,000-0,0009	2,1

* – Фоновый уровень для почв Приморского края

Концентрация цинка (17-18 мкг/дм³) практически не меняется и соответствует содержанию цинка в осенний период 2000 г. Концентрации никеля и кадмия не превышают установленный уровень ПДК. В нижнем течении обнаружен кадмий в воде, в предшествующую съёмку 2000 г. этот элемент в пробах воды не содержался. Кадмий в концентрации 1 мкг/дм³ присутствовал в меженный период в водах реки выше впадения притока Хуньчунь. Мышьяк в пробах воды обнаружен на уровне чувствительности, 6 мкг/дм³, что не превышает установленной ПДК. В период ледостава 2000 г. его максимальная концентрация увеличивалась до 9 мкг/дм³ и, вероятно, была обусловлена поступлением из донных отложений. Концентрация мышьяка в донных отложениях довольно высока – 3,1-5,7 мкг/г с.о., что превышает ПДК с учётом фона в почвах (2 мкг/г) в 1,6-2,9 раза. В водах реки обнаружен кобальт, максимум на уровне 2 ПДК. Концентрация марганца превышает принятый уровень ПДК на всех станциях. В донных осадках эти микроэлементы находятся на допустимом уровне. Микроэлементы, такие как ртуть, ванадий, молибден, серебро, олово и свинец в воде не обнаружены. В донных отложениях ртуть не превышает уровень ПДК с учётом фона в почве (2,1 мкг/г).

В целом содержание тяжёлых металлов находится на уровне, характерном для рек района, концентрации их обусловлены, прежде всего, природным фоном и влиянием поверхностного стока.

Выводы

Основное воздействие на экологическое состояние природной среды приустьевой области реки Туманная происходит в основном за счёт трансграничного поступления ЗВ, переносящихся речными и морскими водами и воздушными массами.

Результаты гидрохимического анализа характеризуют качество вод и донных отложений как умеренно загрязнённые, что в среднем соответствует другим рекам региона. Показатели воздействий на реку Туманная и её состояние

можно охарактеризовать матрицей воздействия (табл. 3).

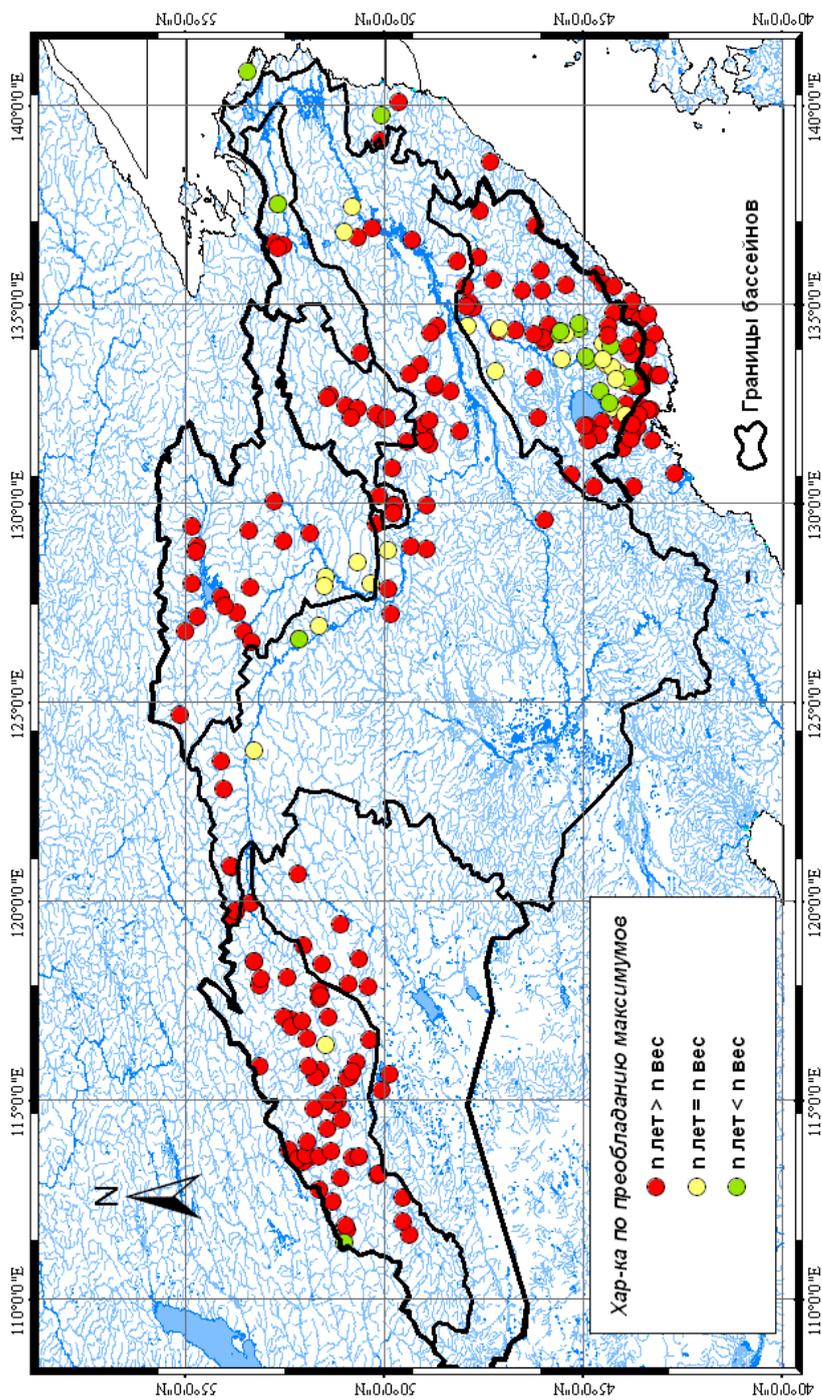
В заключение авторы выражают благодарность за помощь и предоставленные материалы при подготовке статьи В.П. Тунеголовцу и А.В. Гаврилевскому.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ванин Н.С., Мощенко А.В., Фельдман К.Л. Моделирование ветровых течений к северу от устья реки Туманной в Заливе Петра Великого Японского моря // Биология моря, 1999. №2. С. 93-94.
2. Данченков М.А., Фельдман К.Л., Файман П.А. Температура и солёность вод залива Петра Великого // Тематический выпуск ДВНИГМИ №4. Владивосток: Дальнаука, 2003. С. 10-25.
3. Ткалин А.В., Шаповалов Е.Н., Ко Зун Бон. Загрязнение прибрежных морских вод КНДР // Метеорология и гидрология, 1991. №3. С. 81-85.
4. Шулькин В.М. Оценка загрязнения металлами реки Туманной и прилегающих морских вод / В кн.: Экологическое состояние и биота юго-западной части залива Петра Великого и устья реки Туманной. Владивосток: Дальнаука, 2000. Т. №1. С. 76-85.
5. Danchenkov M.A., Aubrey D.G., Feldman K.L. Oceanography of area close to the Tumannaya river mouth (the Sea of Japan) // J. Pacific Oceanography. Vol. 1. №1, 2003. P. 61-69.
6. Fayman P.A. The currents modeling for Peter the Great Bay on the base of FERHRI survey 2001 // J. Pacific Oceanography. Vol. 1. №1, 2003. P. 79-81.
7. Tkalin A.V. Marine environment contamination near Tumangang (Tumen) River mouth // J. Ocean Research, 21(1), 1999. P. 81-86.
8. Yu Fei. Pollution abatement of the Tumen River: an interdisciplinary approach to the challenge. Research Report UNDP programme, 1999. 112 pp.

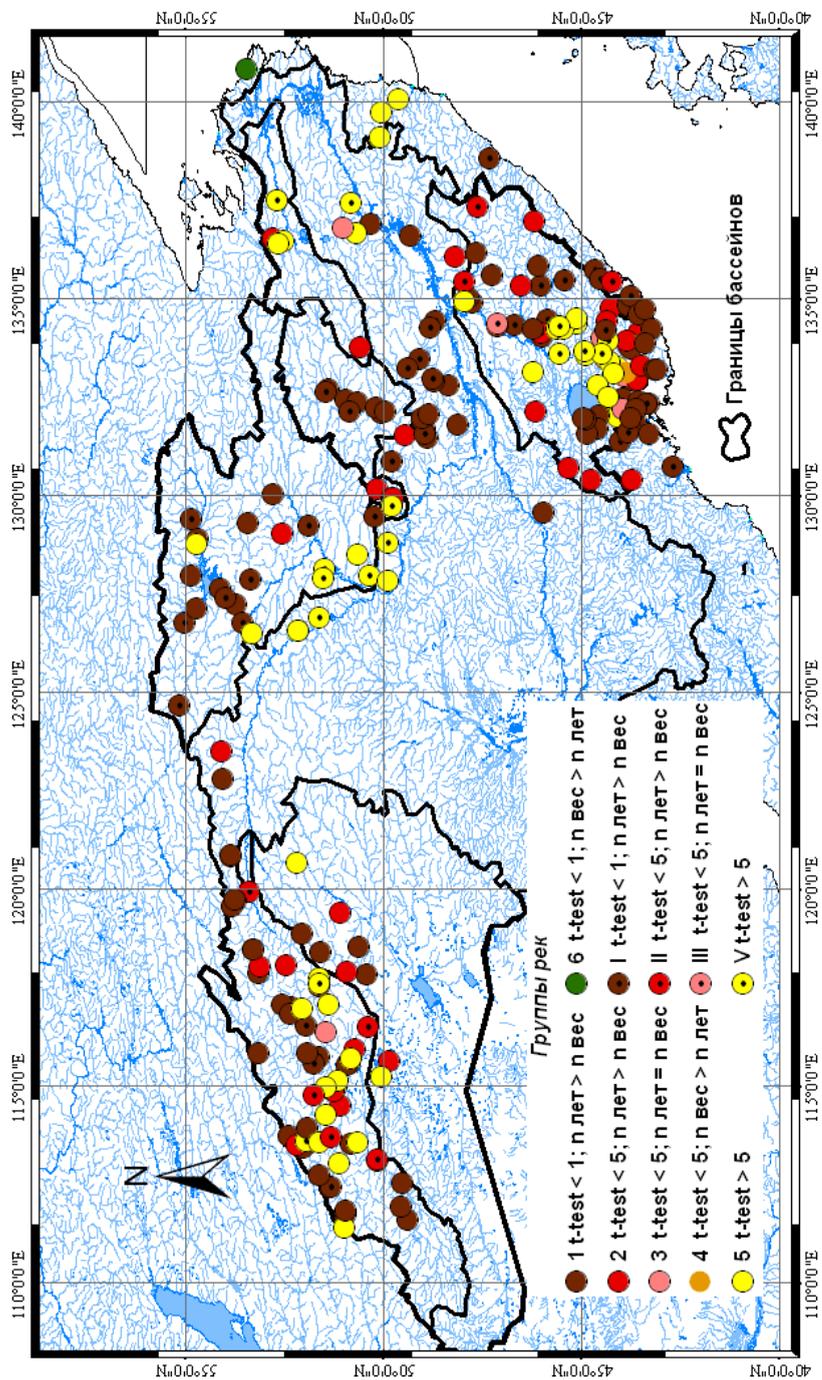
Матрица воздействия на состояние окружающей природной среды в приустьевой области реки Туманная

Компоненты природной среды Источники загрязнения	Атмосфера	Поверхностные воды суши	Морские воды приустьевой области реки	Почва и донные осадки
Антропогенные источники (выбросы, сбросы, отходы производства и потребления)	Выбросы пос. Хасан и других малых нас. пунктов и малых промышленных объектов	Сбросы пос. Хасан и других малых нас. пунктов и промышленных объектов	В приустьевой части российского побережья ближайший объект загрязнения – порт Посыет	Загрязнение пос. Хасан и других малых нас. пунктов и малых промышленных объектов
Трансграничный перенос	Осенне-зимний перенос ЗВ из района северного Китая, летом из Кореи и Японии	Перенос антропогенных ЗВ с водосборной площади Китая и Северной Кореи	Влияние речного стока р. Туманная и возможный перенос ЗВ с морскими течениями от портов и городов побережья	Выпадение ЗВ из атмосферы, включая осадки. Перенос речными водами и морскими течениями и осаждение
Природные и экстремальные процессы	Периодическое влияние тайфунов, южных циклонов, возможно выпадение кислотных осадков	Наводнения, эрозия береговой линии	Вынос взвесей и ЗВ с наводнениями и паводками	Кислотные дожди, наводнения, эрозия почв
Возможные природные и техногенные катастрофы	Потенциально опасны аварии на химических заводах и военных объектах	Возможные аварии, связанные с разливами в реку нефтепродуктов и токсичных веществ	Возможные аварии, связанные с разливами в море нефтепродуктов и токсичных веществ	Аварийные выбросы и сбросы, перенос и осаждение в почве и донных осадках
В целом состояние	Практически незагрязнена локальными источниками, соответствие региональному фону	Состояние вод реки стабильное, умеренно загрязнённое, характеризирующее реки данного региона	Незагрязнённые, но подвержены влиянию вод реки Туманная и возможному переносу ЗВ от портов и городов	В донных осадках как в реке, так и в море отмечались повышенные значения ЗВ. По загрязнению почв данных нет

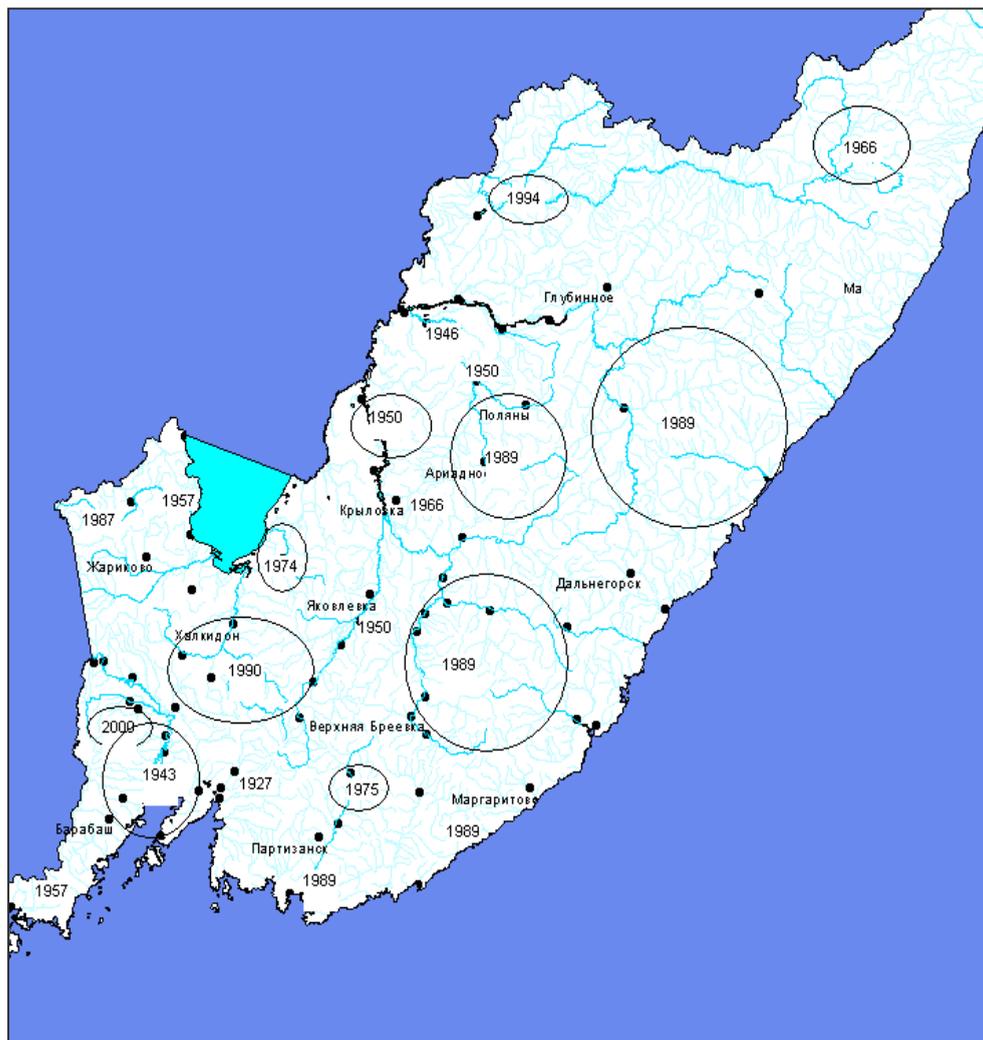


Це. ил. 1. Распределение станций по преобладанию в ряду годовых максимумов паводков и паводков в бассейне Амура (n лет – количество дождевых паводков, n вес – количество максимумов весеннего половодья в ряду абсолютных годовых максимумов)

(Губарева Т.С., Гарцман Б.И. Генезис максимального стока ... С. 94-110)



Цв. ил. 2. Распределение гидрологических станций рек юга Дальнего Востока по выделенным группам (Губарева Т.С., Гарцман Б.И. Генезис максимального стока ... С. 94-110)



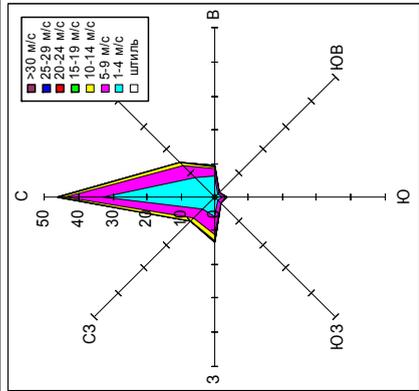
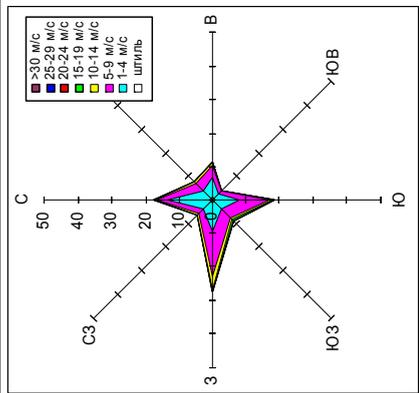
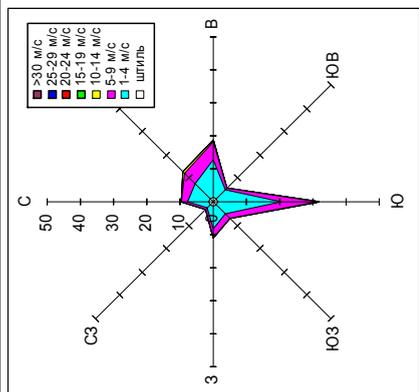
**Цв. ил. 3. Годы с наивысшими наводнениями по территории Приморского края за весь период наблюдений
(Макагонова М.А. Опасные гидрологические явления ... С. 111-117)**

летний период

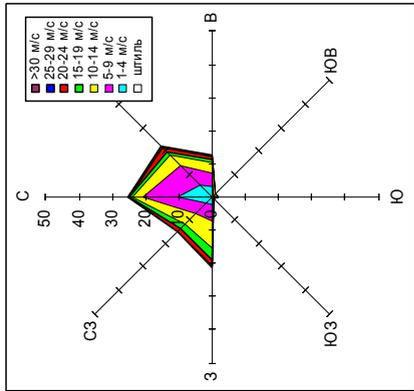
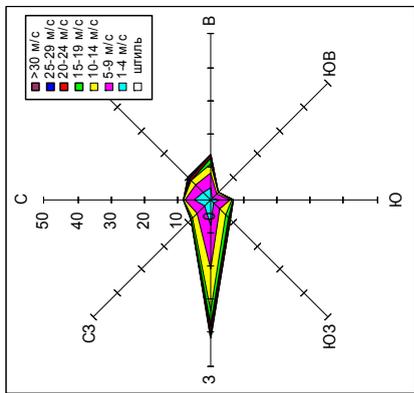
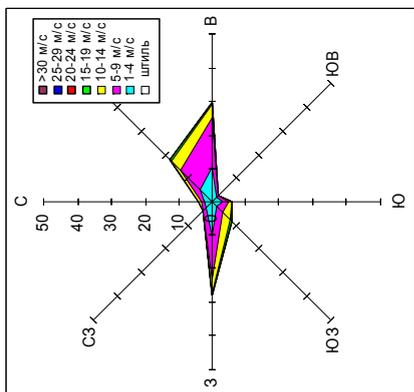
осенний период

зимний период

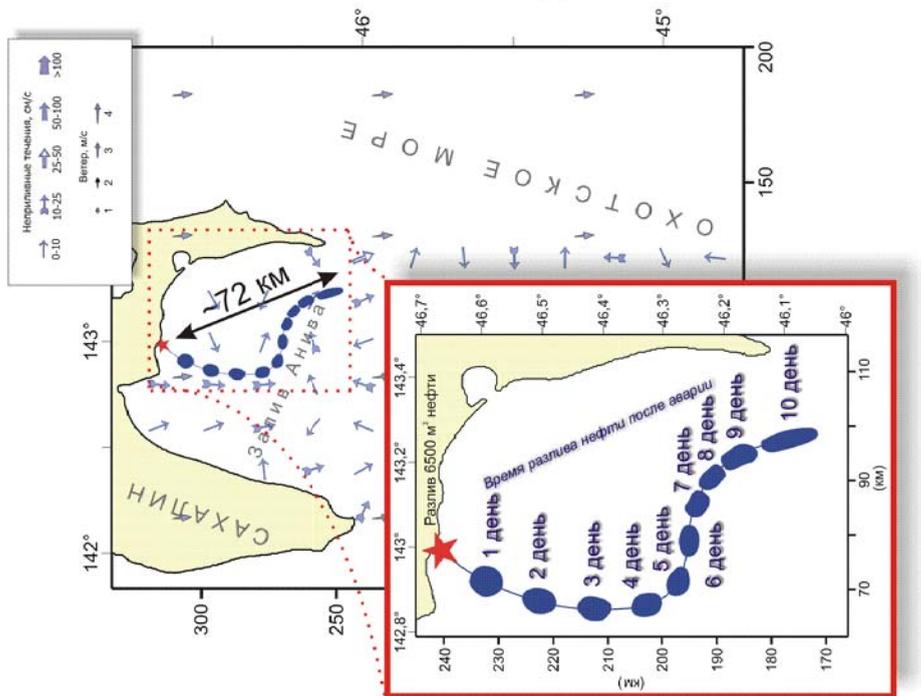
ГМС Корсаков



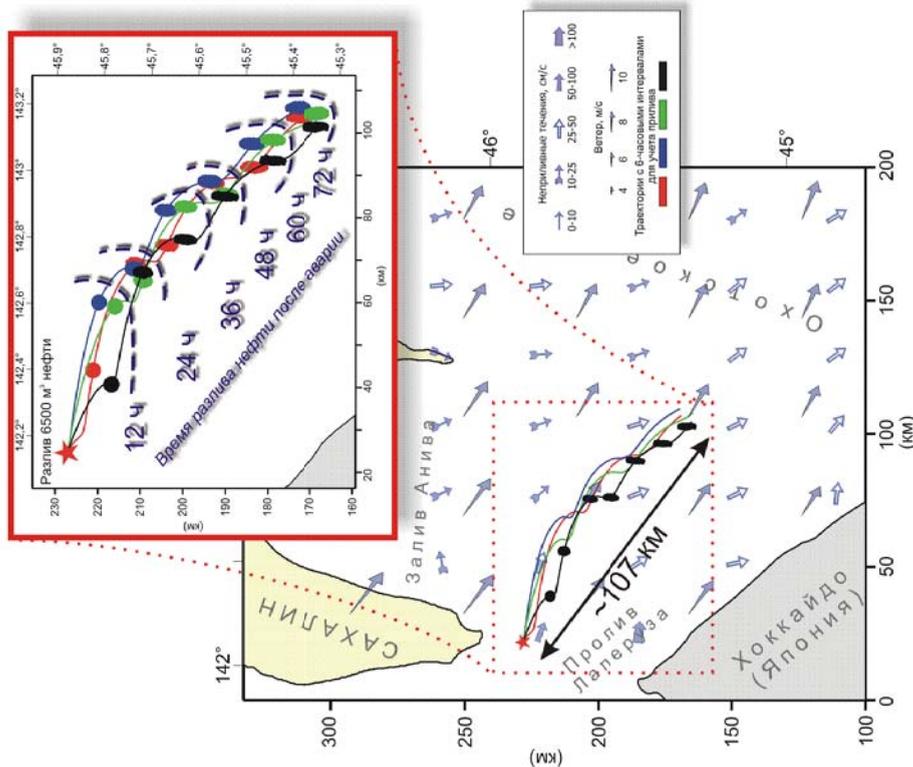
ГМС Крильон

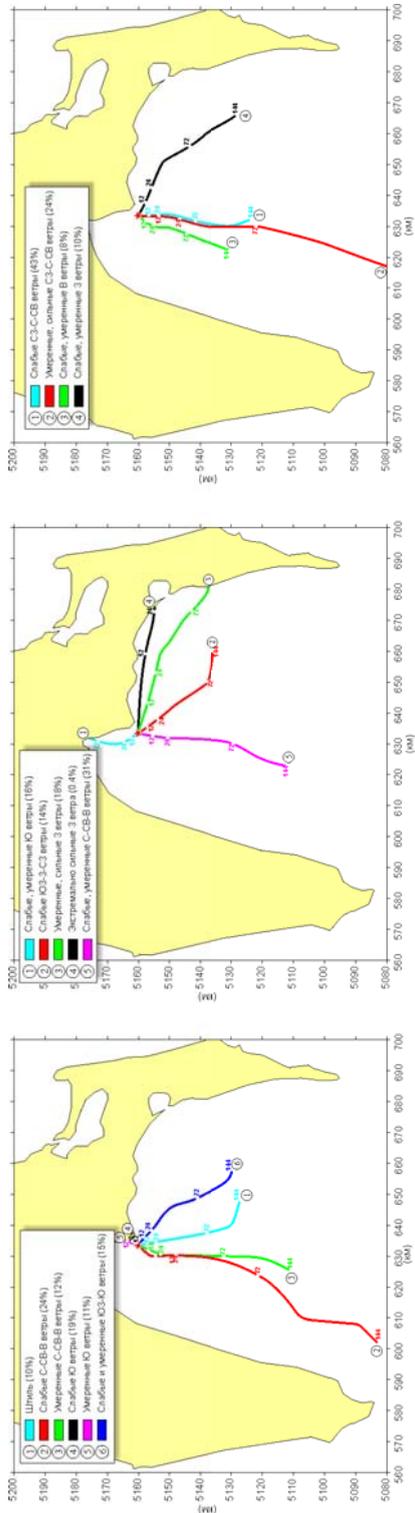


Це. ил. 4. Диаграммы распределения ветров по направлениям и скоростям по данным ГМС Корсаков и ГМС Крильон (Богдановский А.А. и др. Результаты моделирования ... С. 118-125)

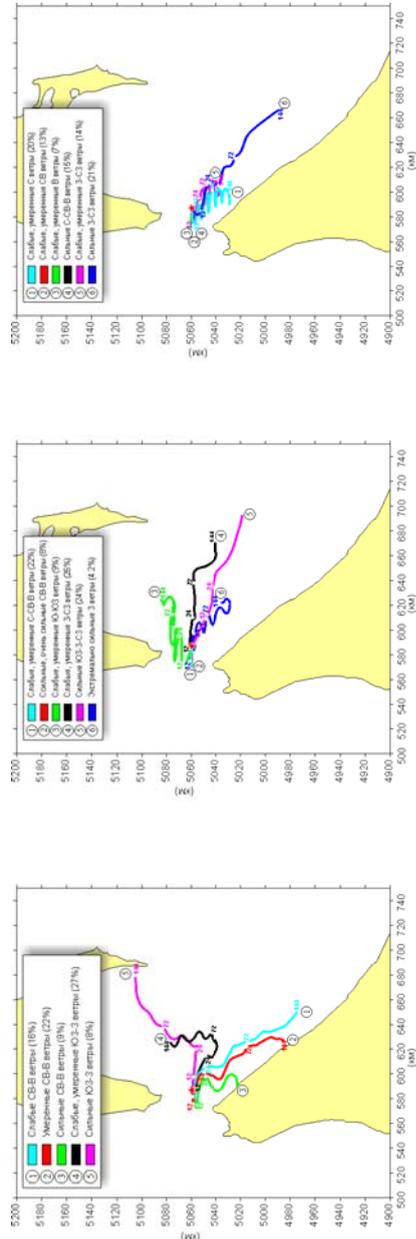


Цв. ил. 5. Пример результатов траекторного моделирования по сценарию №1, 2 (Богдановский А.А. и др. Результаты моделирования ... С. 118-125)

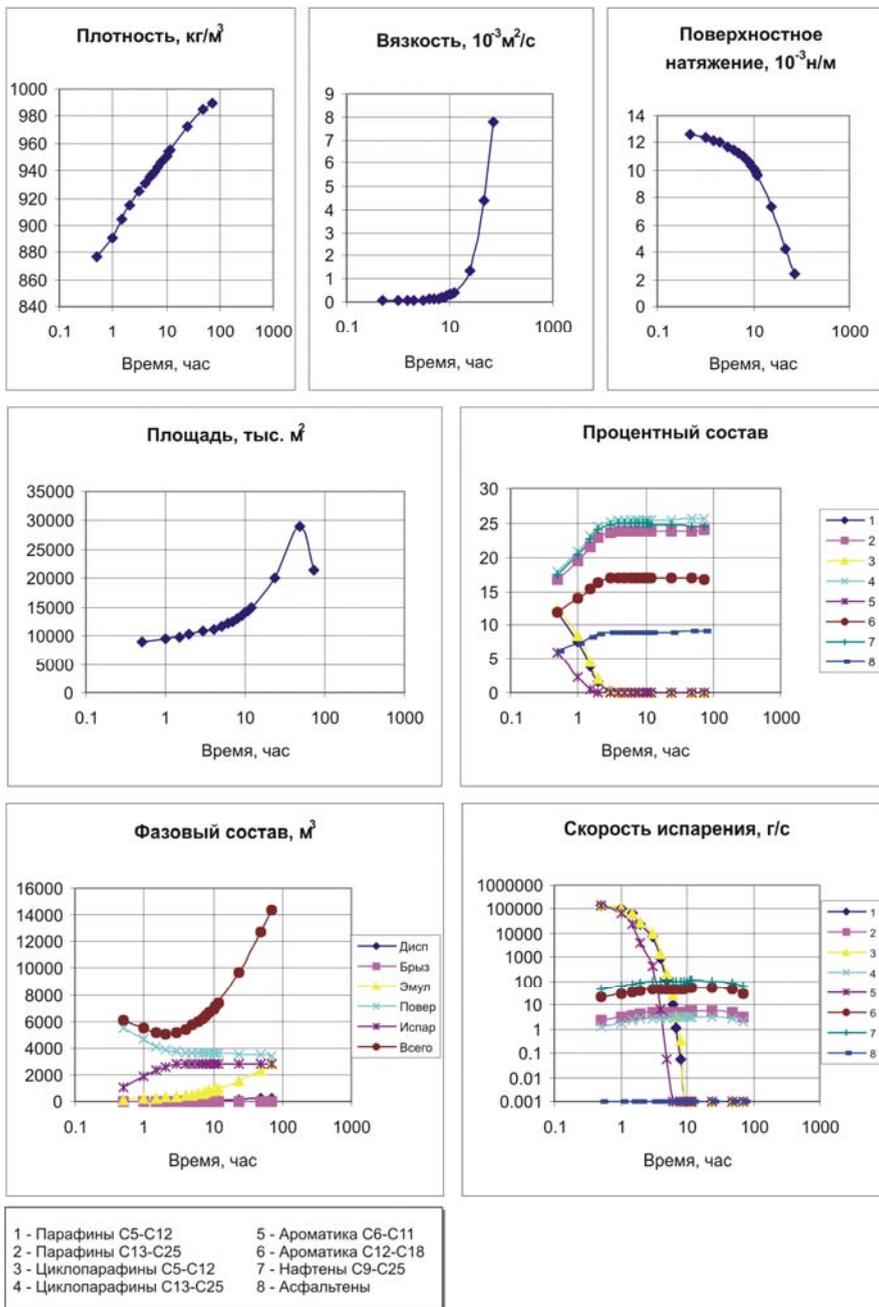




Це. ил. 6. Пример результатов траекторного моделирования по сценарию №3
(Богдановский А.А. и др. Результаты моделирования ... С. 118-125)



Це. ил. 7. Пример результатов траекторного моделирования по сценарию №4
(Богдановский А.А. и др. Результаты моделирования ... С. 118-125)



Цв. ил. 8. Пример результатов расчётов физико-химических процессов в нефтяном пятне в морской среде по модели ТОИ ДВО РАН. Сценарий №1. Осень (Богдановский А.А. и др. Результаты моделирования ... С. 118-125)

а)



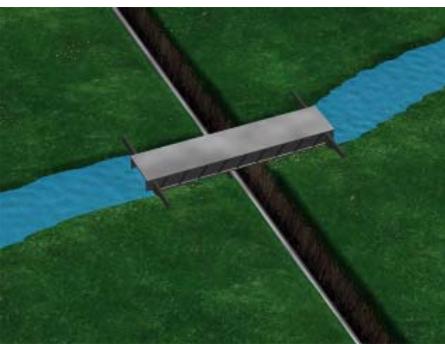
б)



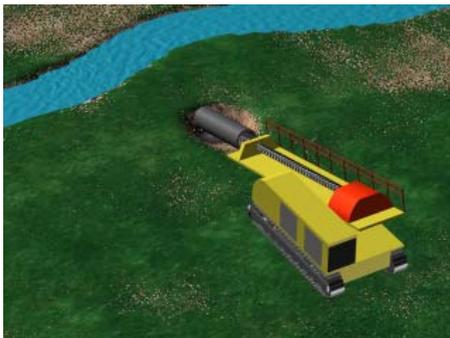
в)



г)



д)



Цв. ил. 9. Схемы пересечения водотоков:

**(а) – открытая траншея; (б) – дамба с перекачкой; (в) – две дамбы с перекачкой;
(г) – дамба с быстротоком; (д) – горизонтальное бурение
(Гаврилевский А.В., Удовик М.В. Оценка воздействия на водотоки ... С. 152-162)**

УДК 551.465.63(265.54)

Температура и солёность вод залива Петра Великого / Данченков М.А., Фельдман К.Л., Файман П.А. // Тематический вып. ДВНИГМИ №4. Владивосток: Дальнаука, 2003. С. 10-25.

По данным наблюдений 1993-2001 гг. характеризуется пространственное распределение температуры и солёности в заливе Петра Великого Японского моря.

Ил. 16, библиограф. 18.

УДК 519.6:551.465.532(265.54)

Расчёт диагностических течений в заливе Петра Великого / Файман П.А. // Тематический вып. ДВНИГМИ №4. Владивосток: Дальнаука, 2003. С. 26-33.

В рамках линейной диагностической модели Саркисяна D1 с использованием натуральных данных рассчитаны и проанализированы особенности полей течений для августа и ноября 2001 г. в заливе Петра Великого, которые формируются под воздействием различных погодных условий. Выделены основные элементы горизонтальной циркуляции вод и представлен анализ их сезонной изменчивости.

Ил. 3, библиограф. 13.

Применение метода композиции распределений для расчёта экстремальных скоростей течений (на примере северо-восточного шельфа о. Сахалин) / Шевченко Г.В., Рыбалко С.И. // Тематический вып. ДВНИГМИ №4. Владивосток: Дальнаука, 2003. С. 34-48.

Разработана и адаптирована технология использования метода композиции распределений приливной и непериодической составляющих для расчёта суммарных скоростей морских течений редкой повторяемости в условиях Аркутун-Дагинского морского месторождения нефти и газа на северо-восточном шельфе о. Сахалин. На основе исторических архивных данных инструментальных наблюдений выполнены оценки распределения непериодической компоненты для лета и осени и трёх слоёв - поверхностного, промежуточного и придонного. Показано, что в летний период основной вклад в формирование суммарных течений вносит приливная компонента, осенью - непериодическая. Для модальных направлений приведены значения рассчитанных скоростей. Полученные оценки суммарных скоростей редкой повторяемости могут быть использованы в практике.

Табл. 1, ил. 5, библиогр. 21.

Расчёт высот штормовых нагонов редкой повторяемости для побережья залива Анива / Като Э., Любичкий Ю.В., Шевченко Г.В. // Тематический вып. ДВНИГМИ №4. Владивосток: Дальнаука, 2003. С. 49-57.

Разработан и адаптирован для условий побережья Анива гидродинамико-вероятностный метод расчёта экстремальных высот штормовых нагонов. На основе анализа многолетних уровенных наблюдений рассчитаны оценки высот штормовых нагонов малой вероятности для опорного пункта – порта Корсаков. С помощью численного моделирования типичных нагонных ситуаций определены передаточные коэффициенты между максимальными высотами нагонов в порту Корсаков и в других населённых пунктах, расположенных на побережье залива Анива от посёлка Таранай до посёлка Новиково. Полученные характеристики использованы для расчёта экстремальных высот штормовых нагонов редкой повторяемости в пунктах, где наблюдения за колебаниями уровня не производились.

Работа выполнялась по заказу комитета по экономике администрации Сахалинской области.

Табл. 3, ил. 4, библиогр. 11.

Типизация элементов ледяного покрова и влияющих на него метеорологических факторов на акватории Берингова моря / Вакульская Н.М., Петров А.Г. // Тематический вып. ДВНИГМИ №4. Владивосток: Дальнаука, 2003. С. 58-68.

Рассматриваются вопросы типизации зимних условий в Беринговом море. Выделены типы ледяного покрова и влияющие на него метеорологические факторы. Объектами типизации служили ледовитость моря, положение центров действия атмосферы (Алеутского минимума и Сибирского максимума) и барические градиенты между ними по долготе. Анализируется период с 1961 по 1989 гг., что обусловлено однородностью получения данных о ледяном покрове на основе ледовых авиаразведок. В качестве основы для типизации ледяного покрова использованы величины суммарной (накопленной) ледовитости, которые определялись путём суммирования ежедекадных значений.

Сопряжённость параметров ЦДА и ледовитости варьирует в среднем в пределах 50-80%. На основе совместного анализа выделены основные типы зимних условий и факторы их определяющие.

Табл. 8, ил. 1, библи. 21.

Особенности моделирования процесса формирования тало-дождевого стока в бассейне среднего Амура / Возняк А.А. // Тематический вып. ДВНИГМИ №4. Владивосток: Дальнаука, 2003. С. 69-75.

Два аспекта особенностей моделирования процесса стока – физико-географический и информационный – рассмотрены в статье.

Учёт высотной поясности территории является достаточным условием при описании закономерностей пространственного распределения гидрометеорологических характеристик.

Комплекс значимых факторов процесса снеготаяния для бассейна Среднего Амура отличен от западных районов России. Редкая сеть гидрометеорологических станций существует в рассматриваемом регионе. Все эти причины приводят к необходимости разрабатывать новые методы расчёта и интенсивности снеготаяния, и динамики площади, занятой снежным покровом, которые давали бы приемлемую точность при недостатке оперативной информации.

Ил. 2, библи. 11.

Применение модели паводочного цикла малого речного бассейна в расчётах максимального стока / Гарцман Б.И., Бугаец А.Н. // Тематический вып. ДВНИГМИ №4. Владивосток: Дальнаука, 2003. С. 76-93.

Рассматривается структура и алгоритмы модели паводочного цикла малого речного бассейна, предназначенной, в частности, для вероятностных расчётов максимального стока методом динамико-стохастического моделирования. Излагаются способы параметризации и верификации модели на примере семи малых рек Приморья. Обсуждаются методика и результаты численного эксперимента по моделированию стоковых рядов, оценивается качество моделирования сезонного и экстремального стока, анализируются некоторые пространственно-временные закономерности дождевого стока.

Табл. 5, ил. 3, библиогр. 19.

Генезис максимального стока рек юга Дальнего Востока и расчёт максимальных расходов дождевых паводков / Губарева Т.С., Гарцман Б.И. // Тематический вып. ДВНИГМИ №4. Владивосток: Дальнаука, 2003. С. 94-110.

Выявлены пространственные закономерности максимального стока по территории юга Дальнего Востока путём генетического и статистического анализа однородности выборок максимальных годовых расходов. Локализация водосборов, где максимумы весеннего и дождевого стоков близки по величине и имеют самостоятельное значение, приурочена к равнинным формам рельефа. Прослеживается тенденция изменения генезиса стока в широтном и меридиональном направлении. Рассмотрены две схемы расчётов: «основная», рекомендованная нормативными документами, и «альтернативная», основанная на использовании семейства функционально нормальных кривых и непараметрических методов аппроксимации. Согласно сравнительному анализу, альтернативная схема наиболее адекватна для расчёта экстремальных характеристик стока дальневосточных рек.

Табл. 7, ил. 5, библиогр. 14.

Опасные гидрологические явления в Приморском крае и их влияние на экономику / Макагонова М.А. // Тематический вып. ДВНИГМИ №4. Владивосток: Дальнаука, 2003. С. 111-116.

В статье рассматриваются опасные гидрологические явления – наводнения и периоды маловодья в Приморском крае за 1968-2002 гг., проводится первичная оценка количественного роста и географического размещения ущербов от наводнений. Обсуждаются вопросы классификации наводнений.

Ил. 4, библи. 7.

Результаты моделирования потенциальных разливов нефти в заливе Анива и проливе Лаперуза / Богдановский А.А., Кочергин И.Е., Аршинов И.А., Будаева В.Д., Макаров В.Г., Мишуков В.Ф., Рыбалко С.И., Тунеголовец В.П. // Тематический вып. ДВНИГМИ №4. Владивосток: Дальнаука, 2003. С. 117-125.

Рассматриваются потенциально возможные сценарии аварийных разливов нефти в районе Южного Сахалина (залив Анива, пролив Лаперуза). Проведено траекторное моделирование для четырех сценариев разливов, включая разливы танкеров в районе транспортных маршрутов через пролив Лаперуза, в районе предполагаемого строительства нефтеналивного терминала в пос. Пригородное и разлив топлива в акватории порта Корсаков. Моделирование проводилось с использованием модели VOS. Для реконструкции полей приводного ветра использовались 15-летние ряды наблюдений на пяти береговых гидрометеостанциях и данные по ретроспективному прогнозу ветра NOAA. Расчёт схем поверхностных непривливых течений проводился по бароклинической модели экмановского типа. Поля приливных течений реконструировались на основе приливных гармоник, полученных из инструментальных наблюдений за течениями в районе. Моделирование потенциальных разливов проводилось для трёх сезонов: лето, осень и зима (без учёта ледового поля). В работе даются статистические оценки поведения разливов нефти, в том числе вероятности загрязнения береговой черты островов Сахалин и Хоккайдо.

Табл. 2, ил. 8, библи. 5.

Оценка роли динамических факторов в переносе и распределении примеси в Анадырском заливе на основе численной модели / Савельев А.В., Дударев О.В., Савельева Н.И. // Тематический вып. ДВНИГМИ №4. Дальнаука, 2002. С. 126-143.

Исследуется характер распределения речной взвеси в Анадырском заливе, обусловленного стоком реки Анадырь, в зависимости от размеров взвешенных частиц и влияния различных динамических факторов.

Расчёты выполнены для летних условий с учётом максимального расхода р. Анадырь. Построены типовые поля взвеси различных фракций, обусловленные приливными, непериодическими и суммарными течениями. Исследованы изменения типовых полей при изменениях ветровых характеристик, а также при комбинации экстремальных значений ветра и стока.

Сравнение расчётных полей распределения взвеси в Анадырском заливе с результатами наблюдений показали их близкое сходство. При этом концентрация взвеси на большей части её ареала в заливе варьирует в пределах 1-4 мг/л.

Табл. 3, ил. 9, библиогр. 28.

Характеристика ожидаемых воздействий на атмосферный воздух при разработке нефтегазовых месторождений на шельфе Сахалина / Гаврилова Т.А. // Тематический вып. ДВНИГМИ №4. Дальнаука, 2002. С. 144-151.

Приведены основные источники и характеристики возможного загрязнения атмосферного воздуха при разработке нефтегазовых месторождений на шельфе Сахалина.

Ил. 4, библиогр. 11.

Оценка воздействия на водотоки при строительстве подрусловых переходов / Гаврилевский А.В., Удовик М.В. // Тематический вып. ДВНИГМИ №4. Владивосток: Дальнаука, 2003. С. 152-162.

Рассматриваются характеристики воздействия на поверхностные водные объекты при строительстве подрусловых переходов трубопроводов.

Проводится краткий анализ методов переходов и принципы их выбора в зависимости от гидрологических характеристик водотоков и технических средств, используемых при строительстве переходов, применительно к рекам Северного Сахалина и западных районов Хабаровского края.

Предложены методы оценки уровня воздействия на водотоки при пересечении их различными способами на этапе прокладки трубопровода.

Приводится пример оценки количественных характеристик воздействия по результатам компьютерного моделирования сбросов загрязняющих веществ в водную толщу. Установлено, что использование специальных гидротехнических сооружений снижает негативное воздействие на водную толщу в несколько раз.

Табл. 3, ил. 1, библиограф. 12.

Макробентос и распределение его трофических группировок на шельфе северо-восточного Сахалина / Лабай В.С., Печенева Н.В. // Тематический вып. ДВНИГМИ №4. Владивосток: Дальнаука, 2003. С. 163-174.

Представлены результаты исследований дночерпательного бентоса, полученные в период комплексной экспедиции в июле-сентябре 2000 г. на шельфе северо-восточного побережья о. Сахалин. Было зарегистрировано 465 видов и подвидов донных организмов. Увеличение видового разнообразия происходило от литорали к нижней сублиторали и склону. Средняя общая биомасса бентоса составила 326,56 г/м². Основную биомассу образуют вагильные организмы, приуроченные к песчаным грунтам. Максимальные значения общей численности отмечены в сублиторали и формируются преимущественно кумовыми раками. Кластер-анализ позволил выделить пять трофических группировок бентоса.

Табл. 1, ил. 7, библиограф. 7.

Основные черты техногенеза на побережье Приморья / Петренко В.С. // Тематический вып. ДВНИГМИ №4. Владивосток: Дальнаука, 2003. С. 175-183.

Приводится анализ техногенного воздействия на побережье Приморья. Совокупность всех факторов техногенеза автором разделяется на глобальные и локальные (местные). Выявлены как прямое физическое воздействие техногенеза на рельеф побережья и его геологическую основу, так и сложное опосредованное, которое также приводит к деструкции рельефа и аккумуляции наносов. Результатом антропогенного пресса на природные системы побережья является резкое ухудшение экологического состояния прибрежных зон, которое можно разделить на три типа: критический, напряжённый и удовлетворительный. На ряде участков природные ландшафты побережья Приморья полностью заменены техногенными.

Ил. 3, библиограф. 13.

Экологическое состояние приустьевой области реки Туманная / Кочергин И.Е., Бороздинова Е.С., Губарева Т.С., Семькина Г.И. // Тематический вып. ДВНИГМИ №4. Владивосток: Дальнаука, 2003. С. 184-193.

В статье даётся оценка экологического состояния российской территории бассейна реки Туманная (приустьевой зоны). При оценке воздействия выделены соответствующие компоненты окружающей среды и категории воздействия. Большое внимание уделено анализу трансграничного переноса загрязняющих веществ от источников антропогенного загрязнения как основному виду воздействия на окружающую среду в бассейне реки Туманная. Для оценки качества вод и донных отложений в реке приводятся результаты гидрохимической съёмки мая 2003 г. Показатели воздействия на состояние реки Туманная характеризуются матрицей воздействий.

Табл. 3, ил. 4, библиограф. 6.

UDC 551.465.63(265.54)

Water temperature and salinity in Peter the Great Bay / Danchenkov M.A., Feldman K.L., Fayman P.A. // FERHRI Special Issue №4. Vladivostok: Dalnauka, 2003. P. 10-25.

The spatial distribution of water temperature and salinity in Peter the Great Bay (Japan Sea) is described using the observational data of 1993-2001.

Figures – 16, references – 18.

UDC 519.6:551.465.532(265.54)

The calculation of diagnostic currents in Peter the Great Bay / Fayman P.A. // FERHRI Special Issue №4. Vladivostok: Dalnauka, 2003. P. 26-33.

The currents that form in Peter the Great Bay under different weather conditions are studied. The current fields are calculated for August and November 2001 basing on in situ data and using D1 linear diagnostic model by Sarkisyan. The main elements of the horizontal water circulation are distinguished and their seasonal variability is analyzed.

Figures – 3, references – 13.

UDC 551.465.53 (571.642)

Application of distribution composition method to the calculation of extreme current velocities (by the example of Sakhalin northeastern shelf) / Shevchenko G.V., Rybalko S.I. // FERHRI Special Issue №4. Vladivostok: Dalnauka, 2003. P. 34-48.

The technique to use the method of the composition of the tidal and non-tidal components distribution to calculate the summary rare-occurring current velocities is developed and adjusted to Arkutun-Dagi offshore oil-gas field on the northeastern Sakhalin shelf. Distribution of non-tidal component in summer and autumn in three layers (surface, intermediary and bottom) is estimated using historical instrumental data. It is shown that the tidal component is critical for the formation of summary currents in summer, while the non-tidal component is more significant in autumn. The calculated current velocities are given for the modal directions. Estimations of rare-occurring summary current velocities may be used in practical works.

Tables – 1, figures – 5, references – 21.

UDC 551.466 (265.53)

Calculation of the height of rare-occurring storm surges for the coast of the Aniva Bay / Kato E., Lyubitsky Yu.V., Shevchenko G.V. // FERHRI Special Issue №4. Vladivostok: Dalnauka, 2003. P. 49-57.

The hydrodynamic and probabilistic method to calculate the extreme heights of storm surges is developed and adjusted to the Aniva Bay coast conditions. Estimations of the height of rare-occurring storm surges are calculated for the base station – port Korsakov basing on the long-term observations over the sea level. Numerical modelling of the typical surges allowed to determine transfer coefficients between the maximum surge heights in the port of Korsakov and other settlements located on the Aniva Bay coast from Taranay village to Novikovo village. The obtained estimations are used to calculate the extreme heights of rare-occurring storm surges in those localities where there are no observations over the sea level variations.

The work was done on request of Economic Committee of Sakhalin oblast administration.

Tables – 3, figures – 4, references – 11.

Determination of ice cover types and meteorological conditions that cause it in the Bering Sea / Vakulskaya N.M., Petrov A.G. // FERHRI Special Issue №4. Vladivostok: Dalnauka, 2003. P. 58-68.

Different types of winter meteorological conditions in the Bering Sea are considered. The ice cover types and meteorological factors that cause it are distinguished. The sea ice concentration, location of atmospheric action centers (AAC) (Aleutian Low and Siberian High) and pressure gradients along the longitude between them are the parameters to be typified. The ice air observations during 1961-1989 are used for analysis. The cumulative ice concentration calculated as a sum of ten-day sea ice concentrations is used to determine the types of ice cover.

Conformity between the ice cover types and AAC parameters varies in the range of 50-80%. The joint analysis allows revealing the types of ice conditions and the factors that influence it.

Tables – 8, figures – 1, references – 21.

UDC 556.047:556.048:556.166

Simulation of the snowmelt and rainstorm runoff formation in the Middle Amur basin / Voznyak A.A. // FERHRI Special Issue №4. Vladivostok: Dalnauka, 2003. P. 69-75.

Two aspects of the runoff simulation – physical-geographical and information – are considered.

The account of high-altitude zoning of the territory is a sufficient condition when describing the spatial distribution of hydrometeorological parameters.

The complex of significant snowmelt factors for the Middle Amur basin is quite different from the western regions of Russia. There are not many hydrometeorological stations in the Russia Far East. All these reasons make it necessary to develop new methods to calculate the snow melting intensity and dynamics of the area covered with snow that would provide a reasonable accuracy in case of deficient current information.

Figures – 2, references – 11.

Application of the flood cycle model (developed for the small river basin) to the calculation of the maximum river runoff / Gartsman B.I., Bugaets A.N. // FERHRI Special Issue №4. Vladivostok: Dalnauka, 2003. P. 76-93.

Structure and algorithms of the flood-cycle model of the small river basin intended for probabilistic calculation of the maximum river runoff over a dynamic-stochastic model are considered. The methods of the model parameterization and verification are described by the example of seven small rivers of Primorye. The method and results of the numerical modelling of the runoff series are discussed. The quality of the seasonal and extreme runoff modelling is estimated. Some spatial and temporal regularities of the rainstorm runoff are analyzed.

Tables – 5, figures – 3, references – 19.

UDC 556.047:556.048:556.166

UDC 556.047:556.048:556.166

Genesis of maximum river runoff in the south of the Russia Far East and calculation of maximum rainstorm discharges / Gubareva T.S., Gartsman B.I. // FERHRI Special Issue №4. Vladivostok: Dalnauka, 2003. P. 94-110.

Spatial regularities of the maximum runoff genesis are revealed for the south of the Russia Far East by means of genetic and statistical analysis of the homogeneity of the annual maximum river discharge series. Watersheds with almost equal snowmelt and rainfall maximums are located on the plains. The tendency of the runoff genesis change by latitude and longitude is traced. Two calculation schemes are described. One is the “main” recommended by the normative documents, while another one is “alternative” and based on the use of the function-normal curves and non-parametric approximation. When compared, the alternative “scheme” proves to be the most adequate for calculation of extreme river runoff parameters in the Russia Far East.

Tables – 7, figures – 5, references – 14.

Dangerous hydrological phenomena in Primorsky region and their influence on economy / Makagonova M.A. // FERHRI Special Issue №4. Vladivostok: Dalnauka, 2003. P. 111-117.

The dangerous hydrological phenomena in Primorsky region such as floods and low-water periods registered during 1968-2002 are described. The primary assessment of the quantitative growth and geographic distribution of the flood damages is given. The problems of the flood classification are discussed.

Figures – 4, references – 7.

Modelling of probable oil spills in the Aniva Bay and La Perouse Strait / Bogdanovsky A.A., Kochergin I.E., Arshinov I.A., Budaeva V.D., Makarov V.G., Mishukov V.F., Rybalko S.I., Tunegolovets V.P. // FERHRI Special Issue №4. Vladivostok: Dalnauka, 2003. P. 118-125.

The probable scenarios of the oil spills in the southern part of Sakhalin Island (Aniva Bay, La Perouse Strait) are described. Trajectory modelling is done for four oil spill scenarios including the oil leakages from tankers while transporting oil across La Perouse Strait, oil spill near Prigorodnoe village proposed for the oil-loading terminal construction and leakage of oil in Korsakov port. VOS model is used for oil spill modelling. 15-year observational series from five coastal hydrometeorological stations and retrospective prognostic wind data of NOAA are used to reconstruct the surface wind fields. The surface non-tidal currents are calculated over the Ekman-type baroclinic diagnostic model. The tidal currents are calculated over the tidal harmonics obtained from instrumental observations. The probable oil spills are modelled for summer, autumn and winter (with no account of ice). Statistical estimations of oil fate, including the probability of Sakhalin and Hokkaido shoreline pollution, are given.

Tables – 2, figures – 8, references – 5.

UDC 551.465.7:556.545 (265.51)

Estimation of dynamic factors in the transport and distribution of suspended solids in the Anadyr Gulf by numerical modelling / Saveliev A.V., Dudarev O.V., Savelieva N.I. // FERHRI Special Issue №4. Vladivostok: Dalnauka, 2003. P. 126-143.

The distribution of particulate matter (PM) in the Anadyr Bay caused by the Anadyr River runoff is studied depending on the particle size and influence of various dynamic factors.

Calculations are made for summer season when discharge of Anadyr River is the highest. The typical fields of suspended solids of different fractions caused by tidal, non-tidal and summary currents are constructed. The changes in typical fields caused by varying wind parameters and combination of extreme wind and river runoff are investigated.

Comparison of the modeled distribution of suspended solids in the Anadyr Bay and the real observations shows their conformity. Over the most part of the bay the concentration of suspended solids varies within 1-4 mg/l.

Tables – 3, figures – 9, references – 28.

UDC 504.3.054(571.64)

Description of expected air impact in the course of Sakhalin shelf oil-gas fields development / Gavrilova T.A. // FERHRI Special Issue №4. Vladivostok: Dalnauka, 2003. P. 144-151.

The main pollution sources and probable air impact during development of Sakhalin shelf oil-gas fields are described.

Figures – 4, references – 11.

Assessment of impact produced on the water bodies in the course of river crossing construction / Gavrilevsky A.V., Udovik M.V. // FERHRI Special Issue №4. Vladivostok: Dalnauka, 2003. P. 152-162.

The impact produced on the surface water bodies in the course of river-crossing pipeline construction is studied.

The crossing types and choice criteria depending on hydrological characteristics of a water body and technical facilities involved are analyzed as applied to the rivers of the northern Sakhalin and western Khabarovsk region.

The methods to assess the impact to be produced are suggested for the stage of pipeline laying.

The results of pollutant discharge modelling are given as an example of impact assessment. It is shown that the use of hydrotechnical facilities allows to reduce the negative impact produced on a water body several times.

Tables – 3, figures – 1, references – 12.

Macrobenthos and distribution of its trophic groups on the northeastern Sakhalin shelf / Labay V.S., Pecheneva N.V. // FERHRI Special Issue №4. Vladivostok: Dalnauka, 2003. P. 163-174.

Results of the dredging benthos investigation obtained in July-September 2000 on the northeastern Sakhalin shelf are given. 465 species and sub-species of the bottom organisms are registered. The species diversity increases from lithoral to the lower sub-lithoral and the slope. The average benthos biomass amounts to 326.56 g/m². Mainly vagil organisms confined in sandy soils constitute the biomass. Maximum population is registered in the sub-lithoral, being mainly composed of crayfish. Cluster analysis allows distinguishing five benthos trophic groups.

Tables – 1, figures – 7, references – 7.

Basic features of technogenesis on the Primorye coast / Petrenko V.S. // FERHRI Special Issue №4. Vladivostok: Dalnauka, 2003. P. 175-183.

The common features of technogenesis on the Primorye coast are analyzed. Technogenesis factors are divided into global and local. Both direct physical impact produced on the coastal relief and its geology and complex indirect impact leading to the relief destruction and drift accumulation are distinguished. Anthropogenic press causes abrupt deterioration of environmental conditions in the coastal areas. Three types of this deterioration are critical, tense and satisfactory. In some parts of Primorye the natural landscapes are completely replaced with the man-caused ones.

Figures – 3, references – 13.

UDC 504.453.054:556.535.8

Environmental conditions in the mouth part of Tumen River / Kochergin I.E., Borozdinova E.S., Gubareva T.S., Semykina G.I. // FERHRI Special Issue №4. Vladivostok: Dalnauka, 2003. P. 184-193.

The paper concentrates on the assessment of environmental conditions in the Russian zone of the Tumen River basin (mouth part of the river). In the course of the impact assessment the corresponding environmental components and types of impact are determined. Much attention is paid to the analysis of the pollutant transboundary transport from anthropogenic sources located in the Tumen River basin. In order to assess the quality of the Tumen River water and bottom sediments, the results of the hydrochemical survey of May 2003 are given. The factors of the Tumen River environment impact are described in the impact matrix.

Tables – 3, figures – 4, references – 6.

Аршинов Игорь Анатольевич
ДВНИГМИ, г. Владивосток
IArshinov@hydromet.com

Богдановский Александр Анатольевич
ДВНИГМИ, г. Владивосток
ABogdanovsky@hydromet.com

Бороздинова Елена Сергеевна
ДВНИГМИ, г. Владивосток
EBorozdinova@hydromet.com

Бугаец Андрей Николаевич
ДВНИГМИ, г. Владивосток
ABugaets@hydromet.com

Будаева Валентина Дмитриевна
к.г.н.
ДВНИГМИ, г. Владивосток
VBudaeva@hydromet.com

Вакульская Надежда Михайловна
ТОИ ДВО РАН, г. Владивосток
Vakulskaya@poi.dvo.ru

Возняк Анна Анатольевна
ДВНИГМИ, г. Хабаровск

Гаврилевский Александр Викторович
ДВНИГМИ, г. Владивосток
AGavrilevsky@hydromet.com

Гаврилова Татьяна Анатольевна
ДВНИГМИ, г. Владивосток
TGavrilova@hydromet.com

Гарцман Борис Ильич
к.г.н.
ДВНИГМИ, г. Владивосток
BGartsman@hydromet.com

Губарева Татьяна Сергеевна
ДВНИГМИ, г. Владивосток
TGubareva@hydromet.com

Данченков Михаил Алексеевич
к.г.н.
ДВНИГМИ, г. Владивосток
danchenk@fastmail.vladivostok.ru

Дударев Олег Викторович
к.г.-м.н.
ТОИ ДВО РАН, г. Владивосток
Pacific@online.marine.su

Като Экайе
СахУГМС, г. Южно-Сахалинск
A_Kato@sakhmeteo.ru

Кочергин Игорь Евгеньевич
к.ф.-м.н.,
ДВНИГМИ, г. Владивосток
IKochergin@hydromet.com

Лабай Вячеслав Степанович
к.б.н.
СахНИРО, г. Южно-Сахалинск

Любицкий Юрий Вадимович

к.г.н.
Хабаровский технический университет,
г. Хабаровск
lub@ael.ru

Макаров Вячеслав Георгиевич

к.г.н.
ДВНИГМИ, г. Владивосток
SMakarov@vmredipn.ipn.mx

Петренко Владимир Сергеевич

к.г.н.
ДВГУ, г. Владивосток

Печенева Наталия Владимировна

СахНИРО, г. Южно-Сахалинск
Pecheneva@sakhniro.ru

Савельев Александр Владимирович

к.г.н.
ДВНИГМИ, г. Владивосток

Семькина Галина Ивановна

ПУГМС, г. Владивосток
head@wdwk.mecom.ru

Удовик Марина Владимировна

ДВНИГМИ, г. Владивосток
Udovik@hydromet.com

Фельдман Константин Лазаревич

ИБМ ДВО РАН, г. Владивосток

Макагонова Марина Александровна

ПУГМС, г. Владивосток
hydrolog@primpogoda.ru

Мишуков Василий Федорович

к.х.н.
ТОИ ДВО РАН, г. Владивосток
vmishukov@poi.dvo.ru

Петров Александр Глебович

к.г.н.
ДВНИГМИ, г. Владивосток

Рыбалко Сергей Иванович

ДВНИГМИ, г. Владивосток
SRybalco@hydromet.com

Савельева Нина Ивановна

к.г.н.
ТОИ ДВО РАН, г. Владивосток
nina@poi.dvo.ru

Тунеголовец Валерий Петрович

д.г.н., профессор
ДВНИГМИ, г. Владивосток
VTunegolovets@hydromet.com

Файман Павел Аркадьевич

ДВНИГМИ, г. Владивосток
PFayman@hydromet.com

Шевченко Георгий Владимирович

к.ф.-м.н.
СахНИРО, г. Южно-Сахалинск
Shevchenko@sakhniro.ru

Научное издание

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЯ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

Тематический выпуск ДВНИГМИ №4

Ответственный редактор *канд. физ.-мат. наук И.Е. Кочергин*
Редакторы *канд. геогр. наук В.Д. Будаева, канд. геогр. наук А.В. Савельев*
Технический редактор *Т.А. Гаврилова*

Отпечатано с оригинал-макета, подготовленного в ДВНИГМИ, минуя редподготовку
690600 ГПС, Владивосток, ул. Фонтанная, 24,
тел: 26-97-88, факс: 22-77-54
<http://www.hydromet.com>
e-mail: hydromet@online.ru

Изд. лиц. ИД № 05497 от 01.08.2001 г. Подписано к печати 29.12.2003 г.
Бумага офсетная. Формат 70×100/16. Гарн. «Ариал». Печать офсетная. Усл. п. л. 17, 88
Уч.-изд. л. 16, 44. Тираж 250 экз. Заказ 28.

Отпечатано в типографии ГУП «Издательство "Дальнаука"» ДВО РАН
690041, г. Владивосток, ул. Радио, 7