Всероссийский
научно-исследовательский
институт рыбного хозяйства
и океанографии

ISSN: 2307-3497

ТОМ 184

ТРУДЫ ВНИРО



ISSN: 2307-3497 | ТРУДЫ ВНИРО. 2021 г. Том 184

Инструментальное и технико-экономическое обеспечение рыболовства

Труды Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии

Периодический научный журнал. Основан в 1935 году. Журнал входит в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Министерства образования и науки Российской Федерации, реферируется в Международных базах данных AGRIS (Agricultural Research Information System), ASFA (Aquatic Sciences and Fisheries Abstracts), Google Scholar, национальной библиографической базе данных РИНЦ (Российский индекс научного цитирования) и базе данных ВИНИТИ РАН. Выходит 4 раза в год

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор Глубоковский М.К., научный руководитель ФГБНУ «ВНИРО», профессор кафедры Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, д.б.н (Москва, Россия)

Ответственный редактор Орлов А.М., гл. научный сотрудник ФГБНУ «ВНИРО», зав. лабораторией ФГБУН «Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН», д.б.н. (Москва, Россия)

Научный редактор Карпинский М.Г., гл.научный сотрудник ФГБНУ «ВНИРО», д.б.н. (Москва, Россия)

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Абрамова Л.С., зам. руководителя Департамента ФГБНУ «ВНИРО», д.т.н., профессор (Москва, Россия)

Архипкин А.И., ст. научный сотрудник, зав. научной секцией Департамента рыболовства Фолклендских островов, к.б.н. (Стенли, Фолкленды)

Балыкин П.А., гл. научный сотрудник ФГБУН «Федеральный исследовательский центр Южный научный центр РАН», д.б.н. (Ростов-на-Дону, Россия)

Бетин О.И., советник директора ФГБНУ «ВНИРО», д.э.н., профессор (Москва, Россия)

Бизиков В.А., зам. директора по научной работе ФГБНУ «ВНИРО», д.б.н. (Москва, Россия)

Бимиш Р.Дж., сотрудник Тихоокеанской биологической станции, доктор наук, почетный ученый (Нанаймо, Канада)

Булгакова Т.И., гл. научный сотрудник, ФГБНУ «ВНИРО», д.т.н. (Москва, Россия)

Васильев Д.А., начальник отдела ФГБНУ «ВНИРО», д.т.н. (Москва, Россия)

Габриелян Б.К., директор Научного Центра Зоологии и Гидроэкологии Национальной Академии Наук Республики Армения, д.б.н., профессор (Ереван, Армения)

Галактионов К.В., зав. лабораторией ФГБУН «Зоологический институт РАН», д.б.н., профессор РАН (Санкт-Петербург, Россия)

Долгов А.В., гл. научный сотрудник Полярного филиала ФГБНУ «ВНИРО» (ПИНРО им. Н.М. Книповича), д.б.н., доцент (Мурманск, Россия)

Животовский Л.А., зав. лабораторией ФГБУН «Институт общей генетики им. Н.И. Вавилова РАН», гл. научный сотрудник ФГБНУ «ВНИРО», д.б.н., профессор (Москва, Россия)

Кантор Ю.И., ведущий научный сотрудник ФГБУН «Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН», д.б.н. (Москва, Россия)

Котляр А.Н., гл. научный сотрудник ФГБУН «Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН», д.б.н. (Москва, Россия)

Криксунов Е.А., профессор кафедры ихтиологии Биологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, д.б.н., член-корреспондент РАН (Москва, Россия)

Лабай В.С., зав. лабораторией Сахалинского филиала ФГБНУ «ВНИРО» (СахНИРО), д.б.н. (Южно-Сахалинск, Россия)

Лаптиховский В.В., сотрудник научного центра по окружающей среде, рыболовству и аквакультуре, д.б.н. (Лоустофт, Великобритания)

Лукин А.А., зам нач. учреждения - начальник ФСГЦР филиал ФГБУ «Главрыбвод», д.б.н., профессор (Ропша, Россия)

Мизюркин М.А., гл. научный сотрудник, Тихоокеанский филиал ФГБНУ «ВНИРО» (ТИНРО), д.т.н., профессор (Владивосток, Россия)

Мнацаканян А.Г., директор института отраслевой экономики и управления ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет», д.э.н., профессор КГТУ (Калининград, Россия)

Мокиевский В.О., гл. научный сотрудник, руководитель лаборатории ФГБУН «Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН», д.б.н. (Москва, Россия)

Папцов А.Г., директор ФГБНУ «Федеральный научный центр аграрной экономики и социального развития сельских территорий – Всероссийский научно-исследовательский институт экономики сельского хозяйства», д.э.н., профессор, академик РАН (Москва, Россия)

Пахомов Е.А., профессор Университета Британской Колумбии, к.б.н. (Ванкувер, Канада)

Пинчук А.И., доцент Университета Аляски, к.б.н. (Джуно, США)

Подкорытова А.В., гл. научный сотрудник ФГБНУ «ВНИРО», д.т.н., профессор (Москва, Россия)

Политов Д.В., гл. научный сотрудник, зав. лабораторией ФГБУН «Институт общей генетики им. Н.И. Вавилова РАН», д.б.н. (Москва, Россия)

Радченко О.А., директор Института биологических проблем Севера Дальневосточного отделения РАН, д.б.н., профессор (Магадан, Россия)

Романов Е.В., руководитель проектов Технического центра по исследованию и освоению водной среды, к.б.н. (Ле Порт, Реюньон, Франция)

Рубан Г.И., гл. научный сотрудник ФГБУН «Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН», д.б.н. (Москва, Россия)

Семин А.Н., зав. кафедрой стратегического и производственного менеджмента ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», д.э.н., профессор, академик РАН (Екатеринбург, Россия)

Серегин С.Н., советник директора ФГБНУ «ВНИРО», д.э.н., профессор (Москва, Россия)

Труба А.С., консультант по экономическим вопросам ФГБНУ «ВНИРО», д.э.н., доцент (Москва, Россия)

Харенко Е.Н., зам. директора по научной работе ФГБНУ «ВНИРО», д.т.н., доцент (Москва, Россия)

Шунтов В.П., гл. научный сотрудник Тихоокеанского филиала ФГБНУ «ВНИРО» (ТИНРО), д.б.н., профессор (Владивосток, Россия)

Ответственный редактор тома *Левашов Д.Е.*, начальник отдела ФГБНУ «ВНИРО», д.т.н. (Москва, Россия)

Редактор *Юрова О.С.*
Компьютерная верстка *Яковлев Ю.С.*
Формат 60×84 1/8. Печ. л. 27,25
Тираж 100 экз.
Подписан в печать 30.07.2021 г.

Адрес редакции:
107140, Москва, ул. Верхняя Красносельская, 17
Тел.: 8-499-264-65-33
E-mail: trudy@vniro.ru
© ФГБНУ «ВНИРО», 2021

ISSN: 2307-3497 | TRUDY VNIRO. 2021. Vol. 184

Instrumental, technical and economic support for fishery

Proceedings of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography

Periodic scientific journal. It was founded in 1935. The journal is included in the «List of peer-reviewed scientific publications» of the Ministry of education and science of the Russian Federation, where basic scientific results of dissertations on competition of a scientific degree of Candidate of science and Doctor of science must be published. It is referred in International databases AGRIS (Agricultural Research Information System), ASFA (Aquatic Sciences and Fisheries Abstracts), Google Scholar, the national bibliographic database of RSCI (Russian Science Citation Index) and database VINITI PAS. Published 4 times a year.

EDITORIAL BOARD

Editor-in-Chief – Glubokovsky M.K., Doctor of Biological Sciences, Professor, Scientific Supervisor of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (VNIRO), Moscow, Russia

Executive editor – Orlov A.M., Doctor of Biological Sciences, Chief Scientist VNIRO, Head of the laboratory of the P.P. Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Scientific editor – Karpinsky M.G., Doctor of Biological Sciences, Chief scientist of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (VNIRO), Moscow, Russia

EDITORIAL COUNCIL

Abramova L.S., Doctor of Technical Sciences, Professor, Deputy Head of the department of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (VNIRO), Moscow, Russia

Arkhipkin A.I., Candidate of Biological Sciences, Senior Scientist, Head of the scientific section of the Falkland Islands Fisheries Department, Stanley, Falklands

Balykin P.A., Doctor of Biological Sciences, Deputy Head of the department, Chief Scientist of the Federal Research Center Southern Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Rostov-on-Don, Russia

Betin O.I., Doctor of Economical Sciences, Professor, Advisor to the Director of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (VNIRO), Moscow, Russia

Bizikov V.A., Doctor of Biological Sciences, Deputy Director for scientific work of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (VNIRO), Moscow, Russia

Beamish R.J., Doctor of Biological Sciences, Emeritus Scientist of the Pacific Biology Station, Nanaimo, Canada

Bulgakova T.I., Doctor of Technical Sciences, Chief Scientist of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (VNIRO), Moscow, Russia

Dolgov A.V., Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Chief Scientist of Polar Branch of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (PINRO named after N.M. Knipovich), Murmansk, Russia

Gabrielian B.K., Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Director of the Scientific Center of Zoology and Hydroecology of the National Academy of Sciences of the Republic of Armenia, Yerevan, Republic of Armenia

Galaktionov K.B., Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the laboratory of the Zoological Institute of the Russian Academy of Sciences, Saint-Petersburg, Russia

Kantor Y.I., Doctor of Biological Sciences, Leading Scientist of the A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Kharenko E.N., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Deputy Director for scientific work of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (VNIRO), Moscow, Russia

Kotlyar A.N., Doctor of Biological Sciences, Chief Scientist of the P.P. Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Kriksunov E.A., Doctor of Biological Sciences, Professor of the Chair of Ichthyology of the Biology Department, Lomonosov Moscow State University, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Labai V.S., Doctor of Biological Sciences, Head of the laboratory of the Sakhalin Branch of the Russian Federal Research Institute of Fisheries (SakhNIRO), Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

Laptikhovsky V.V., Doctor of Biological Sciences, Marine biologist and stock assessment scientist of the Scientific Center for Environment, Fisheries and Aquaculture, Lowestoft, United Kingdom

Lukin A.A., Doctor of Biological Sciences, Professor, Deputy head of the Federal Selection and Genetic Center of Fish Farming, Branch of «Glavrybvod», Ropsha, Russia

Mizyurkin M.A., Doctor of Technical Sciences, Professor, Scientist of the Pacific Branch of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (TINRO), Vladivostok, Russia

Mnatsakanyan A.G., Doctor of Economical Sciences, Professor, Director of the Institute of Industrial Economics and Management of the Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia

Mokievsky V.O., Doctor of Biological Sciences, Chief Scientist, Head of the Laboratory of the P.P. Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Pakhomov E.A., Candidate of Biological Sciences, Professor at the University of British Columbia, Vancouver, Canada

Paptsov A.G., Doctor of Economical Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Director of the Russian Research Institute of Agricultural Economics of the Federal Research Center for Agricultural Economics and Social Development of Rural Territories, Moscow, Russia

Pinchuk A.I., Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, University of Alaska, Juneau, USA

Podkorytova A.V., Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Scientist of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (VNIRO), Moscow, Russia

Politov D.V., Doctor of Biological Sciences, Chief Scientist, Head of the laboratory of the Vavilov Institute of General Genetics of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Radchenko O.A., Doctor of Biological Sciences, Professor, Director of the Institute of Biological Problems of the North of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Magadan, Russia

Romanov E.V., Candidate of Biological Sciences, Project manager of the Technical Center for Research and Development of the Aquatic Environment, Le Porte, Reunion, France

Ruban G.I., Doctor of Biological Sciences, Chief Scientist of the A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Semin A.N., Doctor of Economical Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Head of the Department of Strategic and Production Management, Ural State Mining University, Yekaterinburg, Russia

Seregin S.N., Doctor of Economical Sciences, Professor, Advisor to the Director of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (VNIRO), Moscow, Russia

Shuntov V.P., Doctor of Biological Sciences, Professor, Chief Scientist of Pacific Branch of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (TINRO), Vladivostok, Russia

Truba A.S., Doctor of Economical Sciences, Associate Professor, Consultant on Economic Issues of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (VNIRO), Moscow, Russia

Vasilyev D.A., Doctor of Technical Sciences, Head of the Fisheries Regulation Department of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (VNIRO), Moscow, Russia

Zhivotovsky L.A., Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the laboratory of the Vavilov Institute of General Genetics of the Russian Academy of Sciences, Chief Scientist of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (VNIRO), Moscow, Russia

Executive editor of volume: *Levashov D.E.,* Doctor of Technical Sciences, Head of the Fisheries Regulation Department of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (VNIRO), Moscow, Russia: *D.E. Levashov*

СОДЕРЖАНИЕ

ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЕ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РЫБОЛОВСТВА

К юбилею – 140 лет ВНИРО

Колончин К.В., Левашов Д.Е.
О железе морском замолвим слово.... 5

Техника для рыбохозяйственных исследований

Промышленное рыболовство и орудия добычи

Татарников В.А., Астафьев С.Э., Оруженко С.С.
Обоснование параметров близнецового лова дальневосточной скумбрии и дальневосточной сардины средне-тоннажными судами с учётом их промыслово-биологических характеристик.. 23
Кручинин О.Н., Мизюркин М.А., Захаров Е.А., Волотов В.М., Ерёмин Ю.В.
Обоснование основных параметров близнецовой траловой системы для судов малого и среднего классов.... 34
Сошин А.В., Малых К.М., Лапшин О.М., Рой И.В., Коваленко М.Н.
Состояние техники и организации снюрреводного лова в прикамчатских водах ... 46
Акишин В.В., Истомин И.Г., Татарников В.А.
Методический подход к оценке травматической гибели криля, прошедшего сквозь ячею трала.... 61

Гидроакустические методы

Кузнецов М.Ю., Поляничко В.И., Сыроваткин Е.В., Убарчук И.А.
Исследование акустической силы цели японской скумбрии в северо-западной части Тихого океана in situ 73
Помогаева Т.В., Татарников В.А.
Особенности пространственного распределения каспийских килек в средней части Каспийского моря в летний период по результатам гидроакустических исследований.... 87

Технические средства океанологического обеспечения промысла

Рамазин А.Н.
Оценка неопределённости калибровки эталонной ячейки электропроводимости калибратора CT01 «Idronaut» «Установки для измерения УЭП морской воды ВНИРО» ... 99
Рамазин А.Н.
О неопределённости калибровки датчиков электропроводимости CTD-зондов «Sea Bird» при измерениях и в расчётах практической солёности ... 112
Рамазин А.Н., Лазарюк А.Ю.
Результаты исследования метрологических характеристик профилографа YSI CastAway-CTD ... 125

Гидробиологические измерители

Буланова Н.П., Левашов Д.Е., Гайский П.В., Иващенко Д.А., Литвиненко Л.И., Куцанов К.В.
Новый лазерный планктономер «КАРП» – комплексный автономный регистратор планктона.... 140
Оленин А.Л., Бадюков И.Д., Коровчинский Н.М., Аистов Е.А.
Видеосистема для мониторинга зоопланктона и частиц взвеси.... 149
Гайский В.А., Гайский П.В.
Биоэлектронная автоматическая станция для контроля состояния водной среды в аквакультуре.... 159

Экономика, международное сотрудничество и нормативные правовые основы рыбохозяйственной деятельности

Сергеев Л.И.
Обобщение положений и параметров стратегического развития рыбной отрасли ... 169
Салтыков М.А.
Тенденции производства рыбной продукции стран Северо-Восточной Азии в период с 2008 по 2018 гг., оценка факторов и прогноза развития до 2025 года ... 190

Информация

Левашов Д.Е., Буланова Н.П.
Некоторые суда для рыбопромысловых исследований, построенные в 2019-2020 гг.... 203

CONTENTS

INSTRUMENTAL, TECHNICAL AND ECONOMIC SUPPORT FOR FISHERY

To the 140th anniversary of VNIRO

Kolonchin K.V., Levashov D.E.
Kind word for marine metal 5

Equipment for fisheries research

Commercial fishery and fishing gear

Tatarnikov V.A., Astafiev S.E., Oruzhenko S.S.
Justification of the parameters of twin fishing for Far Eastern mackerel and Ivashi sardines by medium tonnage vessels, taking into account their fishing biological characteristics. 23
Kruchinin O.N., Mizyurkin M.A., Volotov V.M., Zakharov E.A.
Substantiation of the basic parameters of the pair trawl system for ships of small and medium classes 35
Soshin A.V., Malykh K.M., Lapshin O.M., Roy I.V., Kovalenko M.N.
State of technique and organization of Danish seine fishery in Kamchatka waters 46
Akishin V.V., Istomin I.G., Tatarnikov V.A.
The methodic approaches to the estimating traumatic depth of krill passed through the trawl meshes. 61

Hydroacoustic methods

Kuznetsov M.Yu., Polyanichko V.I., Syrovatkin E.V., Ubarchuk I.A.
The study of the acoustic target strength of Chub mackerel in the northwestern Pacific Ocean *in situ* 73
Pomogaeva T.V., Tatarnikov V.A.
Features of the spatial distribution of the Caspian sprats in the middle part of the Caspian Sea in the summer period according to the results of sonar studies. 87

Technical means of oceanological support of the fishery

Ramazin A.N.
Evaluation of calibration uncertainty reference conductivity cell of calibrator CT01«Idronaut» «Installations for measuring conductivity of sea water VNIRO» 99
Ramazin A.N.
About the calibration uncertainty of conductivity sensors of CTD-probes «Sea Bird» in measurements and in practical salinity calculations. 112
Ramazin A.N., Lazaryuk A.Yu.
The results of studies of metrological characteristics YSI CastAway-CTD profilograph. 125

Hydrobiological meters

Bulanova N.P., Levashov D.E., Gaysky P.V., Ivaschenko D.A., Litvinenko L.I., Kutsanov K.V.
New plankton laser meter «KARP» – comprehensive autonomous plankton recorder 140
Olenin A.L., Badyukov I.D., Korovchinskij N.M., Aistov E.A.
Video system for monitoring zooplankton and suspended particles. 149
Gaisky V.A., Gaisky P.V.
Bioelectronic automatic aquaculture monitoring station 159

Economics, international cooperation and regulatory bases of fisheries management

Sergeev L.I.
Generalization of the provisions and parameters of the strategic development of the fishing industry. 169
Saltykov M.A.
Trends in the production of fish products in the countries of North-East Asia from 2008 to 2018, assessment of factors and development forecast till 2025 year 190

Information

Levashov D.E., Bulanova N.P.
Some vessels for fishery surveys built in 2019-2020. 203

УДК 629.124.68 (091)

DOI: 10.36038/2307-3497-2021-184-5-22

О железе морском замолвим слово...

К.В. Колончин,
Д.Е. Левашов

Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ФГБНУ «ВНИРО»), Москва

E-mail: levashov@vniro.ru

В статье изложена история создания научно-исследовательского флота (НИФ) старейшего научного-рыбохозяйственного учреждения России — Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО). Выделены три основных этапа развития отраслевого НИФ. Обозначено появление наиболее значимых исследовательских судов как своеобразных вех на пути института протяжённостью в 140 лет. Описана роль как дореволюционных предшественников, так и самого ВНИРО и его филиалов в создании судов и проведении экспедиционных исследований. Особо подчеркивается связь исследовательских судов и людей, стоявших у истоков их создания, в частности, Н.М. Книповича. Рассмотрен процесс смены поколений НИС на примере 7-ми судов с именем Книповича на борту. Для каждого из упоминаемых судов приводятся краткое техническое описание, исторические данные и важнейшие результаты экспедиционных изысканий. В заключении намечены перспективы современного развития отраслевого НИФ. Использованы материалы архивов, данные из мемуарной и специальной литературы, воспоминания участников событий.

Ключевые слова: НИС, история, рыбопромысловые исследования, Мурманск, Астрахань, логгер, КФК, СРТ, БМРТ, проект.

ВВЕДЕНИЕ

Научно-исследовательские суда и их оборудование являются одной из наименее освещаемых сторон при обсуждении морских исследований, так как обычно они оказываются в тени научных результатов, полученных с их помощью. Однако при этом не стоит забывать — при их отсутствии не было бы и самих научных результатов.

Рассматривая развитие отраслевого научно-исследовательского флота как движение вперёд по фарватеру протяжённостью в 140 лет, отметим важные вехи — корабли науки и люди у их штурвала, которые не позволили сойти с истинного курса на научном и жизненном пути Института.

Вплоть до конца XIX в. экспедиционные исследования российских учёных чаще проводились на кораблях военно-морского флота. Например, винтовой клипер «Наездник» в начале 1893 года прибыл к берегам Архангельской губернии для охраны территориальных вод — почти прямо по приходу в Белом море он арестовал шесть норвежских шхун-браконьеров с тюленьими шкурами, отвел их в г. Кола и сдал властям. Когда позволяла ледовая обстановка, «Наездник» выполнял гидрографические и гидрологические работы. На его борту начиналась экспедиционная биография начинающего тогда гидролога Николая Михайловича Книповича [Алексеев, 2012].

Однако опыт таких экспедиций указал на необходимость специальных гражданских экспедиционных судов, исследовательская работа которых не ограничивалась бы рамками корабельного распорядка и устава боевого корабля, а научные интересы не оказывались бы на заднем плане. Положение стало меняться с появлением и развитием прибрежных биологических станций, которые, как правило, имели небольшие суда, добывающие образцы морской фауны для исследований и других научных целей.

Таким образом, первые гражданские исследовательские суда появились только после создания первых морских биологических станций, которые были их пользователями, а зачастую и их владельцами. Исторически в России морские биологические станции функционировали под патронажем Императорской Академии Наук или Императорского Санкт-Петербургского Общества

Естествоиспытателей. Именно последнее интересовалось выявлением наиболее благоприятных условий существования отдельных промысловых пород, сезонной миграции промысловой рыбы, районов её нереста и откорма. В связи с этим воды и дно материковой отмели стали подвергаться всестороннему и комплексному изучению.

ПЕРВЫЙ ЭТАП – ПЕРВЫЕ СУДА ДЛЯ РЫБОПРОМЫСЛОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В 1881 году на Соловецких о-вах появилась первая на Севере Соловецкая биологическая станция. Она заняла большую часть отдельного здания, перестроенного для неё Соловецким монастырем, и вмещала примерно 12 человек натуралистов. На биостанции были организованы аквариальная зала с морскими аквариумами и оснащённая по последнему слову тогдашней техники гидробиологическая лаборатория. По воспоминаниям бывшего там на практике М.Н. Римского-Корсакова [Фокин, 2009]: «…Станция помещалась в рыбачьем домике на берегу Соловецкой бухты. Внизу жили рыбаки, лаборатория размещалась во 2-м этаже, оборудование станции было вполне достаточное. Оно постепенно заводилось Санкт-Петербургским Обществом Естествоиспытателей. Монастырь шёл навстречу Обществу (надпись на домике гласила: «Биологическая станция Соловецкой Обители»). В наше распоряжение было предоставлено 2 лодки. В услужении у нас находились 3 послушника …». Станция (рис. 1) функционировала в течение летних месяцев и по роду своей деятельности была в основном связана с зоологическим и зоотомическим кабинетами Санкт-Петербургского университета.

С 1887 года на биологической станции работал Н.М. Книпович, где были собраны материалы для магистерской диссертации об усоногих рачках *Ascothoracidae*, которую он защитил в 1892 году. Попутно Н.М. Книповичем выполнены на биостанции работы, в которых дана общая характеристика беломорской флоры и фауны и условий её обитания.

С 1899 года эта биостанция была переведена и реорганизована в биологическую станцию Императорского Санкт-Петербургского Общества Естествоиспытателей у г. Александровск (ныне г. Полярный) в Екатерининской гавани Кольского залива, где начала свои работы только в 1904 году. С первых дней организации Мурманская биологическая станция работала в тесном содружестве с Мурманской научно-промысловой экспедицией, работавшей там с 1898 по 1908 гг. сначала под руководством Н.М. Книповича, а затем Л.Л. Брейтфуса. Когда в 1899 году было решено переместить Соловецкую биологическую станцию с Белого моря в г. Александровск, Н.М. Книпович принял активное участие в размещении и обустройстве сотрудников на новом месте [Пашкова, 2006]. Эти два учреждения заложили научный фундамент современного рыбного промысла Баренцева моря и Северной Атлантики.

Мурманская научно-промысловая экспедиция была организована Н.М. Книповичем в 1898 году в рамках деятельности Комитета для



Рис. 1. Общий вид Соловецкой биологической станции. Фотография 1897 г. Архив кафедры зоологии беспозвоночных СПбГУ

помощи поморам Русского Севера, созданного видными российскими учёными и общественными деятелями после одновременной трагической гибели в 1894 году в Белом море 25 поморских судов. Экспедиция получила в свое распоряжение здания для лаборатории, причал и склады в г. Александровск, арендовала помещения в с. Териберка — самом крупном становище Восточного Мурмана.

Н.М. Книпович, став начальником Мурманской научно-промысловой экспедиции, поставил на первое место научные задачи, полагая, что только после глубокого и всестороннего изучения объектов промысла можно будет переходить к практическим вопросам. Он считал, что исследования не должны идти на поводу у рыбаков, как это было ранее, например, у К.М. Бэра или Н.Я. Данилевского. По мнению Н.М. Книповича, целесообразно сначала вывести законы, управляющие распределением рыб в море, а затем организовать промысел на основании этих законов, нежели проводить непосредственную разведку рыбных скоплений [Котенев, 2013]. Свое кредо он сформулировал так: «Для познания биологии промысловых рыб мы должны изучить и биологию всех остальных обитателей моря, а чтобы её изучить, надо изучить всю совокупность физико-географических условий во всех пунктах изучаемой области и во всякое время» [Москалев, 2005].

Н.М. Книпович добился постройки первого в мире специализированного научно-исследовательского судна «Андрей Первозванный» (рис. 2), послужившего образцом для подобных судов в западноевропейских странах [Лайус, 1995].

Именно это событие можно считать первой вехой в истории научно-промысловых исследований. Фактически, судно «Андрей Первозванный» было родоначальником особого класса исследовательских, научно-промысловых и научно-поисковых судов (НПС) [Игнатьев, 1999.] или, по современной терминологии, НИРС — научно-исследовательских рыболовных судов. Большим преимуществом судна было оснащение экспедиции новейшими по тому времени приборами и орудиями лова, в частности, траловой лебёдкой и тралами новейшей конструкции [Яковленков, 2015].

Судно было построено в 1899 году в Германии (Schiffbau & Maschinenfabrik Bremer Vulkan AG. Vegesack), по заказу российского правительства. Длина наибольшая — 46 м, ширина — 7,9 м, мощность паровой машины — 328 кВт, скорость — 11 узлов. Базировалось судно в Екатерининской бухте г. Александровск.

Работы экспедиции на пароходе «Андрей Первозванный» проводились, в основном, в районах южной части Баренцева моря. Это, главным образом, биологические (в 2000 пунктах) и гидрологические (в 1500 пунктах) исследования. В результате экспедиция собрала ценнейшие материалы по биологии, сезонным явлениям физической географии и промысловым богатствам

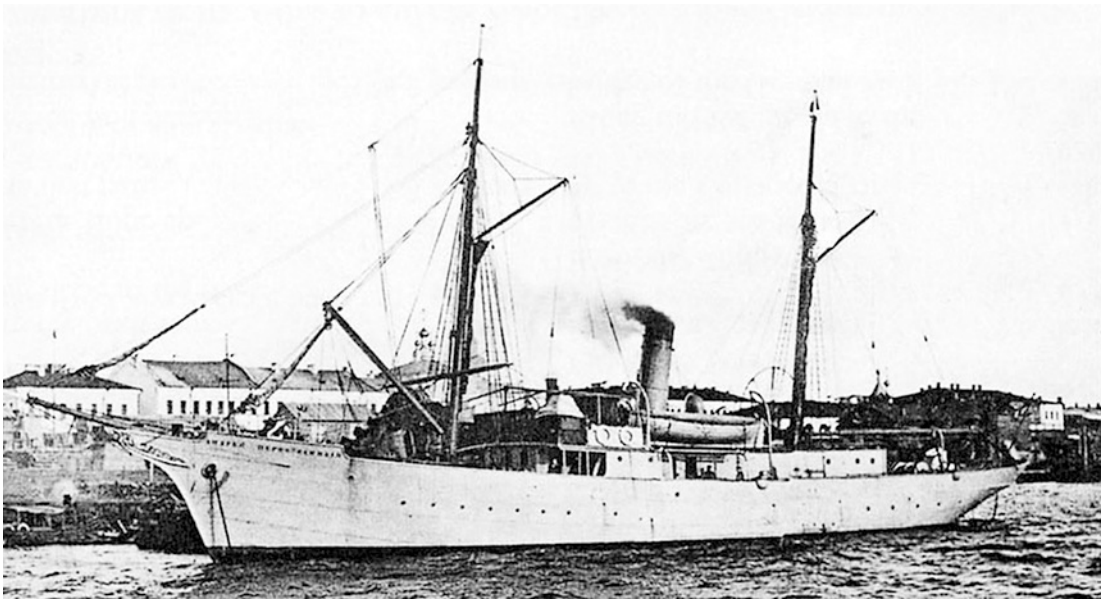


Рис. 2. «Андрей Первозванный» — первое в мире рыболовное научно-исследовательское судно

вод. Экспедиция для научно-промысловых исследований Мурмана стала первой попыткой комплексного научно-промыслового исследования моря с помощью важнейших средств современной техники не только у нас в России, но и за границей. В частности, в мае 1900 г. положено начало наблюдениям на океанографическом разрезе «Кольский меридиан», получившем впоследствии статус «векового». В настоящее время накопленные более чем за 100 лет материалы наблюдений на этом разрезе представляют собой одну из самых продолжительных и уникальных в мире серий океанографических данных. Экспедиция стала тем научно-практическим фундаментом, на котором впоследствии в нашей стране была построена вся система морских научно-промысловых исследований, а монография Н.М. Книповича «Основы гидрологии Европейского Ледовитого океана» (1906 г.) была удостоена Золотой медали Русского Географического общества.

В целом, важные результаты работы, проведённой в научных рейсах на пароходе «Андрей Первозванный», позволили на новой основе вести рыбопромышленное дело на Мурмане. Помимо гидрологических и метеорологических наблюдений, Экспедицией по научно-промысловому исследованию Мурмана впервые для изучения фауны был применён трал. Были открыты богатые рыбой районы моря, и задачей промысловиков стало применение эффективных орудий лова. Важнейшим практическим результатом экспедиции явился вывод о высокой эффективности тралового лова и необходимости перехода российского промыслового флота к новым типам судов и орудий лова. На пароходе «Андрей Первозванный» впервые в России была применена кормовая схема траления, которую на отечественном промысловом флоте начали широко использовать лишь в середине XX в. Это судно имеет большое значение в истории рыбохозяйственной науки. Результаты исследований были изложены в многочисленных трудах участников экспедиций на борту судна.

После окончания работы экспедиции 18 ноября 1910 г. судно куплено Морским ведомством и в качестве транспорта «Мурман» зачислено в состав Балтийского Флота, с 16 июля 1915 г. переклассифицировано в гидрографическое судно и 17 июля 1916 г. причислено к ФСЛО (Флотилия Северного Ледовитого океана). С 1 января 1932 г. переименовано в «Мгла», 2 октября 1954 г. переформировано в отопитель «ОТ-12», а 25 июня 1959 г. сдано в ОФИ для разборки на металл.

Следующей вехой на пути развития отечественного научно-исследовательского флота (НИФ) является теплоход «Почин» (рис. 3), построенный в 1910 г. на заводе А.К. Норен (г. Астрахань, стоимость 18300 руб.) для ихтиологической лаборатории Управления Каспийско-Волжскими рыбными и тюленьими промыслами, по праву ставший вторым отечественным НИРС

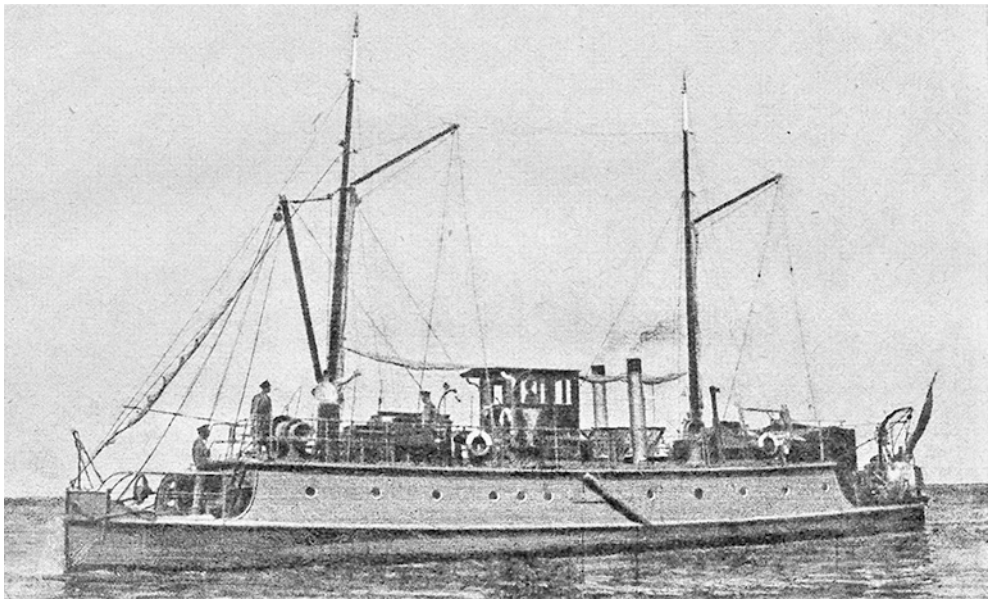


Рис. 3. Теплоход «Почин»

после «Андрея Первозванного» и первым на Каспии.

Он представлял собой стальной двухвинтовый однопалубный двухмачтовый теплоход с максимальной длиной 20,9 м и шириной 4,16 м.

Теплоход «Почин» не боялся мелководья. Его осадка 90 см, но вместе с тем, он был приспособлен и для плавания в открытых водах предустья. Большая волна только качала его, но не заливала. Нос и корма у него низкопалубные. Над каютами и лабораторией корпус был приподнят и в нём виден целый ряд круглых иллюминаторов. На корме он имел траловую лебёдку с тралом и драгами для сбора научных данных, на носу также была лебёдка.

Для движения на судне использованы два двухцилиндровых двигателя системы Болиндер шведского производства. Обе мачты снабжены реями для парусов, благодаря чему «Почин» мог идти и под парусами. Экипаж — 6 человек и ещё служитель из лаборатории для слежения за научным оборудованием.

Работал теплоход выше г. Астрахань и на р. Ахтуба. В течение нескольких десятилетий на судне проводилась исследовательская работа, основная задача которой заключалась в наблюдениях за ходом и нерестом рыбы в дельте р. Волга и на Северном Каспии. В 1932 году по приказу Министерства рыбной промышленности научно-исследовательское судно «Почин» было торжественно переименовано в «Киселевич» в честь К.А. Киселевича, в 1920–1930 гг. возглавлявшего Астраханскую ихтиологическую лабораторию (в 1927 году была переименована в научную рыбохозяйственную станцию). Упоминание в документах встречается до 1934 года.

Следующей знаменательной вехой на пути становления и развития отраслевого НИФ является знаменитый «Персей» (рис. 4). И если «Андрей Первозванный» был построен, в первую очередь, благодаря Н.М. Книповичу, то строительство НИС «Персей» целиком и полностью заслуга И.И. Месяцева, в то время бывшего директором «Плавморнина». Именно Месяцев, гидробиолог, профессор Московского университета, а по существу — главный организатор Плавучего института, обследуя Архангельские затоны на Северной Двине обнаруживает недостроенную бесхозную шхуну под именем «Персей» [Шумилов, 1997].

Необходимое для «Персея» палубное оборудование — брашпили и лебёдки, кнехты, компасы и тросы искали на уже отслуживших свой век пароходах. Главную машину и паровой котёл подняли с затонувшего буксира, а рулевую машину забрали со списанного миноносца.

И вот «Персей» наконец-то достроен — при водоизмещении судна 550 т осадка с полным грузом была порядка 3 м. Максимальная длина судна 41,5 м, ширина — 8 м. Главный двигатель позволял развивать скорость до 7,5 узлов. Кроме того, «Персей» имел вспомогательное парусное оснащение. Судно было оборудовано паровой траловой лебёдкой, а для забортных работ имелись несколько электрических лебёдок. Научный состав численностью до 16 человек имел воз-

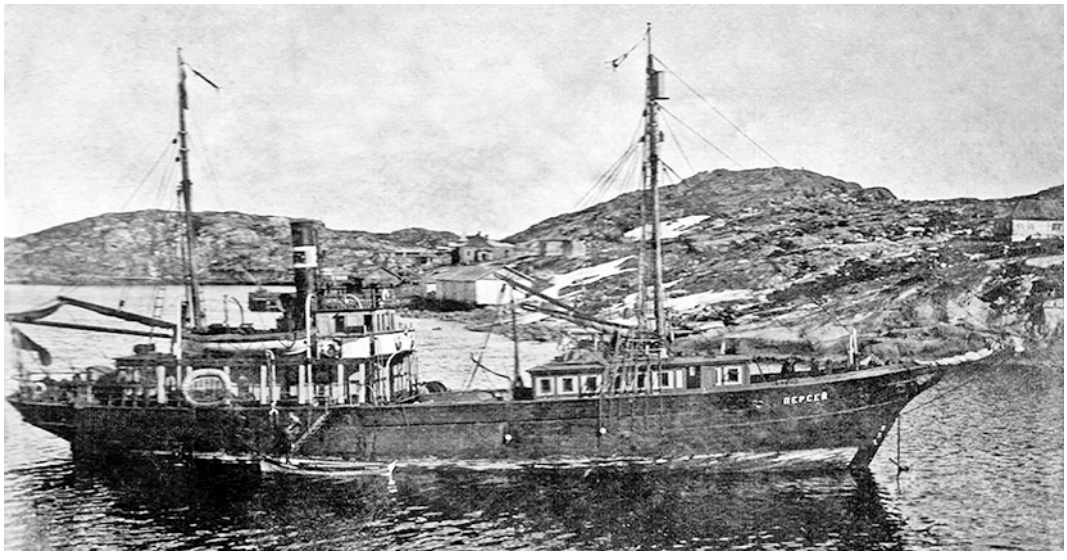


Рис. 4. Шхуна «Персей»

можность работать в семи лабораторных помещениях [Васнецов, 1974]. Крепкий корпус, усиленный поясом из дубовых досок, позднее позволил судну плавать во льдах, а небольшая осадка — спокойно подходить к берегу. И хотя его автономность (по запасам угля и пресной воды) была маловата, всего семнадцать суток, по существу полукустарный опыт создания экспедиционного судна оказался удачным.

19 августа 1923 г. «Персей» под руководством И.И. Месяцева вышел в первый рейс. И с тех пор по 1941 год он совершил 91 рейс в Белое, Баренцево, Карское и др. северные моря, выполнив 5525 научных станций. За это время с 1922 по 1941 гг. имена судовладельцев менялись — Плавучий морской научный институт (Плавморнин, 1922–1929 гг.); Государственный океанографический институт (ГОИН, 1929–1933 гг.); Полярный научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства и океанографии (ПИНРО, 1934–1941 гг.). Но для многих учёных он стал настоящим морским университетом — Л.А. Зенкевич, В.В. Шулейкин, В.Г. Богоров, С.В. Обручев, С.В. Бруевич, М.В. Кленова, А.А. Шорыгин и Б.К. Флеров. Эти фамилии знакомы нам уже как имена академиков, профессоров — корифеев морских наук. Владимир Михайлович Голицын, один из первых «персиян», придумал синий флаг с семью звездочками созвездия Персея. А Сергей Владимирович Обручев написал гимн «Персея»:

И вымпел гордый, сын «Персея»,
Рой звезд и неба синева —
Над всем полярным миром реет
Сегодня, завтра и всегда.

«Персей» погиб в начале Великой Отечественной войны под бомбами фашистских самолетов, но на мачтах судов отраслевого НИФ по-прежнему развевается синий флаг с семью звездочками созвездия Персея.

Следующей знаковой вехой в становлении отечественного НИФ можно считать деревянный двухмачтовый парусно-моторный бот **«**Николай Книпович**»**, построенный в Норвегии в 1928 году для Мурманской биологической станции (МБС). По совету норвежских коллег из Бергенского института остановились на проекте фирмы **«**Гравдальс Скибсбюгери**»,** уже имеющей опыт постройки подобных исследовательских судов. В частности, на этой верфи построено одно из первых норвежских НИС **«**Johan Hjort**»** (1922 г.). Договор был подписан и к июню 1928 г. судно было готово (рис. 5).

Основные характеристики: корпус деревянный с ледовой обшивкой, водоизмещение — 100 т, длина — 25,9 м, ширина — 6,2 м, осадка — 3 м, мощность — 120 л. с., скорость — 7,5 узла. Главный и вспомогательный двигатели системы «Болиндер», электричество давала динамомашина мощностью в 4,5 кВт. Мачты имели парусное вооружение. Имелась 22-футовая шлюпка

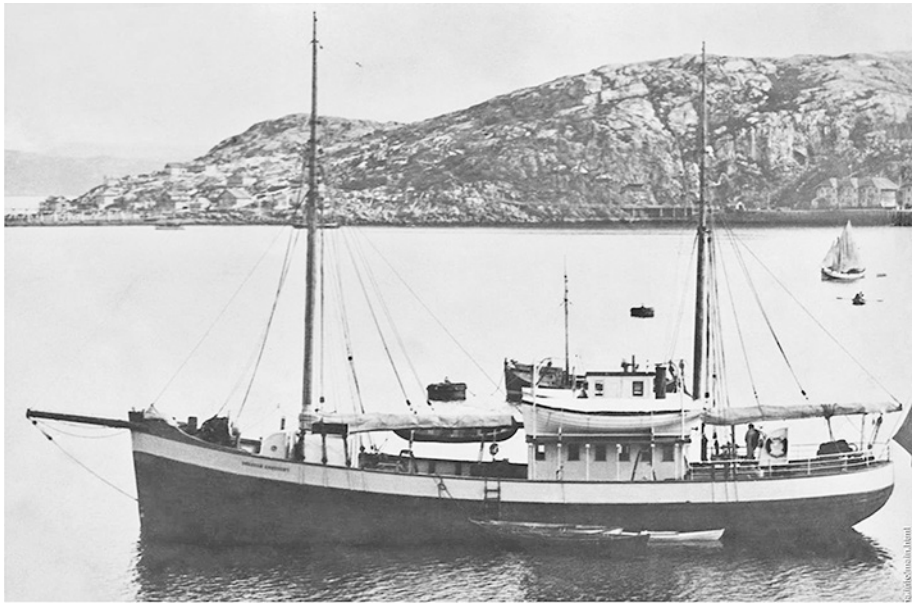


Рис. 5. Парусно-моторный бот «Николай Книпович»

с парусным вооружением. В надстройке размещалось помещение лаборатории, разделенное на два отсека, в одном из которых располагалась радиоустановка. Над лабораторией находилась штурманская рубка, а под ней, ближе к корме, машинное отделение. Между надстройкой и передней мачтой находился люк 16-футового трюма. Команда размещалась в 5-местном кубрике и в столовой со спальными местами на 6 человек. Комсостав размещался в четырёх каютах и располагал кают-компанией. Для научных сотрудников были предусмотрены три двухместные каюты.

Из палубного оборудования, кроме траловой лебёдки с приводом от главного двигателя, судно было оснащено планктонной и гидрологической электрическими лебёдками, а также запасной ручной лебёдкой. Ещё из необходимого оборудования на судне были гидрологические приборы и весы для биологических образцов, оттертрал и планктонные сети, аккумуляторная батарея, радиостанция и навигационное оборудование, в том числе радиопеленгатор, что в те времена было большой редкостью.

Числясь за Мурманской биологической станцией, 13 сентября 1928 г. судно вышло в свой первый рейс, выполняя стандартный Кольский разрез (что в дальнейшем выполнялось регулярно). В 1929 году МБС была объединена с Научным морским институтом в Государственный океанографический институт (ГОИН). В 1932 г. «Николай Книпович» в рамках Второго Международного полярного года под руководством Н.Н. Зубова совершил поход на Землю Франца-Иосифа, впервые в истории арктического мореплавания, обогнув её с севера, достиг рекордной отметки в свободном плавании 82°05' с. ш. В 1934 году мурманское отделение ГОИНа было ликвидировано, а сотрудники и НИС «Николай Книпович» перешли к вновь организованному ПИНРО — Полярному филиалу Всесоюзного НИИ морского рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО). В 1935 году во время океанографической съёмки южной части Баренцева моря на борту судна присутствовал сам Н.М. Книпович. В июне 1939 года в районе архипелага Шпицберген экспедиция на НИС «Николай Книпович» под руководством Ю.Ю. Марти и с участием Б.П. Мантейфеля обнаружила плотные скопления сельди, получившей название «полярный залом». Эти исследования положили начало отечественному океаническому промыслу сельди в Северной Атлантике и вошли в «золотой фонд» рыбохозяйственной науки.

В годы Великой Отечественной войны мобилизованное судно находилось в составе Беломорской военной флотилии (БВФ) в качестве сторожевого катера СКА-503. За годы военно-морской службы СКА-503 чего только не приходилось ему делать — боевые дежурства, участие в конвоях, отражение воздушных атак, траления мин, охрана водных районов, доставка военных грузов в сочетании с высокоширотными походами за 80-й градус. В марте 1944 г. корабль переведён из боевого состава флота и как гидрографическое судно передан Управлению гидрометслужбы БВФ. В январе 1945 г. исключён из состава СФ и с возвратом старого имени передан Главсеврыбпрому — сначала предложен ПИНРО (постановление Наркомрыбпрома СССР о плане на 1945 г.), а на 1946 г. (приказ Наркомрыбпрома № 239 от 17.07.1945) в качестве рыбопоискового судна Печенгской рыбопромышленной базы. Позже работал в Северном управлении гидрометслужбы (г. Архангельск), а в 1948 году передан Мурманскому управлению гидрометслужбы. Судно выполняло обычную работу, проводило гидрометеорологическую съёмку в море и у побережья. Но со временем оно старело, его стали использовать у берега как вспомогательное и, наконец, в 1959 году оно было списано.

ВТОРОЙ ЭТАП — ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТИПОВЫХ И СЕРИЙНЫХ ПРОМЫСЛОВЫХ СУДОВ

У моряков есть давняя добрая традиция: называть корабли в честь заслуженных людей — считается, что энергия и дух этого человека переходят кораблю. И если корабль оказывается успешным, то это имя передают следующему, таким образом, некоторые имена имеют несколько поколений. В связи с этим развитие отраслевого НИФ и последовательную смену типов судов рассмотрим на примере судов, имеющих на борту имя «Книпович», которое, учитывая уже рассмотренное выше, присваивалось семи судам [Левашов, 2013].

Начало второго этапа развития НИФ связано с появлением рыболовных судов типа логгер. Они в массовом порядке строились, в том числе, и в довоенной Германии и предназначались для промысла сельди в Северной Атлантике дрифтерными сетями и донным тралом по схеме бортового траления с обоих бортов. В годы Второй мировой войны логгеры были мобилизованы, вооружены и служили в качестве патрульных судов. После войны часть из них

в 1945–1947 гг. была передана Советскому Союзу в счёт репараций.

Именно так в 1936 году в Германии на верфи D.W. Kremer Sohn, Elmshorn, был построен логгер (зав. 769) по имени «Fro» с бортовым номером SG 8. Судно имело следующие размерения (по регистру Ллойда) — 34,93 х 7,42 х 3,28; брт 238, нрт 106; 1 дизель (Krupp) 300 л. с. Логгер был построен по передовой на то время концепции и являлся «комбинированным» логгером, т. е. мог работать как дрифтером, так и траулером (рис. 6).

В годы Второй мировой войны логгер был мобилизован, вооружён и большую часть времени провел в качестве тральщика в 12-й флотилии под бортовым номером V 1213; базируясь на Вильгельмсхафен.

После войны, в июне 1945 г., корабль был разоружен и переведён во вспомогательные суда. С бортовым номером М 1805 он включён в состав 18-й флотилии минных тральщиков (GMSA, 18 Minensuchflottille) послевоенного траления на Балтике. Затем по репарациям был переведён в СССР (29 ноября 1945 г.), где в числе других немецких логгеров, отобранных Ю.Ю. Марти, передан от ВМС в состав судов «Главсеврыбпрома». Приказом № 199 по Министерству Рыбной промышленности Западных Районов СССР от 30 ноября 1946 г., логгеру 1805 присвоено наименование РС-9 «Николай Книпович» и он был включён с состав судов промысловой разведки объединения «Мурманрыба».

Дальнейшей информации об этом судне очень мало. Но есть данные — приказ по Министерству № 65 от 8 марта 1947 г. «Об организации в 1947 году Шпицбергенской сельдяной экспедиции», в соответствии с которым с 15 июня по 15 ноября 1947 г. организовывалась пробная сельдяная экспедиция в составе четырёх логгеров — «Н. Книпович», «Сазан», «Альбатрос» и «Чайка». В том же приказе для поиска и изучения рыбных скоплений предписывалось вооружить логгеры новейшим на то время эхолотом НЭЛ-3 (в ВМС начал поступать только в 1945 г.) и британским военным гидролокатором «аздик», переданным из ВМС. Начальником экспедиции был Ю.Ю. Марти с участием Б.П. Мантейфеля, которые продолжили довоенные исследования сельдяных скоплений. В 1948 году за открытие нового района сельдяного рыболовства в восточной части Гренландского моря, в том числе открытие «полярного залома», ставшего знаменитым не только в нашей стране, но и за рубежом, участники экспедиций 1939 и 1947 гг. — Ю.Ю. Марти и Б.П. Мантейфель были удостоены звания лауреатов Сталинской премии. Эта награда в тот период была высшим признанием заслуг деятелей советской науки.

В июне 1948 г., как написано в архивных документах: «По решению советского правительства к северо-восточным берегам Исландии в 1948 году впервые вышли четыре советских средних траулера: «Кораблестроитель» (капитан

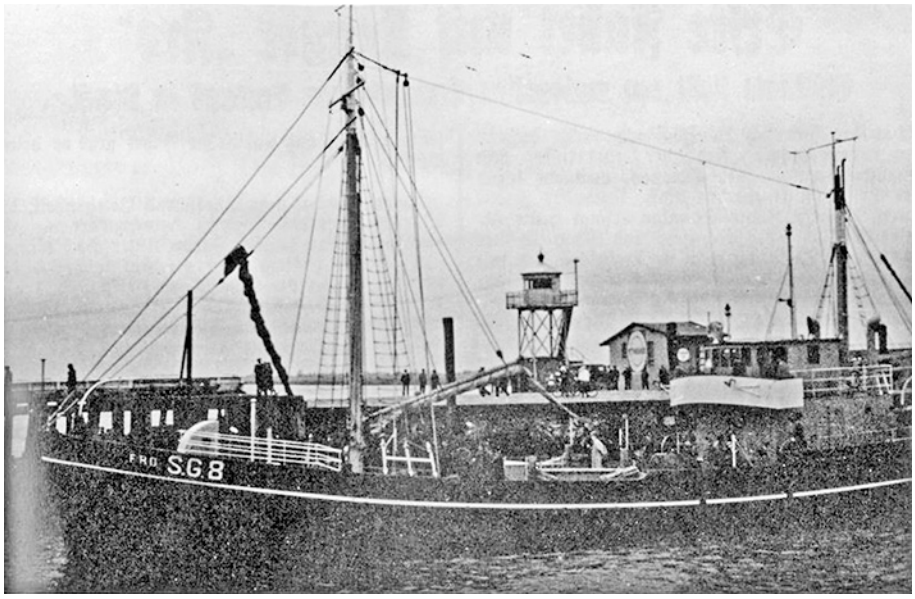


Рис. 6. Фотография внешнего вида логгера «Fro»

Гунин), «Гроза» (капитан Голубин), «Сазан» (капитан Шаповалов) и «Книпович» (капитан Грозников)**»**. Исландская экспедиция успешно закончилась и благополучно вернулась в г. Мурманск, причём, по полученным результатам многие участники экспедиции получили заслуженные награды.

Следующая экспедиция для логгера оказалась последней. Как указано в архивных документах, СРТ-9 «Н. Книпович» 24 декабря 1948 г. во время шторма в результате навигационной ошибки был выброшен на прибрежные камни в районе мыса Канин Нос. Судно погибло и после проведённого обследования согласно приказу по Министерству № 876 от 4 ноября 1949 г., было списано с баланса и исключено из реестра флота Главсеврыбпрома.

Трофейное происхождение имел и ещё один «Книпович» — южный. В 1950-х гг. в АзЧерНИРО, а затем в АзЧерпромразведке работало экспедиционное судно, на борту которого стояло имя «Книпович». По происхождению это был германский охотник за подводными лодками (Unterseeboot-Jäger), построенный примерно в 1943 году на базе немецкого сейнера — КФК (Kriegsfischkutter). В приказе по Минзапрыбпрому СССР № 469 от 6 декабря 48 г. о присвоении имён репарационным судам, поступившим в АзЧерНИРО, было указано, что одному из судов типа «КФК» № 1266 присвоить имя «Владимир Воробьев» (рис. 7), в честь умершего директора АзЧерНИРО, а второму судну № 944 (по ходатайству ВНИРО) — «Академик Книпович».

Известно, что распоряжением начальника главка АЧРП А.А. Ишкова под № 29 от 2 марта 1952 г. ЭС «Книпович», принадлежащее АзЧерНИРО передано на баланс АзЧРПР (Азово-Черноморская рыбопромысловая разведка Министерства рыбной промышленности УССР — Азчеррыбпромразведка). Распоряжением № 64 от 9 мая 1952 г. — МЧТ «Книпович» с 9 мая вводится в эксплуатационное состояние после капитального ремонта и № 66 от 13 мая 1952 г. — МЧТ «Книпович» 13 мая направлен в юго-восточную часть Азовского моря для работ по разведке хамсы до 22 мая. Именно тогда и на нём начиналась трудовая биография заслуженного учёного ВНИРО, д. б. н. Татьяны Георгиевны Любимовой, назначенной на него старшим инженером после окончания Мосрыбвтуза.

Далее судно трудилось ещё лет десять в промразведке, пока по приказу № 178 от 15 ноября 1961 г.: «считать МЧТ «Книпович» с 14 ноября 1961 г. поставленным на замену главного двигателя на Керченскую судоверфь», а затем по приказу № 37 от 27 марта 1962 г.: «безвозмездно передать «МЧТ «Книпович» на баланс Украинскому НИИ рыбного хозяйства по факти-



Рис. 7. Экспедиционное судно **«**Владимир Воробьёв**»** (с сайта ЮгНИРО)

ческой стоимости на день сдачи, перегнать судно из г. Керчь в г. Запорожье с экипажем семь человек во главе со старпомом П.И. Савицким».

Дальнейшей информации по этому судну не обнаружено, и в Регистре за 1965 год оно не числится.

Один из первых послевоенных новостроев получил КаспНИРХ — НИС «Профессор Книпович» (рис. 8). Построен по репарациям в 1951 г. на верфи VEB «Schiffswerft «Edgar Andre»» в г. Магдебург по проекту СО-300 (в немецкой документации проект «Seiner 501»), стр. № 29, бортовой — СО-629. Рыболовный сейнер проекта СО-300 был предназначен для лова рыбы кошельковым неводом, снюрреводом и с помощью электросвета рыбонасосом, сдачи улова на обрабатывающие суда или береговые предприятия. Основные характеристики: длина — 26,07 м, ширина — 6,0 м, осадка — 2,1/2,5 м, дизель Buckau Wolf «R8DV-136» мощностью — 300 л. с., скорость — 10 уз. Грузовой трюм вместимостью 34 куб. м. Район плавания: с удалением от берега не более 100 миль. Автономность — 6 суток, экипаж — 12 человек.

К сожалению, кроме случайно сохранившегося в городском архиве фотоплаката о большом достижении народного хозяйства в 50-е гг., другой информация о его деятельности нет. По некоторым источникам судно было отправлено на утилизацию в г. Волгоград в 1972 году.

Следующим судном с именем «Книпович» на борту стал также один из первых послевоенных новостроев типа СРТ, строящихся в счёт репараций. В 1949 г. Министерство Рыбной Промышленности (МРП) СССР заказывает на верфях ГДР большую серию траулеров типа СРТ-300. Кроме траулеров с мощностью главного двигателя 300 л. с., строились близкие по внешнему виду и характеристикам траулеры с дизелями мощностью 400 л. с., известные как «СРТ-400». Всего в ГДР всех модификаций СРТ в период 1949–1957 гг. было построено порядка 500 ед. Одновременно на базе СРТ-300 и СРТ-400 было создано целое семейство научно-промысловых и поисковых судов, около трёх десятков которых поступили в распоряжение филиалов ВНИРО.

Одним из таких судов, стало поисковое судно Камчатрыбфлота (УТРФ-Камчатка) типа СРТ-400 постройки ГДР, г. Росток (верфь «Schiffswerft Neptun», стр. № 645), которое было спущено на воду в г. Росток 6 января 1952 г. и 20 апреля этого же года передано Советскому Союзу. Промысловое судно в 1952 году в числе большой группы логгеров и сейнеров во главе с танкером «СУНГАРИ» отправлено через Суэцкий канал на Дальний Восток (рис. 9).

Прибыв в Петропавловск-Камчатский в сентябре 1952 г. как «СРТ-645» он начал служить в составе судов Управления тралового флота «Главкамчатрыбпрома» [Гаврилов, 2019]. Порт



Рис. 8. НИС «Профессор Книпович» на агитационном фотоплакате о ночном лове кильки на электросвет



Рис. 9. Однотипный с «СРТ-645», «СРТ-646» следует на ДВ. На втором плане танкер «Сунгари», лето 1952 г.

приписки Петропавловск-Камчатский (бортовой № М-21648). Позывные УЗМЕ (UZME). Приказом по Главному управлению рыбной промышленности Камчатского бассейна (Главкамчатрыбпром) № 48 от 17 декабря 1952 г. «О присвоении названий средним рыболовным траулерам Управления тралфлота ГКРП» судно стало именоваться СРТ «Академик Книпович», в обиходе — просто «Книпович». В конце 1952 г. траулер из состава Управления тралового флота (УТФ) передан промысловой разведке (техническое обслуживание и снабжение судна оставлено за УТФ).

Из воспоминаний ветеранов промразведки можно увидеть, что СРТ «Академик Книпович» особенно хорошо себя показал на промысле сельди. Как поисковое судно, его совместно с однотипным «Крузенштерном» в 1959 г. отправили в Берингово море, где в районе Бристольского залива суда обнаружили большое скопление сельди. Методика поиска и слежения за косяками отрабатывалась во взаимодействии с другими поисковыми судами, а также самолетами промразведки. Эта методика была позже обобщена и опубликована в виде пособия для рыбаков [Позднов, Анисимов, 1960].

В 1965 году «Книпович» был поставлен в график списания на 1969 год за номером два. Однако, 1969 год не стал для судна последним: последний раз «Академик Книпович» упоминается в газете «За высокие уловы» в 1971 г. По данным Регистра, судно, вероятно, списано во второй половине 1971 г.

Следующее известное НИС с именем «Книпович» на борту, это «Академик Книпович» — траулер на базе СРТР типа «Океан» (рис. 10), которые строились на замену СРТ-300 и СРТ-400 в связи с их низкой экономической эффективностью использования из-за малой мощности двигателя, отсутствия рефрижераторных камер и малой автономности.

Построено на верфи VEB «Volkswerft Stralsund», стр. № 9137, сдано 26 октября 1960, длина — 50,8 м, водоизмещение — 810 т, мощность главного двигателя — 540 л. с. При доработке под НИС для ПИНРО выделено четыре лаборатории для производства гидрологических, гидробиологических, гидроакустических и ихтиологических исследований. Кроме траловой лебёдки, предназначенной для ведения тралового лова (донного и разноглубинного) и работ с дрифтерными сетями, на судне были установлены три океанографических лебёдки — **«**Океан**»**; ЛЭРОК-0,5; ЛГ-100, предназначенные для забортных работ с научным оборудованием (батометры БМ-48; глубоководные термометры, батитермограф, сети Джеди, сети Гензена и др.).

На судне было установлено новейшее по тем временам отечественное и зарубежное навигационное (гирокомпас **«**Амур**»**, РЛС — **«**Дон**»**, **«**Донец-2**»**, радиопеленгаторы — **«**Лоран-С**»**, СРП-5; судовая гидрометеорологическая станция — ГМ-1G; эхолоты — НЭЛ-5, ГЭЛ-2) и рыбопоисковое оборудование (гидролокаторы **«**Палтус-М**»**,



Рис. 10. НИС «Академик Книпович»

ХАГ-400; эхолоты «Судак», «Омуль», ЕН-2 фирмы «Симрад»; прибор контроля параметров трала ИГЭК-у и др.). Оказавшись одним из первых судов с гидроакустической аппаратурой норвежской фирмы «Симрад», НИС «Академик Книпович» смог обеспечить полноценное сравнение результатов совместных с Норвегией исследований.

В 60-х гг. XX в. одним из важнейших объектов промысла являлась атлантическо-скандинавская сельдь, в связи с чем НИС использовалось для исследований по оценке её запасов, по распределению, поведению, условиям, а также по производительности дрифтерного и тралового промысла в Северо-Восточной Атлантике. В конце 60-х начале 70-х гг. началось освоение круглогодичного промысла мойвы и сайки Баренцева моря, и экспедиции на судне «Академик Книпович» внесли заметный вклад в освоение крупномасштабного промысла мойвы в Баренцевом море.

В общей сложности судно совершило 66 рейсов, работая в период 1960–1980 гг. по научным программам ПИНРО. Списано оно было в 1981 году.

ТРЕТИЙ ЭТАП – СОЗДАНИЕ СЕРИЙНЫХ ОТРАСЛЕВЫХ НПС И НИС

Следующая веха и важнейший этап в развитии отраслевого научно-исследовательского флота датируется началом 60-х гг. XX в., когда необходимость проведения масштабных научных исследований в океанских рыбопромысловых районах предопределила строительство серийных научно-промысловых судов (НПС) на основе принципиально новых больших морозильных рыболовных траулеров (БМРТ) с кормовым тралением.

И именно на базе серийных БМРТ проекта 394 (типа «Маяковский») для изучения сырьевой базы открытых районов Мирового океана в начале 60-х гг. была построена серия научно-промысловых судов (НПС) проекта 399, являвшихся первыми отечественными серийными научно-рыболовными судами третьего поколения [Сапелов, 2001]. На базе этого проекта были построены также суда — носители подводных аппаратов (ПА), с учётом опыта эксплуатации этих НПС позже были построены две больших серии рыбохозяйственных НИС на верфях ГДР [Левашов, 2010].

Эти суда были предназначены для проведения комплексных рыбохозяйственных исследований в области поиска рыбы, гидроакустики, океанологии, гидрологии, гидробиологии, ихтиологии и технологии обработки уловов. Для этих целей на них, помимо базового оборудования, имелись 12 лабораторий общей площадью 110 м^2 для проведения научных работ; легководолазная станция с декомпрессионной камерой; подводная обитаемая наблюдательная камера, позволяющая проводить подводные визуальные наблюдения на глубинах до 600 м, а также четыре электрических океанографических лебёдки.

НПС «Академик Книпович» было построено первым в 1963 г. на судостроительном заводе

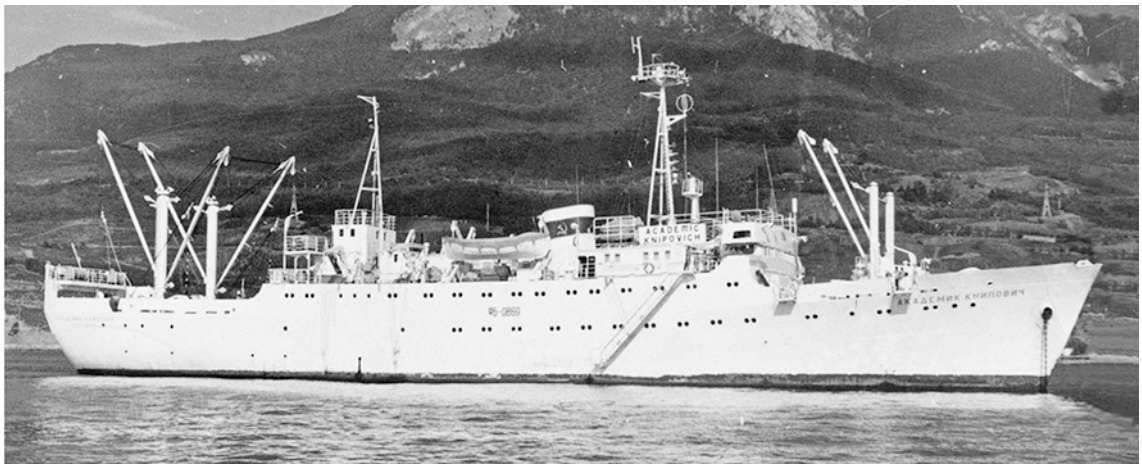


Рис. 11. НПС «Академик Книпович», пр. 399

им. И.И. Носенко в г. Николаев (Украина), стр. № 869, макс. длина 85 м (рис. 11). В 1964 г. было передано судовладельцу — Всесоюзному научно-исследовательскому институту морского рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО), расположенному в г. Москва. Порт приписки судна г. Севастополь. В период с 1964 по 1990 гг. НПС «Академик Книпович» побывал практически во всех промысловых районах Мирового океана, выполнив 25 одних только океанских полугодовых рейсов.

По прошествии нескольких рейсов НПС «Академик Книпович» и доработки конструкторской документации, начиная с 1967 по 1970 гг. по этому проекту было построено ещё 5 судов («Профессор Дерюгин», «Персей-3», «Скиф», «Аргус» и «Посейдон», стр. № 1201–1205), но уже на Херсонском судостроительном заводе.

В период 1971–1973 гг. в состав отраслевого НИФ поступили ещё два судна, но уже модифицированного проекта 399Б («Одиссей» и «Ихтиандр» стр. № 1206–1207), которые помимо научно-исследовательского оборудования базового проекта имели на своем борту подводные аппараты (ПА) типа «Север-2» и другие (рис. 12).

В 1971–1972 гг. к этой серии судов добавилась ещё одна серия — семь НИС типа «Эврика» («Эврика», «Фиолент», «Шантар», «Профессор Месяцев», «Артемида», «Геракл», «Зунд», стр. № 101–107), которые были построены в ГДР (Штральзунд, Фольксверфь) на базе РТМ типа «Атлантик-II», предназначенных для проведения комплексных рыбохозяйственных исследований в открытых районах Мирового океана (рис. 13). Хотя эти суда и несколько меньших размеров чем НПС пр. 399, с научной точки зрения, они были оборудованы не хуже. В связи с тем, что у них отсутствовали грузовые трюма, их классифицировали как НИС. Проект получил неофициальное наименование «Атлантик-2» и на его основе в дальнейшем была построена серия учебно-производственных судов (УПС).



Рис. 12. НПС «Ихтиандр» с ПА «Север-2», пр. 399Б



Рис. 13. НИС «Профессор Месяцев», пр. Атлантик-2

Обе серии судов были построены на основе проектов промысловых судов, и такой подход обеспечивал минимальные сроки проектирования и строительства и, соответственно, экономию средств, а также в дальнейшем позволил существенно облегчить процесс технологического обслуживания судов в период эксплуатации при использовании ремонтной базы серийных добывающих судов [Сапелов, 2001]. Эти суда находились в ведении отраслевых институтов и бассейновых промразведок, а районы их работ охватывали практически весь Мировой океан. В частности, экспедиции на этих судах позволили открыть и изучить такие новые промысловые районы, как ЮВТО и ЮЗТО.

Следующая веха в развитии отраслевого НИФ связана с ростом требований, предъявляемых к оперативности и качеству информации о процессах, протекающих в океанах, а также связана с достижениями в развитии электронно-измерительной и поисковой техники, что повлекло за собой появление сложного исследовательского оборудования. Необходимость выполнения всех этих требований вызвало появление в 80-х гг. наиболее совершенных научно-рыболовных судов третьего поколения. Их проекты представляли собой глубоко переработанные проекты промысловых судов.

В 1987 г. из ГДР были получены НИС наиболее совершенного на то время проекта третьего поколения Атлантик-833 (рис. 14) типа «Профессор Марти» (серия из 12 судов) длиной в 62 м, предназначенных для проведения комплексных рыбохозяйственных исследований на современных принципах автоматизации и вычислительной техники в области поиска рыбы, гидроакустики, гидрологии, гидробиологии, гидрохимии, ихтиологии, технологии обработки.

Суда были оборудованы 10 лабораториями общей площадью примерно 130 м^2 и информационно-вычислительным центром площадью 30 м^2. Серия была построена на основе проекта Атлантик-333 [Масалов, Пономаренко, 1988]. Эти суда были предназначены для замены судов среднего класса, ведущих исследования в окружающих нашу страну морях и примыкающих к ним промысловых районах Мирового океана [Ишков, Березин, 1983], и по всем параметрам соответствовали мировому уровню научных судов того времени, представляя собой первые отраслевые «чистые» НИС. На НИС пр. Атлантик-833 был удачно спроектирован палубно-лабораторный комплекс, оснащённый зарубежной аппаратурой и отечественными научными лебёдками, а также созданы неплохие бытовые условия.

Именно на этом проекте, зачастую именуемом в рыбной отрасли как «последний подарок СССР», отечественное судостроение сделало остановку и довольно длительный перерыв в создании исследовательских судов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассматривая историю развития отечественного НИФ рыбохозяйственной отрасли, можно чётко выделить три основных этапа его развития:



Рис. 14. НИС «Игнат Павлюченков», пр. Атлантик-833

1. Первый этап с момента появления первых научных рыбопромысловых судов характеризуется их разнотипностью, обусловленной местными условиями, районами промысловых исследований и экономическими факторами.

2. Второй этап начинается примерно в 30-х гг., захватывает годы Второй мировой войны и послевоенные десятилетия. В результате он подразделяется на несколько подэтапов:

2.1. начало массового промысла сельди, как основного объекта промысла, вызвавшего появление типовых конструкций судов, так называемых логгеров;

2.2. начало и отработка серийного строительства промысловых судов с последующей мобилизацией их для военных целей (зарубежный опыт);

2.3. использование трофейной и репарационной техники для создания научно-поисковых судов отраслевого НИФ, появление специального исследовательского оборудования для поиска и изучения промысловых скоплений на основе военной аппаратуры.

3. Третий этап характеризуется появлением больших кормовых траулеров с морозильными трюмами, что позволило флоту выйти в океан с обработкой рыбы в море. Вторым фактором, который позволил осваивать новые районы, — это освоение техники разноглубинного траления и появления новых океанских объектов промысла. В совокупности, всё это потребовало разработки и серийного строительства НПС с высокой степенью автоматизации исследований, причём, как объектов лова, так и среды их обитания, вплоть до использования подводных аппаратов.

В настоящее время сложились условия для наступления четвёртого этапа, связанного со строительством специально разработанных малошумных НИРС, которые в отличие от серийных рыболовных судов не распугивают исследуемые промысловые скопления, позволяя адекватно и достоверно оценивать продуктивность промысловых районов. За рубежом этот этап уже наступил и НИРС нового поколения успешно ведут исследования [Левашов, Буланова, 2018]. Возможно, в ближайшем будущем такие суда появятся и в отечественном флоте (рис. 15).

Во ВНИРО уже ведутся такие проработки и, возможно, именно среднетоннажное НИРС пр. 17050 получит имя «Книпович» (уже в 8-й раз), став, таким образом, очередной вехой на поступательном движении Института по своему пути.



Рис. 15. Компьютерная 3-D модель НИРС, пр. 17050

ЛИТЕРАТУРА

Алексеев А.П. 2012. Почётный член Академии наук СССР Н.М. Книпович — основатель Российских морских научно-промысловых исследований // Рыбное хозяйство. № 1. С. 34–39.

Васнецов В.А. 1974. Под звёздным флагом «Персея». Л.: Гидрометеоиздат, 280 с.

Гаврилов С.В. 2019. Флот Камчатки. Траловый флот (1946–1958). Петропавловск-Камчатский: Холод. Комп. «Новая книга». 528 с.

Игнатьев С.М. 1999. Исследовательский флот России (конец XIX — начало XX века) // История отечественной океанологии. Тез. докл. II Межд. конф. Калининград. С. 37–46.

Ишков А.А., Березин И.С. 1983. Рыбохозяйственной науке — современный научно-исследовательский флот // Рыбное хозяйство. № 10. С. 49–51.

Котенев Б.Н. 2013. К 150-летию со дня рождения Николая Михайловича Книпповича // Труды ВНИРО. Т. 150. С. 134–151.

Лайус Ю.А. 1995. Учёные, промышленники и рыбаки: научно-промысловые исследования на Мурмане, 1898–1933 // Вопросы истории естествознания и техники. № 1. С. 64–81.

Левашов Д.Е. 2010. Современные суда и судовое оборудование для рыбопромысловых исследований. М.: ВНИРО, 400 с.

Левашов Д.Е., Буланова Н.П. 2018. Развитие средних НИС нового поколения для рыбопромысловых исследований на примере зарубежных проектов // Рыбное хозяйство. № 3. С. 80–89.

Левашов Д.Е., Куманцов М.И. 2013. С именем «Книпович» на борту// Рыбное хозяйство. № 1. С. 37–42.

Масалов В.К., Пономаренко В.П. 1988. Научно-исследовательское судно «Профессор Марти» // Рыбное хозяйство. № 2. С. 9–11.

Москалев Л.И. 2005. Мэтры глубин. Человек познаёт глубины Океана. От парусно-парового корвета «Челленджер» до глубоководных обитаемых аппаратов. М.: Товарищество научных изданий КМК, 249 с.

Пашкова Т.Е. 2006. Николай Михайлович Книпович: страницы жизни. Мурманск: Изд-во ПИНРО. 60 с.

Позднов Р.Н., Анисимов И.С. 1960. Разведка и наводка судов на косяки сельди в водах Камчатки. М.: Рыбная промышленность, 63 с.

Сапелов П.А. 2001. Научно-исследовательские суда в прошлом и будущем // Рыбное хозяйство. Спецвыпуск, С. 12–13.

Фокин С.И. 2009. Римский-Корсаков М.Н. Зоологические воспоминания // Историко-биологические исследования. № 1. С. 108–136.

Шумилов А. 1997. Под флагом «Персея» // Знание-сила, № 12. С. 125–129.

Яковленков Е.А. 2015. Рыбопромысловое и научно-исследовательское оснащение первого российского рыболовного НИС «Андрей Первозванный» // Рыбное хозяйство. № 4. С. 112–117.

Поступила в редакцию 01.06.2021 г.
Принята после рецензии 10.06.2021 г.

DOI: 10.36038/2307-3497-2021-184-5-22

Kind word for marine metal

K.V. Kolonchin,
D.E. Levashov

Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (VNIRO), Moscow, Russia

The history of development the scientific research fleet for the oldest fisheries institution in Russia — Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (VNIRO) is given. Three main stages in the development of the scientific research fleet are outlined. The appearance of the most significant research vessels is identified as a kind of milestones on the way of the Institute for 140 years. The role of both pre-revolutionary predecessors and VNIRO itself and its branches as well is described in the development of vessels and conducting the research expeditions. The connection is outlined between the research vessels and the people who had been at the origin of their development — N.M. Knipovich in particular. The process of changing the generations of the scientific research vessels is considered for 7 of them with the name of Knipovich on board as a case. A brief technical description, historical data and the most important results of expeditions are given for each vessel mentioned. In the conclusion, the prospects for the modern development of the fisheries research fleet are set out. Data from archives and special literature as well as memoirs of participants in the events are used.

Keywords: research vessel (R/V), history, fishery studies, Murmansk, Astrakhan, logger, KFK, SRT, BMRT, project.

REFERENCES

Alekseev A.P. 2012. Pochetnyj chlen Akademii nauk SSSR N.M. Knipovich — osnovatel' Rossijskikh morskikh nauchno-promyslovykh issledovanij [Honorary Fellow of the Academy of Sciences USSR N.M. Knipovich — the founder of Russian marine fishery scientific investigations] // Rybnoe khozyajstvo. № 1. S. 34–39.

Vasnetsov V.A. 1974. Pod zvezdnym flagom «Perseya» [Under the star banner of «Persej»]. L.: Gidrometeoizdat, 280 s.

Gavrilov S.V. 2019. Flot Kamchatki. Tralovyj flot (1946–1958 [The fleet of Kamchatka. Trawl fleet (1946–1958)]). Petropavlovsk-Kamchatskij: KHolod. Komp. «Novaya kniga». 528 s.

Ignat'ev S.M. 1999. Issledovatel'skij flot Rossii (konets XIX — nachalo XX veka) [Research Fleet of Russia (late XIX — early XX centuries)] // Istoriya otechestvennoj okeanologii. Tez. dokl. II Mezhd. konf. Kaliningrad. S. 37–46.

Ishkov A.A., Berezin I.S. 1983. Rybokhozyajstvennoj nauke — sovremennyj nauchno-issledovatel'skij flot [Modern scientific research fleet for fisheries] // Rybnoe khozyajstvo. № 10. S. 49–51.

Kotenev B.N. 2013. K 150-letiyu so dnya rozhdeniya Nikolaya Mikhajlovicha Knippovicha [On the 150th anniversary of Nikolaj Mikhailovich Knipovich] // Trudy VNIRO. T.150. S. 134–151.

Lajus Yu.A. 1995. Uchenye, promyshlenniki i rybaki: nauchno-promyslovye issledovaniya na Murmane, 1898–1933 [Scholars, Industrialists, and Fishermen: Fishery Studies in the Murman Area, 1898–1933] // Voprosy istorii estestvoznaniya i tekhniki. № 1. S. 64–81.

Levashov D.E. 2010. Sovremennye suda i sudovoe oborudovanie dlya rybopromyslovykh issledovanij [Modern research vessels and their equipment for fishery investigations]. M.: VNIRO, 400 s.

Levashov D.E., Bulanova N.P. 2018. Razvitie srednikh NIS novogo pokoleniya dlya rybopromyslovykh issledovanij na primere zarubezhnykh proektov [Development of middle-sized research vessels of new generation for fishery investigations with foreign projects (2017–2020) as a case study] // Rybnoe khozyajstvo. № 3. S. 80–89.

Levashov D.E., Kumantsov M.I. 2013. S imenem «Knipovich» na bortu [With name «Knipovich» on board] // Rybnoe khozyajstvo. № 1. S. 37–42.

Masalov V.K., Ponomarenko V.P. 1988. Nauchno-issledovatel'skoe sudno «Professor Marti» [Scientific research vessel «Professor Marti»] // Rybnoe khozyajstvo. № 2. S. 9–11.

Moskalev L.I. 2005. Mehtry glubin. Chelovek poznaet glubiny Okeana. Ot parusno-parovogo korveta «Chellendzher» do glubokovodnykh obitaemykh apparatov [Masters of the Depths: Man knows the depths of the Ocean. From sailing-steam corvette «Challenger» to deep-sea manned vehicles.]. M.: Tovarishchestvo nauchnykh izdanij KMK, 249 s.

Pashkova T.E. 2006. Nikolaj Mikhajlovich Knipovich: stranitsy zhizni [Nikolaj Mikhajlovich Knipovich: pages of life]. Murmansk: Izd-vo PINRO. 60 s.

Pozdnov R.N., Anisimov I.S. 1960. Razvedka i navodka sudov na kosyaki sel'di v vodakh Kamchatk [Commercial exploration for herring stocks in Kamchatka area]i. M.: Rybnaya promyshlennost', 63 s.

Sapelov P.A. 2001. Nauchno-issledovatel'skie suda v proshlom i budushchem [Scientific research vessels — past and future] // Rybnoe khozyajstvo. Spetsvypusk, S. 12–13.

Fokin S.I. 2009. Rimskij-Korsakov M.N. Zoologicheskie vospominaniya [Zoological Recollections of M.N. Rimskij-Korsakov] // Istoriko-biologicheskie issledovaniya. № 1. S. 108–136.

Shumilov A. 1997. Pod flagom «Perseya» [Under the banner of «Persej»] // Znanie-sila, № 12. S. 125–129.

Yakovlenkov E.A. 2015. Rybopromyslovoe i nauchno-issledovatel'skoe osnashchenie pervogo rossijskogo rybolovnogo NIS «Andrej Pervozvannyj» [Fishing and research equipment of the first Russian fisheries research vessel «Andrey Pervozvannyj»] // Rybnoe khozyajstvo. № 4. S. 112–117.

FIGURE CAPTIONS

Fig. 1. Solovki. Biological station in 1897. General view, From the archive of invertebrate zoology department of the St. Petersburg University

Fig. 2. «Andrej Pervozvannyj» — World's first fishery research vessel

Fig. 3. Motor ship «Pochin»

Fig. 4. Schooner «Persej»

Fig. 5. Sailing motor boat «Nikolaj Knipovich»

Fig. 6. Logger «Fro» General view

Fig. 7. R/V «Vladimir Vorobiev» (site of «YugNIRO»)

Fig. 8. R/V «Professor Knipovich». Sprat fishing with electric light. Advertising photo poster

Fig. 9. SRT 646 (sister boat SRT 645) goes to the Far East. Tanker «Sungari» in the back ground. Summer 1952

Fig. 10. R/V «Akademik Knipovich»

Fig. 11. FRV «Akademik Knipovich», project 399

Fig. 12. FRV «Ikhtiandr» with underwater vehicle «Sever-2», project 399Б

Fig. 13. R/V «Professor Mesyatsev», project Atlantik-2

Fig. 14. R/V «Ignat Pavlyuchenkov», project Atlantik-833

Fig. 15. Computer 3-D model FRV, project 17050

УДК 639.2.081 DOI: 10.36038/2307-3497-2021-184-23-33

Обоснование параметров близнецового лова дальневосточной скумбрии и дальневосточной сардины среднетоннажными судами с учётом их промыслово-биологических характеристик

В.А. Татарников,
С.Э. Астафьев,
С.С. Оруженко

Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ФГБНУ «ВНИРО»), г. Москва

E-mail: oruzhenko@vniro.ru

В Северо-Западной части Тихого океана за последние годы наблюдается рост численности популяций восточной скумбрии (*Scomber japonicus*) и дальневосточной сардины (*Sardinops sagax*). На Дальнем Востоке крупнотоннажные рыболовные траулеры, способные успешно вести добычу (вылов) скумбрии и дальневосточной сардины, заняты промыслом минтая и других традиционных объектов промысла. Цель данной статьи показать, как недоиспользуемые запасы скумбрии и дальневосточной сардины могут осваиваться среднетоннажными судами, с использованием техники близнецового лова. Для биотехнического обоснования параметров близнецовой траловой системы по степени влияния на объект добычи (вылова) была разбита на 7 зон, в каждой из которых у объекта добычи (вылова) существует та или иная поведенческая реакция. В статье обосновано необходимое (оптимальное) вертикальное раскрытие устья трала для полного облова косяков рыб по вертикали на основе эхометрических диаграмм вертикального распределения косяков скумбрии и дальневосточной сардины и принятых дистанций реагирования объектов лова на элементы траловой системы. Выполнено биотехническое обоснование параметров близнецовой траловой системы для добычи (вылова) тихоокеанской скумбрии и дальневосточной сардины. Определены длина близнецового трала, угол атаки верхней, боковой и нижней пластей оболочки трала, длины крыльев трала, определены необходимое отношение затенённой площади оболочки трала к её фиктивной площади для среднетоннажных судов с различными тяговыми характеристиками. На основе учёта скоростных параметров рыб в различных зонах траловой системы определены расстояние между судами-близнецами, длина ваеров и длины кабелей.

Ключевые слова: скумбрия *Scomber japonicas*, сардина *Sardinops sagax*, близнецовый траловый лов, характеристики близнецового трала.

ВВЕДЕНИЕ

Северо-Западная часть Тихого океана является одним из важнейших районов рыболовства в Мировом океане. Основными промысловыми объектами пелагиали тихоокеанских вод ИЭЗ России и открытых вод Северо-Западной части Тихого океана являются сайра, сардина, скумбрия, тихоокеанский кальмар [Антоненко, Байталюк, 2019]. В прошлом столетии в 1970–1990-е годы сардина и скумбрия входили в число основных видов отечественного рыболовства и их добыча (вылов) составляли значительные объёмы, причём, в основном, сардина. В последующие годы наблюдалось резкое сокращение численности этих объектов, что привело практически к прекращению их добычи (вылова). В последние годы наблюдается рост численности популяций скумбрии и дальневосточной сардины.

Дальневосточная сардина (*Sardinops sagax* (Jenyns, 1842)) – субтропическо-умеренно-холодноводный вид, является одной из массовых прибрежно-пелагических рыб, обитающих в Северо-Западной части Тихого океана. Это рыба с коротким жизненным циклом. Максимальная продолжительность жизни – 7 лет, но такие особи встречаются крайне редко. Последние результаты съёмки показали, что в настоящее время размерный состав сардины включает в себя диапазон длин от 16 до 25 см при средней длине особи 21,2 см. Модальный класс 21–23 см для всей акватории составила 72,9% от всей группы [Пелагические рыбы …, 2018].

Современный уровень запаса дальневосточной сардины в тихоокеанских водах остаётся относительно низким по сравнению с высоким уровнем 1980-х гг., однако имеет тенденцию

к увеличению. С 2010 г. отмечается устойчивый рост общего и нерестового запаса тихоокеанской популяции сардины, что подтверждается как учётными съёмками, так и данными промысловой статистики (отечественной и японской). Так оценка обилия вида в 2013 г. составляла 0,10 тыс. т, 2014 г.– 365,11 тыс. т, 2015 г.– 374,20 тыс. т, 2016 г.– 663,30 тыс. т [Пелагические рыбы …, 2018]. По результатам летне-осенней учётной съёмки 2017 г. биомасса сардины составила 1065,6 тыс. т, в том числе в ИЭЗ России было учтено 813,8 тыс. т. В соответствии с увеличение величины обилия возрос общий вылов дальневосточной сардины. Общий вылов сардины по месяцам в 2016 и 2017 гг. представлен на диаграмме (рис. 1) [Антоненко, Байталюк, 2019]. По оперативным данным ФГБУ ЦСМС на 31 декабря 2018 г. суммарный вылов российскими пользователями: сардина составил 62,9 тыс. т, [Коллегия Росрыболовства …, 2019].

При сохранении темпов воспроизводства на уровне 2010–2017 гг. в 2019 г. уровень миграций сардины в российские воды в Южно-Курильской зоне составил в прикурильских водах ИЭЗ России 900 тыс. т. Рекомендованный вылов (РВ) её в 2019 г не превысит 10% уровня её возможного захода и составит 90,0 тыс. т. В подзоны Приморье и Западно-Сахалинской рекомендованный вылов (РВ) на всех видах промыслов в 2019 г. составил 10,0 тыс. т. По Межправительственному соглашению в экономической зоне Японии российским рыбакам выделена квота 11,0 тыс. т [Состояние промысловых ресурсов, 2019]

Восточная скумбрия (*Scomber japonicas* Houttuyn, 1782) – пелагическая стайная рыба. Обитает преимущественно в прибрежных водах, но часто образует скопления в открытой эпипелагиали, над материковым склоном и в районах подводных поднятий. Встречается от поверхности до глубин 250–300 метров обитающая при температуре от 8 до 24 °С. Тралово-акустические съёмки, проведённые в последние годы показали, что размерный состав скумбрии находится в диапазоне от 19 до 41 см. Преобладающее количество особей были размером от 29 до 33 см. Все основные скопления были отмечены в диапазоне температур от 13 до 18 °С [Пелагические рыбы …, 2018].

После снижения запасов скумбрии в 80-е годы период низкой численности отмечался с 1990 г по 2012 г. И лишь с 2013 г. начался период увеличения запасов, который продолжается по настоящее время, что подтверждается как увеличением уловов добывающих судов, так и результатами учётных съёмок в Северо-Западной части Тихого океана. Комплексные траловые съёмки эпипелагиали тихоокеанских вод Курильских островов в пределах ИЭЗ РФ и открытых вод северо-западной части Тихого океана за пределами экономической зоны показали, что учтенная биомасса скумбрии в 2016 году составила 932,9 тыс. т, а в 2017 году она уже составила 1432,9 тыс. т [Пелагические рыбы …, 2018]. Данную тенденцию подтверждают данные общих вылов скумбрии в 2016 и 2017 гг. (рис. 2) [Антоненко, Байталюк, 2019].

По оперативным данным ФГБУ ЦСМС на 31 декабря 2018 г. вылов скумбрия составил 98,8 тыс. т [Коллегия Росрыболовства …, 2019]. В 2019 г ожидаемый подход скумбрии составил 2–2,5 млн т и рекомендованный вылов (РВ) в Южно-Курильской зоне составлял 190,0 тыс. т.

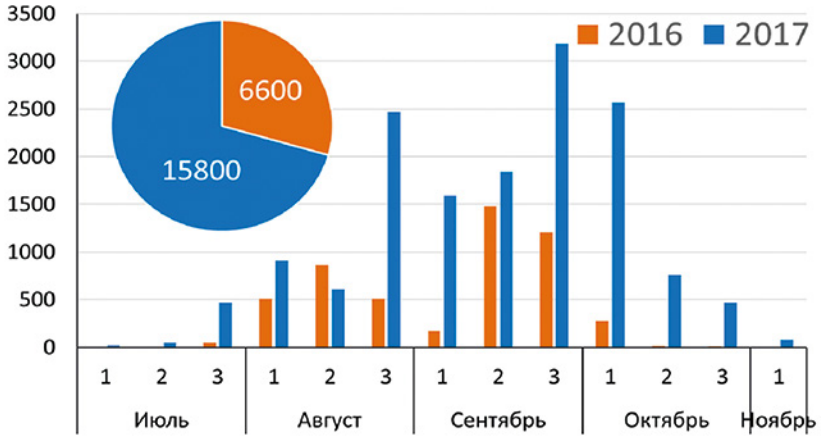


Рис. 1. Общий вылов сардины в 2016 и 2017 годах, в т

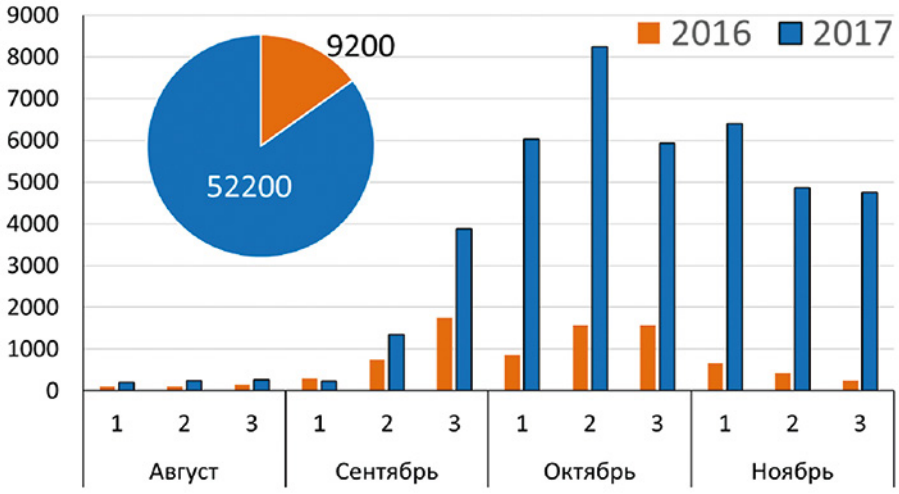


Рис. 2. Общий вылов скумбрии и вылов подекадно в 2016 и 2017 гг., в т

В зоне Японии по Межправительственному соглашению Российской стороне в 2019 г была выделена квота 51,5 тыс. т [Состояние промысловых ресурсов, 2019]. По оценкам отечественных учёных освоение российскими пользователями таких видов ВБР как сардина и скумбрия уже в краткосрочной перспективе позволит увеличить отраслевые показатели вылова на 150–200 тыс. т и более [Коллегия Росрыболовства ..., 2019].

Сардина и скумбрия — скоростные виды рыб и требуют для облова суда, способные тралить со скоростью не менее 4,5–6 узлов (2,31–3,08 м/с) [Мизюркин и др., 2004]. В настоящее время на Дальнем Востоке основная часть крупных рыболовецких траулеров, способных успешно вести добычу (вылов) этих видов водных биологических ресурсов, занята промыслом минтая и сельди. Недоиспользуемые запасы скумбрии и дальневосточной сардины могут быть освоены среднетоннажными судами СТР типа «Надёжный» проект 420, СРТМк типа «Железный поток» проект 502Э, СТР типа «Альпинист» проект 503, с мощностью главного двигателя 800, 1000–1100, 1320 л. с. соответственно, используя технику близнецового лова.

Обоснование параметров близнецовых тралов и тактика добычи (вылова) скумбрии и дальневосточной сардины

При близнецовом траловом лове сардины и скумбрии на эффективность добычи (вылова) наибольшее влияние, на наш взгляд, оказывают размерные и скоростные характеристики объекта добычи (вылова), расстояние между судами-близнецами в процессе лова, вертикальное и горизонтальное раскрытия устья трала, углы атаки канатной и сетной частей трала, скорость траления. При проведении близнецового тралового лова траловую систему по степени влияния на объект лова необходимо разбить на 7 зон, в каждой из которых у объекта добычи (вылова) существует та или иная поведенческая реакция (рис. 3) [Мельников, 1979].

В зоне I рыба находится в естественном состоянии.

В зоне II — в результате приближения судов-близнецов, пелагические рыбы, воспринимая шумы судов как сильный раздражитель, проявляют оборонительную реакцию, которая сопровождается уходом рыб с траектории движения судна. Реакцию рыб на шумы судов разделяют на три фазы. Первая фаза сопровождается увеличе-

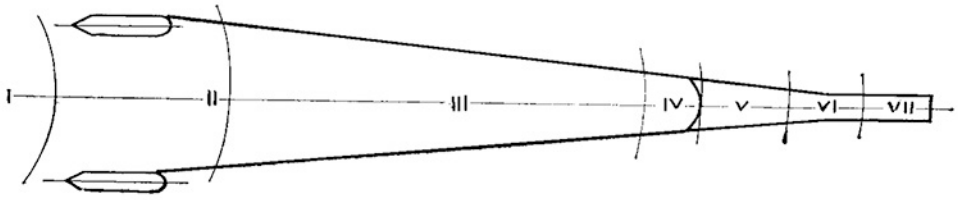


Рис. 3. Зоны поведенческих реакций при близнецовом тралении [Мельников, 1979]

нием двигательной активности рыб. Вторая фаза сопровождается движением рыб в сторону противоположную градиенту звукового давления шума, создаваемого судном. В этот момент скорость движения рыб близка к бросковой. Реакция быстрых приповерхностных рыб (скумбрия, тунцы, лососи и др.) характеризуется более активным горизонтальным избеганием шумового поля судна. Вертикальная составляющая скорости движения этих рыб невелика. Третья фаза, которая происходит на очень близком расстоянии от судна, характеризуется более сильной направленной реакцией избегания [Кузнецов Ю.А., Кузнецов М.Ю., 2007; Кузнецов, 2011].

Характерной особенностью зоны III и зоны IV является наличие гидродинамических шлейфов, создаваемые в результате колебаний ваеров в процессе буксировки трала. Шлейфы, воспринимаются рыбами как препятствие, и для того чтобы избежать его, они отходит на линию движения сетной части трала.

В зоне V, которая распространяется от начала крыльев до окончания мотни трала, рыба по данным подводных наблюдений [Выскребенцев, Аронов, 1970; Обвинцев, 1975; Карпенко и др., 1997] ведёт себя одинаково. В устье трала, она практически не испытывает беспокойства. По мере прохода косяка вглубь трала, по мере его сужения она начинает проявлять всё большее беспокойство, которое доходит до попыток, отчаянно выйти из трала, стремясь покинуть зону облова любыми путями. В основном на всех этапах прохождения в трале, рыбы ориентированы головой в сторону устья.

В зоне VI, которая располагается между последней пластиной мотни и конусной частью трапового мешка, сужение оболочки тралового мешка достигает критической величины — критическая зона, и большая часть рыба начинает судорожно метаться в направлении сетных стенок, делая попытки выйти через ячею. Однако некоторая часть рыбы скатывается в мешок, или пытается выйти через устье трала.

В зоне VII находится в цилиндрической части тралового мешка вместе с кутком. Рыба, попав в куток трала, лишается возможности активно сопротивляться.

Учитывая характеристики поведения объектов добычи (вылова) в различных зонах траловой системы и факторы, влияющие на результативность лова описанные ранее, можно заключить, что для эффективного лова дальневосточной сардины и скумбрии следует обосновать соответствие параметров зон поведенческих реакций промыслово-биологическим параметрам стай.

Вертикальное раскрытие разноглубинного трала зависит от величин развития косяков объекта лова в вертикальном направлении и выбирается из условия облова косяков по вертикали. Рассматривая распределение как «чистых», так и смешанных скоплений скумбрии и дальневосточной сардины по горизонтам обитания, необходимо отметить, что свыше 95 % численности этих рыб в периоды съёмок с 2015 по 2016 годы и днём и ночью было зарегистрировано на расстоянии от поверхности от 12 до 15 м в пределах слоя до 30 м (рис. 4) [Поляничко, 2017].

Полностью облавливать стаю в вертикальном направлении возможно, если вертикальное раскрытие трала превышает высоту стаи на дистанции реагирования рыб на верхнюю и нижнюю

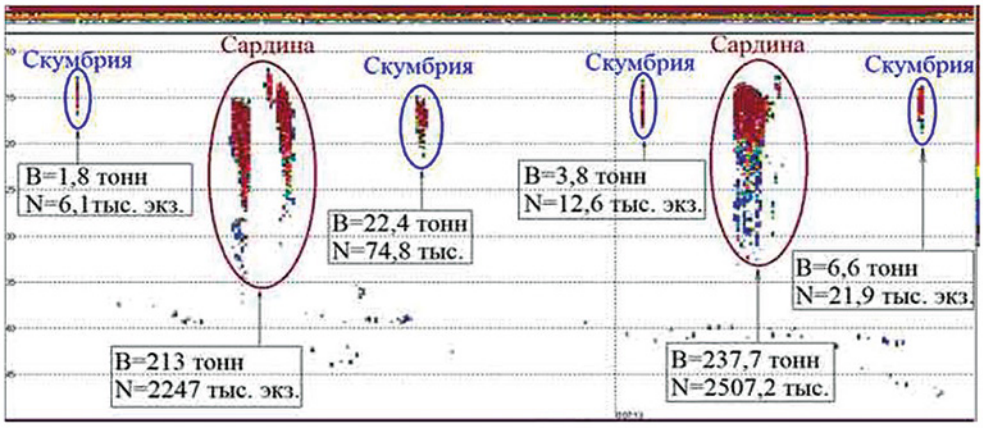


Рис. 4. Фрагмент эхограммы с оценками численности и биомассы косяков смешанных скоплений сардины и скумбрии [Поляничко, 2017]

подборы. Необходимое вертикальное раскрытие можно определить по формуле:

$$H_y = H_C^y + D_r^{ВП} + D_r^{НП}, \quad (1)$$

где H_C^y — высота стаи, м; $D_r^{ВП}$ — дистанция реагирования рыб на верхнюю подбору, м; $D_r^{НП}$ — дистанция реагирования рыб на нижнюю подбору, м.

Трал с вертикальным раскрытием $H_y = D_r^{ВП} + D_r^{НП}$ будет иметь малые уловы, так как для него $H_C^y = 0$. Таким образом, для каждого вида пелагических рыб имеется минимальный трал с параметрами:

$$B_y^{\min} = 2D_r^{БП}; \; H_y^{\min} = D_r^{ВП} + D_r^{НП}, \quad (2)$$

где $D_r^{БП}$ — дистанция реагирования рыбы на боковую подбору.

Для того, чтобы облавливаемая скумбрия зафиксировалась между подборами трала, необходимо иметь раскрытие более 20 метров [Шевченко, 1972; Шевченко и др., 1976]. Значение минимального раскрытия устья трала, при котором трал перестаёт ловить скумбрию, равен двум дистанциям реагирования скумбрии на верхнюю и нижнюю подбору. Отсюда следует, что дистанция реагирования восточной скумбрии равна 10 м. Дистанция реакции стайных пелагических рыб на элементы оснастки составляет 7–10 м, а в некоторых случаях и выше [Мельников, 1979]. Для обоснования вертикального раскрытия устья близнецового трала при облове скумбрии следует принимать дистанцию реагирования 10 м., при облове дальневосточной сардины — 7 м.

Исходя из принятых дистанций реагирования и фрагментов диаграмм вертикального распределения скумбрии и дальневосточной сардины получаем, что для успешного облова скумбрии вертикальное раскрытие должно быть равно не менее 35–45 м, дальневосточной сардины– 41–51 м. Так как восточная скумбрия и дальневосточная сардина часто образуют смешанные скопления принимаем, что для успешного промысла объектов вертикальное раскрытие должно быть не менее 51–55 м. Применение разноглубинных тралов с величиной вертикального раскрытия более 55 метров приводит к нерациональной трате буксировочной мощности судна [Абалтусов и др., 1985].

Скумбрия и сардина, образуют скопления с горизонтальной протяжённостью превосходящей вертикальное развитие. Горизонтальное раскрытие устья трала целесообразно выбирать из рациональных конструктивных возможностей и удобства эксплуатации трала, стараясь его сделать больше, чем по вертикали [Коротков, 1998]. С учётом вышесказанных условий превышение горизонтального размера устья над вертикальным можно выразить посредством выражения вида:

$$L_y = kH_y, \quad (3)$$

где k — коэффициент, отражающий величину отношения горизонтального раскрытия устьевой части к его вертикальному раскрытию, который может быть принят равным k = 1,2–1,3.

Согласно этому выражению, горизонтальное раскрытие устья трала для добычи (вылова) скумбрии и дальневосточной сардины должно находиться в интервале от 65–70 м.

Одним из характеристик разноглубинных тралов, влияющий на их эффективность, является угол атаки сетных частей трала. Российские исследователи [Белов и др, 1987; Габрюк, 1982; Мельников, 1973] утверждают, что для эффективного лова большинства промысловых рыб угол атаки сетного полотна мотённой части должен быть в пределах 11–13 градусов. Исходя из анализа работ по определению оптимального угла атак, принимаем, что максимальное его значение должно быть равным 13 градусам.

Как следует из схемы зон поведенческих реакций рыб при близнецовом лове (рис. 3) для повышения эффективности техники и тактики близнецового лова дальневосточной сардины и скумбрии, следует начинать с определения параметров расстояния между судами-близнецами. Расчёт необходимо провести с таким условием, чтобы в процессе реагирования объекты лова попадали в зону действия оболочки трала (рис. 5).

Расстояние между судами-близнецами складывается из расстояния А1 — М1, расстояния А2-М2, зависящие от скорости перемещения дальневосточной сардины и скумбрии в горизонтальном направлении, и расстояния М1-М2, численно равное горизонтальному раскрытию близнецового трала между концами крыльев.

Реагирование объекта лова на шумы судна подразделяет на 3 фазы [Кузнецов, 2011], в каждой из которых рыбы перемещаются с различными скоростями в горизонтальной плоскости. Первая фаза — крейсерская скорость равная 2–3 L/c у быстрых пелагических и 1–2 L/c у малоподвижных объектов. Вторая фаза — максимальная скорость от нескольких секунд (спринтерская

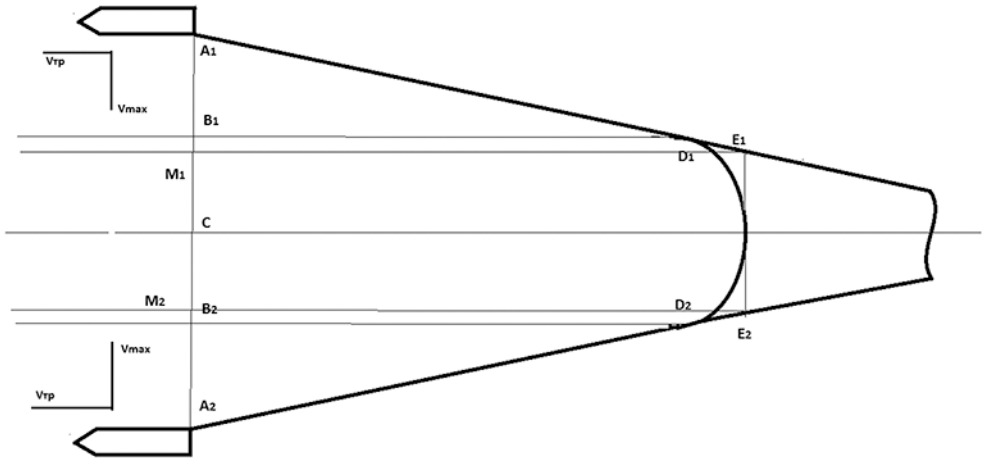


Рис. 5. Схема зон, влияющих на расстояние между судами-близнецами

скорость) до нескольких десятков минут (скорость средних дистанций). В зависимости от вида и размера рыб они составляют 3–10 L/c. Третья фаза — бросковая скорость — поддерживается от долей до нескольких секунд [Аминева, Яржомбек, 1984; He, Wardle, 1988].

Скумбрия и сардина относятся к скоростным видам рыб, которые, реагируя на шумы судов, способны быстро уходить из зоны облова. Для восточной скумбрии эта величина составляет от 0,87 до 3,3 м/с, в среднем 2,1 м/с; для дальневосточной сардины — от 0,63 до 2,3 м/с, в среднем 1,5 м/с. Для определения искомых параметров принимаем время реагирования рыбы на шумы судна и её отход со средними максимальными значениями скорости, в соответствии с работами российских исследователей [Аминева, Яржомбек, 1984], равным 110 сек. За это время скумбрия пройдет расстояние равное в среднем 231 м, сардина — 165 м. Для эффективного лова это расстояние должно соответствовать дистанции от судна до диаметральной плоскости трала.

Для удовлетворения этого условия определим необходимые параметры траловой системы: длину ваеров, длину кабелей и длину крыльев близнецового трала. Для обоснования длины крыльев близнецового трала необходимо определить длину верхней подборы трала. Исходим из условия, что ваера от судов-близнецов в проекции на горизонтальную плоскость являются продолжением боковых топенантов трала и располагаются по касательной к линии верхней подборы в точке соприкосновения. В нашем случае, при горизонтальном раскрытие в районе устья (гужа) трала равным 70 метрам, горизонтальное раскрытие по концам крыльев будет составлять 75 метров. Из таблиц параметров цепной линии [Фридман, 1969] определяем, что длина верхней подборы трала составляет 150 м, а длина крыльев — 61,6 м. На практике стрела прогиба боковой подборы не может быть больше стрелы верхней подборы. При этом условии, длина боковой подборы будет составлять 139,5 м. Оптимальная длина кабелей донных и разноглубинных тралов обычно составляет 50–100 м. Для близнецового лова скумбрии и дальневосточной сардины принимаем длину кабелей равную 100 м, как наиболее распространённую на Дальневосточном рыбохозяйственном бассейне [Лебедев, 1972; Шевченко, 1972; Мельников, 1979].

На основании полученных значений длины крыльев, длины кабелей и дистанции перемещения рыб в процессе реагирования на шумы судна определим необходимую длину ваеров.

$$L_{ваер} = \frac{D_{рыб} - \frac{L_{гор}}{2}}{\sin\alpha} - L_{каб} - L_{крыл}, \qquad (4)$$

где $D_{рыб}$ — дистанция перемещения рыб в процессе реагирования на шумы судна, м; $L_{гор}$ — горизонтальное раскрытие трала в районе гужей, м; $L_{каб}$ — длина кабелей, м; $L_{крыл}$ — длина крыла близнецового трала, м; α — угол атаки боковой пласти трала, равный 13 градусам.

Проведя необходимые вычисления получили, что для добычи (вылова) восточной скумбрии длина ваеров должна быть равной 709,5 м, для добычи (вылова) дальневосточной сардины — 416,2 м.

Работы по определению влияния скорости траления на эффективность добычи (вылова) показали, что если скорость траления менее

3,9–4,2 узлов (2–2,16 м/с), облов пелагических рыб даёт низкие результаты [Коротков, Кузьмина, 1972]. Для добычи (вылова) скумбрии рекомендуемая скорость траления должна быть не менее 5,0–6,0 узлов (2,55–3,06 м/с), для добычи (вылова) дальневосточной сардины — не менее 4,0–5,0 узлов (2,04–2,55 м/с) [Габрюк, 2011].

Немаловажным фактов для эффективного облова скумбрии и дальневосточной сардины является соответствие конструкции трала тяговым характеристикам судов-близнецов. Для определения сопротивления трала, с целью получения исходных данных для конструкторской разработки близнецового трала, по представленной В.И. Габрюком [2011] тягово-скоростным диаграммам рыбопромысловых судов составлена таблица соответствия полезной тяги среднетоннажных рыбопромысловых судов рекомендованным скоростям траления для добычи (вылова) скумбрии и дальневосточной сардины (таблица 1). Зная тяговые характеристики судов-близнецов определяем максимальную величину сопротивление близнецового разноглубинного трала.

Для добычи (вылова) восточной скумбрии и дальневосточной сардины предлагается применять среднетоннажными судами СТР типа «Надёжный» проект 420, СРТМк типа «Железный поток» проект 502Э, СТР типа «Альпинист» проект 503, с мощностью главного двигателя 800, 1000–1100, 1320 л. с. соответственно, используя тактику близнецового лова. Отсюда суммарная мощность главных двигателей судов близнецов будет от 1600 л. с. (1177 кВт) до 2640 л. с. (1942 кВт). В соответствии с тяговыми характеристиками среднетоннажных судов, предлагаемых для применения на добыче (вылове) скумбрии и дальневосточной сардины близнецовым тралом принимая во внимание, что на практике используется только 80% тяговых мощностей судов-тральщиков, получаем следующие значения сопротивления траловой системы на скорости траления 6,5 узлов. Для судов СТР-пр 503 (1320 л.с) эта величина составляет 21,7 т (212,8 кН), для СРТМ-502Э (1000 л. с.) — 10,8 т (105,6 кН) и для СТР пр. 420 (800 л. с.) — 10,3 т (100,8 кН).

Длина трала определяется исходя из угла атаки боковой пласти трала, горизонтального раскрытия устья трала и диаметра тралового мешка. Как сказано ранее, горизонтальное раскрытие трала в районе гужа составляет 70 м, угол атаки боковой поверхности трала равен 13 градусам. Диаметр тралового мешка ($D_{меш}$) выбираем из ширины судового слипа ($B_{слип}$). Диаметр тралового мешка определяется из условия:

$$D_{меш} = B_{слип} - 0{,}5. \qquad (5)$$

На основании технических характеристик среднетоннажных судов с кормовой схемой траления ширина слипа на этих судах составляет 1,5 м. Отсюда диаметр тралового мешка должен составлять порядка 1 м. Отсюда длина трала от гужа входного устья до тралового мешка будет равна L.

$$L = \frac{\frac{L_{гор}}{2} - \frac{D_{меш}}{2}}{\sin\alpha}. \qquad (6)$$

Длина канатной и сетной частей близнецового трала от устья до тралового мешка для добычи (вылова) скумбрии и дальневосточной сардины должна быть 153,3 м.

Угол атаки верхней пласти (β) определяется исходя из длины трала от устья до тралового мешка, вертикального раскрытия трала в районе гужа и диаметра тралового мешка.

$$\beta = \arcsin\frac{\frac{H_{верт}}{2} - \frac{D_{меш}}{2}}{L}. \qquad (7)$$

Отсюда угол атаки верхней и нижней пластей близнецового трала должен быть равным 10,1°.

Одним из факторов, влияющим на работу и эффективность лова разноглубинным тралом, в том числе и близнецовым, является отношение

Таблица 1. Тягово-скоростные характеристики судов, кН

Тип судна	Скорость траления, уз					
	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5
СТР-пр 503	162	157	152	146	140	133
СРТМ-502Э	85	81	77	74	71	66
СТР пр 420	80	76	72	69	66	63

затенённой площади оболочки трала к её фиктивной площади. Это параметр влияет на соответствие конструкции трала тягово-скоростным характеристикам судна. Искомый параметр находим по формуле определения скорости траления в зависимости от тяговых характеристик судна, фиктивной и затенённой площадей трала и площади устья трала [Жуков, 1975]:

$$\frac{S_{зат}}{S_{ф}} = \frac{9T}{S_{y} * V_{mp}^{2}}, \qquad (8)$$

где $S_{ф}$ — фиктивная площадь сетной оболочки трала, м^2; $S_{зат}$ — затенённая площадь сетной оболочки трала, м^2; S_{y} — площадь входного устья трала, м^2; T — тяговое усилие судна, тс.; V_{mp} — скорость траления, уз.

Учитывая, что на практике используется только 80% тяговых мощностей судов-тральщиков получаем следующие значения отношения затенённой площади оболочки трала к её фиктивной площади, удовлетворяющие условиям добычи (вылова) смешанных скоплений восточной скумбрии и дальневосточной сардины. Для судов СТР-пр 503 (1320 л.с) эта величина составляет 0,0012, для СРТМ-502Э (1000 л.с) и для СТР пр 420 (800 л.с) — 0,00057.

ВЫВОДЫ

1. На основе промыслово-биологических особенностей скоплений восточной скумбрии и дальневосточной сардины определены исходные данные для обоснования конструктивных особенностей близнецовых тралов и тактики добычи (вылова) при использовании на промысле среднетоннажных судов с мощностью главных двигателей 1320, 1000 и 800 л. с.

2. Для облова скоплений восточной скумбрии и дальневосточной сардины, в том числе и смешанных, длина близнецового трала по топенанту должна быть 153,3 м, длина крыльев 61,6 м, длина верхней (нижней) подборы — 150 м, длина боковых подбор — 139,5 м, вертикальное раскрытие в районе гужа должно быть 55 м, горизонтальное раскрытие — 70 м, угол атаки верхней и нижней пластей трала — 10,1°, угол атаки боковых пластей трала — 13°.

3. Для успешного облова восточной скумбрии, при длине кабелей 100 м, расстояние межу судам-близнецами должно быть 460 м, длина ваеров — 710 м. Для облова дальневосточной сардины расстояние между судами должно быть 330 м, длина ваеров — 416 м.

ЛИТЕРАТУРА

Абалтусов С.М., Астафьев С.Э., Бойцов А.Н. 1985. Обоснование вертикального раскрытия устья трала по параметрам промысловых скоплений (на примере японской скумбрии) // Обоснование орудий промышленного рыболовства. Владивосток: ТИНРО. С. 34–42.

Аминева В.А., Яржомбек А.А. 1984. Физиология рыб. М.: Лег. и пищ. пром-сть. 198 с.

Антоненко Д.В., Байталюк А.А. 2019. Пелагические ресурсы северо-западной части тихого океана — новые возможности увеличения вылова российских рыбаков // II Межд. рыбопромышленный форум и Выставка рыбной индустрии, морепродуктов и технологий. Мат. деловой прогр. (докл. участников). Global Fishery Forum & Seafood Expo, 2018. 13–15 сентября 2018 г., Санкт-Петербург. М.: Изд-во ВНИРО, С. 98.

Белов В.А., Коротков В.К., Саврасов В.К., Шимянский С.Л. 1987. Буксируемые орудия лова. М.: Агропромиздат. 200 с.

Выскребенцев Б.Ф., Аронов М.П. 1970. Подводные наблюдения в зоне действия орудий лова // Рыбное хозяйство. № 2. С. 40–43.

Габрюк В.И. 1982. Методы биотехнического обоснования и расчёта параметров траловой системы. Владивосток: Изд-во Дальрыбвтуз. 149 с.

Габрюк В.И. 2011. Механика орудий рыболовства в математических моделях, алгоритмах, компьютерных программах. Владивосток: Изд-во Дальрыбвтуз. 519 с.

Жуков В.П. 1975. Оптимальные размеры пелагических тралов // Рыбное хозяйство. № 3. С. 48–50.

Карпенко Э.А., Лапшин О.М., Герасимов Ю.В. 1997. Экспериментальные исследования поведения рыб при взаимодействии с элементами тралов в модельных условиях // Вопросы ихтиологии. Т. 37. № 2. С. 253–260.

Коллегия Росрыболовства. Мат. к заседанию коллегии по вопросу: «Итоги деятельности Федерального агентства по рыболовству в 2018 году и задачи на 2019 год». Доступно через: http://fish.gov.ru/press-tsentr?catid=0&id=5. 11.10.2019.

Коротков В.К. 1998. Реакция рыб на трал, технология их лова. Калининград: ЭКБ АО «МАРИНПО». 398 с.

Коротков В.К., Кузьмина А.С. 1972. Трал, поведение объекта лова и подводные наблюдения за ними. М: Пищевая промышленность. 270 с.

Кузнецов М.Ю. 2011. Дистанция реагирования различных видов рыб на гидроакустические шумы промысловых и научно-исследовательских судов и допустимые уровни шума // Известия ТИНРО. Т. 164. С. 157–176.

Кузнецов Ю.А., Кузнецов М.Ю. 2007. Обоснование и разработка методов и средств промысловой биоакустики. Владивосток: Изд-во Дальрыбвтуз. 339 с.

Лебедев Е.А. 1972. Влияние длины кабелей на вылов рыбы // Рыбное хозяйство. № 6. С. 55–56.

Мельников В.Н. 1979. Биотехническое обоснование показателей орудий и способов промышленного рыболовства. М.: Пищевая промышленность. 376 с.

Мельников В.Н. 1973. Биофизические основы промышленного рыболовства. М.: Пищепромиздат. 319 с.

Мизюркин М.А., Мизюркина А.В., Татарников В.А., Пак А. 2004. Разновидовой промысел. Владивосток: ТИНРО-Центр. 139 с.

Обвинцев А.Л. 1975. О взаимодействии объекта лова с тралом // Рыбное хозяйство. № 1. С. 48–51.

Пелагические рыбы (сайра, сардина, скумбрия) — путинный прогноз на 2018 год. 2018. Владивосток: ТИНРО-Центр. 68 с.

Поляничко В.И. 2017. Особенности вертикального распределения и поведения японской скумбрии и дальневосточной сардины по данным гидроакустических исследований 2015–2016 гг. // «Современные проблемы и перспективы рыбохозяйственного комплекса». Мат. V науч.-практ. конф. молодых учёных с межд. участием. Тез. докл. Москва, 17–18 апреля 2017 г. М.: Изд-во ВНИРО. С. 221–227.

Состояние промысловых ресурсов. 2019. Прогноз общего вылова гидробионтов по Дальневосточному рыбохозяйственному бассейну на 2019 г (краткая версия). Владивосток: Изд-во ТИНРО. 448 с.

Фридман А.Л. 1969. Теория и проектирование орудий промышленного рыболовства. М.: Пищевая промышленность. 568 с.

Шевченко А.И. 1972. Особенности тралового лова пелагических скоплений скумбрии // Рыбное хозяйство. № 5. С. 44–46.

Шевченко А.И., Бойцов А.Н., Киселёв А.Л. 1976. Обоснование конструкции разноглубинного трала // Промышленное рыболовство. Вып. 6. Владивосток: Изд-во ТИНРО. С. 22–27.

He P., Wardle C.S. 1988. Endurance at intermediate swimming speeds of Atlantic mackerel, *Scomber scombrus*, herring, *Clupea harengus* and saithe *Pollachius virens* // J. Fish Biol. Vol.33. P. 255–266.

Поступила в редакцию 26.11.2019 г.
Принята после рецензии 29.11.2019 г.

DOI: 10.36038/2307-3497-2021-184-23-33

Justification of the parameters of twin fishing for Far Eastern mackerel and Ivashi sardines by medium tonnage vessels, taking into account their fishing biological characteristics

V.A. Tatarnikov,
S.E. Astafiev,
S.S. Oruzhenko

Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (VNIRO), Moscow, Russia

In the Northwestern Pacific Ocean, in recent years, there has been an increase in the populations of eastern mackerel (Scomber japonicus) and Far Eastern sardine (Sardinops sagax). In the Far East, large-tonnage fishing trawlers capable of successfully harvesting (catching) mackerel and Far Eastern sardines are engaged in fishing for pollock and other traditional objects of fishing. The purpose of this article is to show how underutilized stocks of mackerel and Far Eastern sardine can be developed by medium tonnage vessels using twin fishing techniques. For the biotechnological substantiation of the parameters of the twin trawl system according to the degree of influence on the object of production (catch), it was divided into 7 zones, in each of which the object of production (catch) has one or another behavioral reaction. The article substantiates the necessary (optimal) vertical opening of the mouth of the trawl for complete vertical fishing of schools of fish based on echometric diagrams of the vertical distribution of schools of mackerel and Far Eastern sardine and the accepted response distances of fishing objects to elements of the trawl system. The biotechnical substantiation of the parameters of the twin trawl system for the extraction (catch) of Pacific mackerel and Far Eastern sardine has been carried out. The length of the twin trawl, the angle of attack of the upper, lateral and lower layers of the trawl shell, the length of the wings of the trawl are determined, the necessary ratio of the shaded area of the shell of the trawl to its fictitious area for medium-tonnage vessels with different traction characteristics is determined. Based on the speed parameters of fish in different zones of the trawl system, the distance between twin vessels, the length of the cords and the length of the cables are determined.

Keywords: chub mackerel *Scomber japonicus*, South American pilchard *Sardinops sagax*, pair trawling, characteristics of pair trawl

REFERENCES

Abaltusov S.M., Astaf'ev S. Eh., Bojtsov A.N. 1985. Obosnovanie vertikal'nogo raskrytiya ust'ya trala po parametram promyslovykh skoplenij (na primere yaponskoj skumbrii) [Substantiation of the vertical opening of the trawl mouth by the parameters of commercial accumulations (on the example of Japanese mackerel)] // Obosnovanie orudij promyshlennogo rybolovstva. Vladivostok: TINRO. S. 34–42.

Amineva V.A., Yarzhombek A.A. 1984. Fiziologiya ryb [Physiology of fish]. M.: Leg. i pishch. prom-st'. 198 s.

Antonenko D.V., Bajtalyuk A.A. 2019. Pelagicheskie resursy severo-zapadnoj chasti tikhogo okeana — novye vozmozhnosti uvelicheniya vylova rossijskikh rybakov [Pelagic resources of the northwestern part of the Pacific Ocean — new opportunities for increasing the catch of Russian fishermen] // II Mezhd. rybopromyshlennyj forum i Vystavka rybnoj industrii, moreproduktov i tekhnologij. Mat. delovoj progr. (dokl. uchastnikov). Global Fishery Forum & Seafood Expo, 2018. 13–15 sentyabrya 2018 g., Sankt-Peterburg. M.: Izd-vo VNIRO, S. 98.

Belov V.A., Korotkov V.K., Savrasov V.K., Shimyanskij S.L. 1987. Buksiruemye orudiya lova [Towed fishing gear]. M.: Agropromizdat. 200 s.

Vyskrebentsev B.F., Aronov M.P. 1970. Podvodnye nablyudeniya v zone dejstviya orudij lova [Underwater observations in the area of fishing gear] // Rybnoe khozyajstvo. № 2. C. 40–43.

Gabryuk V.I. 1982. Metody biotekhnicheskogo obosnovaniya i rascheta parametrov tralovoj sistemy [Biotechnical substantiation methods and calculation of trawl system parameters]. Vladivostok: Izd-vo Dal'rybvtuz. 149 s.

Gabryuk V.I. 2011. Mekhanika orudij rybolovstva v matematicheskikh modelyakh, algoritmakh, komp'yuternykh programmakh [Mechanics of fishing tools in mathematical models, algorithms, computer programs]. Vladivostok: Izd-vo Dal'rybvtuz. 519 s.

Zhukov V.P. 1975. Optimal'nye razmery pelagicheskikh tralov [Optimal sizes of pelagic trawls] // Rybnoe khozyajstvo. № 3. S. 48–50.

Karpenko Eh.A., Lapshin O.M., Gerasimov Yu.V. 1997. Ehksperimental'nye issledovaniya povedeniya ryb pri vzaimodejstvii s ehlementami tralov v model'nykh

usloviyakh [Experimental studies of fish behavior when interacting with trawl elements under model conditions] // Voprosy ikhtiologii. T.37. № 2. S. 253–260.

Kollegiya Rosrybolovstva. Mat. k zasedaniyu kollegii po voprosu: «Itogi deyatel'nosti Federal'nogo agentstva po rybolovstvu v 2018 godu i zadachi na 2019 god [Rosrybolovstvo Collegium. Materials for the meeting of the Collegium on the issue: «Results of the activities of the Federal Agency for Fisheries in 2018 and tasks for 2019»] ». Accessible via: http://fish.gov.ru/press-tsentr?catid=0&id=5. 11.10.2019.

Korotkov V.K. 1998. Reaktsiya ryb na tral, tekhnologiya ikh lova [The reaction of fish to the trawl, the technology of their catch]. Kaliningrad: EHKB AO «MARINPO». 398 s.

Korotkov V.K., Kuz'mina A.S. 1972. Tral, povedenie ob"ekta lova i podvodnye nablyudeniya za nimi [Trawl, fishing object behavior and underwater observations]. M: Pishchevaya promyshlennost'. 270 s.

Kuznetsov M. Yu. 2011. Distantsiya reagirovaniya razlichnykh vidov ryb na gidroakusticheskie shumy promyslovykh i nauchno-issledovatel'skikh sudov i dopustimye urovni shuma [Distance of response of various fish species to hydroacoustic noises of fishing and research vessels and permissible noise levels] // Izvestiya TINRO. T. 164. S. 157–176.

Kuznetsov Yu.A., Kuznetsov M. Yu. 2007. Obosnovanie i razrabotka metodov i sredstv promyslovoj bioakustiki [Substantiation and development of methods and means of commercial bioacoustics]. Vladivostok: Izd-vo Dal'rybvtuz. 339 s.

Lebedev E.A. 1972. Vliyanie dliny kabelej na vylov ryby [Effect of cable length on fish catch] // Rybnoe khozyajstvo. № 6. S. 55–56.

Mel'nikov V.N. 1979. Biotekhnicheskoe obosnovanie pokazatelej orudij i sposobov promyshlennogo rybolovstva [Biotechnical substantiation of indicators of tools and methods of industrial fishing]. M.: Pishchevaya promyshlennost'. 376 s.

Mel'nikov V.N. 1973. Biofizicheskie osnovy promyshlennogo rybolovstva [Biophysical Foundations of Commercial Fisheries]. M.: Pishchepromizdat. 319 s.

Mizyurkin M.A., Mizyurkina A.V., Tatarnikov V.A., Pak A. 2004. Raznovidovoj promysel [Various fishing]. Vladivostok: TINRO-TSentr. 139 s.

Obvintsev A.L. 1975. O vzaimodejstvii ob"ekta lova s tralom [About interaction of a fishing object with a trawl] // Rybnoe khozyajstvo. № 1. S. 48–51.

Pelagicheskie ryby (sajra, sardina, skumbriya) — putinnyj prognoz na 2018 god. 2018 [Pelagic fish (saury, sardine, mackerel) — fishing season forecast for 2018]. Vladivostok: TINRO-TSentr. 68 s.

Polyanichko V.I. 2017. Osobennosti vertikal'nogo raspredeleniya i povedeniya yaponskoj skumbrii i dal'nevostochnoj sardiny po dannym gidroakusticheskikh issledovanij 2015–2016 gg. [Peculiarities of vertical distribution and behavior of Japanese mackerel and Far Eastern sardine according to hydroacoustic research data in 2015–2016] // «Sovremennye problemy i perspektivy rybokhozyajstvennogo kompleksa». Mat. V nauch.-prakt. konf. molodykh uchenykh s mezhd. uchastiem. Tez. dokl. Moskva, 17–18 aprelya 2017 g. M.: Izd-vo VNIRO. S.221–227.

Sostoyanie promyslovykh resursov. 2019. Prognoz obshchego vylova gidrobiontov po Dal'nevostochnomu rybokhozyajstvennomu bassejnu na 2019 g (kratkaya versiya) [Forecast of the total catch of aquatic organisms in the Far Eastern fishery basin for 2019 (short version)]. Vladivostok: Izd-vo TINRO. 448 s.

Fridman A.L. 1969. Teoriya i proektirovanie orudij promyshlennogo rybolovstva [Theory and Design of Commercial Fishing Tools]. M.: Pishchevaya promyshlennost'. 568 s.

Shevchenko A.I. 1972. Osobennosti tralovogo lova pelagicheskikh skoplenij skumbrii [Features of trawl fishing for pelagic mackerel aggregations] // Rybnoe khozyajstvo. № 5. S. 44–46.

Shevchenko A.I., Bojtsov A.N., Kiselev A.L. 1976. Obosnovanie konstruktsii raznoglubinnogo trala [Justification of the design of the midwater trawl] // Promyshlennoe rybolovstvo. Vyp. 6. Vladivostok: Izd-vo TINRO. S. 22–27.

He P., Wardle C.S. 1988. Endurance at intermediate swimming speeds of Atlantic mackerel, *Scomber scombrus*, herring, *Clupea harengus* and saithe *Pollachius virens* // J. Fish Biol. Vol. 33. P. 255–266.

TABLE CAPTIONS

Table 1. Traction and speed characteristics of ships, kN

FIGURE CAPTIONS

Fig. 1. Total catch of sardines in 2016 and 2017, in tons

Fig. 2. Total catch of mackerel and catch every decade in 2016 and 2017, in tons

Fig. 3. Zones of behavioral reactions in pair trawling [Melnikov, 1979]

Fig. 4. Fragment of echogram with estimates of the abundance and biomass of stocks of mixed clusters of sardine and mackerel [Polyanichko, 2017].

Fig. 5. Diagram of zones affecting the distance between twin ships

УДК 639.2.081.117.21 DOI: 10.36038/2307-3497-2021-184-34-45

Обоснование основных параметров близнецовой траловой системы для судов малого и среднего классов

О.Н. Кручинин,
М.А. Мизюркин,
Е.А. Захаров,
В.М. Волотов,
Ю.В. Ерёмин

Тихоокеанский филиал ФГБНУ «ВНИРО» (ТИНРО), г. Владивосток

E-mail: egor.zakharov@tinro-center.ru

Представлены материалы по сравнительной эффективности орудий лова, используемых для добычи (вылова) тихоокеанской сардины и скумбрии в северо-западной части Тихого Океана (СЗТО). Показано, что эффективность добычи тихоокеанской сардины иваси близнецовым тралом в 3,5–4,8 раза выше, чем лов разноглубинными тралами. При добыче скумбрии картина противоположная: эффективность близнецового лова в 3,0–8,9 раз ниже показателей лова разноглубинными тралами. Такое положение вещей указывает на необходимость совершенствования техники и тактики промысла подвижных объектов лова близнецовыми тралами, что предполагает обоснование рабочих параметров близнецовой траловой системы в соответствии с энергетическими возможностями промысловых судов различного тоннажа и разработку предложений по совершенствованию оснастки близнецовой траловой системы для промысловых судов малого и среднего классов. Теоретически обоснованы параметры близнецовых тралов и разработано техническое предложение по оснастке разноглубинного трала сетной вставкой, снижающей вероятность выхода рыбы из зоны облова под нижней подборой трала.

Ключевые слова*:* близнецовая траловая система, тихоокеанская сардина, скумбрия, показатели добычи сардины и скумбрии, полезная тяга судов, вероятность облова рыб близнецовым тралом, оснастка близнецовой траловой системы для промысловых судов малого и среднего классов.

ВВЕДЕНИЕ

Наиболее продуктивным районом Мирового океана является северо-западная часть Тихого океана. Несмотря на богатое видовое разнообразие пелагических рыб в этом районе (тихоокеанская сардина, скумбрия, тунцы, анчоус, волосохвост, королевская макрель и др.) [Фадеев, 2005], в настоящее время российским промысловым флотом осваивается только тихоокеанская сардина иваси и скумбрия. Добыча и учёт этих видов водных биологических ресурсов (ВБР) производится, в основном, разноглубинными канатными тралами. Учитывая высокие скоростные возможности и реакцию косяков сардины и скумбрии на шумы судна, успешный лов этих объектов тралом возможен с крупнотоннажных судов при высоких скоростях траления и увеличенной зоне облова трала.

Известно, что зона облова разноглубинных тралов определяется их горизонтальным и вертикальным раскрытием. На этапе проектирования горизонтальное и вертикальное раскрытие разноглубинных тралов задаётся с учётом размеров и скоростных возможностей объекта лова [Абалтусов и др., 1985; Мизюркин и др., 2004]. При этом учитывается, как правило, только возможность ухода рыбы из зоны облова в стороны от устья трала или по линии его движения [Фридман, 1969]. Однако, данные промысловых и подводных наблюдений однозначно указывают также на возможность выхода рыбы из зоны облова путём её погружения и заныривания под нижнюю подбору разноглубинного трала [Коротков и др., 1990].

В настоящее время эта проблема отчасти решается двумя способами с применением обычных разноглубинных тралов, у которых длина верхней и нижней подбор одинакова:

1) производится оценка возможной величины заглубления скопления (косяка) рыб и по ней определяется необходимая для захвата косяка величина вертикального раскрытия разноглубинного трала [Мельников и др., 1994];

2) разноглубинный трал при подходе к косяку устанавливают таким образом, чтобы его верх-

няя подбора была на глубине нижней кромки косяка, то есть трал ведётся под косяком для упреждения заглубления рыб и выхода их под нижней подборой трала.

Применение первого способа приводит к необходимости существенного увеличения габаритных размеров трала и скорости траления [Руководство по применению ..., 1988], что влечёт за собой необходимость использования более мощных добывающих судов и в совокупности приводит к снижению экономической эффективности добычи (вылова) ВБР. Второй способ, применяемый дальневосточными рыбаками на промысле скумбрии, хотя и даёт определённый эффект по сравнению с тралениями «в лоб», когда трал устанавливают таким образом, что косяк оказывается между верхней и нижней подборами, однако он не даёт гарантии полного облова скопления рыб, так как заранее неизвестна скорость погружения косяка. В связи с этим актуальной проблемой является повышение эффективности тралового лова путём снижения вероятности выхода рыбы из зоны облова под нижней подборой разноглубинного трала.

В настоящей статье представлены материалы по сравнительной эффективности орудий лова, используемых для добычи (вылова) тихоокеанской сардины и скумбрии, теоретически обоснованные параметры близнецовых тралов и разработано техническое предложение по оснастке близнецовых тралов сетной серпообразной вставкой, снижающей вероятность выхода рыбы из зоны облова под нижней подборой трала.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА

Данные по промыслу тихоокеанской сардины иваси и скумбрии в СЗТО получены в результате анализа материалов отраслевой системы мониторинга (ОСМ) Росрыболовства, введённой Постановлением Правительства Российской Федерации от 26 февраля 1999 г. № 226 «О создании отраслевой системы мониторинга водных биологических ресурсов, наблюдения и контроля за деятельностью промысловых судов».

Основой для расчётов рабочих параметров близнецовых тралов послужили данные о полезной тяге промысловых судов [Фридман, 1981; Габрюк и др., 2010], а также экспериментальные данные о гидродинамическом сопротивлении разноглубинного трала 80/396 м, полученные в ТИНРО с применением датчика натяжения НС4-А144 (рис. 1), который входит в комплект

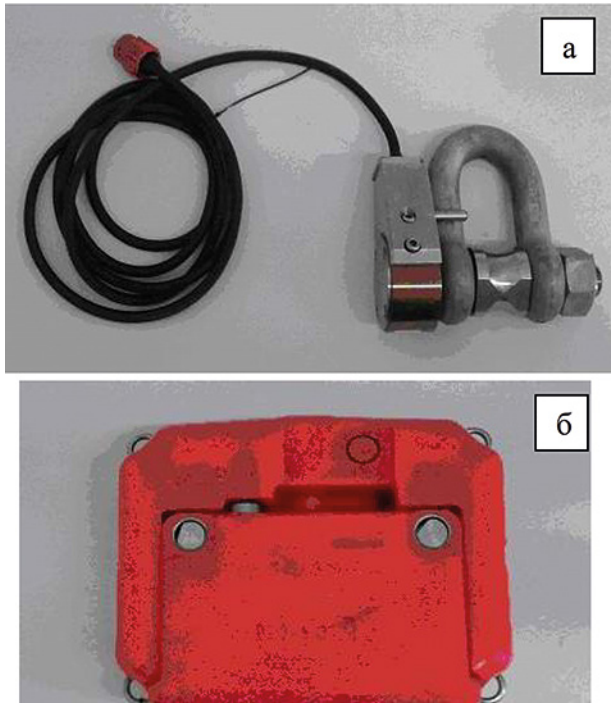


Рис. 1. Датчик натяжения системы «Scanmar»: а — тензометрическая скоба; б — минитранспондер

бескабельной гидроакустической системы «Scanmar». Датчик состоит из тензометрической скобы и минитранспондера, предназначен для измерения сопротивления в отдельных частях траловой системы и позволяет измерять нагрузку до 12 тонн.

Основой для разработки технического предложения по оснастке близнецовой траловой системы, снижающей вероятность выхода рыбы из зоны облова под нижней подборой трала, послужили данные о дистанции реагирования и скорости погружения рыб при их облове разноглубинными тралами [Коротков, 1998; Мантейфель, 1955; Выскребенцев, 1970].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Промысел тихоокеанской сардины иваси и скумбрии российскими судами в СЗТО осуществляется в Ю-Курильском районе, а также у побережья о-вов Хоккайдо и Хонсю. Добыча, в основном, производится разноглубинными тралами различных конструкций, но при этом два судна СТР «Дмитрий Шевченко» и СТР «Седанка» работают близнецовым тралом 134/462 м, и два судна СТР «Калиновка» и СТР «Стерлядь» — кошельковым неводом 1000х200 м.

На рис. 2 представлено содержание тихоокеанской сардины и скумбрии в среднесуточных

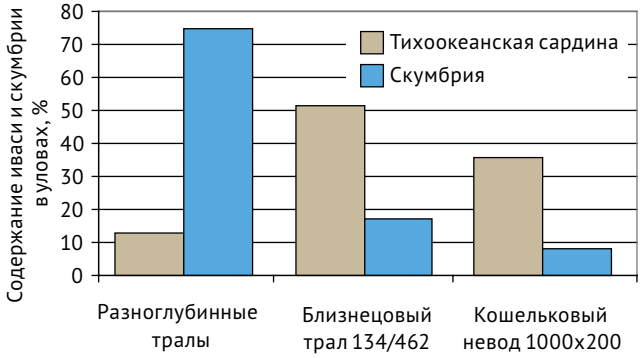


Рис. 2. Содержание тихоокеанской сардины и скумбрии в уловах

уловах разноглубинных тралов, близнецового трала и кошелькового невода.

Такая картина содержания сардины и скумбрии в уловах объясняется, по-видимому, тактикой лова, а также поведением и распределением по глубине этих двух объектов. Работа разноглубинными тралами производилась, в основном, с крупнотоннажных судов на разных горизонтах со скоростью более 5 узлов, что позволяло в большем количестве облавливать более подвижный объект — скумбрию. Среднетоннажные суда, работая близнецовым тралом и кошельковым неводом в поверхностном слое, в основном облавливали менее подвижную, находящуюся в верхних слоях, тихоокеанскую сардину иваси. Так как основной задачей исследования является разработка предложений по применению близнецовой траловой системы для промысла пелагических рыб в СЗТО, проанализировали данные о среднесуточном вылове тихоокеанской сардины иваси и скумбрии близнецовым тралом по сравнению со средним выловом разноглубинными тралами (табл. 1).

Результаты анализа, приведённые в табл. 1, показывают, что эффективность добычи тихоокеанской сардины иваси близнецовым тралом в 3,5–4,8 раза выше, чем лов разноглубинными

Таблица 1. Среднесуточный вылов тихоокеанской сардины и скумбрии близнецовым и разноглубинными тралами

Орудия лова	Среднесуточный вылов, т	
	2017 год	2018 год
Тихоокеанская сардина		
Близнецовый трал 134/462 м	94,7	127,4
Разноглубинные тралы	19,7	36,1
Эффективность близнецового лова	**4,80**	**3,53**
Скумбрия		
Близнецовый трал 134/462 м	18,4	5,2
Разноглубинные тралы	55,4	46,6
Эффективность близнецового лова	**0,33**	**0,11**

тралами. При добыче скумбрии картина противоположная: эффективность близнецового лова в 3,0–8,9 раз ниже показателей лова разноглубинными тралами. Такое положение вещей указывает на необходимость совершенствования техники и тактики промысла подвижных объектов лова близнецовыми тралами, что предполагает обоснование рабочих параметров близнецовой траловой системы в соответствии с энергетическими возможностями промысловых судов различного тоннажа и разработку предложений по совершенствованию оснастки близнецовой траловой системы для промысловых судов малого и среднего классов.

Известно, что рабочие параметры трала и скорость траления зависят от располагаемой тяги промысловых судов: при установившемся движении системы судно-трал полная тяга траулера расходуется на сопротивление корпуса судна и трала [Фридман, 1981]. При этом разность между полной тягой судна и сопротивлением корпуса судна называется полезной тягой судна, которая уменьшается с увеличением скорости траления. Полезная тяга различных типов промысловых судов, приведена в табл. 2 [Габрюк и др., 2010].

Таблица 2. Полезная тяга промысловых судов различных типов (кН)

Скорость, узл.	БАТМ	РТМС	БМРТ	СТР-503	СРТМ-1000	СТР-420	СРТМ-800	СРТР	РС-300	МРС-225	МРС-150
0	469	406	198	188	105	100	78	53	35	23	18
2	425	356	185	180	98	93	70	50	33	20	15
4	369	300	170	163	85	80	60	45	28	18	13
6	313	250	148	140	70	68	50	35	20	10	8
8	244	194	118	110	50	48	35	23	10	3	
10	181	138	75	63	28	25	18	8			

Анализ данных табл. 2 показал, что зависимость полезной тяги от скорости траления для всех судов хорошо аппроксимируется полиномами второй степени:

$$П_c = a(v_{mp})^2 + b(v_{mp}) + c, \quad (1)$$

где $П_c$ — полезная тяга судна, кН; v_{mp} — скорость траления, узл; *a, b, c* — коэффициенты аппроксимации.

Значения коэффициентов *a, b, c*, достоверность и погрешность аппроксимации (1) представлены в табл. 3.

Высокая достоверность и небольшая погрешность аппроксимации позволяют использовать выражение (1) при расчёте полезной тяги судов для любой скорости траления. Так как полезная тяга судна расходуется на преодоление сопротивления траловой системы (трала и оснастки), то параметры канатной и сетной оболочки близнецового трала, а также оснастки верхней и нижней подбор трала будут лимитированы значением полезной тяги определённого типа промыслового судна, которую можно рассчитать из выражения (1), используя значения коэффициентов *a, b, c* из табл. 3.

В качестве базового варианта для расчёта параметров близнецовой траловой системы примем разноглубинный трал 80/396 м, для которого с применением датчика натяжения фирмы «Scanmar», установленного перед доской, нами была измерена половина сопротивления трала с оснасткой, включая сопротивление доски. Так как в близнецовом варианте траловые доски не применяются, рассчитали чистое сопротивление трала с оснасткой, исключая сопротивление доски. При этом коэффициенты сопротивления V-образной доски рассчитывали, применяя найденные нами аппроксимации [Захаров, Кручинин, 2016]. Осреднённые экспериментальные и расчётные данные о половине сопротивления трала 80/396 м в зависимости от скорости траления, а также аппроксимирующие их уравнения, приведены на рис. 3.

Используя приведённую на рис. 3 аппроксимацию, рассчитали сопротивление траловых систем (без досок), у которых размеры соизмеримы с базовым вариантом, а также в два раза меньше и в два раза больше размеров базового варианта (табл. 4).

С целью определения энергетических возможностей различных типов промысловых судов с применением аппроксимации (1) рассчитали полезную тягу судов для диапазона скоростей траления от 4 до 6 узлов (табл. 5).

Сравнивая расчётные данные о сопротивлении тралов (табл. 4) и данные о полезной тяге судов (табл. 5) и учитывая, что при близнецовом способе траления на каждое судно приходится половина сопротивления трала, можно сделать следующие предварительные выводы:

– близнецовыми тралами с номиналом около 40/200 м могут вести добычу тихоокеанской сардины промысловые суда с мощностью ГД не менее 220 кВт (РС-300), а скумбрии — не менее 400 кВт (СРТР);

Таблица 3. Коэффициенты, достоверность и погрешность аппроксимации (1) для различных типов промысловых судов

Тип судна	Мощность главного двигателя (ГД), кВт	Коэффициенты аппроксимации			Достоверность аппроксимации R^2	Погрешность аппроксимации, %
		a	*b*	*c*		
БАТМ	2500	-0,6324	-22,768	470,39	0,9997	0,6
РТМС	1800	-0,2232	-24,777	405,8	0,9998	0,7
БМРТ	1470	-0,9375	-2,5893	196,07	0,9986	1,1
СТР-503	970	-1,1161	-1,0893	186,79	0,9983	1,3
СРТМ-1000	735	-0,4687	-3,0982	105,18	0,9999	0,5
СТР-420	590	-0,4688	-2,7768	99,821	0,9992	0,8
СРТМ-800	590	-0,3125	-2,8036	77,143	0,9991	1,2
СРТР	396	-0,4129	-0,4062	52,589	0,9995	1,3
РС-300	220	-0,3135	-0,625	35	1,000	0,2
МРС-225	165	-0,2679	-0,3571	22,357	0,9947	4,0
МРС-150	110	-0,1563	-0,6875	17,375	0,9943	2,0

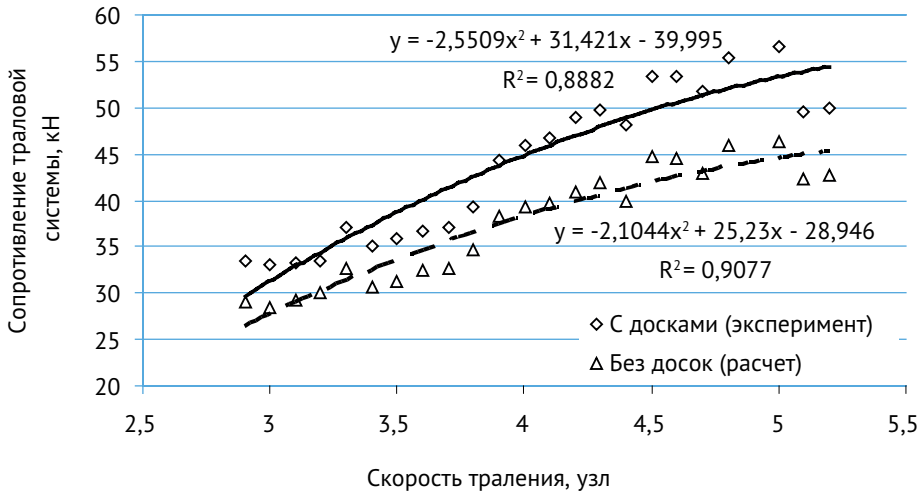


Рис. 3. Половина гидродинамического сопротивления трала 80/396 м

Таблица 4. Расчётное значение сопротивления близнецовых тралов различных номиналов

Скорость траления, узл.	Трал 40/200 м	Трал 80/400 м	Трал 160/800 м
	Полное сопротивление трала с оснасткой, кН		
4	38,3	76,6	153,2
5	44,6	89,2	178,4
6	46,7	93,4	186,7

Таблица 5. Расчётные значения полезной тяги промысловых судов при скоростях траления, пригодных для близнецового лова тихоокеанской сардины и скумбрии (кН)

Скорость, узл.	БАТМ	РТМС	БМРТ	СТР-503	СРТМ-1000	СТР-420	СРТМ-800	СРТР	РС-300	МРС-225	МРС-150
4	369	303	171	165	85	81	61	44	27	17	12
4,5	355	290	165	159	82	78	58	42	26	15	11
5	341	276	160	153	78	74	55	40	24	14	10
5,5	326	263	153	147	74	70	52	38	22	12	9
6	311	249	147	140	70	66	49	35	20	11	8

– близнецовыми тралами с номиналом около 80/400 м могут вести добычу тихоокеанской сардины суда с мощностью ГД не менее 400 кВт (СРТР), а скумбрии — суда не менее 600 кВт (СРТМ-800);

– близнецовыми тралами с номиналом около 160/800 м могут вести добычу тихоокеанской сардины суда с мощностью ГД не менее 600 кВт (СТР-420), а скумбрии — суда не менее 1000 кВт (СТР-503).

Ранее нами отмечалось, что данные промысловых и подводных наблюдений однозначно указывают на возможность выхода рыбы из зоны облова путём её погружения и заныривания под нижнюю подбору разноглубинного трала. С целью снижения вероятности выхода рыбы под нижней подборой предлагается нижнюю подбору стандартного разноглубинного трала дополнительно оснастить серпообразной сетной вставкой, расположенной симметрично диаметральной плоскости трала. Задняя кромка сетной вставки соединяется с нижней подборой трала, при этом передняя кромка сетной вставки оказывается выдвинутой относительно верхней подборы вперёд по ходу трала (рис. 4).

Предположим (рис. 4), что разноглубинный трал с вертикальным раскрытием $H_{нп}$, буксируемый со скоростью $V_{тр}$, приблизился к скоплению (косяку) рыб, находящемуся на глубине *Hp* относительно верхней подборы трала, на дистанцию

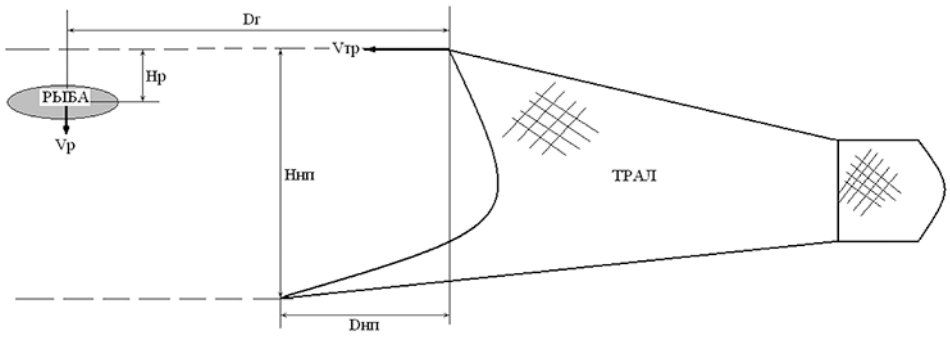


Рис. 4. К расчёту вероятности облова заглубляющегося скопления рыб

D_r, после которой начинается реакция рыб, выраженная в заглублении со скоростью V_p. При этом нижняя подбора трала, за счёт применения сетной вставки, выдвинута вперёд относительно верхней подборы на дистанцию $D_{нп}$.

Очевидно, что облов рыбы возможен в том случае, если передняя кромка нижней подборы трала подойдёт к косяку быстрее, чем он погрузится на глубину $H_{нп}$. Время, необходимое косяку рыб для погружения на эту глубину, выразится как:

$$T_p = (H_{нп} - H_p)/V_p, \qquad (2)$$

а время подхода передней кромки нижней подборы трала к погружающемуся косяку:

$$T_{тр} = (D_r - D_{нп})/V_{тр}, \qquad (3)$$

где $H_{нп}$ — вертикальное раскрытие трала, м; H_p — глубина нахождения скопления рыб относительно верхней подборы трала, м; V_p — скорость заглубления рыб, м/с; D_r — дистанция реагирования рыб на трал, м; $D_{нп}$ — длина сетной вставки относительно верхней подборы, м; $V_{тр}$ — скорость траления, м/с.

Если $T_{тр} < T_p$, то осуществляется облов погружающегося косяка с вероятностью, которую можно выразить величиной:

$$P = T_p/T_{тр} - 1, \qquad (4)$$

при этом, если $P < 0$, то вероятность облова равна нулю; если $P => 1$, то вероятность облова равна единице.

Раскрывая выражение (4) с учётом (2) и (3), получили формулу для определения необходимой длины серповидной сетной вставки, необходимой для облова погружающегося скопления рыб с вероятностью, равной 100%:

$$D_{вст} = \frac{2D_r V_p - V_{тр}(H_{нп} - H_p)}{2V_p}. \qquad (5)$$

Анализ изменения вероятности облова и длины сетной вставки при изменении параметров траловой системы ($H_{нп}$, $V_{тр}$, $D_{нп}$) и параметров скопления рыб (D_r, H_p, V_p) показал, что с увеличением значений параметров траловой системы возрастает вероятность облова и снижается необходимый для облова размер сетной вставки. С увеличением значений параметров скопления рыб картина диаметрально противоположная: вероятность облова снижается, а размер сетной вставки увеличивается.

Выше мы определили, что близнецовыми тралами с номиналом около 40/200 м могут вести добычу иваси и скумбрии промысловые суда малого класса типа РС-300; тралами с номиналом около 80/400 м — суда среднего класса типа СРТР и СРТМ-800; тралами с номиналом около 160/800 м суда среднего класса типа СТР-420 и СТР-503. Для этих близнецовых тралов рассчитали вертикальные раскрытия ($H_{нп}$) в зависимости от отношения горизонтального раскрытия по крыльям трала к длине верхней подборы ($B_{кр}/L_{вп}$) (табл. 6). При этом за основу для расчёта приняли отношение $B_{кр}/L_{вп}$ = 0,5, так как по данным специалистов компании Fishering Service при меньших значениях этого отношения возможна объячейка рыбы, а при больших — выход рыбы через крупноячейную дель.

Основой для расчёта вертикального раскрытия послужили данные наших инструментальных измерений горизонтального и вертикального

Таблица 6. Расчетные значения вертикального раскрытия близнецовых тралов

Отношение $B_{кр}/L_{вп}$	Трал 40/200 м		Трал 80/400 м		Трал 160/800 м	
	$B_{кр}$, м	$H_{нп}$, м	$B_{кр}$, м	$H_{нп}$, м	$B_{кр}$, м	$H_{нп}$, м
0,5	20	18,5	40	36,9	80	73,8

раскрытия разноглубинных тралов, выполненные на судах ТИНРО с использованием аппаратуры «Scanmar». По этим данным при $B_{кр}/L_{вп}$ = 0,5 отношение $H_{нп}/B_{кр}$ составляет в среднем 0,923.

С применением теории цепной линии рассчитали форму верхней подборы (рис. 5). При этом за основу для расчёта приняли отношение $B_{кр}/L_{вп}$ = 0,5, так как по данным специалистов компании Fishering Service при меньших значениях этого отношения возможна объячейка рыбы, а при больших — выход рыбы через крупноячейную дель.

Исходя из того, что размеры сетной вставки ограничиваются максимальной величиной стрелки прогиба верхней подборы, по данным рис. 5 получили для тралов 40/200 м, 80/400 м и 160/800 м максимально возможную длину сетной вставки, соответственно, 15 м, 30 м и 60 м.

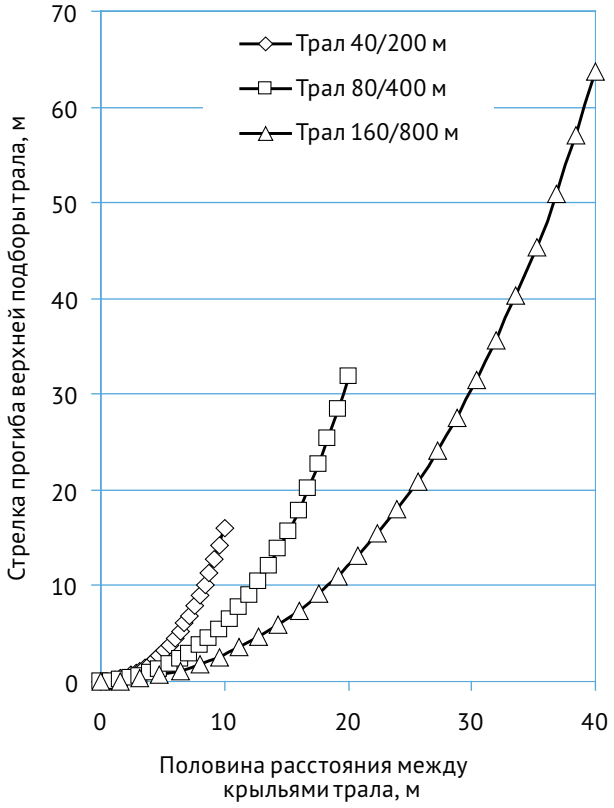


Рис. 5. Форма верхней подборы тралов при отношении $B_{кр}/L_{вп}$ = 0,5:
а — трал 40/200 м; б — трал 80/400 м; в — трал 160/800 м

С применением теории цепной линии рассчитал также расстояния между судами ($B_{суд}$), буксирующими близнецовые тралы, в зависимости от длины ваеров ($L_{ваер}$) (табл. 7).

Таблица 7. Расчетные значения расстояния между судами, буксирующими близнецовые тралы

Отношение $B_{кр}/L_{вп}$	Трал 40/200 м		Трал 80/400 м		Трал 160/800 м	
	$L_{ваер}$, м	$B_{суд}$, м	$L_{ваер}$, м	$B_{суд}$, м	$L_{ваер}$, м	$B_{суд}$, м
0,50	150	71	150	91	150	131
	200	88	200	108	200	148
	250	105	250	125	250	165
	300	122	300	142	300	182

Данные расчёта в табл. 7 получены из тех соображений, что чем короче ваер, тем больше улов, так как в этом случае, в результате действия кильватерной струи, снижается вероятность выхода рыбы в сторону от линии траления, поэтому предлагается устанавливать длину ваеров 150, 200, 250 и 300 метров.

В научной литературе приводятся данные о дистанции реагирования (D_r) и скорости погружения рыб (V_p) при воздействии на косяк шумов судна, буксирующего трал. Так, например, для ставриды и скумбрии D_r составляет более 100 м, а V_p — от 0,2 до 0,5 м/с [Коротков, 1998]. Другие авторы [Мантейфель, 1955; Выскребенцев, 1970; Честной, 1977] приводят данные о том, что при испуге некоторые виды рыб, например, тунцы, могут погружаться со скоростью от 0,7 до 1,1 м/с. Используя эти исходные данные с применением формул (2), (3) и (4), рассчитали вероятность облова погружающегося косяка рыб при скоростях траления 2,0 м/с (около 4 узл.), 2,5 м/с (около 5 узл.) и 3,0 м/с (около 6 узл.) при максимально возможной длине сетной вставки и длине ваеров 150 м (D_r = 146 м). Результаты расчёта показали, что вероятность облова погружающихся скоплений рыб с применением сетной вставки увеличивается на 4–11% для трала 40/200 м; на 12–23% для трала 80/400 м; на 30–53% для трала 160/800 м. Второе заключение касается того, что применение сетной вставки позволяет без увеличения скорости траления облавливать скопления рыб, погружающихся с большей скоростью.

С применением формул (2), (3) и (4), рассчитали также необходимую скорость траления для успешного облова скопления рыб, погружающихся со средними скоростями 0,15 м/с (для трала 40/200 м), 0,30 м/с (для трала 80/400 м) и 0,55 м/с (для трала 160/800 м), а также вероятность облова этими тралами при различной длине сетных вставок. Анализ расчётных данных показал, что для успешного облова рыб скорость

траления обычным близнецовым тралом с одинаковой длиной верхней и нижней подбор ($D_{нп}$ = 0) должна быть выше скорости траления близнецовым тралом с сетной вставкой на 11%, 26% и 70%, соответственно, для тралов 40/200 м, 80/400 м и 160/800 м.

Таким образом, вышеприведённые расчёты указывают на целесообразность применения сетных вставок на нижней подборе близнецового трала с целью снижения скорости траления и одновременного повышения вероятности облова погружающихся скоплений рыб. При этом габаритные размеры серпообразной сетной вставки определяются экспериментальным путём и выбираются в соответствии с реакцией облавливаемых рыб, которая заключается в возможности заглубления косяка с определённой скоростью и выходе рыб из зоны облова под нижней подборой близнецового трала.

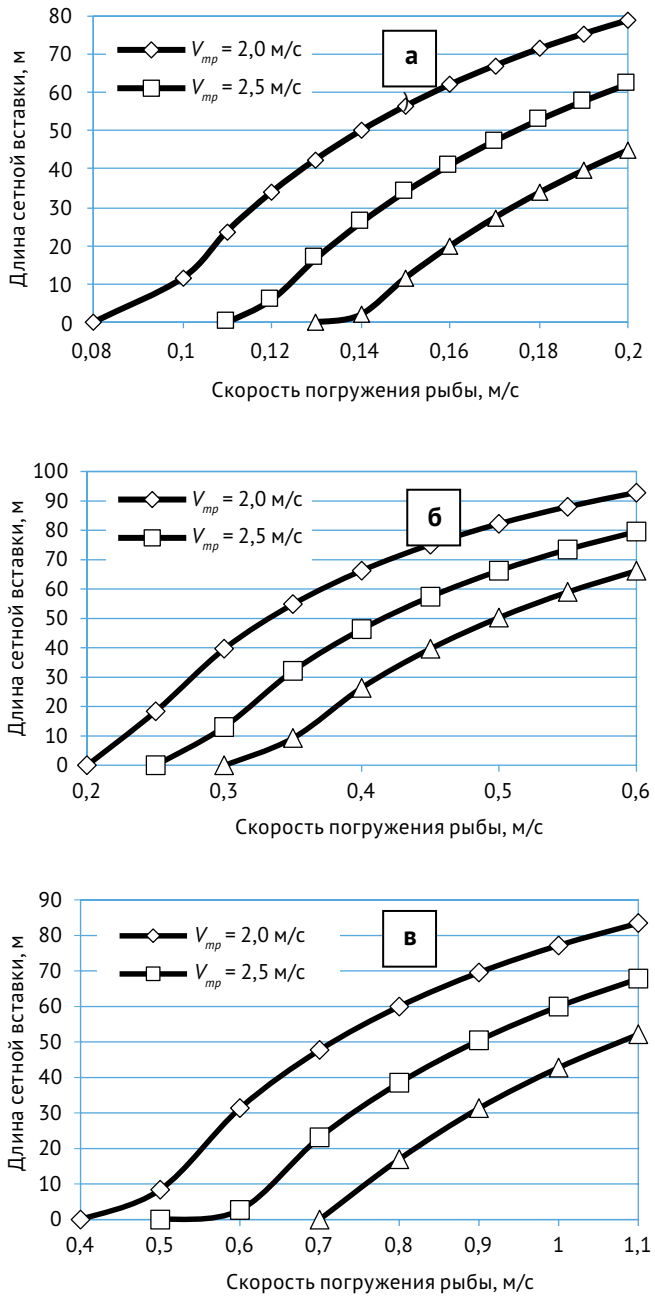


Рис. 6. Длина сетной вставки для облова погружающегося скопления рыб:
а) трал 40/200 м; б) трал 80/400 м; в) трал 160/800 м

На рис. 6 для примера приведены результаты расчёта длины сетной вставки для тралов 40/200 м, 80/400 м и 160/800 м, достаточной для успешного облова скопления рыб, погружающихся с различной скоростью, при скоростях траления, доступных для средне- и крупнотоннажных промысловых судов.

Из графиков на рис. 6 следует, что для скоростей траления 2,0 м/с (около 4 узл.), 2,5 м/с (около 5 узл.) и 3,0 м/с (около 6 узл.) необходимо применение сетной вставки при скоростях погружения рыб более 0,08–0,13 м/с (для трала 40/200 м); более 0,20–0,30 м/с (для трала 80/400 м) и более 0,40–0,70 м/с (для трала 160/800 м). При этом понятно, что максимальные размеры сетной вставки ограничиваются величиной стрелки прогиба верхней подборы, которая для тралов 40/200 м, 80/400 м и 160/800 м составляет, соответственно, 15 м, 30 м и 60 м при отношении $B_{кр}/L_{вп}$ = 0,5 (см. рис. 5). Учитывая это обстоятельство и анализируя графики на рис. 6, можно сделать заключение, что при максимальной длине сетной вставки возможен успешный облов скопления рыб, погружающихся со скоростями от 0,11 м/с до 0,15 м/с (тралом 40/200 м); от 0,27 м/с до 0,42 м/с (тралом 80/400 м); от 0,78 м/с до 1,10 м/с (тралом 160/800 м).

На основе вышеприведённых теоретических предпосылок нами разработано и запатентовано техническое решение по оснастке нижней подборы разноглубинных тралов серпообразной сетной вставкой для увеличения вероятности облова заглубляющихся скоплений рыб [Ерёмин и др., 2019].

ВЫВОДЫ

1. Анализ результатов промысла тихоокеанской сардины иваси и скумбрии российскими судами в СЗТО показал, что среднесуточный вылов сардины иваси оказался наибольшим у судов, работающих близнецовым тралом и кошельковым неводом, а скумбрии — у судов, работающих разноглубинными тралами. Такое распределение

уловов объясняется тактикой лова, а также поведением и распределением по глубине этих двух объектов. Работа разноглубинными тралами производилась, в основном, с крупнотоннажных судов на разных горизонтах со скоростью более 5 узлов, что позволяло в большем количестве облавливать более подвижный объект — скумбрию. Среднетоннажные суда, работая близнецовым тралом и кошельковым неводом в поверхностном слое, в основном, облавливали менее подвижную, находящуюся в верхних слоях, тихоокеанскую сардину иваси.

2. Эффективность добычи тихоокеанской сардины иваси близнецовым тралом в 3,5–4,8 раза выше, чем лов разноглубинными тралами. При добыче скумбрии картина противоположная: эффективность близнецового лова в 3,0–8,9 раз ниже показателей лова разноглубинными тралами. Такое положение вещей указывает на необходимость совершенствования техники и тактики промысла подвижных объектов лова близнецовыми тралами, что предполагает обоснование параметров близнецовой траловой системы в соответствии с энергетическими возможностями промысловых судов различного тоннажа и разработку предложений по совершенствованию оснастки близнецовых тралов для промысловых судов малого и среднего классов.

3. При определении рабочих параметров близнецовых тралов, пригодных для эксплуатации на промысловых судах различного тоннажа, необходимо учитывать полезную тягу судов, которую можно рассчитать по формуле (1). Сравнение полезной тяги судов и сопротивления тралов позволили выявить следующее:

– близнецовыми тралами с номиналом около 40/200 м могут вести добычу иваси промысловые суда с мощностью ГД не менее 220 кВт (РС-300), а скумбрии — не менее 400 кВт (СРТР);

– близнецовыми тралами с номиналом около 80/400 м могут вести добычу иваси суда с мощностью ГД не менее 400 кВт (СРТР), а скумбрии — суда не менее 600 кВт (СРТМ-800);

– близнецовыми тралами с номиналом около 160/800 м могут вести добычу иваси суда с мощностью ГД не менее 600 кВт (СТР-420), а скумбрии — суда не менее 1000 кВт (СТР-503).

4. С целью повышения эффективности близнецового лова с судов малого и среднего классов разработаны рекомендации по оснащению нижней подборы близнецовых тралов серпообразной сетной вставкой, расположенной симметрично диаметральной плоскости трала. Расчётным путём определены параметры близнецовой траловой системы (вероятность облова при различной скорости траления, размеры сетной вставки и необходимая скорость траления) для близнецовых тралов, рекомендованных для использования на промысловых судах малого и среднего классов. Выявлено, что для скоростей траления 2,0 м/с (около 4 узл.), 2,5 м/с (около 5 узл.) и 3,0 м/с (около 6 узл.) необходимо применение сетной вставки при скоростях погружения рыб более 0,08–0,13 м/с (для трала 40/200 м); более 0,20–0,30 м/с (для трала 80/400 м) и более 0,40–0,70 м/с (для трала 160/800 м). При максимальной длине сетной вставки возможен успешный облов скопления рыб, погружающихся со скоростями от 0,11 м/с до 0,15 м/с (тралом 40/200 м); от 0,27 м/с до 0,42 м/с (тралом 80/400 м); от 0,78 м/с до 1,10 м/с (тралом 160/800 м).

ЛИТЕРАТУРА

Абалтусов С.М., Астафьев С.Э., Бойцов А.Н. 1985. Обоснование вертикального раскрытия устья трала по параметрам промысловых скоплений (на примере японской скумбрии) // Обоснование орудий промышленного рыболовства. Владивосток: ТИНРО. С. 34–42.

Выскребенцев Б.В. 1970. Поведение рыб в зоне действия тралящих орудий лова // Биологические основы управления поведением рыб. М.: Наука. С. 267–301.

Габрюк В.И., Чернецов В.В., Бойцов А.Н. 2010. Проектирование ярусных, ловушечных и траловых рыболовных систем. Владивосток: Дальрыбвтуз. 412 с.

Ерёмин Ю.В., Кручинин О.Н., Мизюркин М.А., Захаров Е.А., Волотов В.М., Ваккер Н.Л. 2019. Канатный разноглубинный трал и способ лова рыбы канатным разноглубинным тралом. Патент РФ № 2696081. Бюл. № 22.

Захаров Е.А., Кручинин О.Н. 2016. Некоторые уточнения метода расчёта параметров донной траловой системы // Известия ТИНРО. Т. 184. С. 253–263.

Коротков В.К. 1998. Реакция рыб на трал, технология их лова. Калининград: ЭКБ АО «МАРИНПО». 397 с.

Коротков В.К., Спиридонов В.А., Антропов Г.Л. 1990. Современные методы подводных исследований в промрыболовстве и некоторые особенности распределения и поведения рыб в районах промысла // Обзорная информация ВНИИЭРХ. Серия «Промышленное рыболовство». Вып. 2. 63 с.

Мантейфель Б.П. 1955. Изучение поведения стайных рыб в целях усовершенствования техники их лова // Труды совещания по вопросам поведения и разведки рыб. М.: Изд-во АН СССР. С. 22–26.

Мельников В.Н., Мельников А.В., Мичи А.Н. 1994. Способ лова рыбы тралом. Патент РФ № 2005365. Бюл. № 1.

Мизюркин М.А., Мизюркина А.В., Татарников В.А., Пак А. 2004. Разновидовой промысел. Владивосток: ТИНРО-Центр. 139 с.

Руководство по применению тралов на крупнотоннажных судах ДВ бассейна. 1988. Владивосток: ДВ филиал НПО промрыболовства. 193 с.

Фадеев Н.С. 2005. Справочник по биологии и промыслу рыб северной части Тихого Океана. Владивосток: ТИНРО-Центр. 366 с.

Фридман А.Л. 1969. Теория и проектирование орудий промышленного рыболовства. М.: Пищевая промышленность. 295 с.

Фридман А.Л. 1981. Теория и проектирование орудий промышленного рыболовства. М.: Лёгкая и пищевая пром-сть. 328 с.

Честной В.Н. 1977. Динамика уловистости донных тралов. М.: Пищевая промышленность. С. 23–25.

Поступила в редакцию 06.04.2020 г.
Принята после рецензии 02.10.2020 г.

DOI: 10.36038/2307-3497-2021-184-34-45

Substantiation of the basic parameters of the pair trawl system for ships of small and medium classes

O.N. Kruchinin,
M.A. Mizyurkin,
V.M. Volotov, E.A. Zakharov

Pacific branch of VNIRO (TINRO), Vladivostok, Russia

Materials are presented on the comparative effectiveness of fishing gear used to catch the Pacific sardine and mackerel in the northwestern part of the Pacific Ocean. It has been shown that the efficiency of catch of Pacific sardine by the pair trawl is 3.5–4.8 times higher than fishing by pelagic trawls. When catch mackerel, the picture is the opposite: pair trawl fishing efficiency is 3.0–8.9 times lower than fishing indices with pelagic trawls. This state of affairs indicates the need to improve the technique and tactics of catch of moving fish with pair trawls, which involves substantiating the operating parameters of the pair trawl system in accordance with the energy capabilities of fishing vessels of various tonnage and developing proposals for improving the equipping of the pair trawl system for fishing vessels of small and middle classes. The parameters of pair trawls are theoretically substantiated and a technical proposal has been developed for equipping a pelagic trawl with a net insert, which reduces the likelihood of fish leaving the catch zone under the footrope of pelagic trawl.

Keywords: pair trawl, Pacific sardine, mackerel, indicators of catch of sardines and mackerel, useful traction of vessels, probability of catchby pair trawl, rigging of the pair trawl for fishing vessels of small and middle classes.

REFERENCES

Abaltusov S.M., Astaf'ev S. Eh., Bojtsov A.N. 1985. Obosnovanie vertikal'nogo raskrytiya ust'ya trala po parametram promyslovykh skoplenij (na primere yaponskoj skumbrii) [Substantiation of vertical opening of the trawl mouth by the parameters of commercial accumulations (on the example of Japanese mackerel)] // Obosnovanie orudij promyshlennogo rybolovstva. Vladivostok: TINRO. S. 34–42.

Vyskrebentsev B.V. 1970. Povedenie ryb v zone dejstviya tralyashchikh orudij lova [Behavior of fish in the zone of action of trawling fishing gear] // Biologicheskie osnovy upravleniya povedeniem ryb. M.: Nauka. S. 267–301.

*Gabryuk V.I., Chernetsov V.V., Bojtsov A.*N. 2010. Proektirovanie yarusnykh, lovushechnykh i tralovykh rybolovnykh system [Design of longline, trap and trawl fishing systems]. Vladivostok: Dal'rybvtuz. 412 s.

Eremin Yu.V., Kruchinin O.N., Mizyurkin M.A., Zakharov E.A., Volotov V.M., Vakker N.L. 2019. Kanatnyj raznoglubinnyj tral i sposob lova ryby kanatnym raznoglubinnym tralom [Rope midwater trawl and the method of fishing with a rope midwater trawl]. Patent RF № 2696081. Byul. № 22.

Zakharov E.A., Kruchinin O.N. 2016. Nekotorye utochneniya metoda rascheta parametrov donnoj tralovoj sistemy [Some refinements of the method for calculating the parameters of the bottom trawl system] // Izvestiya TINRO. T. 184. S. 253–263.

Korotkov V.K. 1998. Reaktsiya ryb na tral, tekhnologiya ikh lova [Reaction of fish to trawl, technology of their catch]. Kaliningrad: EHKB AO «MARINPO». 397 s.

Korotkov V.K., Spiridonov V.A., Antropov G.L. 1990. Sovremennye metody podvodnykh issledovanij v promrybolovstve i nekotorye osobennosti raspredeleniya i povedeniya ryb v rajonakh promysla [Modern methods of underwater research in fishing and some features of the distribution and behavior of fish in fishing areas] // Obzornaya informatsiya VNIIEHRKH. Seriya «Promyshlennoe rybolovstvo». Vyp. 2. 63 s.

Mantejfel' B.P. 1955. Izuchenie povedeniya stajnykh ryb v tselyakh usovershenstvovaniya tekhniki ikh lova [Studying the behavior of schooling fish in order to improve the technique of their catching] // Trudy soveshchaniya po voprosam povedeniya i razvedki ryb. M.: Izd-vo AN SSSR. S. 22–26.

Mel'nikov V.N., Mel'nikov A.V., Michi A.N. 1994. Sposob lova ryby tralom [Method of fishing with trawl]. Patent RF № 2005365. Byul. № 1.

Mizyurkin M.A., Mizyurkina A.V., Tatarnikov V.A., Pak A. 2004. Raznovidovoj promysel [Various types of fishing]. Vladivostok: TINRO-Tsentr. 139 s.

Rukovodstvo po primeneniyu tralov na krupnotonnazhnykh sudakh DV bassejna [Guidelines for the use of trawls on large-tonnage vessels of the Far East Basin]. 1988. Vladivostok: DV filial NPO promrybolovstva. 193 s.

Fadeev N.S. 2005. Spravochnik po biologii i promyslu ryb severnoj chasti Tikhogo Okeana [A Handbook on

biology and fisheries fish of the northern part of the Pacific Ocean]. Vladivostok: TINRO-TSentr. 366 s.

Fridman A.L. 1969. Teoriya i proektirovanie orudij promyshlennogo rybolovstva [Theory and Design of Commercial Fishing Tools]. M.: Pishchevaya promyshlennost'. 295 s.

Fridman A.L. 1981. Teoriya i proektirovanie orudij promyshlennogo rybolovstva [Theory and Design of Commercial Fishing Tools]. M.: Legkaya i pishchevaya prom-st'. 328 s.

Chestnoj V.N. 1977. Dinamika ulovistosti donnykh tralov [Dynamics of catchability of bottom trawls]. M.: Pishchevaya promyshlennost'. S. 23–25.

TABLE CAPTIONS

Table 1. Average daily catch of Pacific sardine and mackerel by pair trawl and pelagic trawls, tons

Table 2. Useful traction of fishing vessels of various types (kN)

Table 3. Coefficients, reliability and error of approximation (1) for various types of fishing vessels

Table 4. The calculated value of the resistance of pair trawls of various denominations

Table 5. Estimated useful traction of fishing vessels at trawling speeds suitable for pair fishing of Pacific sardine and mackerel (kN)

Table 6. The calculated values –of the vertical disclosure of pair trawls

Table 7. Estimated distance between ships towing pair trawls

FIGURE CAPTIONS

Fig. 1. Scanmar system tension sensor: a — strain gauge bracket; b — mini transponder

Fig. 2. Content of Pacific sardine and mackerel in catches

Fig. 3. Half the hydrodynamic drag of a trawl 80/396 m

Fig. 4. To the calculation of the probability of catching a deepening accumulation of fish

Fig. 5. The shape of the headline of trawls with the ratio *B(wing)/ L(headline)* = 0.5: a — trawl 40/200 m; b — trawl 80/400 m; c — trawl 160/800 m

Fig. 6. The length of the net insert for catching an immersed accumulation of fish: a — trawl 40/200 m; b — trawl 80/400 m; c — trawl 160/800 m

УДК 639.2.081.117 DOI: 10.36038/2307-3497-2021-184-46-60

Состояние техники и организации снюрреводного лова в прикамчатских водах

А.В. Сошин[1], К.М. Малых[1], О.М. Лапшин[2], И.В. Рой[3], М.Н. Коваленко[1]

[1] Камчатский филиал ФГБНУ «ВНИРО» (КамчатНИРО), г. Петропавловск-Камчатский

[2] ООО «АКВАРОС», Москва

[3] Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ФГБНУ «ВНИРО»), г. Москва

E-mail: malykh@kamniro.ru

В результате выполнения систематического контроля параметров снюрревода датского типа, оснащённого датчиками гидроакустической системы контроля параметров орудий лова «Scanmar», впервые инструментально определены фактические (рабочие) вертикальное и горизонтальное раскрытия снюрревода датского типа, а также определена рабочая форма снюрревода в процессе сбивки и выборки урезов. Показано, что горизонтальное раскрытие снюрревода датского типа в момент окончания сбивки урезов в среднем составляет 21,2 м, вертикальное — 5,3 м, что говорит о том, что в процессе дальнейшей буксировки снюрревода его рабочая форма позволяет успешно облавливать гидробионты. Проанализировано состояние современного снюрреводного лова, качественное и количественное изменение структуры флота на снюрреводном лове. Зафиксировано резкое увеличение использования на Камчатском шельфе конструкций снюрреводов датского типа с укороченными крыльями и большим вертикальным раскрытием. С 2005 по 2018 гг. количество задействованных на снюрреводном промысле судов снизилось на 53%, из них флот малых маломерных судов (длиной менее 24 м.) сократился на 120 ед., малого класса — на 33 ед., тогда как число судов среднего класса, напротив, возросло на 8 ед.

Ключевые слова: снюрревод датского типа, Scanmar, горизонтальное раскрытие, интенсивность лова, интенсивность вылова, прикамчатские воды, структура флота, количество судов.

ВВЕДЕНИЕ

Снюрреводный лов отличается высокой эффективностью на промысле разреженных скоплений донных и придонных видов рыб. Снюрреводы (донные невода) относятся к орудиям лова неводного типа и их отрицательное воздействие на донные экосистемы оценивается как меньшее по сравнению с донными тралами. Подводными наблюдениями установлено, что часть гидробионтов в процессе сбивки урезов уходит из зоны действия снюрревода, а это, прежде всего, неполовозрелые рыбы и донные беспозвоночные. С помощью снюрреводов можно выборочно облавливать отдельные небольшие участки, где из-за преобладания тяжёлых грунтов лов тралами затруднён. Однако, с точки зрения воздействия на экосистему этот вид промысла не вполне отвечает современным требованиям, поскольку снюрреводы обладают слабой видовой избирательностью. Рациональный и эффективный лов рыбы возможен лишь высокоселективными орудиями лова, которые обладают высокими гидромеханическими и эксплуатационными качествами, конструкция которых учитывает все доступные изучению особенности поведения объектов лова.

В последнее десятилетие в снюрреводном промысле в Камчатском регионе произошли существенные изменения. В настоящее время этот вид лова ориентирован на промысел минтая. Впервые его общая доля в объёме вылова снюрреводами превысила остальные объекты лова в 2006 г., а по всем районам промысла в Камчатском регионе минтай вышел на первое место в 2009–2010 гг. [Малых, 2011; Сошин, 2011], и эта тенденция сохраняется до настоящего времени.

Переориентация на промысел минтая определила и конструктивные изменения в снюрреводах. Промысловики начали отдавать предпочтение тем конструкциям, у которых большее вертикальное раскрытие. В настоящее время на промысле широко используются конструкция снюрреводов датского типа у которых, в отличие от снюрреводов дальневосточного типа, больше вертикальное раскрытие и меньше длина крыла.

Роль крыла в этих снюрреводах выполняют голые концы из стального троса, соединяющие верхнюю и нижнюю подборы с клячовками [Коваленко и др., 2012].

Произошли серьёзные изменения в структуре судов, используемых на снюрреводном промысле, и главное, резкое снижение их количества. Так, если в 2010 г. на камчатском шельфе снюрреводами по данным информационной системы (ИС) «Рыболовство» работало 251 судов, то в 2018 г. их общее количество сократилось до 127 судов. Таким образом, сокращение количества флота, задействованного на снюрреводном лове, составило более 50%, при этом снижение общего объёма вылова за этот же период — чуть более 10%. Подобные изменения состояния снюрреводного промысла требуют соответствующего анализа и оценки.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Материалом для исследований параметров снюрреводов, используемых для промысла донных видов рыб в прибрежных водах Восточной Камчатки, послужили результаты работ, проведённых на НИС «МРТК-316» ФГБНУ «КамчатНИРО» в Петропавловск-Командорской подзоне.

Для проведения экспериментальных исследований использовалась конструкция снюрревода, наиболее широко применяемая рыбодобывающими организациями на промысле донных и придонных видов рыб, — снюрревод датского типа с укороченными крыльями 40,3/39,3 м, изготовленный из полиэтиленового сетного полотна. Конструктивно снюрревод выполнен четырёхпластным. Крыловая часть снюрревода изготовлена из дели с шагом ячеи 80 мм, мотенная — из дели с шагом ячеи 80, 60 и 50 мм. В процессе работ использовались мешок длиной 18 м из полиэтиленовой дели с ромбической формой ячеи шагом 50 мм, со вставкой из дели того же материала с шагом ячеи 30 мм. Вооружение и оснастка снюрревода производились по типовой схеме, используемой промысловиками, с учётом конструктивных особенностей снюрревода. Верхняя подбора снюрревода оснащалась кухтылями 2Б-23,5–1200 в количестве 46 штук. В качестве нижней подборы снюрревода использовался комбинированный канат типа «Тайфун» диаметром 16 мм. Для загрузки нижней подборы использовался мягкий набивной грунтроп. Секции грунтропа изготавливались из стального троса диаметром 12 мм, оклетневанного полипропиленовым канатом диаметром 16 мм, на которые нанизывались резиновые грунтропные катушки. Грунтроп крепился к нижней подборе стальными цепочками длиной 0,4 м. Секции грунтропа соединялись между собой бензелями. Общий вес грунтропа составил 230,6 кг.

Технические характеристики снюрревода датского типа 40,3/39,3 м:

Длина верхней подборы, м	40,3
Длина нижней подборы, м	41,2
Периметр устья снюрревода в условной посадке 0,5, м	39,3
Длина снюрревода по топенанту/по дели в жгуте, м	35,0/37,5
Длина мешка снюрревода по топенанту/дели в жгуте, м	18,0/20,0
Вертикальное раскрытие расчётное/фактическое, м	7,0–9,0/7,75

В качестве урезов использовался канат полипропилен-сталь диаметром 28 мм, массой 1 пог. м 0,773 кг. Общая длина урезов составила 3000 м (2×1500 м). Урезы набирались из бухт каната, которые соединялись между собой через вертлюги, врощенные в огоны. Перед началом исследова-



Рис. 1. Схема маркировки урезов

ний урезы размолаживались, тщательно промерялись и разбивались марками по длине. Схема маркировки урезов показана на рис. 1.

Клячовка снюрревода была изготовлена из двух стальных труб диаметром 30 мм, длиной 1,0 м. На концах труб приварены проушины для подсоединения уздечек снюрревода и урезов. Длина голых концов составляла 36 м.

В связи с тем, что замет снюрревода коренным образом отличается от постановки трала, использовать оборудование для контроля орудия лова с кабельным каналом связи не представляется возможным. Во время проведения научно-исследовательских экспериментальных работ на снюрреводном лове использовалась гидроакустическая система «Scanmar» (Норвегия). Информация с датчиков, размещённых на снюрреводе (рис. 2), передаётся на судно в реальном времени по акустическому каналу связи через гидрофон, заглубляемый на 2 м при помощи штанги, установленной с борта, и сохраняется в память рубочного оборудования системы (рис. 3).

Для измерения расстояния между крыльями по клячовкам использовались датчики измерения дистанции, которые устанавливались на сетных вставках между голыми концами. Работа датчиков расстояния системы «Scanmar» для измерения расстояния между крыльями снюрревода возможна только при условии, если крылья снюрревода будут находиться строго в вертикальном положении, для чего, в районе крепления датчиков, дополнительно на верхних голых концах, были установлены пластмассовые кухтыли в количестве двух штук. Сетная вставка между

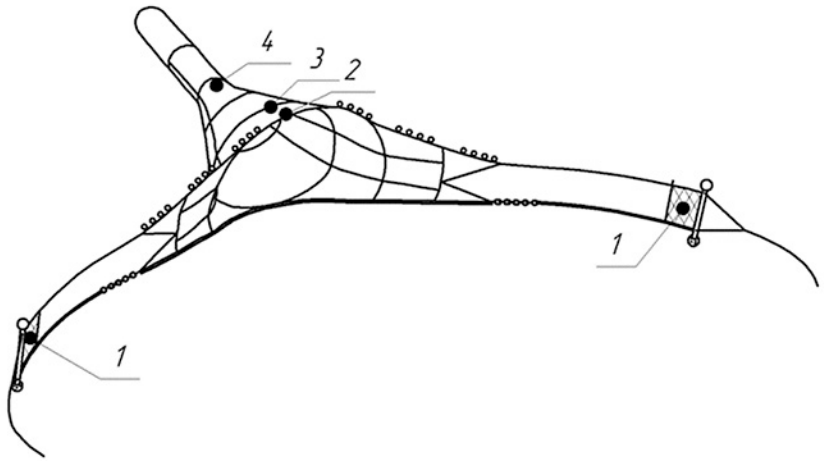


Рис. 2. Схема установки датчиков гидроакустического комплекса «ScanMar» на снюрреводе датского типа:
1 — датчики расстояния; 2 — траловый зонд; 3 — датчик глубины; 4 — датчик температуры



Рис. 3. Рубочное оборудование системы «ScanMar»

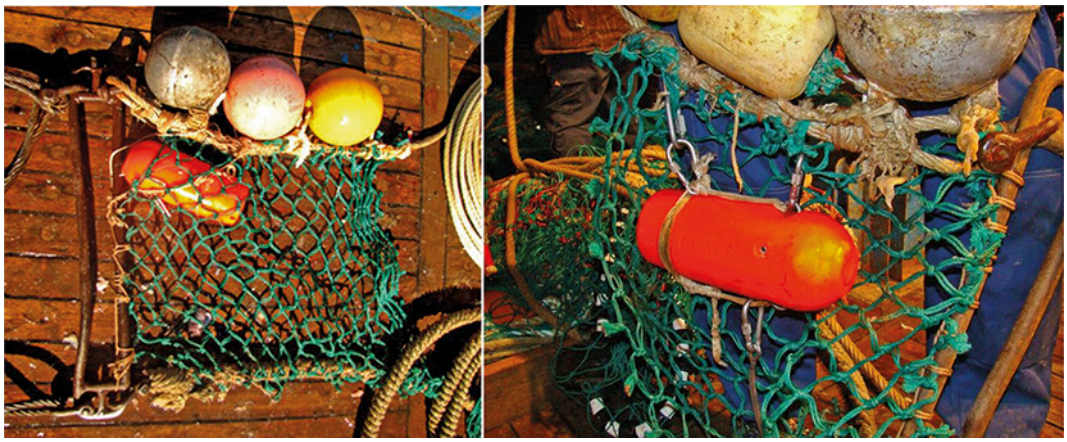


Рис. 4. Размещение датчика расстояния (слева) и минитранспондера (справа) на голых концах снюрревода

голыми концами в районе клячовок и оснастка плавучестью обеспечивали стабильную работу датчиков расстояния (рис. 4).

Материалом для анализа современного состояния организации снюрреводного лова послужили данные информационной системы «Рыболовство» за период 2005–2018 гг. Исходные данные хранятся в базе MySQL, вследствие чего путём sql-запроса производили выборку записей по заданным условиям (временной период, районы промысла), а результаты экспортировали в формат электронных таблиц xlsx. Дальнейшее структурирование, обработку, анализ и визуализацию данных производили в программе Microsoft Excel 2016. Для анализа уловов использовали данные таблицы «catch», для определения структуры флота, задействованного на промысле, используемых орудий лова и расчёта параметров интенсивности промысла — таблицу «operation». В качестве справочных данных ис-

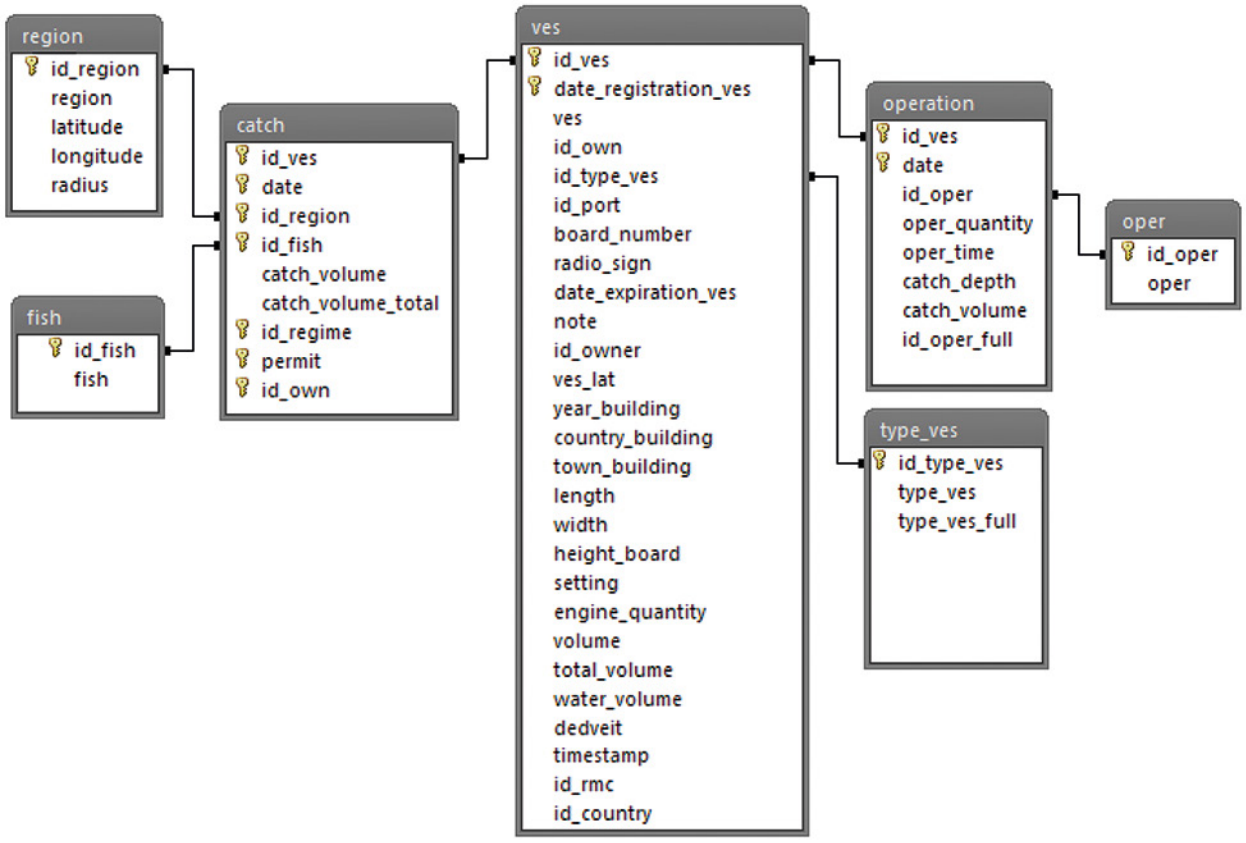


Рис. 5. Блок-схема используемых данных информационной системы «Рыболовство»

пользовали таблицы с заглавием «oper» и «oper_p» (орудие лова), «fish» и «fish_p» (объект промысла), «region» (район промысла), «type_ves» «type_ves_p» (класс и тип судна). Связывающей вышеперечисленные параметры являлась таблица «ves». Структура используемых таблиц представлена на рис. 5.

Средний вылов за судо-сутки лова для каждого типа судна определяли по формуле:

$$P_{ср.сут} = \frac{\sum \frac{P_{сут}}{n}}{m}, \quad (1)$$

где $P_{сут}$ — вылов за сутки лова соответствующего судна; n — количество суток лова соответствующего судна; m — количество судов соответствующего типа.

Средний вылов за замет для каждого типа судна определяли по следующей формуле:

$$P_{ср.зам} = \frac{\sum \frac{P_{сут}}{k}}{m}, \quad (2)$$

где $P_{сут}$ — вылов за сутки лова соответствующего судна; k — количество заметов в сутки соответствующего судна; m — количество судов соответствующего типа.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Определение параметров снюрревода датского типа в процессе лова

При снюрреводном лове улов формируется урезами, которыми охватывается определённая площадь дна. В процессе сбивки урезов ходом судна сконцентрированная рыба захватывается сетной частью снюрревода. Следовательно, процесс сбивки урезов является неотъемлемой частью замкнутого снюрреводного цикла. Сбивка урезов, как правило, состоит из трёх этапов:

1 этап — сбивка урезов на малом ходу судна.

2 этап — сбивка урезов на среднем ходу судна.

3 этап — сбивка урезов на полном ходу.

Средняя продолжительность замета на НИС «МРТК-316» составила 71,4 мин. Выметка урезов и снюрревода, взятие урезов на стопор в среднем занимали 15,6 мин, сбивка урезов — 25,4 мин, выборка урезов — 30,5 мин.

В процессе выполнения научно-исследовательских работ на снюрреводном лове на промысле донных и придонных видов рыб была отработана методика измерения рабочих параметров снюрревода с использованием гидроакустического комплекса «Scanmar», получены зависимости между рабочими параметрами снюрревода на разных этапах выполнения замета и определена рабочая форма снюрревода после постановки и в процессе сбивки и выборки урезов.

В результате обработки полученных данных было установлено, что в начальный момент сбивки урезов горизонтальное раскрытие снюрревода датского типа 40,3/39,3 м по клячовкам составляет в среднем 76 м. По окончании процесса сбивки продолжительностью 20 мин., когда урезы «сходились», горизонтальное раскрытие составляло 17–26 м (в среднем 21,2 м). Данные от датчика измерения скорости движения снюрревода и время промысловой операции позволили рассчитать пройденный путь снюрревода в течение сбивки урезов и определить схему движения снюрревода в этот период (рис. 6).

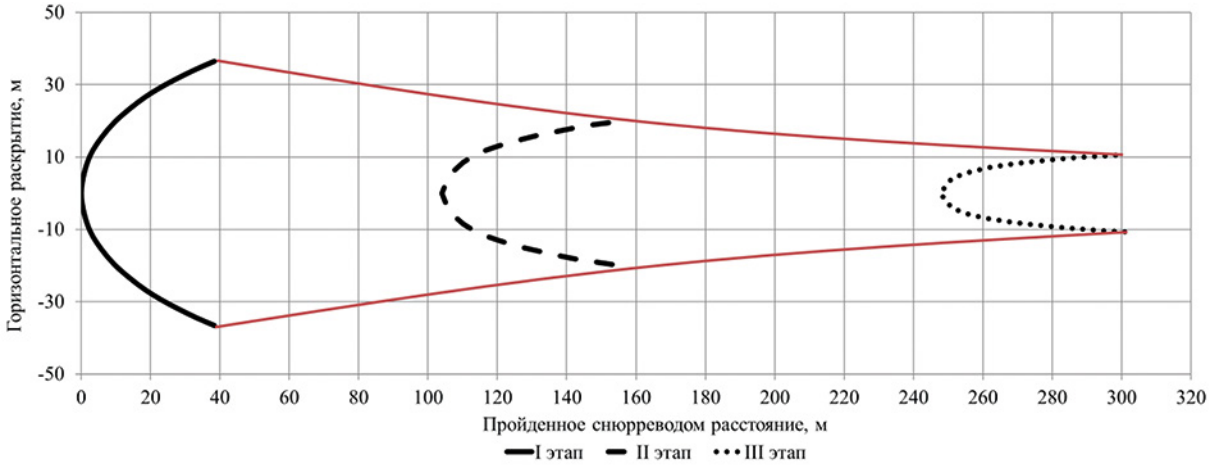


Рис. 6. Горизонтальное раскрытие снюрревода датского типа (по сетной части) в период сбивки урезов

В результате анализа данных, полученных при помощи системы «ScanMar» и автономных подводных видеосистем, получена новая информация о механике работы снюрреводов датского типа, которая свидетельствует, что снюрреводы данной конструкции сохраняют рабочую форму на протяжении всего процесса сбивки урезов до начальной стадии их выборки, а, следовательно, сохраняют способность облавливать гидробионты (рис. 7) в случае его дальнейшей буксировки.

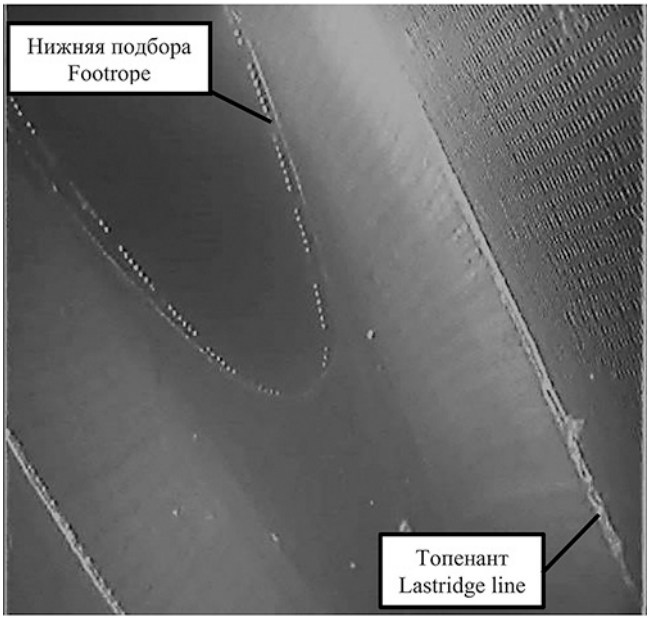


Рис. 7. Кадр из видеозаписи, полученной при помощи автономной подводной видеосистемы, установленной на верхней подборе снюрревода (вид на нижнюю подбору)

Для подтверждения этой теории был выполнен эксперимент с увеличенной продолжительностью сбивки (до 66 мин.). Было установлено, что при этом расстояние между клячовками остаётся в пределах 11–18 м (рис. 8), что говорит о сохранении снюрреводом рабочей формы.

По окончании сбивки урезов, когда стопорят ход судна и начинают выборку урезов, происходит резкое увеличение (на 12–30%, в среднем на 14%) горизонтального раскрытия снюрревода (рис. 9). Это обусловлено тем, что при остановке судна на время снижается тяга на урезах, а сохранение рабочей формы снюрреводов (увеличение горизонтального раскрытия) происходит за счет сопротивления сетной оболочки, конструкция которой способна обеспечивать рабочее горизонтальное раскрытие без дополнительных распорных средств. Процесс схождения клячовок («складывания» снюрревода) начинается через 10–13 мин. после начала выборки, когда выбрано около 1/3 урезов.

Изменение вертикального раскрытия в процессе сбивки урезов представлено на рис. 10. После погружения снюрревода его вертикальное раскрытие в среднем составляет 21 м. В процессе движения снюрревод приобретает рабочую форму, его вертикальное раскрытие достигает 7,75 м, а к концу сбивки, проходящей на полном ходу судна, снижается до 5,3 м.

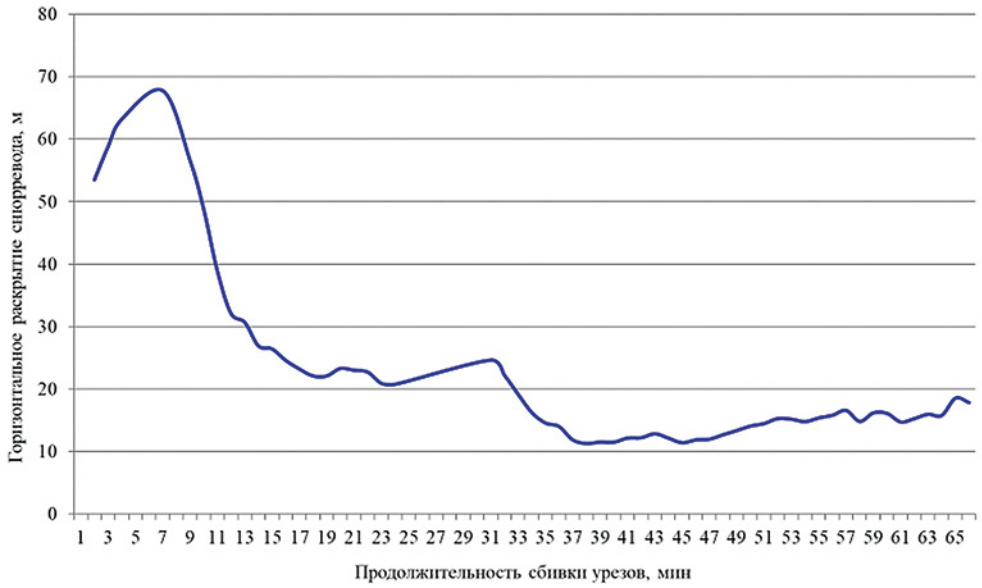


Рис. 8. Горизонтальное раскрытие снюрревода в процессе сбивки урезов с увеличенной продолжительностью



Рис. 9. Изменение горизонтального раскрытия снюрревода в процессе выборки урезов ($n_{замётов}$= 46)

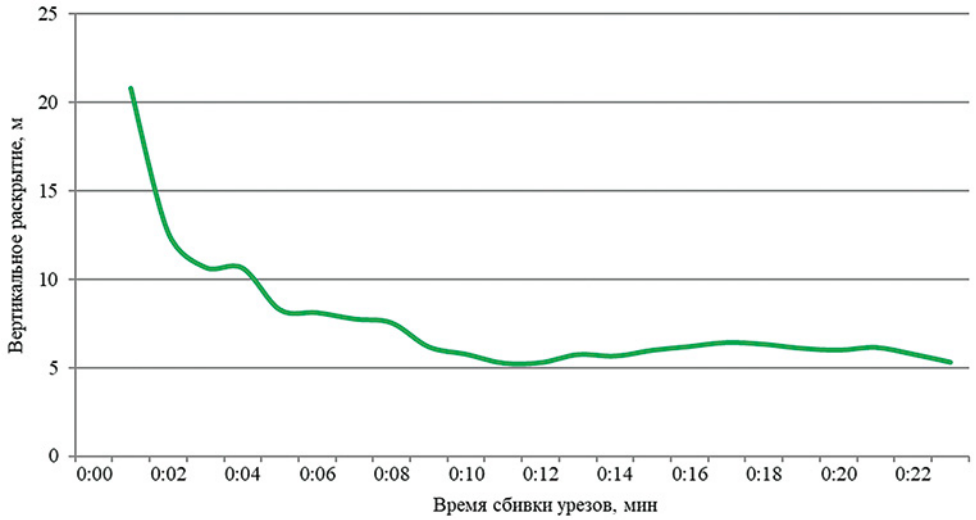


Рис. 10. Изменение вертикального раскрытия снюрревода во время сбивки урезов ($n_{замётов}$= 46)

Состояние организации снюрреводного лова на Камчатке

Снюрреводный промысел, несмотря на все изменения, происходящие в настоящее время, по-прежнему остаётся вторым по значению после тралового лова судовым способом добычи (вылова) на Камчатском шельфе. Общий вылов гидробионтов снюрреводами в 2018 г. составил 259 тыс. т. (по состоянию на 01.01.2019 г.), или 16,9% от всего вылова рыбодобывающими судами на Камчатке (рис. 11). Эта величина на 945 т меньше, чем в 2017 г., и на 29 тыс. т. ниже уровня 2010 г., являющегося рекордным для снюрреводного лова за последние 14 лет.

Переориентация снюрреводного лова на промысел минтая определило резкое увеличение использования конструкции снюрреводов датского типа с укороченными крыльями и большим вертикальным раскрытием. Доля их среди прочих конструкций в 2005 г. составляла всего 13%, в 2010 г.– 44%, а к 2018 г. достигла 63% (рис. 12).

Динамика вылова по классам судов представлена на рис. 13. С 2010 г. наблюдается тенденция к сокращению общего вылова малыми маломерными судами, в меньшей степени — малыми. Вылов судами среднего класса в 2018 г. является историческим максимумом, превысившим прежнее максимальное значение 2015 г. (110 тыс. т).

В 2018 г. на шельфе Камчатки на снюрреводном лове было задействовано 127 судов. Основу флота (101 ед.) составляют суда малого маломерного (длиной менее 24 м) — 68 ед. и малого класса (длиной 24–34 м) — 33 ед., в т. ч. 67 судов ма-

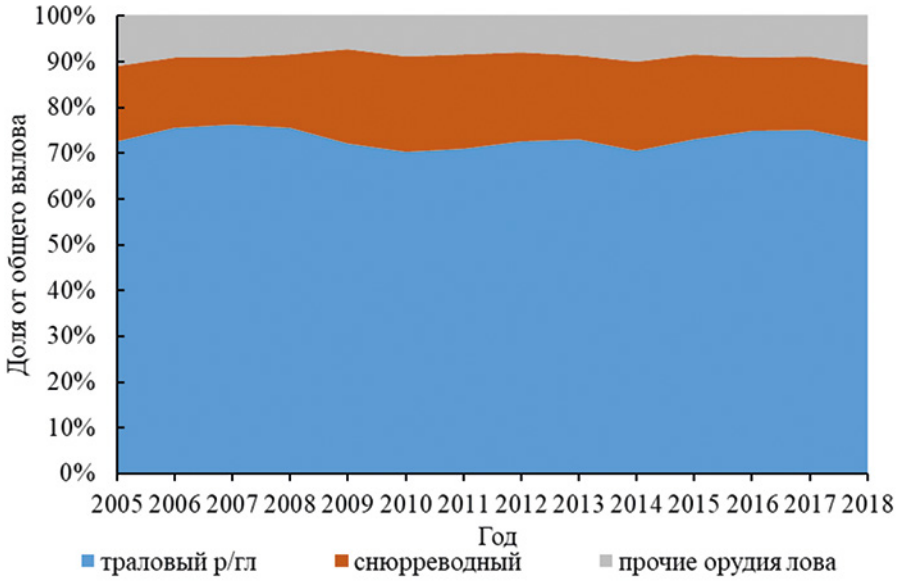


Рис. 11. Доля вылова снюрреводами по отношению к другим орудиям добычи в прикамчатских водах в период 2005–2018 гг.

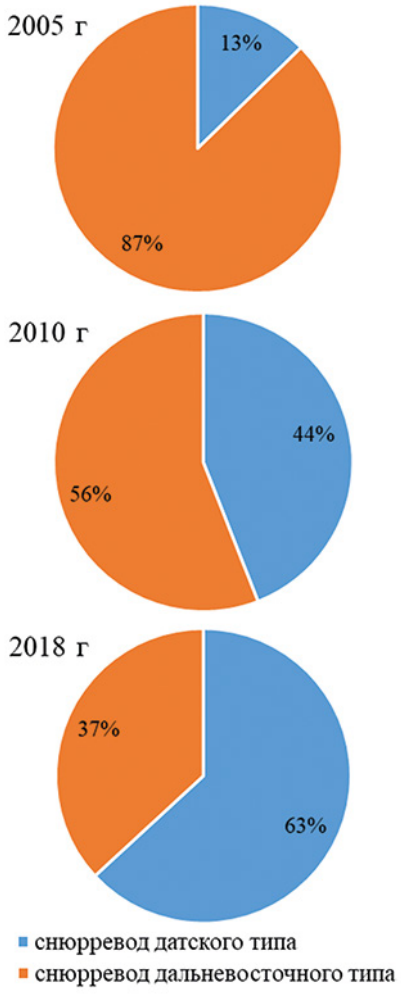


Рис. 12. Доля общего вылова снюрреводами по типу применяемой конструкции

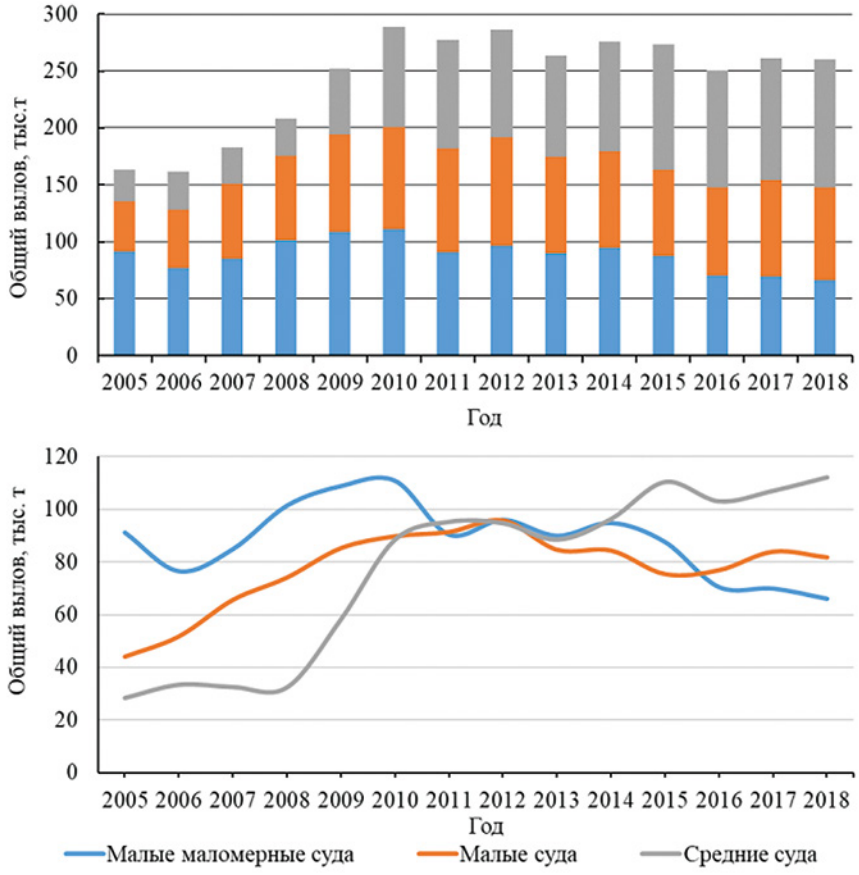


Рис. 13. Общий вылов снюрреводами по классам судов в период 2005–2018 гг.

лого класса и 26 судов малого маломерного класса имеют порт приписки г. Петропавловск-Камчатский (табл. 1). В состав флота входят суда типа МРС-150 пр. 372 – 31 ед., пр. 1338К — 18 ед., пр. 1338П –13 ед., ММРТР типа «Балтика» пр. 1328, МРС-225 пр. 1322 и ММРС типа «Керчанин» пр. 1330 — по 2 ед. типа РС различных проектов — 30 ед., МКРТМ — 2 ед. и МРТР — 1 ед. Среднетоннажный флот (суда длиной от 34 до 65 м) состоит из 26 судов, в том числе 20 судов имеют порт приписки г. Петропавловск-Камчатский. Данный класс представлен судами типа СТР пр. 420 – 22 ед., СРТМ различных проектов – 3 ед. и 1 ед. СТР пр. 503. С 2005 г. количество задействованных на снюрреводном промысле судов снизилось на 145 ед. (на 53%), из них 120 судов малого маломерного флота, 33 судна малого класса. При этом число судов среднего класса, напротив, возросло на 8 ед. (рис. 14).

Основными причинами сокращения малого и малого маломерного флота являются физический и моральный износ судов, а главное, переориентация рыбопромышленников на береговую добычу и переработку тихоокеанских лососей.

Следствием снижения числа судов является потеря рабочих мест — для 120 судов малого маломерного класса требуется порядка 960 рабочих мест, из них 480 с квалификацией штурмана

Таблица 1. Количество судов, задействованных на снюрреводном промысле в водах Камчатки в период 2005–2018 гг.

Класс судна, порт приписки (Vessel class, port of registry)	Год (Year)													
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Малые маломерные суда	**188**	**185**	**178**	**165**	**168**	**164**	**151**	**136**	**129**	**123**	**118**	**82**	**66**	**68**
Петропавловск-Камчатский	185	183	175	163	167	163	151	136	128	123	118	82	66	67
Находка														1
Невельск	3	3	2	1	1	1								
прочий порт РФ									1					
Хасанск			1	1										
Малые суда	**66**	**74**	**74**	**73**	**64**	**60**	**59**	**58**	**53**	**46**	**39**	**34**	**34**	**33**
Петропавловск-Камчатский	45	50	54	52	48	48	48	47	40	33	27	26	26	26
Находка	2			2	2		1	1	2	2	3			
Невельск	17	19	14	14	13	10	10	9	9	9	8	8	8	7
Владивосток	1	4	4	3				2	2	1				
Магадан						1	1	1						
Охотск	2	2	2	2	2									
Хасанский МКП						1				1	1			
Средние суда	**18**	**21**	**20**	**17**	**23**	**27**	**32**	**32**	**31**	**26**	**25**	**27**	**28**	**26**
Петропавловск-Камчатский	16	18	17	14	17	22	22	24	22	19	20	21	21	20
Находка				1	1	3	4	4	4	4	4	4	4	4
Невельск		1	2		2	1	3	4	4	3	1	1	2	2
Владивосток	2				1	1	3					1	1	
Магадан							1							
Совгавань		2	1											
Таганрог									1	1				
Холмск				2	3									

Примечание: при переводе из одного порта приписки в другой в течение рассматриваемого календарного года некоторые суда учитываются дважды.

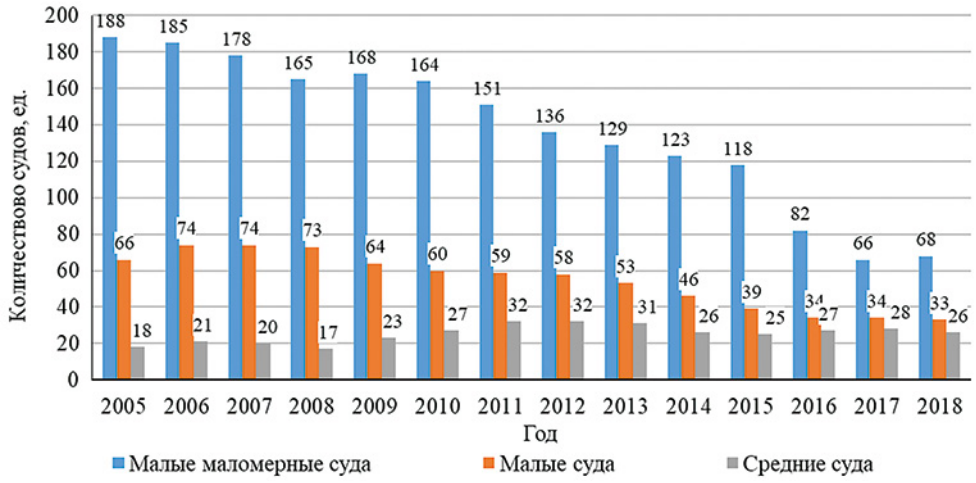


Рис. 14. Изменение структуры рыбодобывающего флота, задействованного на снюрреводном промысле в период 2005–2018 гг.



Рис. 15. Количество судо-суток, отработанных флотом на снюрреводном лове в период 2005–2018 гг.

и судомеханика. На малых судах этот показатель составляет 396 и 165 рабочих мест соответственно. Следовательно, с 2005 г. рыбодобывающая отрасль потеряла в общем итоге 1356 рабочих мест, из них 645 мест, требующих специалистов высокой квалификации.

Снюрреводным флотом в 2018 г. отработано 9511 судо-суток на лову, из них среднетоннажным флотом — 2946 судо-суток, малыми судами — 3009 судо-суток, малыми маломерными — 3556 судо-суток. По сравнению с 2017 г., снижение незначительно — 0,4%, однако по сравнению с 2005 г. количество отработанных судо-суток на лову снизилось более чем на 45%. При этом снижение числа судо-суток на лову у малого маломерного флота, за этот период, составило 66%, у малых судов — 43%, а у средних судов возросло на 67% (рис. 15).

В 2018 г. на Камчатском шельфе рыбодобывающим флотом выполнено 22387 замётов снюрреводами, из них среднетоннажными судами — 7748, малыми — 8034 и малыми маломерными — 6605. За рассматриваемый период общее количество замётов снизилось на 53%, при этом максимальное снижение (–79%) наблюдается на малом маломерном флоте, умеренное — у малых судов (–35%), у средних судов число выполненных замётов возросло на 68% (рис. 16).

Несмотря на нисходящие тренды вышеперечисленных параметров, у каждого класса судов наблюдается рост интенсивности лова (рис. 17). Факторный анализ выявил множество двусторонних связей между параметрами интенсивности лова у малого и малого маломерного класса и показал, что на изменение величины общего вылова, в большей степени, влияет количество

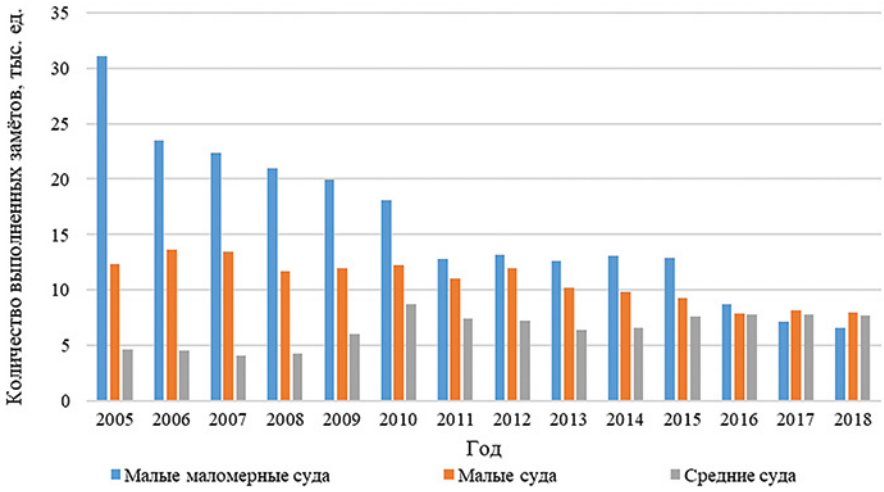


Рис. 16. Количество выполненных снюрреводных замётов в период 2005–2018 гг.

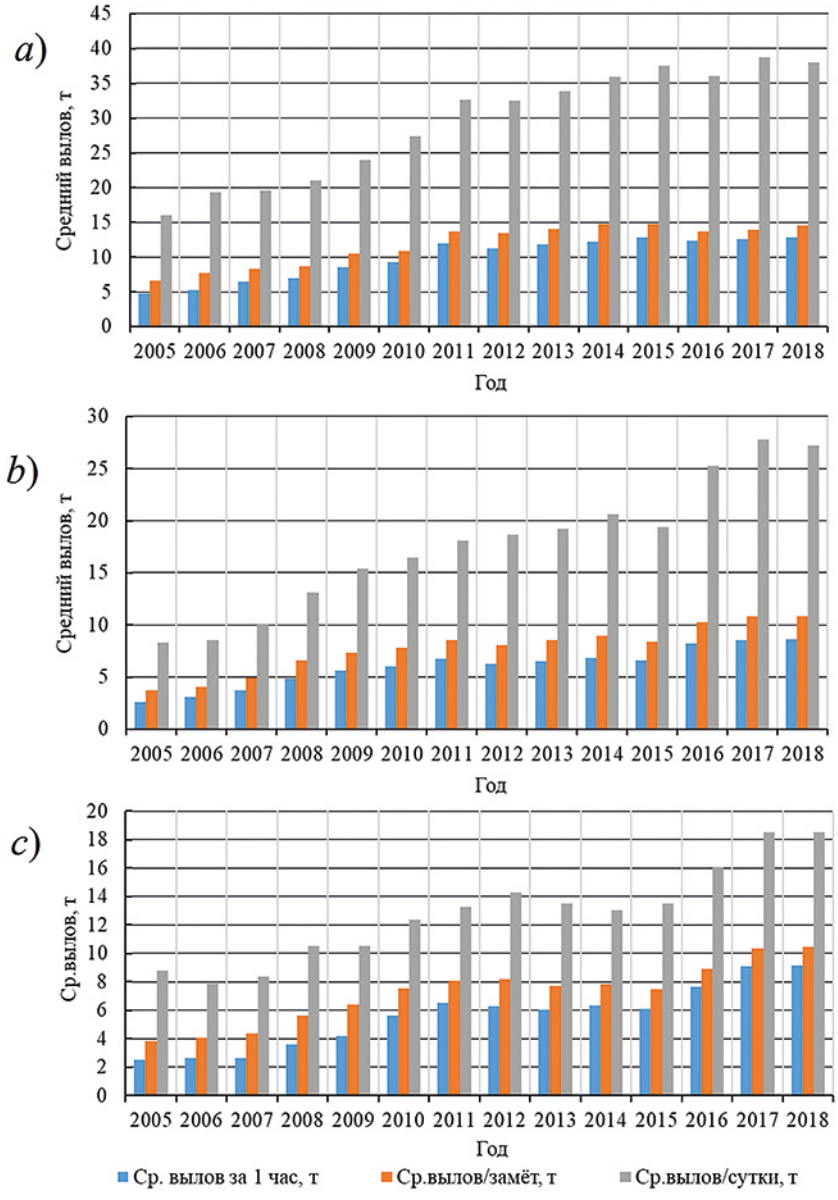


Рис. 17. Параметры интенсивности лова по классу судна в период 2005–2018 гг.
a — средние суда, *b* — малые суда, *c* — малые маломерные суда

задействованных судов малого маломерного флота, в меньшей — количество задействованных судов малого флота, тогда как число судов среднего класса, в силу незначительных пределов изменения величин, не коррелирует ни с одной из исследуемых переменных. Положительные значения переменных интенсивности лова на малом и малом маломерном флоте, при отрицательных значениях числа задействованных судов и общего вылова, говорят об обратной статистической связи — повышении эффективности лова оставшимися на промысле судами.

Значения параметров интенсивности лова среднетоннажным флотом, с прямой статистической связью, были выделены в отдельный фактор, изолирующий их от влияния других переменных, выбранных для анализа. Это может говорить о том, что в течение всего рассматриваемого периода, данная группа судов, независимо от изменений в промысловой обстановке, ежегодно изымает часть гидробионтов, постепенно наращивая интенсивность лова, также за счёт повышения качественных показателей лова. Это свидетельствует о благоприятной промысловой обстановке, сложившейся во всех основных районах снюрреводного промысла, повышении эффективности использования времени на лову рыбодобывающими судами и орудий добычи (вылова) (рис. 17).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Комплексные исследования с применением гидроакустических приборов на снюрреводном лове в России проведены впервые, что позволило выйти на новый уровень в области исследований механики снюрреводов. Использование гидроакустической системы «Scanmar» повысило обеспеченность оперативной информацией о характеристиках натурного движущегося орудия лова, а применение дополнительных датчиков позволило проследить связь между разными параметрами орудия лова.

В процессе исследований с использованием гидроакустической системы «ScanMar» впервые было установлено, что по окончанию цикла сбивки урезов снюрреводы датского типа, в отличие от дальневосточных, «не складываются». Горизонтальное раскрытие в среднем составляет 21,2 м, вертикальное — 5,3 м, что в процессе дальнейшей буксировки снюрревода позволяет успешно облавливать гидробионты. Таким образом, площадь облова у снюрреводов датского типа обеспечивается не только длиной урезов, но и продолжительностью его буксировки. Это подтверждается тем, что в последние годы общая длина урезов, используемых на добывающих судах, заметно сократилась.

В дальнейшем при проведении исследований по определению уловистости различных типов снюрреводов необходимо провести калибровочные заметы снюрреводом дальневосточного типа с использованием комплекса «Scanmar» для установления состояния рабочей формы снюрревода, как в процессе сбивки, так и выборки урезов, что позволит уточнить зону облова снюрреводов этого типа. Кроме того, проведение данных исследований позволит сравнить результаты инструментальных методов расчёта зоны действия снюрреводов с теоретическими методиками, разработанными на кафедре промышленного рыболовства Калининградского государственного технического университета [Фридман, 1969; Недоступ и др., 2016]. Рассматривая перспективы развития снюрреводного промысла в Камчатском крае, можно предположить, что сложившаяся тенденция сохранится и в ближайшем будущем. Большая часть судов, занятых на снюрреводном промысле в настоящее время, остаётся в эксплуатации только за счёт восстановительного ремонта. Пополнение флота новыми судами отечественной постройки отсутствует, эпизодически поступают суда в основном малого и среднего класса иностранной постройки.

Несмотря на то, что состояние сырьевых ресурсов позволяет увеличивать объёмы добычи, происходит снижение интенсивности вылова за счёт резкого сокращения численности снюрреводного флота. При этом степень сокращения общего объёма вылова снюрреводами в некоторой мере компенсируется ростом интенсивности лова за счёт повышения эффективности работы судов, что подтверждается ростом вылова за замет и за час лова, при неизменном показателе времени нахождения на лову.

ЛИТЕРАТУРА

Коваленко М.Н., Широков Е.П., Малых К.М., Сошин А.В., Адамов А.А. 2012. Снюрреводный лов. /ред. М.Н. Коваленко. Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО. 168 с.

Малых К.М. 2011. Современный снюрреводный промысел на шельфе Камчатки // Межд. науч.-практ. конф., посвящённая 125-летию со дня рождения Ф.И. Баранова. Калининград: КГТУ. С. 159–168.

Недоступ А.А., Ражев А.О., Соколова Е.В., Макаров В.В. 2016. Математическое моделирование орудий и процессов рыболовства. ч. 3. Калининград: КГТУ. 184 с.

Сошин А.В. 2011. Результаты исследования селективных качеств сетной оболочки снюрреводов датского типа // Межд. науч.-практ. конф., посвящённая 125-летию со дня рождения Ф.И. Баранова. Калининград: КГТУ. С. 149–158.

Фридман А.Л. 1969. Теория и проектирование орудий промышленного рыболовства. М.: Пищевая промышленность. 568 с.

Поступила в редакцию 12.03.2020 г.
Принята после рецензии 27.02.2020 г.

DOI: 10.36038/2307-3497-2021-184-46-60

State of technique and organization of Danish seine fishery in Kamchatka waters

A.V. Soshin[1],
K.M. Malykh[1],
O.M. Lapshin[2],
I.V. Roy[3],
M.N. Kovalenko[1]

[1] Kamchatka Branch of VNIRO (KamchatNIRO), Petropavlovsk Kamchatsky, Russia

[2] LLC AQUAROS, Moscow, Russia

[3] Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (VNIRO), Moscow, Russia

E-mail: malykh@kamniro.ru

As a result of systematic monitoring of the parameters of the of Danish type danish seine equipped with sensors of ScanMar catch control system for the first time, the actual (working) vertical and horizontal openings of Danish type danish seine are instrumentally determined, as well as the working form of the danish seine in the process of running down and hauling wires. It has been shown that the horizontal opening of the Danish-type danish seine at the moment of the end of the running down wires is on average 21.2 m, the vertical one — 5.3 m, which suggests that in the process of further towing of the snurrevod its working form makes it possible to successfully catch aquatic organisms. The state of modern danish seine fishing, the qualitative and quantitative changes of the fleet structure on a danish seine fishing are analyzed. A sharp increase in the use of Danish-type danish seine structures with shortened wings and large vertical opening was recorded on the Kamchatka shelf. 2005 to 2018 the number of vessels involved in the danish seine fishing decreased by 53%, of which the small small fleet decreased by 120 units, the small class fleet — by 33 units, while the number of middle class vessels, on the contrary, increased by 8 units.

Keywords: danish type danish seine, Scanmar, horizontal opening, catch intensity, kamchatka waters, fleet structure, number of vessels.

REFERENCES

Kovalenko M.N., Shirokov E.P., Malykh K.M., Soshin A.V., Adamov A.A. 2012. Snyurrevodnyj lov [Danish seine fishing]. /red. M.N. Kovalenko. Petropavlovsk-Kamchatskij: KamchatNIRO. 168 s.

Malykh K.M. 2011. Sovremennyj snyurrevodnyj promysel na shel'fe Kamchatki [Modern danish seine fishery on the shelf of Kamchatka] // Mezhd. nauch.-prakt. konf., posvyashchennaya 125-letiyu so dnya rozhdeniya F.I. Baranova. Kalinin-grad: KGTU. s. 159–168.

Nedostup A.A., Razhev A.O., Sokolova E.V., Makarov V.V. 2016. Matematicheskoe modelirovanie orudij i protsessov rybolovstva [Mathematical modeling of fishing gears and processes]. CH.3. Kaliningrad: KGTU. 184 s.

Soshin A.V. 2011. Rezul'taty issledovaniya selektivnykh kachestv setnoj obolochki snyurrevodov datskogo tipa [Results of a study of the selective qualities of the netting of the Danish-type danish seines] // Mezhd. nauch.-prakt. konf., posvyashchennaya 125-letiyu so dnya rozhde-niya F.I. Baranova. Kaliningrad: KGTU. s. 149–158

Fridman A.L. 1969. Teoriya i proektirovanie orudij promyshlennogo rybolovstva [Theory and Design of Commercial Fishing Gears]. M.: Pishchevaya promyshlennost'. 568 s.

TABLE CAPTIONS

Table 1. The number of vessels involved in the danish seine fishing in the waters of Kamchatka in 2005–2018

FIGURE CAPTIONS

Fig. 1. The scheme of marking of wires

Fig. 2. Installation diagram of ScanMar catch control system sensors in Danish type danish seine: 1 — distance sensors; 2 — trawlsounder; 3 — depth sensor; 4 — temperature sensor.

Fig. 3. The position of the rod with a portable hydrophone on the R/V «MRTK-316» in the traveling mode

Fig. 4. ScanMar catch control bridge system

Fig. 5. Placement of the distance sensor (left) and the minitransponder (right) at the bare ends of the danish seine

Fig. 6. A block diagram of the data of information system «Fisheries»

Fig. 7. Horizontal opening of the Danish type danish seine (by the net part) in the period of running down of wires

Fig. 8. Frame from the video obtained with the autonomous underwater video system installed on the headrope of danish seine (view to the footrope)

Fig. 9. Horizontal opening of the danish seine in the process of running down the wires with increased duration

Fig. 10. Changing the horizontal opening of the danish seine in the process of hauling wires (*nobservation* = 46 points)

Fig. 11. Changing the vertical opening of the danish seine in the process of running down the wires (*nobservation* = 46 points)

Fig. 12. The proportion of danish seine catches in relation to other fishing gears in the Kamchatka waters in the 2005–2018.

Fig. 13. The proportion of danish seine total catches by the type of used construction

Fig. 14. The total catch of danish seine by vessels classes in 2005–2018

Fig. 15. Changes in the structure of the fishing fleet involved in the danish seine fishing in 2005–2018

Fig. 16. Amount of days worked by the fleet on the danish seine fishing in 2005–2018

Fig. 17. Amount of danish seinings made in the 2005–2018

Fig. 18. Parameters of the intensity of fishing according to the vessel class in 2005–2018: *a* — medium vessels, *b* — small vessels, *c* — very small vessels

УДК: 639.28 DOI: 10.36038/2307-3497-2021-184-61-72

Методический подход к оценке травматической гибели криля, прошедшего сквозь ячею трала

В.В. Акишин,
И.Г. Истомин,
В.А. Татарников

Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ФГБНУ «ВНИРО»), г. Москва

E-mail: akishin@vniro.ru

Промысел антарктического криля *Euphasia superba* в течение нескольких десятилетий осуществляется разноглубинными тралами различных конструкций, в том числе бимтралами. При проведении траления в улов попадает не весь криль, оказавшийся в зоне облова разноглубинного трала. В зависимости от структуры стай, размера и физиологического состояния особей криля часть рачков проходит через сетную оболочку трала и избегает поимки. Соприкасаясь с нитями сетного полотна, рачки могут получить механические повреждения, способные привести к их гибели. Предлагаемая методика применима для оценки травматической гибели криля, прошедшего в процессе траления через сетную оболочку трала, только при ведении промысла с подъёмом орудия лова с уловом на борт судна. Для аналогичной оценки травматической гибели криля при ведении промысла с использованием рыбонасоса необходимо разработать специальные методы получения исходного материала для проведения экспериментов. Однако, учитывая тот факт, что конструкции тралов, используемых при этих вариантах ведения промысла, аналогичны или несущественно отличаются от первого, полученные результаты можно интерполировать и на них. Сбор особей криля, прошедших в процессе траления через ячеи сетного полотна орудия лова, осуществляется с помощью специально изготовленных сетных мешков-уловителей, устанавливаемых на сетную оболочку исследуемого трала. При выборке трала криль, попавший в процессе траления в эти уловители, изымается и затем помещается в специальные ёмкости с морской водой для проведения аквариальных исследований по определению его выживаемости.

Ключевые слова: антарктический криль *Euphasia superba*, разноглубинные тралы, отсев криля, мелкоячейные уловители, травматическая гибель, аквариальные эксперименты.

ВВЕДЕНИЕ

Промысел антарктического криля *Euphasia superba* Dana, 1852 в течение нескольких десятилетий осуществляется разноглубинными тралами различных конструкций, в том числе разноглубинными бимтралами. При этом на траулерах используются три основных варианта ведения лова: дискретный лов (отдельные траления) с подъёмом орудия лова с уловом на борт судна; дискретный лов с гидротранспортированием улова на борт судна с помощью рыбонасоса; непрерывный лов с гидротранспортированием улова на борт судна насосом [Akishin et al., 2012].

При проведении траления орудие лова либо прицельно наводится на отдельные плотные скопления, либо облавливает слой воды с находящимися в нём скоплениями криля. При этом в улов попадает не весь криль, оказавшийся в зоне действия разноглубинного трала. В зависимости от структуры стай, размера и физиологического состояния особей криля часть рачков проходит через сетную оболочку трала и избегает поимки. Этот процесс происходит по всей длине орудия лова как в передних частях трала, так и в мешке, и называется селективностью. В большинстве крилевых тралов размер ячеи сетного полотна максимален в передних секциях и постепенно уменьшается по мере приближения к мешку, где он минимален [Акишин, 1998].

Вопросы травматической гибели криля, отсеянного орудием лова, вызывали большой интерес у исследователей и обсуждались на заседаниях рабочей группы АНТКОМ [Воронина, 1993; Korotkov, Kasatkina, 2010; Akishin et al., 2012]. Наблюдения за объячеянным крилем показали, что чаще всего рачки зажимались и травмировались в острых углах, образованных нитями ромбической ячеи [Норинов, Ефанов, 1993].

Экспериментальные работы по оценке выживаемости криля, прошедшего через сетную оболочку трала, проводившиеся специалистами [Акишин, 1993; Норинов, Ефанов, 1993], дали соизмеримые результаты. Так В.В. Акишиным в 1988 г. было установлено, что доля живого криля, вышедшего в конусной части мешка через дель с шагом ячеи 12 мм, составила 67%, а вышедшего в цилиндрической части через дель с шагом ячеи 10 мм, составила 80%. Однако сохранение активности в течение длительного интервала времени и визуальная, без оптики, констатация повреждений не являются гарантией полной жизнеспособности рачков [Воронина, 1993].

Целью исследования является разработка методического подхода к оценке травматической гибели криля, прошедшего сквозь ячею трала, для последующего создания стандартной методики количественной оценки смертности отсеявшихся рачков при промысле криля.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Сбор особей криля, прошедших в процессе траления через ячеи сетного полотна орудия лова, осуществляется методом применения мелкоячейных покрытий (уловителей) [Трещев, 1974], то есть с помощью специально изготовленных сетных мешков-уловителей, устанавливаемых на сетную оболочку исследуемого трала. При выборке трала криль, попавший в процессе траления в эти уловители, изымается и затем помещается в специальные ёмкости с морской водой для проведения аквариальных исследований по определению его выживаемости.

В научной литературе вопрос о работоспособности мелкоячейных крилевых уловителей практически не обсуждался. Отмечалась лишь возможность затормаживания выхода рачков через оболочку трала в местах установки уловителей [Воронина, 1993].

К основным проблемам, потенциально возникающим при применении мелкоячейных уловителей для исследования травматической гибели криля, отсеянного орудием лова, относятся:

– травмирование криля в уловителях в процессе траления и выборки орудия лова;

– возможность активного избегания рачками уловителя в результате поведенческой реакции или пассивного сноса криля мимо уловителя из-за гидродинамического подпора;

– локальное изменение рабочей формы трала в зоне установки уловителей.

Под активным избеганием крилем уловителя понимается такая поведенческая реакция, когда находящийся в естественных условиях рачок реагирует на надвигающееся на него сетное полотно уловителя и уклоняется от него. Такая реакция возможна только в первоначальные моменты взаимодействия криля с сетной оболочкой трала, когда его энергетические возможности еще не исчерпаны [Акишин, 1998].

Под пассивным сносом рачков мимо уловителя понимается их прохождение через сетную оболочку трала вместе с потоком воды рядом с уловителем из-за гидродинамического подпора, возникающего в месте установки уловителя. В этом случае криль ранее уже реагировал на сетную оболочку трала, активно уклонялся от нее, а его энергетические возможности исчерпаны.

Каждый из перечисленных факторов, в случае его реализации при проведении экспериментальных работ с использованием мелкоячейных уловителей, способен повлиять на достоверность получаемых результатов. Поэтому для объективной оценки результатов, полученных при использовании данного метода, следует рассмотреть влияние этих факторов на репрезентативность полученных данных.

Криль — очень нежный объект лова, который с трудом выдерживает воздействие нагрузок при выборке трала, поэтому возникают сложности с обеспечением сохранности содержимого уловителей. При проведении экспериментальных работ [Акишин, 1993, 1998] эта проблема решалась путём поочерёдной приостановки выборки трала в момент выхода уловителя на промысловую палубу после пересечения слиповой канавки и немедленного изъятия содержимого уловителей исследователем, что резко уменьшало вероятность повреждения рачков при палубных операциях.

В процессе движения трала в потоке воды его сетная оболочка создает гидродинамический подпор за счёт присоединённой массы воды. Скорости движения воды внутри трала отличаются от скорости движения всей траловой системы в целом. В частях трала, где имеется мелкая ячея (мелкоячейные рубашки, вставки, опушки), фильтрация воды ухудшается и, соответственно, увеличивается подпор [Костюков, 1985; Костюков, Мизюркин, 1985; Мизюркин, Чернецов, 1985].

Аналогичное явление может происходить в локальном масштабе в районе установки мелкоячейного уловителя. Гидродинамический подпор, возникающий из-за большей площади зате-

нения нитей уловителя по сравнению с соседними участками оболочки трала, способен вызвать пассивный снос рачков в сторону от устья уловителя и их просеивание через сетное полотно на соседних с ним участках. Наиболее сильно это явление проявляется в канатной и крупноячейных частях трала.

Нельзя исключить и возможность активного уклонения рачков от уловителя. Суммарная затенённость траловой оболочки (отношение площади нитей к площади сетного полотна) в месте установки уловителя значительно выше аналогичного показателя на соседних с ним участках, что создаёт эффект «тёмного пятна» и может вызвать активное избегание рачками уловителя.

На конструктивном уровне эта проблема решалась выбором длины и кроя уловителя, обеспечивающим условия для повышенной фильтрации воды через стенки уловителя и исключающим возникновение подпора в его устье. Проверка работоспособности мелкоячейных уловителей, а также контроль локальных изменений рабочей формы трала в зоне их установки осуществлялись методами подводных наблюдений.

Для оценки работы мелкоячейных крилевых уловителей по разработанной ВНИРО программе на НПС «Зунд» в 1988 г. были проведены визуальные подводные наблюдения с использованием буксируемых двухместных аппаратов «Тетис» (рис. 1).

Подводные наблюдатели отметили, что уловители имели расправленную форму, не прижимались к сетной оболочке трала, а отходили от неё под значительным углом. Задняя кромка уловителей была приподнята над сетным полотном на расстоянии 20–25 см (рис. 2, 3). Случаев избегания крилем уловителей отмечено не было. Выход рачков рядом с уловителями был таким же, как и на значительном удалении от них. Возможности наблюдения позволяли заметить избегание рачками уловителей.

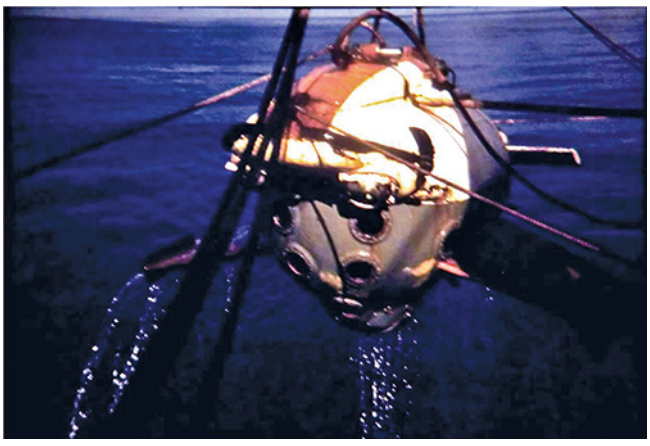


Рис. 1. Буксируемый подводный аппарат «Тетис» после произведённого погружения поднимается на палубу судна

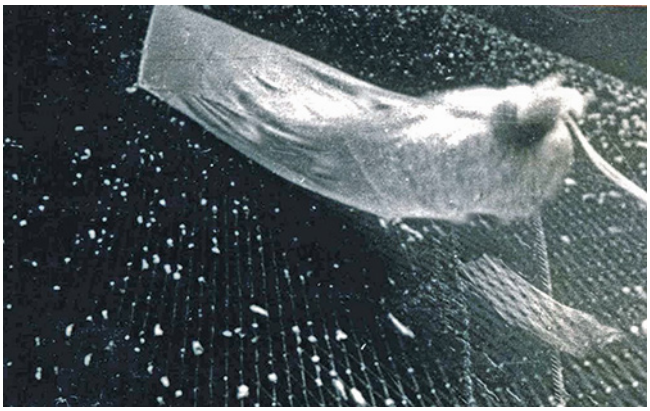


Рис. 2. Мелкоячейный уловитель на верхней пласти трала [Korotkov, Kasatkina, 2010]

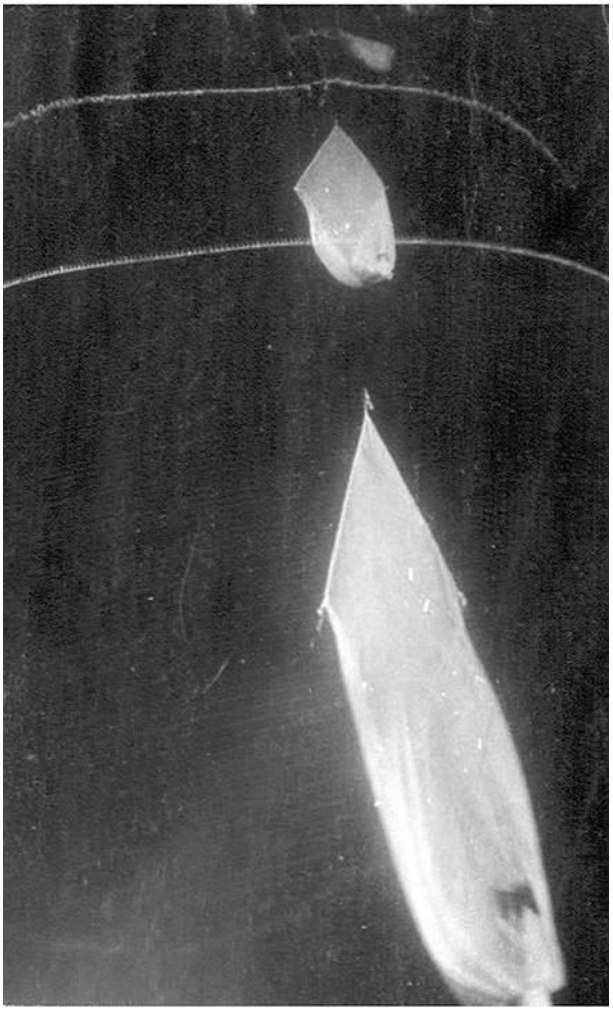


Рис. 3. Форма мелкоячейных уловителей во время траления [Korotkov, Kasatkina, 2010]

Подводные наблюдения показали, что уловители представленных ниже конструкций обеспечивают необходимые условия работы, позволяющие полагать, что масса рачков, попавших в уловитель за период траления, репрезентативно соответствует массе рачков, прошедших через соседние участки с тем же шагом ячеи.

РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Сбор материала

1.1. Конструкции мелкоячейных уловителей. Сбор рачков, прошедших в процессе траления через ячеи сетной оболочки трала, осуществляется с помощью мелкоячейных уловителей. Материал, размеры и конструктивные особенности уловителя зависят от конструкции исследуемого трала, размеров пластин трала, шага их ячеи, но шаг ячеи уловителя должен быть меньше шага ячеи в исследуемом участке сетного полотна в орудии лова. В зависимости от условий проведения экспериментальных работ, ассортимента сетематериалов, квалификации исполнителей и времени на подготовку рекомендуется использовать один из следующих вариантов конструкции уловителей.

Мелкоячейный уловитель с ромбовидной ячеей состоит из двух частей (пластин), верхней (а) и нижней (б), которые сшиваются между собой шворочным швом по кромкам 1, 3 и 2, 4, соответственно (рис. 4). Собранный уловитель функционально включает два элемента: I — деталь уловителя с сетным полотном ромбовидной формы (с кромками 5, 6, 7, 8), предназначенная для перекрытия исследуемого ромбовидного участка сетного полотна трала; II — сетная часть мешка для сбора криля. Мешок для сбора криля в концевой части оснащается устройством для быстрого закрытия или открытия (гайтяном).

Для установки уловителя на выбранный участок сетной оболочки трала необходимо пришворить кромки 5, 6, 7, 8 к соответствующим сторонам «ромба» на сетном полотне трала. При этом необходимо равномерно усаживать кромку уловителя при её посадке на трал, т. е. кромки 5, 6, 7, 8 должны быть на треть длиннее соответствующих им сторон «ромба» на сетном полотне трала.

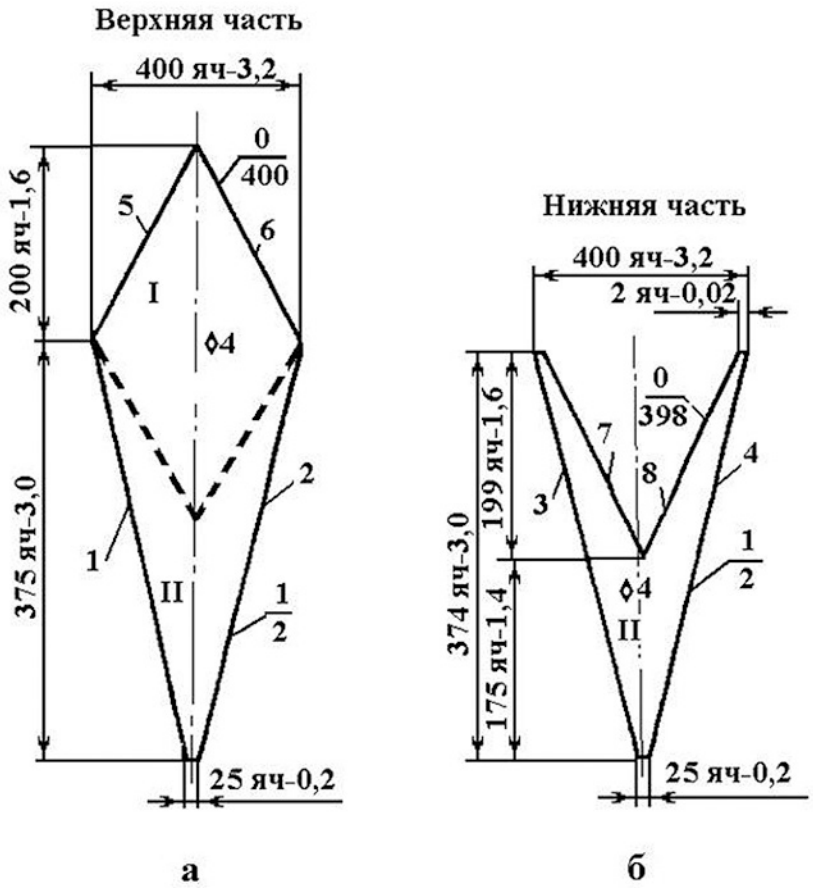


Рис. 4. Мелкоячейный уловитель с ромбовидной формой ячеи: а — верхняя часть; б — нижняя часть

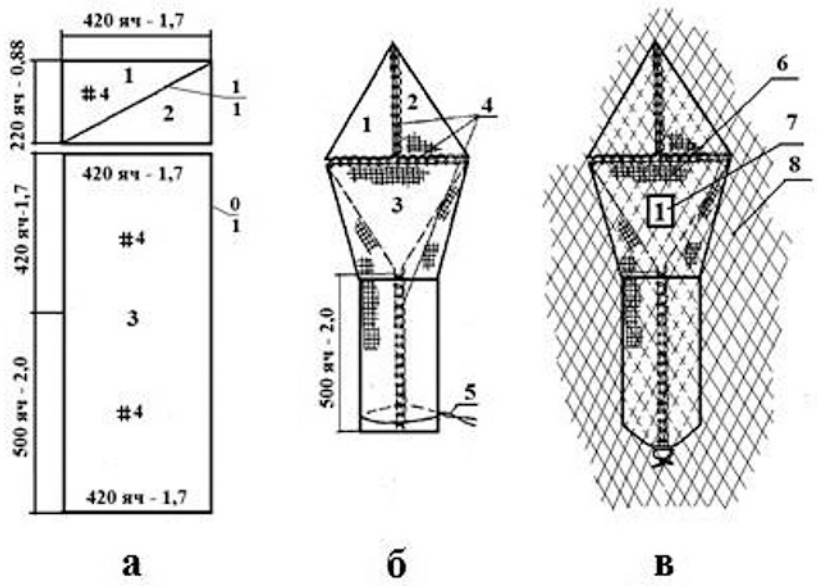


Рис. 5. Мелкоячейный уловитель с квадратной формой ячеи: а — схема раскроя (1, 2 –передняя часть уловителя; 3 — задняя часть уловителя с мешком для накопления криля); б — схема сборки (1, 2 — передняя часть уловителя; 3 — задняя часть уловителя с мешком для накопления криля; 4 — соединительные швы; 5 — гайтян); в — схема установки уловителя на сетном полотне трала (6 — верхняя часть уловителя; 7 — порядковый номер уловителя; 8 — сетная пласть трала)

Данная конструкция мелкоячейного уловителя использовалась для проведения экспериментальных работ по оценке отсева и травматической гибели криля при траловом промысле [Акишин, 1993] и обеспечивала удержание особей всех стадий зрелости.

Для уменьшения гидродинамического подпора перед уловителем можно использовать конструкцию с квадратной формой ячей (рис. 5), обеспечивающейся специальной («зеркальной») посадкой. Данная конструкция отличается простотой изготовления и удобством в работе.

1.2. Установка уловителей на выбранный участок орудия лова. Перед проведением экспериментальных работ определяются участки сетной оболочки трала, на которых планируется установка мелкоячейных уловителей. Для этого выбирается сетная пластина верхней, боковой или нижней пласти трала с одинаковыми параметрами ячеи (материал, шаг, толщина нити). Уловитель устанавливается на ромбовидный участок в центральной части исследуемой сетной пластины. Для удобства обработки и систематизации проб отсеянного криля на верх каждого уловителя наносится индивидуальная маркировка.

Рекомендованные конструкции уловителей (рис. 4, 5) допускают их установку по всей длине сетной части трала и мешка на верхние и боковые пласти. Варианты возможного размещения уловителей на трале представлены на рис. 6.

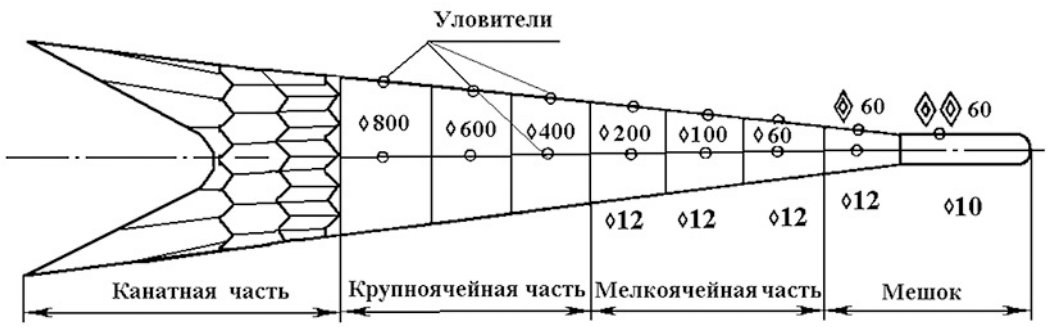


Рис. 6. Схема размещения уловителей на трале

1.3. Отбор проб криля, прошедшего через сетное полотно трала, производится в ходе обычных промысловых тралений. При этом научными наблюдателями фиксируются все стандартные параметры траления в соответствии с системой научного наблюдения АНТКОМ, а после выборки трала берётся стандартная проба криля из тралового мешка для определения размерного состава улова и проведения биологического анализа [Макаров и др., 1972; Справочник научного …, 2011].

Перед проведением траления заранее определяются участки сетного полотна с установленными на них мелкоячейными уловителями, с которых планируется отбор проб для проведения экспериментов по оценке травматической гибели криля. До постановки трала сетные мешки этих уловителей закрываются гайтяном. Полученные результаты в дальнейшем экстраполируются на всю сетную пластину с соответствующим шагом ячеи. Выход криля через траловый мешок учитывается в соответствии с обычными процедурами по определению селективности траловых мешков [Трещев, Ефанов, Степанов, Карпенко, Дудов, 1983].

Отбор проб осуществляется в ходе выборки трала в момент, когда мелкоячейный уловитель с крилем оказывается на промысловой палубе. Для этого выборка трала приостанавливается на время, необходимое для развязывания гайтяна и изъятия всего криля, удержанного уловителем. Проба криля (100–200 экз.), предназначенная для проведения экспериментальных работ по оценке травматической гибели, осторожно перемещается в переносной контейнер со свежей морской водой, а затем в стационарную ёмкость для длительного содержания. Остальной криль из уловителя перемещается в другой переносной контейнер (без воды) для дальнейшего измерения, взвешивания и, возможно, биологического анализа.

Если во время выборки мелкоячейный уловитель с крилем попал в жгут трала и подвергся механическому сдавливанию, отбор пробы из него не производится. Если мелкоячейный уловитель оказался полностью забит крилем, отбор пробы из него также не производится.

Оптимальная температура воздуха для операции по отбору пробы криля находится в интервале от 0 до +2 °С.

1.4. Отбор контрольных проб криля. Для повышения достоверности полученных данных рекомендуется сформировать контрольную группу особей, не прошедших в ходе траления через ячеи сетного полотна трала.

Многие гидробионты не переносят контакта с воздухом и получают чрезмерное стрессирование в процессе выборки трала. Особи криля в процессе выборки трала могут получить негативное воздействие в виде обморожения, перегрева, обсушки на ветру, а также механические повреждения в результате сдавливания. Естественно, такое негативное воздействие само по себе может привести к гибели значительного количества криля, оказавшегося в траловом мешке и мелкоячейных уловителях. В результате после проведения аквариальных экспериментов по содержанию криля, прошедшего через сетную оболочку трала, причина гибели рачков не будет выявлена однозначно, что внесёт неопределённость в полученные экспериментальные результаты.

Для получения материала для формирования контрольной группы необходимо организовать

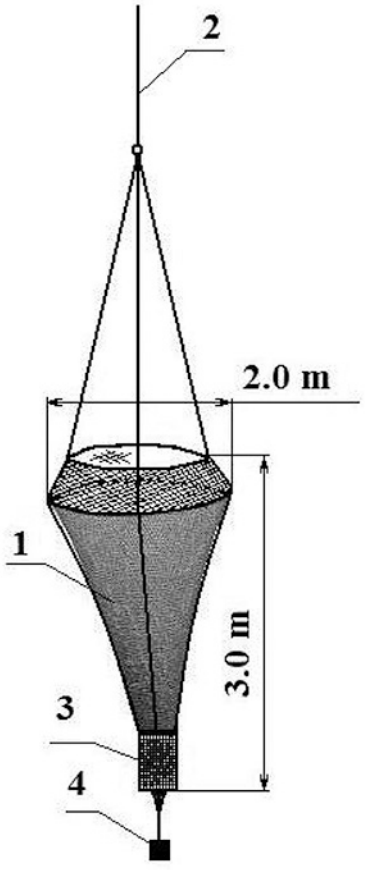


Рис. 7. Конусный подхват для облова контрольных групп криля: 1 — конусный подхват; 2 — шкентель грузовой лебёдки; 3 — стакан для аккумулирования криля; 4 — груз для затопления конусного подхвата

вылов наиболее щадящим способом 200–300 особей криля. Наиболее подходящим для этой цели орудием лова является конусный подхват (рис. 7), оснащённый грузом и стаканом для аккумулирования криля. В целях предохранения пойманного криля от повреждений при подъёме орудия лова стенки стакана изготавливаются из пластика или металла, а дно из мелкоячейной дели (≤4 мм) или газа. Максимальный диаметр конусного подхвата должен быть равен 2 м, размер ячеи сетного полотна тот же, как и у мелкоячейного уловителя,— 4 мм.

Лов криля для контрольной группы рекомендуется производить ночью, когда скопления криля поднимаются к поверхности и рассредоточиваются для питания в верхнем 10-метровом слое воды. В это время скопления криля малоподвижны, согласованность движений рачков и их реакция на опасность выражены слабее, что повышает вероятность их облова конусным подхватом.

Облов криля для получения контрольной пробы осуществляется в следующем порядке. При обнаружении гидроакустической аппаратурой или визуально достаточно плотных приповерхностных скоплений криля судно ложится в дрейф. С помощью грузовых стрел или крана за борт опускается конусный подхват.

После достижения орудием лова глубины несколько ниже слоя расположения криля (как правило, не более 20 м) наружное судовое освещение отключается до необходимого минимума, поскольку его белый цвет вызывает рассеивание криля [Михайловский, 1969]. Слабый свет привлекает криль независимо от спектрального состава [Семенов, 1969]. Надводный красный цвет вызывает положительную реакцию рачков, реакция на зелёный цвет отсутствует. Использование подводных источников света нецелесообразно, т. к. вызывает отрицательную реакцию рачков [Петушков, 1969].

После 30-минутной паузы, необходимой для достижения нормальной (естественной) концентрации криля вокруг судна производится подъем конусного подхвата из воды, а затем обработка его на палубе судна. При этом необходимо соблюдать все возможные меры по сохранению жизнеспособности улова.

Отбор пробы для формирования контрольной группы (100–200 экз.) осуществляется аналогично процедуре формирования обычных экспериментальных групп.

2. Аквариальные эксперименты по оценке травматической гибели криля

2.1. Условия содержания криля при проведении аквариальных экспериментов. Эксперименты по оценке травматической гибели криля, прошедшего через сетное полотно, проводятся при его содержании в условиях, близких к естественным условиям его обитания.

Термические условия обитания криля достаточно постоянны, хотя и меняются посезонно. В норме рачки обитают при достаточно низкой, характерной для Антарктики температуре — от минус 1,8 до плюс 2 °С, хотя на севере ареала обитания встречаются и при плюс 4–6 °С [Быкова, 2001].

Содержание кислорода в морской воде в Антарктике обычно составляет 7–8 мл/л. Предельно допустимая величина для поддержания нормальной жизнедеятельности криля составляет 5 мл/л [Акишин, 1993].

2.2. Конструкция ёмкостей для содержания криля. Для длительного содержания криля наиболее подходят непрозрачные ёмкости (контейнеры), изготовленные из пищевого пластика (рис. 8). В зависимости от термических условий помещения, предназначенного для проведения экспериментальных работ, для уменьшения скорости теплообмена с окружающей средой при необходимости применяются термоконтейнеры.

Использование прозрачных аквариумов традиционного типа нецелесообразно, т. к. это может привести к стрессированию особей.

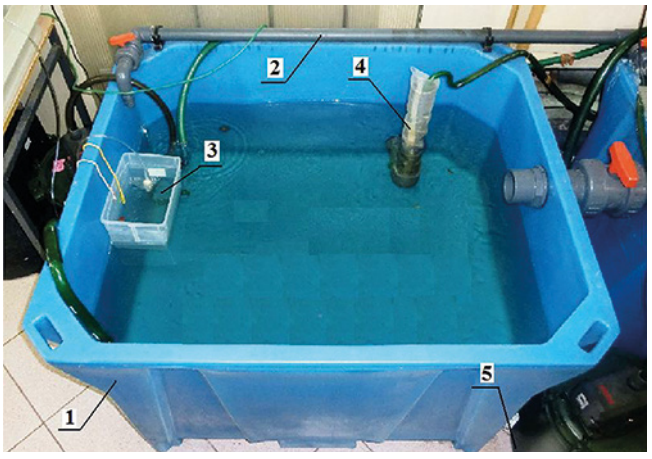


Рис. 8. Ёмкость для выдерживания криля, прошедшего сквозь ячею сетного полотна:

1 — пластиковый контейнер; 2 — трубопровод подачи забортной воды; 3 — блок аэрации воды; 4 — блок очистки воды; 5 — насос

Ёмкости целесообразно снабдить съёмными крышками для исключения вероятности выпрыгивания особей из воды или их выплёскивания под действием качки. Система слива воды из ёмкости должна обеспечивать поддержание рабочего уровня, а также возможность полного опорожнения с целью уборки.

Размещение открытых ёмкостей с водой на судне имеет свои особенности, поскольку в них может образовываться волна даже при небольшой качке. Для устранения этого явления возможны варианты изготовления ёмкостей с успокоителями (перегородками) либо возможен вариант установки ёмкостей на стабилизированных платформах.

2.3. Водоснабжение и водоотвод. Водоснабжение ёмкостей для содержания криля (экспериментальных ёмкостей) осуществляется забортной водой — таким методом удастся добиться качества воды, по своим физико-химическим характеристикам сходной с естественной средой обитания этого вида ракообразных. Температура и кислород, а также концентрация кормовых организмов при этом будут поддерживаться на оптимальном уровне, поскольку в поверхностном слое морской воды имеется достаточное количество объектов питания рачков.

Забортная вода, подаваемая через судовую систему, несёт в своей массе большое количество мелких пузырьков воздуха, которые впоследствии скапливаются под карапаксом рачков. Это вызывает интенсивную линьку криля, внешним проявлением которой на начальной стадии является чрезмерная подвижность особей, а в конечном итоге через несколько суток — летальный исход.

Для исключения этого явления необходимо предварительно пропускать забортную воду через дегазатор, т. е. ёмкость-успокоитель.

Скорость водообмена в ёмкости подбирается исходя из характеристик помещения, где они размещены. Оптимальным, скорее всего, можно считать часовой цикл водообмена. Слив воды осуществляется по уровню через сливное отверстие, снабжённое защитной сеткой.

Содержание растворённого кислорода и температуры воды в экспериментальной ёмкости для криля контролируется при помощи портативного термооксиметра (рис. 9).

2.4. Проведение аквариального эксперимента. Пробы криля из уловителей (по 100–200 экз.)



Рис. 9. Термооксиметр для контроля растворенного кислорода и температуры воды: 1 –прибор; 2 — уровень растворенного кислорода; 3 — температура воды; 4 — датчик

помещаются в экспериментальные ёмкости с морской водой и выдерживаются в течение заданного времени. Продолжительность аквариального эксперимента по содержанию одной пробы криля может составить от 24 часов до нескольких суток.

Объективным критерием гарантированного выживания в природной среде рачка, прошедшего через сетное полотно трала, следует считать его выживание после линьки. Поскольку криль растёт постоянно, линьки повторяются в течение всей жизни рачков. В среднем периодичность линек для криля составляет 13–30 суток. Эти интервалы меняются в зависимости от температуры (чем ниже температура, тем реже линьки), от сезона (летом, во время активного питания и роста, линьки чаще, чем зимой). Следует отметить, что с линькой постепенно восстанавливаются утраченные конечности [Быкова, 2001].

В ёмкостях с пробами необходимо регулярно (с интервалом в 6 часов) проводить мониторинг показателей температуры и растворённого в воде кислорода.

В ходе эксперимента постоянно проводятся наблюдения за поведением криля в экспериментальных ёмкостях (рис. 8), визуально оценивается соотношение активных, малоподвижных и погибших рачков. При помощи подводной видеокамеры (рис. 10) с высоким разрешением проводится видеорегистрация состояния отобранных проб криля и архивация данных для последующего анализа в береговых условиях.



Рис. 10. Подводная видеокамера для регистрации состояния криля при содержании в экспериментальной ёмкости



Рис. 11. Пластиковые ячейки–трансформеры для разделения отобранных проб криля

В конечном итоге криль разделяется на три группы: 1 — живой, перемещающийся в толще воды; 2 — агонизирующий, лежащий на дне и двигающий плеоподами; 3 — мёртвый, который удаляется из ёмкости в процессе проведения эксперимента. Проводится измерение, взвешивание и биологический анализ всех рачков.

При оценке результатов экспериментов выжившим считается только криль из первой группы. Криль из второй и третьей групп полагается не способным к дальнейшему существованию в природной среде.

В качестве показателя гибели криля в экспериментальной ёмкости принимается суммарная доля рачков второй и третьей групп, т. е. травматическая гибель криля в K-ом эксперименте рассчитывается по формуле:

$$P_K^{\exp} = \frac{N_0 - N_L}{N_0} \times 100 = \frac{N_0 - N_L}{N_L + N_D} \times 100, \qquad (1)$$

где $P_K^{\exp}$ — доля погибшего криля, прошедшего сквозь ячею, в K-ом эксперименте,%; N_0 — количество рачков в пробе (группы 1–3); N_L — количество выживших рачков в пробе (группа 1); N_D — количество погибших рачков в пробе (группы 2, 3).

Для удобства сортировки криля можно использовать заполненные морской водой пластиковые ячейки-трансформеры (рис. 11). Затем криль промеряется и взвешивается. Если эксперимент по аквариальному содержанию криля прекращается до стадии линьки, целесообразно провести морфологический контроль целостности криля.

При наличии технических возможностей рекомендуется создавать для каждой новой экспериментальной группы (или групп) новую контрольную группу. Контрольные группы содержатся в идентичных с экспериментальными группами условиях, т. е. регулярно проводят осмотр особей, учитывают отход, а также осуществляют мониторинг физико-химических свойств воды. В контрольной группе также проводится измерение, взвешивание и биологический анализ всех рачков.

Доля погибшего криля в J-ой контрольной группе P_J^{con} определяется по формуле (2), аналогичной (1):

$$P_J^{con} = \frac{N_0 - N_L}{N_0} \times 100 = \frac{N_0 - N_L}{N_L + N_D} \times 100. \qquad (2)$$

3. Оценка травматической гибели криля

Обработка результатов экспериментальных работ проводится стандартными статистическими методами.

Результаты по оценке травматической гибели криля, удержанного n-м уловителем, интерполируются на всю площадь сетной пластины трала S_n, на которой он установлен. Сравнение этих результатов с результатами соответствующей контрольной группы позволяет получить данные по собственно травматической гибели криля в результате прохождения через ячею сетной оболочки трала. Поскольку гибель криля из контрольной группы связана исключительно с последствиями внешнего воздействия в процессе его изъятия из природной среды и содержания

в аквариальных условиях, полученные для неё величины следует исключить при оценке травматической гибели криля, прошедшего через соответствующую сетную пластину трала. Таким образом, травматическая гибель криля в *K*-ом эксперименте определяется по формуле:

$$P_K = P_K^{\exp} - P_J^{con}, \qquad (3)$$

где P_K — итоговая доля криля, погибшего в результате отсева через сетную пластину S_n, %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предлагаемый методический подход применим для оценки травматической гибели криля, прошедшего в процессе траления через сетную оболочку трала, только при ведении промысла с подъёмом орудия лова с уловом на борт судна. Для аналогичной оценки травматической гибели криля при ведении промысла с использованием рыбонасоса необходимо разработать иные способы получения исходного материала для проведения экспериментов. Однако, учитывая тот факт, что конструкции тралов, используемых при этих вариантах ведения промысла, аналогичны или несущественно отличаются от первого, полученные результаты можно интерполировать и на них.

ЛИТЕРАТУРА

Акишин В.В. 1993. Выживаемость криля, вышедшего из трала // Пелагические экосистемы Южного океана. М.: ИОАН. С. 190–195.

Акишин В.В. 1998. К вопросу о взаимодействии криля с орудиями лова // Вопросы теории и практики промышленного рыболовства. Поведение гидробионтов в зоне действия орудий лова. М.: Изд-во ВНИРО. С. 42–53.

Антарктический криль: Справочник. 2001 / Под ред. В.М. Быковой. М.: Изд-во ВНИРО. 213 с.

Воронина Н.М. 1993. Исследования антарктической пелагиали: некоторые итоги и основные задачи // Пелагические экосистемы Южного океана. М.: Изд-во ИОАН. С. 260–265.

Костюков В.М. 1985. Исследования гидродинамики моделей сетных частей тралов // Обоснования орудий промышленного рыболовства. Владивосток: ТИНРО. С. 69–75.

Макаров Р.Р., Наумов А.Г., Шевцов В.В. 1972. Методика сбора и обработки материалов по биологии и распределению антарктического криля. М.: ВНИРО. 32 с.

Мизюркин М.А., Костюков В.М. 1985. О гидродинамике трала // Рыбное хозяйство № 6. С. 66–67.

*Мизюркин М.А., Чернецов В.*В. 1985. Исследование гидродинамического поля в моделях промысловых тралов // Обоснования орудий промышленного рыболовства. Владивосток: ТИНРО. С. 60–68.

Михайловский Ю.А. 1969. Наблюдение за крилем в зоне искусственного освещения // Труды ВНИРО. Т. 66. С. 242–244.

*Норинов Е.Г., Ефанов С.*Ф. 1993. Влияние формы ячеи на селективные свойства трала на примере антарктического криля // Пелагические экосистемы Южного океана. М.: ИОАН. С. 187–190.

Петушков Г.Д. 1969. Поведение криля в световых и электрических полях // Труды ВНИРО, Т. 66. С. 239–241.

Семенов В.Н. 1969. Аквариальные наблюдения за поведением антарктического криля // Труды ВНИРО. Т. 66. С. 235–239.

Справочник научного наблюдателя. 2011. (Инструкции по проведению наблюдений и справочные материалы). Комиссия по сохранению морских живых ресурсов Антарктики. Система международного научного наблюдения. 66 с.

Трещев А.И. 1974. Научные основы селективного рыболовства. М. Пищевая промышленность. 447 с.

Трещев А.И. 1983. Интенсивность рыболовства. М.: Лёгкая и пищевая промышленность. 236 с.

Трещев А.И., Ефанов С.Ф., Степанов Г.Н., Карпенко Э.А., Дудов В.И. 1983. Методические указания по сбору данных по селективности тралов и травматической гибели рыб, прошедших сквозь ячею кутка. М.: ВНИРО. 22 с.

Akishin V.V., Istomin I.G., Tatarnikov V.A., Lebedev R.O., Petrov A.F. 2012 Method for collecting of data on traumatic death of krill passed through the trawl meshes. WG-EMM-12/43.CCAMLR: Santa Cruz de Tenerife. 16 p.

*Korotkov V.K., Kasatkina S.*M. 2010 Recommendations on estimating krill escape mortality during fishing operations: the problems and approaches. WG-EMM-10/18 10 July 2010. 15 p.

Поступила в редакцию 04.07.2019 г.
Принята после рецензии 02.03.2020 г.

DOI: 10.36038/2307-3497-2021-184-61-72

The methodic approaches to the estimating traumatic depth of krill passed through the trawl meshes

V.V. Akishin,
I.G. Istomin,
V.A. Tatarnikov

Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (VNIRO), Moscow

Fishing for krill *Euphasia superba* has been conducting using midwater trawls of different constructions including beam-trawl for several last decades. Not all krill in harvesting zone of midwater trawl got to catch during trawling. Depending on stock structure, size and physiological state of krill individuals some part of them could pass through cover of net bag and escape of catch. In contact with threads of the net bag some of them may receive possibly lethal mechanical damage. Proposed method is applicable for rating of krill traumatic damage, received by it during trawling from cover of net bag, only for fishing with hauling of full net for catch extraction. The analogous rating for fishing with fishpump needs developing of special methods of source material obtaining to set experiments. But, taking into account the fact that trawl constructions used for these variants of fishing process are analogous or insignificantly different from the first, obtained results could be interpolated for them too. Picking of krill individuals, passed through meshes of net bag cover of fishing gear was carried out with specially made net bags-catchers (traps), set onto the cover of net bag of a studies trawl. While hauling, caught in these special bags krill is took out and then put into a special baths with sea water for conducting of aquarium studies to determine its survival.

Keywords: Antarctic krill *Euphasia superba*, midwater trawls, krill escape, small-mesh catcher, traumatic death, aquarium experiments.

REFERENCES

Akishin V.V. 1993. Vyzhivaemost' krilya, vyshedshego iz trala [Survival of krill escaping a trawl] // Pelagicheskie ehkosistemy Yuzhnogo okeana. M.: IOAN. S. 190–195.

Akishin V.V. 1998. K voprosu o vzaimodejstvii krilya s orudiyami lova [On krill interaction with the fishing gears] // Voprosy teorii i praktiki promyshlennogo rybolovstva. Povedenie gidrobiontov v zone dejstviya orudij lova. M.: Izd-vo VNIRO. S. 42–53.

Antarkticheskij kril': Spravochnik [Antarctic krill. Manual]. 2001. / Pod red. V.M. Bykovoj. M.: Izd-vo VNIRO. 213 s.

Voronina N.M. 1993. Issledovaniya antarkticheskoj pelagiali: nekotorye itogi i osnovnye zadachi [The Antarctic studies: some results and the main tasks] // Pelagicheskie ehkosistemy Yuzhnogo okeana. M.: Izd-vo IOAN. S. 260–265.

Kostyukov V.M. 1985 Issledovaniya gidrodinamiki modelej setnykh chastej tralov [Research of gidrodynamic of net-parts of trawls] // Obosnovanie orudij promyshlennogo rybolovstva. Vladivostok: Izd-vo TINRO. S. 60–68.

Kostyukov V.M., Mizyurkin M.A. 1985. O gidrodinamike trala [Trawl hydrodynamic] // Rybnoe khozyajstvo № 6. S. 66–67.

Makarov R.R., Naumov A.G., Shevtsov V.V. 1972. Metodika sbora i obrabotki materialov po biologii i raspredeleniyu antarkticheskogo krilya [Methods of collecting and processing of materials for biology and distribution of Antarctic krill]. M.: VNIRO. 32 s.

Mizyurkin M.A., Chernetsov V.V. 1985. Issledovanie gidrodinamicheskogo polya v modelyakh promyslovykh tralov [Investigations of gidrodynamic field in the models of fishing trawls] // Obosnovanie orudij promyshlennogo rybolovstva. Vladivostok: Izd-vo TINRO. S. 60–68.

Mikhajlovskij Yu.A. 1969. Nablyudenie za krilem v zone iskusstvennogo osveshcheniya [Observations of krill in the artificial illumination] // Trudy VNIRO. T.66. S. 242–244.

Norinov E.G., Efanov S.F. 1993. Vliyanie formy yachei na selektivnye svojstva trala na primere antarkticheskogo krilya [Trawl's mesh form influence on its selective properties as exemplified by the Antarctic krill] // Pelagicheskie ehkosistemy Yuzhnogo okeana. M.: IOAN. S. 187–190.

Petushkov G.D. 1969. Povedenie krilya v svetovykh i ehlektricheskikh polyakh [Behaviour of krill in the light and electrical fields] // Trudy VNIRO. T. 66. S. 239–241.

Semenov V.N. 1969. Akvarial'nye nablyudeniya za povedeniem antarkticheskogo krilya [Observations of krill behaviour in an aquarium] // Trudy VNIRO. T. 66. S. 235–239.

Spravochnik nauchnogo nablyudatelya. 2011. (Instruktsii po provedeniyu nablyudenij i spravochnye materialy).

Komissiya po sokhraneniyu morskikh zhivykh resursov Antarktiki [Scientific observers manual (Observation guidelines and reference materials) Schene of international scientific observation.]. Sistema mezhdunarodnogo nauchnogo nablyudeniya — 66 s.

Treshchev A.I. 1974. Nauchnye osnovy selektivnogo rybolovstva [Scientific basis of fishery selectivity]. M. Pishchevaya promyshlennost'. 447 s.

Treshchev A.I. 1983. Intensivnost' rybolovstva [Intensity of fishery]. M.: Legkaya i pishchevaya promyshlennost'. 236 s.

Treshchev A.I., Efanov S.F., Stepanov G.N., Karpenko Eh.A., Dudov V.I. 1983. Metodicheskie ukazaniya po sboru dannykh po selektivnosti tralov i travmaticheskoj gibeli ryb, proshedshikh skvoz' yacheyu kutka [Manual for collecting of data on trawl selectivity and traumatic death of fishes passed through meshes of the cod]. M.: VNIRO. 22 s.

Akishin V.V., Istomin I.G., Tatarnikov V.A., Lebedev R.O., Petrov A.F. 2012. Method for collecting of data on traumatic death of krill passed through the trawl meshes. WG-EMM-12/43.CCAMLR: Santa Cruz de Tenerife. 16 p.

*Korotkov V.K., Kasatkina S.*M. 2010. Recommendations on estimating krill escape mortality during fishing operations: the problems and approaches. WG-EMM-10/18 10 July 2010. 15 p.

FIGURE CAPTIONS

Fig. 1. Bataplan «Tethys» after the dive is raised on the deck of the vessel

Fig. 2. Small box catcher on the top of the trawl [Korotkov, Kasatkina, 2010]

Fig. 3. The shape of the small-cell trap during trawling [Korotkov, Kasatkina, 2010]

Fig. 4. Diamond catcher with diamond-shaped mesh: a — upper part, b — lower part

Fig. 5. Small cell catcher with a square mesh: a — cutting scheme (1,2 — front part of the catcher; 3 — back part of the catcher with a bag for krill accumulation); b — assembly scheme (1,2 — front part of the trap; 3 — back of the trap with a bag for krill accumulation; 4 — connecting seams; 5 — draw rope); c — installation scheme of the trap on the net of the trawl (6 — the upper part of the trap; 7 — serial number of the trap; 8 — net of the trawl)

Fig. 6. Layout of catchers on trawl

Fig. 7. Cone pickup for fishing control groups of krill: 1 — cone pickup; 2 — cargo winch pendant; 3 — cup for krill accumulation; 4 — load for flooding conical pickup

Fig. 8. Capacity for keeping krill passed through the mesh of the netting: 1 — plastic container; 2 — seawater supply pipeline; 3 — water aeration unit; 4 — water treatment unit; 5 — pump

Fig. 9. Thermo-oximeter to monitor dissolved oxygen and water temperature: 1 — device; 2 — the level of dissolved oxygen; 3 — water temperature; 4 — sensor

Fig. 10. Underwater video camera for recording the state of krill when kept in an experimental tank

Fig. 11. Plastic transformer cells for the separation of selected samples of krill

УДК 681.883.072: 639.227.2(534.241) DOI: 10.36038/2307-3497-2021-184-73-86

Исследование акустической силы цели японской скумбрии в северо-западной части Тихого океана *in situ*

М.Ю. Кузнецов,
В.И. Поляничко,
Е.В. Сыроваткин,
И.А. Убарчук

Тихоокеанский филиал ФГБНУ «ВНИРО» (ТИНРО), г. Владивосток

E-mail: mikhail.kuznetsov@tinro-center.ru

В 2014 г. в северо-западной части Тихого океана (СЗТО) были обнаружены значительные скопления японской скумбрии (*Scomber japonicus*), совершающей в летне-осенний период нагульные миграции в прикурильские воды. Начат её массовый промысел. В связи с этим регулярно проводятся поисковые работы и тралово-акустические съёмки масштабов распространения и обилия сардины и скумбрии в СЗТО. Однако, отражательные способности японской скумбрии, необходимые для эхоинтеграционной оценки численности этих рыб в регистрируемых акустическими приборами скоплениях, изучены недостаточно. Используя материалы гидроакустических и биологических измерений, накопленных в периоды съёмок в СЗТО в 2015–2017 гг., в работе исследуются зависимости силы цели одиночных особей японской скумбрии от их зоологической длины в естественных условиях обитания (*in situ*). Для сбора гидроакустических данных использовался калиброванный научный эхолот EK-60 Simrad с двумя антеннами с расщеплённым лучом 38 и 120 кГц. Измерения силы цели японской скумбрии производились на участках контрольных тралений в слое, равном вертикальному раскрытию трала. Показан процесс отбора эхограмм и фильтрации одиночных целей японской скумбрии, который реализован в программном комплексе «SALTSE» (ТИНРО). Получены эмпирические зависимости между средней силой цели (*TS*) и средней длиной (*L*) рыб, пойманных на выбранных фрагментах эхограмм. Нормированные к 20 log(*L*) уравнения регрессии имеют вид: *TS* = 20 log(*L*) – 72,8 (дБ) на частоте 38 кГц, *TS* = 20 log(*L*) – 73,6 (дБ) на частоте 120 кГц. Проводится сравнение полученной силы обратного рассеяния японской скумбрии в СЗТО с другими исследованиями отражательных свойств данного вида скумбриевых.

Ключевые слова: оценка запаса, эхограмма, сила цели, сечение обратного рассеяния, одиночные цели, длина рыб, регрессионное уравнение.

ВВЕДЕНИЕ

Гидроакустический эхоинтеграционный метод оценки биоресурсов получил широкое распространение в рыбохозяйственных исследованиях благодаря дистанционности акустического зондирования водной толщи и возможности оперативного получения с высоким разрешением информации о характеристиках пространственного распределения и плотности находящихся там биологических объектов [Кузнецов, 2013]. Научные гидроакустические комплексы регулярно калибруются, что позволяет сопоставлять полученные данные с результатами работ других исследователей, использующих аналогичную аппаратуру.

Однако, имея такие важные преимущества, точность гидроакустического метода в значительной степени определяет корректное измерение отражающих (звукорассеивающих) свойств морских животных и их зависимости от размеров составляющих скопление особей, оцениваемых, в основном, экспериментальным путём.

Проблеме изучения отражательных свойств промысловых объектов посвящено множество публикаций. В нашей стране исследования в этой области связаны с именами советских и российских ученых: К.И. Юданова, В.Д. Теслера, И.Б. Андреевой, В.А. Ермольчева, В.С. Мамылова и др. Начиная с 60-х годов прошлого века ими выполнено большое количество работ по изучению рассеяния звука различными морскими организмами [Андреева, 1964; Шишкова, 1977; Андреева, Самоволькин, 1986; Юданов, 1992; Мамылов, 1999; Ермольчев, 2006; Гончаров и др., 2008]. За рубежом наиболее полно эта проблема отражена в работах [Ona, 1999; Simmonds, MacLennan, 2005].

Отражательные свойства одиночных объектов и их скоплений количественно оцениваются акустическим сечением обратного рассеяния (s) и силой цели (*TS*). В классическом определении, сечение обратного рассеяния характеризует способность тела возвращать звук в направлении его приёмника, который расположен в том же месте, что и излучатель [Урик, 1978]. В эхолокации, применяемой при биоресурсных исследованиях, акустическое сечение — это условная площадь, дающая такое же отражение во все стороны (сферическое), что и реальный объект в данном направлении [Юданов, 1992]:

$$\sigma_{sp} = \frac{4\pi r_0^2 I_p}{I_n}, \text{ м}^2,$$

где I_p — интенсивность рассеиваемой (возвращаемой) объектом звуковой волны в точке приёма; I_n — интенсивность падающей на цель звуковой волны; r_0 — расстояние между объектом и точкой приёма.

Сила цели представляет собой логарифмическую форму выражения отражательной способности объектов:

$$TS = 10 \log \frac{\sigma_{sp}}{4\pi}, \text{ дБ}.$$

TS обычно представляется как функция длины рыбы (*L*, см):

$$TS = a \log(L) + b,$$

где *a* — наклон; *b* — уровень сигнала, отражённого от рыбы длиной *L* = 1 см.

Сила цели непосредственно влияет на оценки запаса гидроакустическим методом, поскольку в алгоритме расчёта численности используется зависимость силы цели одиночных рыб в скоплении от их зоологической длины [Кузнецов, 2013]. Существенным является то, что ошибка в измерении *TS* на 2–3 дБ ведёт к смещению оценки запаса в 1,5–2 раза. Достоверность её определения зависит от применяемых методик выделения эхосигналов от одиночных целей, взятия биологических проб (видовой и размерной идентификации целей) и множества других факторов (поведение, биологическое состояние объекта, суточные миграции), не всегда поддающихся измерениям или учёту в существующих теоретических моделях. Поэтому получение адекватных зависимостей *TS(L)* и их регулярное уточнение с использованием калиброванных измерительных систем является важнейшим направлением работ по совершенствованию технологии выполнения акустических биоресурсных съёмок.

В принципе, можно вычислить силу цели из акустической теории и знания отражающей способности плавательного пузыря и других частей тела рыбы, которые формируют эхосигнал [Clay, Heist, 1984; Foote, 1985; Furusawa, 1988; Clay, Horne, 1994]. Согласно [Foote 1997], на низких частотах плавательный пузырь создаёт 90% или более рассеиваемой энергии зондирующего сигнала. Однако исследуемые объекты могут отличаться формой и размером плавательного пузыря. Сила эха может существенно различаться с изменениями физиологического состояния рыб, присущих рыбам, например, в периоды нереста или нагула и влияющих на размер и форму плавательного пузыря [Ona, 1990; Jorgensen, 2003]. Увеличение размеров гонад или степени наполнения желудка вызывает уменьшение объёма плавательного пузыря и, соответственно, отражающую способность особей. Существенное влияние имеет наклон рыбы (и плавательного пузыря) относительно горизонтальной плоскости [Blaxter, Batty, 1990]. Степень вариации угла наклона зависит от размера (возраста) рыбы и аспектов её поведения, таких как питание, суточные вертикальные миграции, реакция избегания шумов судна и др. [Simmonds, MacLennan, 2005]. Поэтому получение точного значения силы цели объектов биоресурсных исследований только из теоретических соображений, слишком сложно и вряд ли достижимо.

Для решения практических задач оценки запасов гидробионтов акустическим методом s и *TS* обычно измеряют экспериментально. Экспериментальные исследования характеристик акустического рассеяния (силы цели) осуществляются тремя методами. Они отличаются в основном состоянием исследуемых целей и подразделяются на измерения подвешенных анестезированных или умерщвлённых гидробионтов, эксперименты при ограниченной подвижности объекта в клетках и садках и исследования свободно плавающих рыб в месте их обитания (*in situ* технология) [Midttun, 1984].

В своём естественном поведении рыбы время от времени меняют ориентацию тела относительно акустического луча. Эксперименты с обездвиженной рыбой полезны, в основном, для изучения влияния угла наклона [Foote, 1980; Mukai et al., 1993; Lee, Shin, 2005]. Изменение силы цели рыб в зависимости от угла наклона доста-

точно велико. Результаты экспериментов демонстрируют, что максимальная сила цели достигается, когда рыба наклонена на несколько градусов вниз головой относительно дорсального положения [Nakken, Olsen, 1977].

Эксперименты с ограниченной подвижностью животных с большей вероятностью повторяют их естественное поведение и распределение. Суть этого метода сводится к инструментальному измерению *TS* одиночных рыб известных размеров путём помещения их в специально оборудованную клетку или садок [Гончаров и др., 2008]. Управляемые эксперименты, как правило, дают больше информации об акустических свойствах рыб [Love, 1971]. Однако, учитывая сложную эмпирическую зависимость силы цели от ориентации (угла наклона) рыб и других факторов, трудно экстраполировать результаты управляемых экспериментов на их естественную среду обитания.

Применительно к акустическим съёмкам наилучшие результаты дают измерения силы цели рыб в их естественной среде обитания (метод *in situ*), поскольку при регистрации будет учтён поведенческий эффект, зависимость от глубины и любые возможные сезонные изменения *TS* [Ona, 1990; Ona, 2001; Simmonds, MacLennan, 2005]. Однако этот подход накладывает определённые ограничения на условия проведения эксперимента, в частности, необходима достаточно низкая плотность распределения скопления, имеется проблема выделения одиночных целей программными алгоритмами и получения репрезентативной выборки размерного состава гидробионтов.

В 2014 г. в ходе комплексной съёмки в северо-западной части Тихого океана (СЗТО) судами ТИНРО, оснащёнными научными эхолотами, были обнаружены значительные скопления японской скумбрии и дальневосточной сардины. Исследования в 2015–2018 гг. показали дальнейший рост численности сардины и скумбрии в СЗТО, что инициировало возобновление их массового промысла российскими рыбаками. В связи с этим регулярный мониторинг масштабов распространения нагульных скоплений сардины и скумбрии и их численности в российской экономической зоне становится особенно актуальным, а использование для этих целей прецизионной гидроакустической аппаратуры (с учётом высокой скорости и непрерывности выполняемых с её помощью измерений, а также возможности оперативного их повторения) — наиболее перспективным.

Однако, отражательные способности японской скумбрии, необходимые для количественной оценки этих рыб эхоинтеграционным методом, изучены недостаточно. Об этом свидетельствует то, что публикаций, посвящённых измерениям силы цели японской скумбрии, немного, а полученные результаты имеют весьма существенный разброс. Так, например, контролируемые эксперименты с подвешенными особями японской скумбрии, пойманными в Восточно-Китайском море, дали следующие зависимости силы цели от длины: $TS = 20 \log(L) - 64{,}1$ на частоте 25 кГц и $TS = 20 \log(L) - 65{,}5$ на частоте 100 кГц [Mukai et al., 1993]. Близкие результаты на обездвиженной рыбе (*ex situ*) получили корейские учёные: $TS = 20 \log(L) - 67{,}2$ (50 кГц) и $TS = 20 \log(L) - 66{,}9$ (120 кГц) [Lee, Shin, 2005].

Исследования *in situ* у побережья Перу показали, что сила цели японской скумбрии на 3–4 дБ ниже и почти одинакова для высоких и низких частот:

$TS = 20 \log(L) - 70{,}95$ на частоте 38 кГц и $TS = 20 \log(L) - 70{,}8$ на частоте 120 кГц [Guttierez, MacLennan, 1998]. Измеренная к северо-востоку от Тайваня *TS* скумбрии на частоте 38 кГц была ещё ниже: $TS = 29{,}5 \log(L) - 90$ [Liu et al., 2005]. В работе об измерениях силы цели японской скумбрии *in situ* в марокканских водах зависимость *TS(L)* имеет вид: $TS = 20 \log(L) - 77{,}6$ (38 кГц) и $TS = 20 \log(L) - 79{,}8$ (120 кГц) [Charouki, Svellingen, 2008]. Это уравнение даёт силы цели одиночных особей скумбрии заметно ниже, чем применяемое для акустической оценки её численности в этом регионе: $TS = 20 \log(L) - 72$, первоначально полученное для сельдевых (Clupeoidae) [Foote, 1987]. Если применить эту зависимость *TS*(*L*) для оценки запасов, то биомасса скумбрии при той же плотности скоплений увеличится более чем в три раза. Поэтому, как сообщают сами авторы статьи, для использования полученных результатов необходимы дальнейшие исследования.

Имеются также модельные оценки силы цели японской скумбрии, полученные теми же авторами для 38 кГц: $TS = 20 \log(L) - 73{,}8$ [Svellingen et al., 2008].

Цель работы — используя материалы гидроакустических и биологических измерений, накопленных в периоды съёмок в СЗТО, и алгоритмы фильтрации одиночных целей, исследовать отражательные свойства японской скумбрии (*Scomber japonicus* (Houttuyn, 1782)) в естественных условиях обитания (*in situ)*.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В работе использованы данные гидроакустического зондирования и биологических проб (траловых уловов), полученные при проведении тралово-акустических съёмок ТИНРО в СЗТО в 2015–2017 гг. Для сбора акустических данных использовался цифровой научный эхолот EK-60 Simrad, имеющий две антенны с расщеплённым лучом 38 и 120 кГц на киле судна. В эхолоте были установлены: длительность импульса — 1,024 мс, интервал между посылками — 1 с.

Перед измерениями выполнялась калибровка параметров приемопередающего тракта и характеристик антенн эхолота методом сравнения с использованием стандартной (эталонной) цели [Demer et al., 2015]. В качестве эталонных целей использовались сферы из чистой электролитической меди диаметром 60 мм для частоты 38 кГц, 23 мм — для частоты 120 кГц. В процессе калибровки измеряли силу цели и коэффициент обратного рассеяния эталонной сферы и сравнивали их с известными значениями. Затем измеряли величины продольного и поперечного смещения акустической оси и характеристику направленности антенны, влияющие на точность компенсации значений силы цели в горизонтальной проекции луча.

Для взятия биологических проб и определения размерно-видового состава скоплений в процессе съёмок выполнялись контрольные траления. Чтобы измерения зависимости силы цели от длины рыб были более корректны, места поимки объекта и отбора акустических проб должны быть максимально близки. Поэтому детектирование эхотреков и измерения *TS* производилось в слое, вертикальной протяжённостью равной вертикальному раскрытию трала, а горизонтальной — продолжительности траления по лагу. Траления выполнялись разноглубинным канатным тралом 80/396 м с мелкоячейной вставкой в кутце. Горизонт хода трала (глубина верхней подборы) и вертикальное раскрытие трала фиксировались с помощью тралового зонда FS20/25 или FS70 Simrad и записывались в файл. При обработке протраленная область отображалась на эхограмме (рис. 1). Учитывалась поправка на отставание трала от судна на эхограмме — корень квадратный из разности квадратов длины ваеров и глубины верхней подборы (к длине ваеров добавлялась длина кабелей от досок до устья трала).

Отбор акустических изображений для измерений *TS* выполняли с использованием программы «FAMAS-DB», которая позволяет осуществлять выборку из базы данных соответствующих заданным условиям фрагментов эхограмм [Кузнецов, Убарчук, 2013]. В данном случае, критериями отбора были минимальная весовая доля объ-

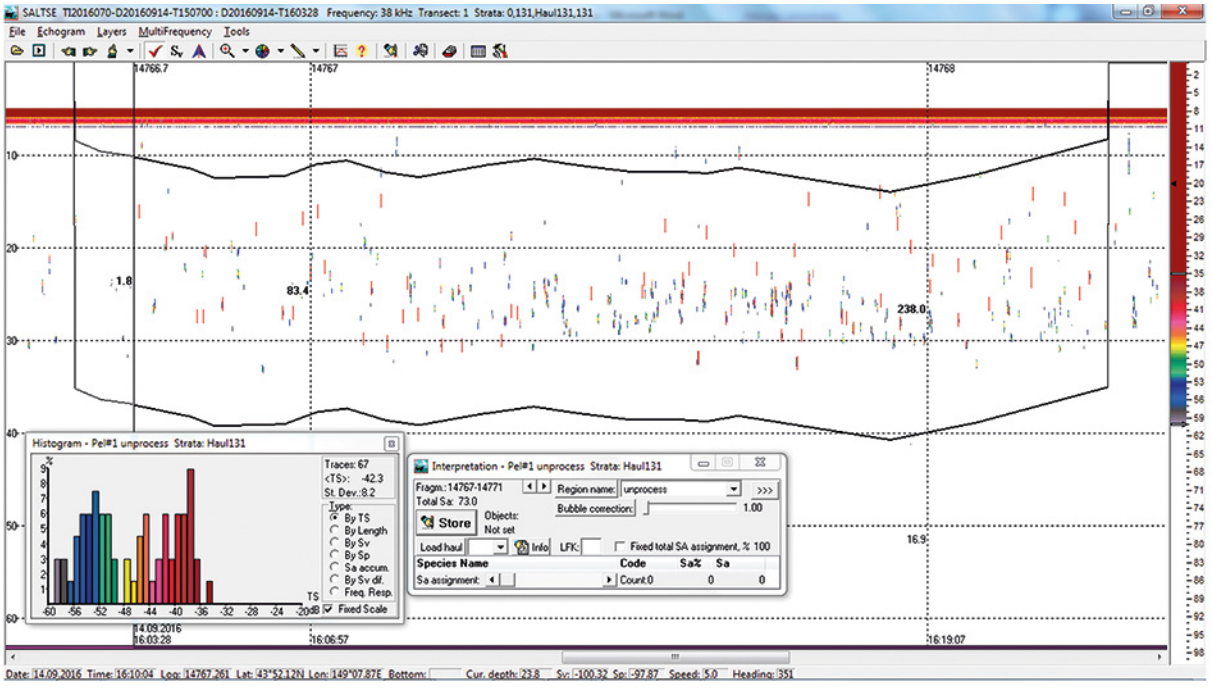


Рис. 1. Эхограмма с загруженным слоем траления по данным с тралового зонда FS20/25

екта в уловах контрольных тралений и время суток (день, ночь). Для получения зависимостей силы цели от длины рыб использовались эхограммы с высоким содержанием скумбрии (весовая доля в улове не менее 95%, рис. 2).

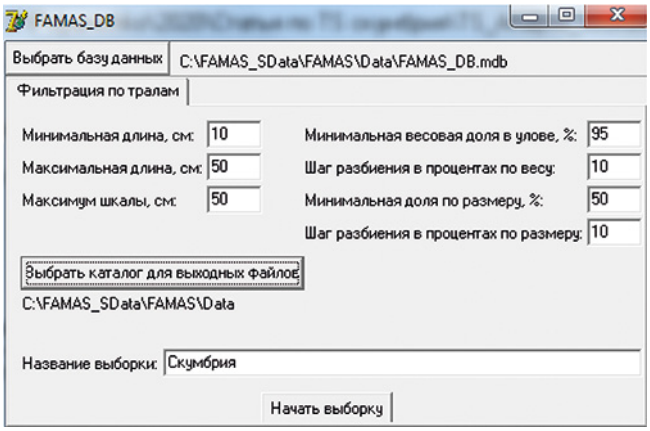


Рис. 2. Окно программы FAMAS-DB

Другим важным моментом является наличие на отобранных эхограммах одиночных целей, разрешаемых индивидуально. В процентном соотношении они должны превышать множественные цели (косяки рыб). Идеальная рыбная концентрация для исследования сил целей представляется как однородное разреженное скопление, состоящее из рыб одного вида с одномодальным размерным распределением. В плотных скоплениях за одиночные цели могут быть ошибочно восприняты эхосигналы от нескольких рыб, находящиеся в непосредственной близости друг от друга [Soule et al., 1995; Demer et al., 1999; Conti et al., 2005], что может привести к смещённым оценкам *TS*. Исходя из этого, для измерений отбирались разреженные агрегации рыб, которые наблюдались преимущественно в ночное время суток. Для некоторых эхограмм, где скумбрия образует плотные скопления, измерения проводились близко к границе скопления в областях с более низкой плотностью, но все же внутри того, что считается общей агрегацией (рис. 3). Предполагалось, что одиночные цели за пределами скопления такие же, что и в их совокупности.

Процесс фильтрации одиночных целей на эхограммах реализован в программном комплексе «SALTSE» [Кузнецов и др., 2020]. В его основе лежит алгоритм пошагового выделения одиночных целей по технологии расщепленного луча, согласно ICES Cooperative Research Report № 235 [Ona, 1999]. Для этого на вкладке «Echotrace» программы постпроцессорной обработки SALTSE (рис. 4) устанавливались параметры, используемые в алгоритме детектирования одиночных целей, а именно:

TS threshold — нижний порог детектирования в дБ. Для исключения в расчетах *TS* слабых рассеивателей звука, например, крупной фракции зоопланктона, миктофид и других объектов, которые перемещаются к поверхности в темное время суток и присутствуют на эхозаписях вместе со скумбрией, использовался минимальный порог

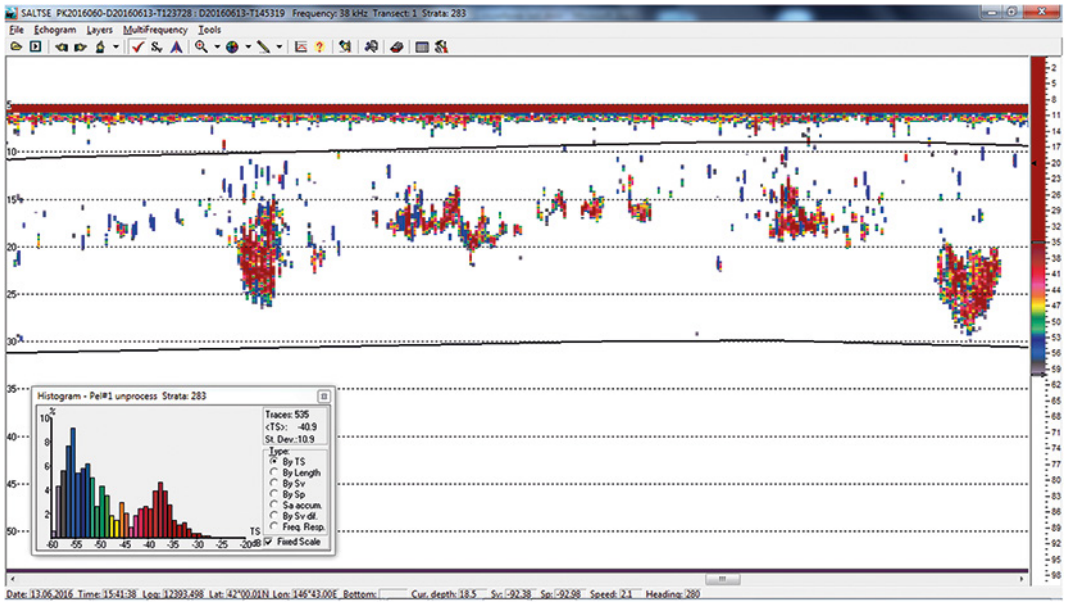


Рис. 3. Пример выделения одиночных целей на эхограмме с косяками рыб

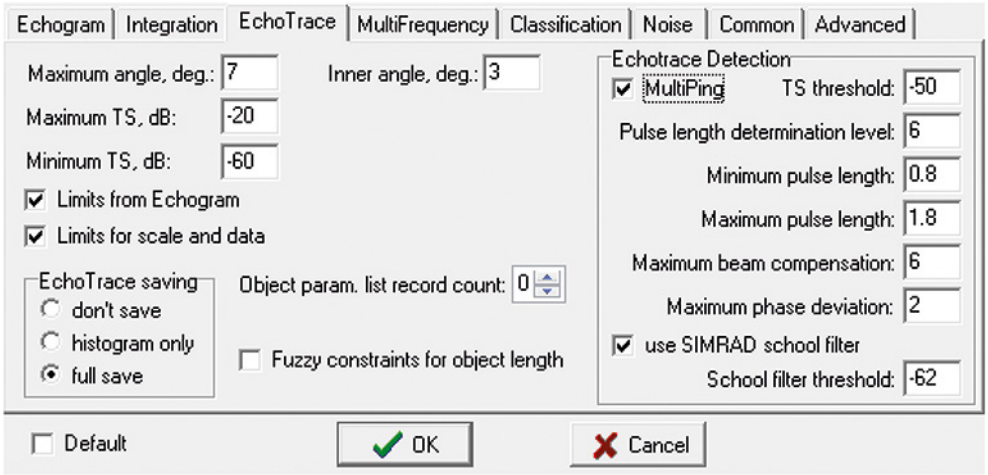


Рис. 4. Окно настроек программы SALTSE с функцией выделения одиночных целей

обнаружения целей (*TS threshold*): от –55 дБ до –50 дБ на частоте 38 кГц и от –60 *дБ* до –55 дБ на частоте 120 кГц. Пороги выбраны на основе экспертного анализа эхограмм на двух частотах и уловов тралений. Объекты, имеющие силу цели ниже этого порога, не детектируются и не отображаются на эхограмме;

Minimum / Maximum pulse length — минимальная и максимальная длительности принятого импульса от одиночной цели относительно длительности излучённого импульса эхолота. Данный параметр исключает слишком короткие / длинные импульсы;

Pulse length determenation level — величина определяющая, на каком уровне ниже пикового измеряется длительность импульса (дБ);

Maximum beam compensation — порог по максимальной компенсации силы цели, исключающий цели, находящиеся далеко от центра луча (дБ). Чем меньше значение, тем меньше целей детектируется на краях луча;

Maximum phase deviation — цель не считается одиночной, если среднее отклонение для углов превышает заданное значение (в пределах этого импульса).

В параметрах функции выделения сигналов от одиночных целей разработан дополнительный фильтр «*MultiPing*». Этот фильтр исключает ошибочное детектирование одиночных целей от мелких объектов и импульсных помех — к обработке допускаются только те цели, которые выделены минимум на двух последовательных посыл-

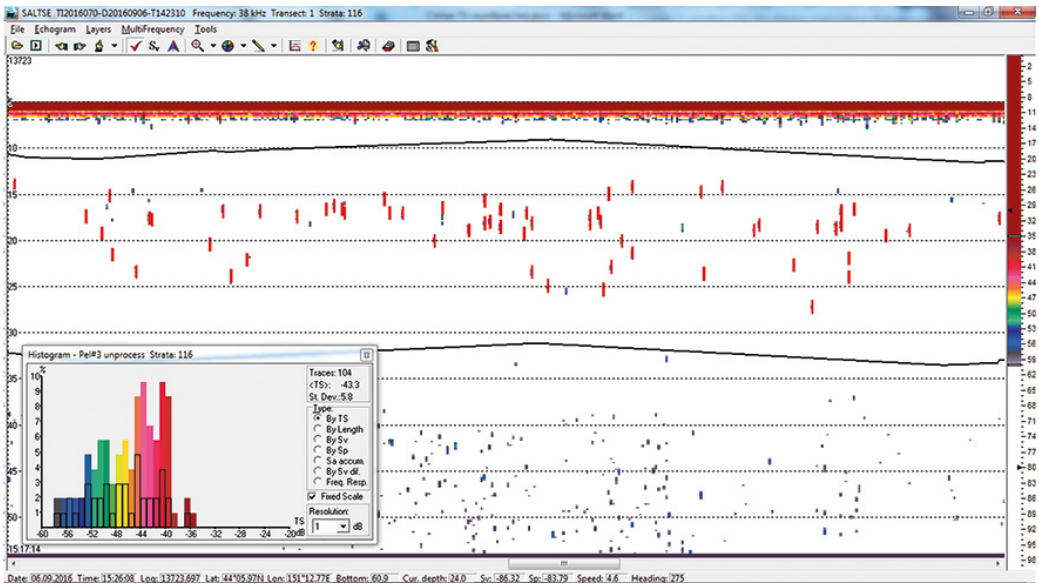


Рис. 5. Окно программы SALTSE с выделенными одиночными целями (красным цветом)

ках (пингах). В результате на эхограмме достоверно выделяются только одиночные рассеиватели и средние силы цели на гистограммах рассчитываются более корректно (рис. 5).

Кроме этого, в программе реализована функция «*School filter*», исключающая детектирование одиночных целей на косяках (участки эхограмм, где высока фоновая сила обратного объёмного рассеяния S_v). С помощью параметра «*School filter threshold*» можно изменять порог детектирования косяка. В этом случае из обработки исключаются участки эхограммы, для которых значения S_v выше порогового на достаточно длительном интервале.

Также на вкладке «*Echotrace*» настраиваются параметры для отображения гистограммы по силе цели в окне «*Histogram*»:

Maximum angle — задаётся порог по отклонению целей от оси антенны (в градусах);

Inner angle — задаётся внутренняя часть проекции луча. Этот параметр позволяет ограничить отображение целей на дополнительной гистограмме внутренним углом (например, 3°).

Maximum / Minimum TS — задаются границы диапазона значений силы целей.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Как было сказано выше, сила цели регистрируемых эхолотом объектов в естественной среде обитания сильно варьирует из-за изменений в ориентации тела и физиологического состояния. Поэтому лучше представлять силу цели как статистическую величину, имеющую среднее значение для достаточно большого количества измерений, распределённых вокруг этого среднего. Средняя сила цели должна быть рассчитана из среднего сечения обратного рассеяния, а не по средней силе отдельных целей.

Из всей совокупности гидроакустических и биологических данных, накопленных в периоды съёмок в СЗТО в 2015–2017 гг., первоначально было отобрано из базы данных 86 удовлетворяющих заданным условиям траловых станций и соответствующих им фрагментов эхограмм с преобладанием скумбрии в уловах не менее 95%. Из этого количества, после проверки наличия на эхограммах достаточного количества разрешаемых индивидуально одиночных целей, было отобрано для построения линий регрессии 60 фрагментов эхограмм.

В результате программной обработки эхограмм, включающей процедуры фильтрации и устранения экстремальных выбросов, получали файлы со значениями сил цели выделенных эхотреков на частоте 38 кГц и 120 кГц в формате электронных таблиц «Excel» (© Microsoft). В файлах рассчитаны следующие параметры (рис. 6):

TargetDepth — глубина от поверхности до одиночной цели в метрах;

CompTS — компенсированная сила цели (значение *TS*, приведённое к центру луча);

UncompTS — некомпенсированная сила цели (значение *TS*, измеренное по факту);

AlongShip / AthwartShip (α / β) — угловые координаты цели в луче (продольное и поперечное смещение цели от центра луча);

UncompSv — некомпенсированная сила обратного объёмного рассеяния S_v (измеренная за интервал интегрирования по факту).

Log	Time	Latitude	Longitude	TargetDepth	CompTS	UncompTS	AlongShip	AthwartShip	UncompSv	σ_{bs}	γ
12467.98	10:25:56	44.19	155.19	16.48	-54.25	-66.04	-3.03	-4.18	-64.28	3.76E-06	5.16
12468.51	10:29:38	44.18	155.20	21.27	-37.81	-41.22	-1.75	2.05	-42.48	0.000166	2.70
12468.54	10:29:48	44.18	155.20	18.20	-39.04	-49.04	-4.64	-0.64	-48.49	0.000125	4.68
12468.57	10:30:00	44.18	155.21	18.01	-50.34	-51.35	-1.30	-0.71	-50.68	9.26E-06	1.48
12468.61	10:30:16	44.18	155.21	18.40	-41.40	-44.96	-2.71	-0.64	-44.53	7.24E-05	2.79
12468.79	10:31:26	44.18	155.21	19.16	-51.96	-54.35	2.17	0.71	-54.41	6.36E-06	2.28
12468.82	10:31:36	44.18	155.21	13.23	-43.53	-45.65	1.08	-1.80	-40.99	4.43E-05	2.10
12469.06	10:33:06	44.17	155.21	18.20	-51.62	-53.45	1.66	1.09	-52.90	6.88E-06	1.98
12469.2	10:33:58	44.17	155.22	18.97	-45.13	-55.20	3.84	-2.89	-55.14	3.07E-05	4.80
12469.23	10:34:10	44.17	155.22	19.93	-36.87	-37.49	0.95	0.64	-38.01	0.000205	1.15
12469.23	10:34:10	44.17	155.22	20.88	-38.58	-39.31	-0.40	1.15	-40.37	0.000139	1.22
12469.28	10:34:30	44.17	155.22	19.73	-39.89	-40.79	1.27	0.58	-41.20	0.000103	1.39
12469.8	10:37:46	44.17	155.23	18.97	-54.90	-61.49	1.27	-3.47	-61.43	3.24E-06	3.69
12470.07	10:39:28	44.16	155.23	21.65	-50.59	-59.30	-1.75	-3.92	-60.77	8.74E-06	4.29
12470.25	10:40:38	44.16	155.24	16.86	-46.44	-47.58	1.53	-0.39	-46.10	2.27E-05	1.58
12470.28	10:40:46	44.16	155.24	22.41	-53.57	-55.83	2.11	-0.71	-57.69	4.4E-06	2.22
12470.36	10:41:20	44.16	155.24	20.88	-38.11	-45.78	0.37	3.92	-46.84	0.000155	3.93
12470.37	10:41:22	44.16	155.24	19.35	-52.31	-56.90	-3.16	-0.19	-57.08	5.88E-06	3.17

Рис. 6. Пример итогового файла программной обработки данных

Все значения компенсированной *TS* скумбрии преобразовывались в сечения обратного рассеяния σ_{bs} (м^2) по формуле:

$$\sigma_{bs} = 10^{(TS/10)}.$$

Для каждой пробы рассчитано результирующее угловое отклонение одиночной цели от оси луча:

$$\gamma = \arccos(\cos\alpha \times \cos\beta),$$

где α и β — продольное и поперечное смещения цели от центра луча.

Поскольку на краях луча погрешность измерения *TS* выше, цели на углах больше 3° (γ>3°) были исключены из обработки.

Для каждого эксперимента (фрагмента эхограммы) вычислены средние арифметические значения σ_{bs}. Соответствующие средние значения *TS* затем определяли путём повторного преобразования в логарифмическую область согласно формуле [MacLennan et al., 2002]:

$$TS = 10\log(\sigma_{bs}/A_0),$$

где A_0 = 1 м^2.

Полученные пары значений средней силы целей (*TS*), измеренных на выбранных фрагментах эхограмм, и средней длины (*L*) рыб, пойманных в выделенном слое, подвергались корреляционному и регрессионному анализу для нахождения эмпирической зависимости между ними [Ricker, 1973]. В результате анализа вычислены коэффициенты регрессии для сил цели японской скумбрии в СЗТО со средними размерами от 19 до 31 см.

Зависимости между *TS* и длиной рыб задаются уравнениями регрессии. Уравнение прямой регрессии для японской скумбрии на частоте 38 кГц:

$TS = 20{,}6\log(L) - 73{,}7$; $r = 0{,}91$; $R^2 = 0{,}83$.

Уравнение обратной регрессии:

$TS = 24{,}9\log(L) - 79{,}7$.

Обобщённая регрессия:

$TS = 22{,}6\log(L) - 76{,}7$.

Нормированная к $20\log(L)$ регрессия:

$TS = 20\log(L) - 72{,}8$.

На частоте 120 кГц уравнение прямой регрессии:

$TS = 21\log(L) - 75$; $r = 0{,}89$; $R^2 = 0{,}8$.

Уравнение обратной регрессии:

$TS = 26{,}2\log(L) - 82{,}5$.

Обобщенная регрессия:

$TS = 23{,}5\log(L) - 78{,}8$.

Нормированная к $20\log(L)$ регрессия:

$TS = 20\log(L) - 73{,}6$.

Результаты вычислений и эмпирические регрессионные кривые для всего размерного ряда скумбрии в СЗТО на частотах 38 кГц и 120 кГц представлены на рис. 7 и 8.

Для сравнения на рис. 7 представлены линии регрессии *TS*(*L*) на частоте 38 кГц, полученные другими исследователями. Некоторые результаты близки, а некоторые отличаются весьма суще-

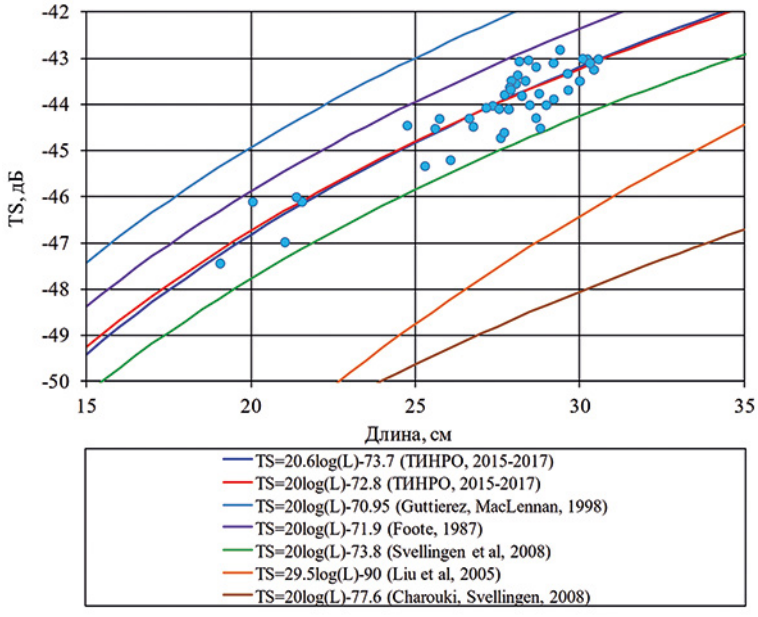


Рис. 7. Зависимости силы цели (*TS*) скумбрии японской от длины на частоте 38 кГц

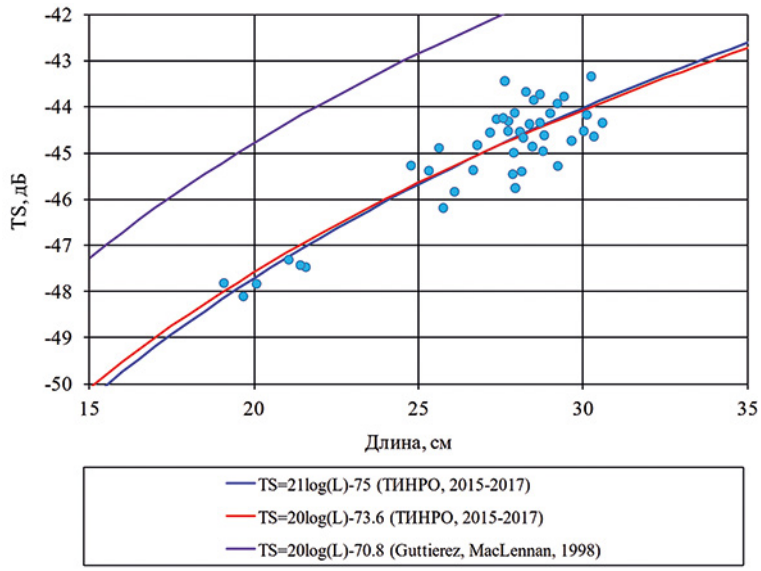


Рис. 8. Зависимости силы цели (*TS*) скумбрии японской от длины на частоте 120 кГц

ственно. Например, оценки силы цели одиночных особей скумбрии *in situ*, полученные Чароки и Свеллинген [Charouki, Svellingen, 2008] в марокканских водах, почти на 5 дБ ниже, чем измеренные нами в СЗТО и на 5,6 дБ меньше, чем используемые этими авторами в акустических съёмках (для сельдевых). Модельные оценки сил цели японской скумбрии тех же авторов [Svellingen et al., 2008] имеют разницу с нашими результатами всего в 1 дБ (рис. 7). Уравнение по [Liu et al., 2005], полученное у берегов Тайваня, даёт смещённость оценок сил цели по отношению к нашим в сторону уменьшения от 5 дБ у мелких до 3 дБ у крупных рыб. И наконец, уравнение по Гутьерез и Макленнан [Guttierez, MacLennan, 1998.] у побережья Перу даёт силы цели скумбрии наоборот, на 2,7 дБ выше, чем полученные нами в СЗТО.

Значительные вариации оценок *TS* могут быть связаны с различием физиологического состояния скумбрии в периоды акустических измерений. Даже у рыб одного вида и размера, сила цели может существенно различаться с изменением жирности, размеров половых продуктов, наполнения желудка, влияющих на размер и форму плавательного пузыря [Ona, 1990; Jorgensen, 2003]. Существенное влияние на отражательные свойства объекта имеют внешние факторы: двигательное поведение (поиск пищи, реакция рыб на шум судна) и суточное вертикальное распределение и миграции рыб. Связанная с этими факторами ориентация (угол наклона) рыб относительно луча антенны эхолота — наибольший потенциальный источник вариабельности акустической силы цели [Blaxter, Batty, 1990].

Измеренные в СЗТО значения силы цели японской скумбрии заключены между модельной регрессионной кривой [Svellingen et al., 2008] и зависимостью, используемой для оценки сельдевых [Foote, 1987]. По уравнениям регрессии разница между ними составляет 1 дБ (рис. 7). Японская скумбрия имеет хорошо развитый плавательный пузырь, поэтому сила обратного рассеяния у неё должна быть существенно выше по сравнению с другими видами скумбриевых. Например, с атлантической скумбрией разница составляет по разным оценкам более 10 дБ [Scoulding et al., 2017]. При этом отношение длины рыб к длине плавательного пузыря у скумбрии несколько выше, чем у сельдевых видов рыб. Так у сардины (*Sardina pilchardus)* отношение длины плавательного пузыря к длине рыбы составляет 0,3, а у японской скумбрии — 0,2 [Svellingen et al., 2008]. С другой стороны, объём плавательного пузыря по отношению к объёму тела у скумбрии чуть больше (2 % против 1,5 % у сардины). Поэтому полученная нами сила цели скумбрии ожидаемо ниже, чем у сельдевых того же размера, но, из-за указанных морфологических особенностей плавательного пузыря, не намного (на 1 дБ). Однако, разница между силами цели японской скумбрии и сельдевых на 5,7 дБ [Charouki, Svellingen 2008], слишком высока. Если применить такую *TS* для эхоинтеграционной оценки сардины и скумбрии в СЗТО, это вызовет существенное увеличение обилия в их

смешанных скоплениях, а в одновидовых скоплениях численность (биомасса) скумбрии вырастет более чем в три раза.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Акустические измерения силы цели рыб *in situ* наиболее точны, поскольку выполняются непосредственно в периоды съёмки и с большей вероятностью повторяют их естественное поведение и распределение. Представлен процесс отбора эхограмм и фильтрации одиночных целей японской скумбрии, который реализован в программном комплексе «SALTSE». Для каждого выбранного фрагмента эхограмм вычислены пары значений средней силы целей и средней длины рыб. Получены регрессионные зависимости между ними.

Результаты проведённых исследований подтверждают, что сила цели скумбрии зависит от её длины, а также обладает значительными вариациями даже в пределах одного эксперимента (фрагмента эхограмм), вызванными, скорее всего, положением (ориентацией) рыб и плавательного пузыря относительно горизонтальной плоскости во время акустических измерений. Кроме того, наблюдаются существенные различия отражательной способности японской скумбрии в зависимости от района исследований и, соответственно, физиологического состояния и особенностей поведения и распределения объекта.

Оценки силы цели японской скумбрии в СЗТО примерно на 1 дБ ниже, чем у сельдевых видов рыб. Полученные уравнения регрессии будут использоваться в алгоритме расчёта численности японской скумбрии при проведении тралово-акустических съёмок в СЗТО. В идеале, TS следует уточнять во время каждой съёмки, выполняя необходимое количество измерений отдельных эхотреков на участках тралений *in situ*.

ЛИТЕРАТУРА

Андреева И.Б. 1964. О рассеянии звука газовыми пузырями рыб в глубоководных звукорассеивающих слоях океана // Акустический журнал. Т. 10. № 1. С. 20–24.

Андреева И.Б., Самоволькин В.Г. 1986. Рассеяние акустических волн на морских организмах. М.: Агропромиздат. 102 с.

*Гончаров С.М., Попов С.Б., Бондаренко В.М., Мельник Н.Г., Смирнова Н.С., Ханаев И.*В. 2008. Измерение силы цели байкальского омуля для повышения точности оценки его запаса в озере Байкал // Рыбное хозяйство. № 3. С. 87–90.

Ермольчев В.А. 2006. Результаты исследований зависимостей силы цели рыб *in situ* от длины для трески, путассу и мойвы в Баренцевом и Норвежском морях // Рыбное хозяйство. № 1. С. 92–96.

Кузнецов М.Ю. 2013. Гидроакустические методы и средства оценки запасов рыб и их промысла. Часть 1. Гидроакустические средства и технологии их использования при проведении биоресурсных исследований ТИНРО-Центра // Известия ТИНРО. Т. 172. С. 20–51.

*Кузнецов М.Ю., Убарчук И.*А. 2013. Формирование библиотеки типовых акустических изображений рыб Охотского и Берингова морей (структура и процедура пополнения) // Известия ТИНРО. Т. 175. С. 182–193.

*Кузнецов М.Ю., Убарчук И.А., Поляничко В.И., Сыроваткин Е.*В. 2021. Программный комплекс для визуализации, многовидовой обработки и хранения данных гидроакустических ресурсных съёмок // Труды ВНИРО. Т. 183. С. 174–190.

Мамылов В.С. 1999. Некоторые аспекты оценки плотности рыбных скоплений тралово-акустическими методами // Развитие технических методов рыбохозяйственных исследований. Мурманск: Изд-во ПИНРО. С. 147–163.

Урик Р.Д. 1978. Основы гидроакустики. Л.: Судостроение. 448 с. (Urick, R.J. 1975. Principles of Underwater Sound, 2nd edn. New York: McGraw-Hill Book Company. 384 p.)

Шишкова Е.В. 1977. Физические основы промысловой гидроакустики. М.: Пищевая промышленность. 247 с.

Юданов К.И. 1992. Гидроакустическая разведка рыбы. СПб.: Судостроение. 186 с.

Blaxter, J.H.S., Batty, R.S. 1990. Swimbladder behaviour and target strength // Rapp. P.-v. Reun. Cons. Int. Explor. Mer. V. 189. P. 233–244.

Charouki N., Svellingen I.K. 2008. Acoustic target strength of chub mackerel (*Scomber japonicus*) measured in situ using split beam acoustics // Symp. on Sci. and the Challenge of Managing Small Pelagic Fisheries on Shared Stocks in Northwest Africa. Casablanca, Morocco, 11–14 March 2008. Rome: FAO fisheries and aquaculture proc. P. 295–302.

Clay C.S., Heist B.G. 1984. Acoustic scattering by fish: acoustic models and a two-parameter fit // J. Acoustical Society of America. V. 75. P. 1077–1083.

*Clay C.S., Horne J.*K. 1994. Acoustic models of fish: the Atlantic cod (Gadus morhua) // J. Acoustical Society of America. V. 96. P. 1661–1668.

Conti S.G., Demer D.A., Soule M.A., Conti J.H. E. 2005. An improved multiple-frequency method for measuring in situ target strengths // ICES J. of Marine Science. V. 62. P. 1636–1646.

Demer D.A., Soule M.A., Hewitt R.P. 1999. A multifrequency method for improved accuracy and precision of in-situ target strength measurements // J. Acoustical Society of America. V. 105. P. 2359–2376.

Demer D.A., Berger L., Bernasconi M., Bethke E., Boswell K., Chu D., Domokos R., et al. 2015. Calibration of acoustic instruments. ICES Cooperative Research Report № . 326. P. 133.

Foote K.G. 1980. Averaging of fish target strength functions // J. Acoustical Society of America. V. 67. P. 504–515.

Foote K.G. 1985. Rather-high-frequency sound scattering by swimbladdered fish // J. Acoustical Society of America. V. 68. P. 688–700.

Foote K.G. 1987. Fish target strength for use in echo integrator surveys // J. Acoustical Society of America V. 82. P. 981–987.

Foote K.G. 1997. Target strength of fish. Encyclopedia of Acoustics. // Encyclopedia of acoustics. V. 1. New York: Wiley. P. 493–500.

Furusawa M. 1988. Prolate spheroidal models for predicting general trends of fish target strength // J. Acoustical Society of Japan (E). V. 9. P. 13–24.

Guttierez M., MacLennan D. 1998. Preliminary results of determination of in situ target strength of main pelagic species: Cruise of RV Humboldt 9803–05 from Tumbes to Tacna // Inf. Inst. Mar. Peru. V. 135. P. 16–19.

Jorgensen R. 2003. The effects of swimbladder size, condition and gonads on the acoustic target strength 351 of mature capelin // ICES J. of Marine Science. V. 60. P. 1056–1062.

*Lee D.J., Shin H.*H. 2005. Construction of a data bank for acoustic target strength with fish species, length and acoustic frequency for measuring fish size distribution // Korean J. Fisheries and Aquatic Sciences. V. 38. № 4. P265–275.

Liu J.M., Wu C.L., Chang Y. 2005. In situ target strength versus fork length relationships of *Scomber japonicus* and Scomber australasicus in waters off Northeastern Taiwan // J. Taiwan Fisheries Research. V. 13. № 2. P. 1–9.

Love R.H. 1971. Dorsal-aspect target strengths of an individual fish // J. Acoustical Society of America. V. 49. P. 816–823.

MacLennan D.N., Fernandes P.G., Dalen J. 2002. A consistent approach to definitions and symbols in fisheries acoustics // ICES J. of Marine Science. V. 59. P. 365–369.

Midttun L. 1984. Fish and other organisms as acoustic targets // Rapp. P.-v. Reun. Cons. Int. Explor. Mer. V. 184. P. 25–33.

Mukai T., Sano N., Iida K., Sasaki S. 1993. Studies on dorsal aspect target strength of ten species of fish collected in the East China Sea // Nippon Suisan Gakkaishi J.V. 59. P. 1515–1525.

Nakken O., Olsen K. 1977. Target strength measurements of fish // Rapp. P.-v. Reun. Cons. Int. Explor. Mer. V. 170. P. 52–69.

Ona E. 1990. Physiological factors causing natural variations in acoustic target strength of fish // J. Marine Biological Association of the United Kingdom. V. 70. P. 107–127.

Ona E. 1999. Methodology for Target Strength Measurements. ICES Cooperative Research Report № 235. P. 65.

Ona, E. 2001. Herring tilt angles, measured through target tracking. // Herring: Expectations For a New Millenium (eds F. Funk et al.). Anchorage: Alaska Sea Grant College Program. P. 509–520.

Ricker W.E. 1973. Linear regressions in fishery research // J. Fisheries Research Board of Canada. V. 30. P. 409–434.

Scoulding B., Gastauer S., MacLennan D.N, Fässler S.M.M., Copland P., Fernandes P.G. 2017. Effects of variable mean target strength on estimates of abundance: the case of Atlantic mackerel (Scomber scombrus) // ICES J. Marine Science. V. 74. № 3. P. 822–831.

Simmonds E.J., MacLennan D.N. 2005. Fisheries acoustics: theory and practice. Oxford, UK: Blackwell Science published. 437 p.

Soule M., Barange M., Hampton J. 1995. Evidence of bias in estimates of target strength obtained with a split-beam echosounder // ICES J. of Marine Science. V. 52. P 139–144.

Svellingen I.K, Charouki N., Benchrifi S. 2008. Target strength of chub mackerel (*Scomber japonicus*) in Moroccan waters measured in situ // Symp. on Sci. and the Challenge of Managing Small Pelagic Fisheries on Shared Stocks in Northwest Africa. Presentation – Casablanca, Morocco, 11–14 March 2008. P. 16.

Поступила в редакцию 26.03.2020 г.
Принята после рецензии 30.03.2020 г.

DOI: 10.36038/2307-3497-2021-184-73-86

The study of the acoustic target strength of Chub mackerel in the northwestern Pacific Ocean in situ

M. Yu. Kuznetsov,
V.I. Polyanichko,
E.V. Syrovatkin,
I.A. Ubarchuk

Pacific Branch of VNIRO (TINRO), Vladivostok, Russia

Significant concentrations of Chub mackerel (*Scomber japonicas*) were found in 2014 in the area of the Southern Kuril Islands (Northwestern Pacific Ocean (NWPO)). Commercial fishing for Chub mackerel was resumed in the NWPO in 2016. In this connection, exploratory work and acoustic-trawl surveys are carried out to identify distribution and abundance of Chub mackerel in the NWPO. Acoustic abundance estimates of the stock size of Chub mackerel is important for fishing. However, the reflectivity of Chub mackerel is not well understood. Collections of *in situ* target strength (*TS*) signals and corresponding fish size measurements for Chub mackerel were obtained as a result of research in the NWPO (2015–2017). The calibrated scientific echo-sounder "EK-60 Simrad" with two split-beam echo sounders of respectively 38 and 120 kHz was used to collect sonar data. Measurement of the *TS* of Chub mackerel was conducted at the trawl layer, which corresponds to the trawl opening per the trawling area. The echogram selection process and the filtering process of single targets of Chub mackerel are realize in the "SALTSE" software package ("TINRO"). The dependence of mean target strength (TS, dB) on mean fish length (L, cm) for was estimated as 20 log (*L*) – 72,8 dB at 38 kHz and as 20 log (*L*) – 73,6 dB at 120 kHz. The obtained values backscattering strength (*Sv*) of Chub mackerel in the NWPO are compared with the values *Sv* of other studies of the reflective properties of Scombridae.

Keywords: stock assessment, echogram, target strength, backscattering cross-section, single targets, fish length, regression equation.

REFERENCES

Andreeva I.B. 1964. O rasseyanii zvuka gazovymi puzyryami ryb v glubokovodnykh zvukorasseivayushchikh sloyakh okeana [On the scattering of sound by gas bubbles of fish in deep-sea sound-scattering layers of the ocean] // Akusticheskij zhurnal. T. 10. № 1. S. 20–24.

Andreeva I.B., Samovol'kin V.G. 1986. Rasseyanie akusticheskikh voln na morskikh organizmakh [Acoustic wave scattering on marine organisms]. M.: Agropromizdat. 102 s.

Goncharov S.M., Popov S.B., Bondarenko V.M., Mel'nik N.G., Smirnova N.S., KHanaev I.V. 2008. Izmerenie sily tseli bajkal'skogo omulya dlya povysheniya tochnosti otsenki ego zapasa v ozere Bajkal [Measuring the target strength of Baikal omul to increase the accuracy of estimating its stock in Baikal Lake] // Rybnoe khozyajstvo. № 3. S. 87–90.

Ermol'chev V. A. 2006. Rezul'taty issledovanij zavisimostej sily tseli ryb in situ ot dliny dlya treski, putassu i mojvy v Barentsevom i Norvezhskom moryakh [The results of study of equation between target strength and length of fish in situ for cod, blue whiting, capelin in the Barents and Norwegian Seas] // Rybnoe khozyajstvo. № 1. S. 92–96.

Kuznetsov M. Yu. 2013. Gidroakusticheskie metody i sredstva otsenki zapasov ryb i ikh promysla. Chast' 1. Gidroakusticheskie sredstva i tekhnologii ikh ispol'zovaniya pri provedenii bioresursnykh issledovanij TINRO-Tsentra [Hydroacoustic methods and tools for fish stock assessment and fishery maintenance. Part 1. Hydroacoustic tools and technologies of their use in bioresource researches of TINRO-Center] // Izvestiya TINRO. T. 172. S. 20–51.

Kuznetsov M. Yu., Ubarchuk I.A. 2013. Formirovanie biblioteki tipovykh akusticheskikh izobrazhenij ryb Okhotskogo i Beringova morej (struktura i protsedura popolneniya) [Formation library of the acoustic typical images of fish of Okhotsk sea and Bering sea (structure and replenishment procedure)] // Izvestiya TINRO. T. 175. S. 182–193.

Kuznetsov M. Yu., Ubarchuk I.A., Polyanichko V.I., Syrovatkin E.V. 2021. Programmnyj kompleks dlya vizualizatsii, mnogovidovoj obrabotki i khraneniya dannykh gidroakusticheskikh resursnykh s"emok [The software complex for visualization, multiple-view processing and data storage of hydroacoustic resource surveys] // Trudy VNIRO. – T. 183. S. 174–190.

Mamylov V.S. 1999. Nekotorye aspekty otsenki plotnosti rybnykh skoplenij tralovo-akusticheskimi metodami [Some aspects of assessing the density of fish aggregations by trawl-acoustic methods] // Razvitie

tekhnicheskikh metodov rybokhozyajstvennykh issledovanij. Murmansk: Izd-vo PINRO. S. 147–163.

Urik R.D. 1978. Osnovy gidroakustiki. L.: Sudostroenie. 448 s. (*Urick, R.J.* 1975. Principles of Underwater Sound, 2nd edn. New York: McGraw-Hill Book Company. 384 p.)

SHishkova E.V. 1977. Fizicheskie osnovy promyslovoj gidroakustiki. M.: Pishchevaya promyshlennost' [Physical fundamentals of fisheries hydroacoustics]. 247 s.

Yudanov K.I. 1992. Gidroakusticheskaya razvedka ryby [Hydroacoustic exploration of fish]. SPb.: Sudostroenie. 186 s.

Blaxter, J.H.S., Batty, R.S. 1990. Swimbladder behaviour and target strength // Rapp. P.-v. Reun. Cons. Int. Explor. Mer. V. 189. P. 233–244.

Charouki N., Svellingen I.K. 2008. Acoustic target strength of chub mackerel (*Scomber japonicus*) measured in situ using split beam acoustics // Symp. on Sci. and the Challenge of Managing Small Pelagic Fisheries on Shared Stocks in Northwest Africa. Casablanca, Morocco, 11–14 March 2008. Rome: FAO fisheries and aquaculture proc. P. 295–302.

Clay C.S., Heist B.G. 1984. Acoustic scattering by fish: acoustic models and a two-parameter fit // J. Acoustical Society of America. V. 75. P. 1077–1083.

*Clay C.S., Horne J.*K. 1994. Acoustic models of fish: the Atlantic cod (Gadus morhua) // J. Acoustical Society of America. V. 96. P. 1661–1668.

Conti S.G., Demer D.A., Soule M.A., Conti J.H. E. 2005. An improved multiple-frequency method for measuring in situ target strengths // ICES J. of Marine Science. V. 62. P. 1636–1646.

Demer D.A., Soule M.A., Hewitt R.P. 1999. A multifrequency method for improved accuracy and precision of in-situ target strength measurements // J. Acoustical Society of America. V. 105. P. 2359–2376.

Demer D.A., Berger L., Bernasconi M., Bethke E., Boswell K., Chu D., Domokos R., et al. 2015. Calibration of acoustic instruments. ICES Cooperative Research Report № . 326. P. 133.

Foote K.G. 1980. Averaging of fish target strength functions // J. Acoustical Society of America. V. 67. P. 504–515.

Foote K.G. 1985. Rather-high-frequency sound scattering by swimbladdered fish // J. Acoustical Society of America. V. 68. P. 688–700.

Foote K.G. 1987. Fish target strength for use in echo integrator surveys // J. Acoustical Society of America V. 82. P. 981–987.

Foote K.G. 1997. Target strength of fish. Encyclopedia of Acoustics. // Encyclopedia of acoustics. V. 1. New York: Wiley. P. 493–500.

Furusawa M. 1988. Prolate spheroidal models for predicting general trends of fish target strength // J. Acoustical Society of Japan (E). V. 9. P. 13–24.

Guttierez M., MacLennan D. 1998. Preliminary results of determination of in situ target strength of main pelagic species: Cruise of RV Humboldt 9803–05 from Tumbes to Tacna // Inf. Inst. Mar. Peru. V. 135. P. 16–19.

Jorgensen R. 2003. The effects of swimbladder size, condition and gonads on the acoustic target strength 351 of mature capelin // ICES J. of Marine Science. V. 60. P. 1056–1062.

*Lee D.J., Shin H.*H. 2005. Construction of a data bank for acoustic target strength with fish species, length and acoustic frequency for measuring fish size distribution // Korean J. Fisheries and Aquatic Sciences. V. 38. № 4. P 265–275.

Liu J.M., Wu C.L., Chang Y. 2005. In situ target strength versus fork length relationships of *Scomber japonicus* and Scomber australasicus in waters off Northeastern Taiwan // J. Taiwan Fisheries Research. V. 13.№ 2. P. 1–9.

Love R.H. 1971. Dorsal-aspect target strengths of an individual fish // J. Acoustical Society of America. V. 49. P. 816–823.

MacLennan D.N., Fernandes P.G., Dalen J. 2002. A consistent approach to definitions and symbols in fisheries acoustics // ICES J. of Marine Science. V. 59. P. 365–369.

Midttun L. 1984. Fish and other organisms as acoustic targets // Rapp. P.-v. Reun. Cons. Int. Explor. Mer. V. 184. P. 25–33.

Mukai T., Sano N., Iida K., Sasaki S. 1993. Studies on dorsal aspect target strength of ten species of fish collected in the East China Sea // Nippon Suisan Gakkaishi J.V. 59. P. 1515–1525.

Nakken O., Olsen K. 1977. Target strength measurements of fish // Rapp. P.-v. Reun. Cons. Int. Explor. Mer. V. 170. P. 52–69.

Ona E. 1990. Physiological factors causing natural variations in acoustic target strength of fish // J. Marine Biological Association of the United Kingdom. V. 70. P. 107–127.

Ona E. 1999. Methodology for Target Strength Measurements. ICES Cooperative Research Report № 235. P. 65.

Ona, E. 2001. Herring tilt angles, measured through target tracking. // Herring: Expectations For a New Millenium (eds F. Funk et al.). Anchorage: Alaska Sea Grant College Program. P. 509–520.

Ricker W.E. 1973. Linear regressions in fishery research // J. Fisheries Research Board of Canada. V. 30. P. 409–434.

Scoulding B., Gastauer S., MacLennan D.N, Fässler S.M.M., Copland P., Fernandes P.G. 2017. Effects of variable mean target strength on estimates of abundance: the case of Atlantic mackerel (Scomber scombrus) // ICES J. Marine Science. V. 74. № 3. P. 822–831.

Simmonds E.J., MacLennan D.N. 2005. Fisheries acoustics: theory and practice. Oxford, UK: Blackwell Science published. 437 p.

Soule M., Barange M., Hampton J. 1995. Evidence of bias in estimates of target strength obtained with a split-beam echosounder // ICES J. of Marine Science. V. 52. P 139–144.

Svellingen I.K, Charouki N., Benchrifi S. 2008. Target strength of chub mackerel (*Scomber japonicus*) in Moroccan waters measured in situ // Symp. on Sci. and the Challenge of Managing Small Pelagic Fisheries on Shared Stocks in Northwest Africa. Presentation – Casablanca, Morocco, 11–14 March 2008. P. 16.

FIGURE CAPTIONS

Fig. 1. Echogram with loaded trawling layer according to data from the trawl control device FS20/25

Fig. 2. Interface of the «FAMAS-DB» program

Fig. 3. Example of highlighting single targets with schools of fish on an acoustic image

Fig. 4. «SALTSE» program settings window with single target selection characteristics

Fig. 5. «SALTSE» program window with single targets highlighted (red)

Fig. 6. Sample software processing data file

Fig. 7. The dependence of target strength (TS) on Chub mackerel length at 38 kHz

Fig. 8. The dependence of target strength (TS) on Chub mackerel length at 120 kHz

УДК: 639.2.053.2 DOI: 10.36038/2307-3497-2021-184-87-98

Особенности пространственного распределения каспийских килек в средней части Каспийского моря в летний период по результатам гидроакустических исследований

Т.В. Помогаева,
В.А. Татарников

Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ФГБНУ «ВНИРО»), г. Москва

E-mail: pomogtatyana@mail.ru; fishing@vniro.ru

Исследования плотности распределения и оценка биомассы каспийских килек в глубоководной части Среднего Каспия проводились на НИС «Исследователь Каспия» гидроакустическим комплексом EK-60 фирмы «Simrad» (Норвегия) со стационарно установленными антеннами с расщепленным лучом на 38 и 120 кГц. Оценка биомассы каспийских килек производилась в ходе гидроакустической съёмки по заранее спланированной сетке галсов над глубинами от 20 до 800 м. Съёмки по учёту каспийских килек, проведённые в летний период (июнь-июль) с 2015 по 2018 гг., показали, что наибольшая масса каспийских килек, совершая нагульные миграции, концентрируется в средней части Каспийского моря, над глубинами от 100 до 700 метров. По результатам летних гидроакустических съёмок 2015–2018 гг. построены карты распределения килек в средней части Каспийского моря. Максимальные концентрации взрослых килек в верхнем слое 0–10 м были отмечены лишь в западной части Среднего Каспия. В слое 10–20 м плотные скопления встречались как в западной, так и в восточной и центральной частях акватории. По результатам исследований были разработаны рекомендации для рыбопромыслового флота по возобновлению промысла килек тралом в средней части Каспийского моря.

Ключевые слова: плотность скоплений килек, гидроакустические исследования, каспийские кильки, Средний Каспий, западная часть Каспийского моря.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время состояние запасов и районы формирования скоплений каспийских килек вызывают большой интерес промышленности [Канатьев и др., 2014; Парицкий и др., 2018]. Гидроакустические исследования помогают решать эту задачу. Каспийская килька является основным объектом промысла. В течение ряда лет во время проведения летних гидроакустических съёмок изучалась акватория средней части Каспийского моря. Неизученной до недавних пор оставалась глубоководная часть Среднего Каспия. Актуальность данной работы состоит в определении новых перспективных районов для промысла килек в летний период. Важным элементом для промышленного лова является определение горизонта с плотными скоплениями, что также отражено в данной статье. По итогам данной работы можно утверждать, что в глубоководной части Среднего Каспия возможно возобновление промысла каспийской кильки в летний период.

Цель работы — определение нового перспективного района для промысла килек — глубоководной части Среднего Каспия и разработка рекомендаций по районам для организации устойчивого промысла.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Исследования каспийских килек в глубоководной части Среднего Каспия проводились на НИС «Исследователь Каспия» гидроакустическим комплексом EK-60 фирмы «Simrad» (Норвегия) со стационарно установленными антеннами с расщеплённым лучом на 38 и 120 кГц. Приоритетными значениями эхоинтенсивности при работе до 100-метровой глубины считались показатели антенны с частотой 120 кГц, свыше 100-метровой глубины — показатели антенны с частотой 38 кГц [Методические рекомендации, 1990]. Видовую идентификацию каспийских килек проводили как по результатам тралений разноглубинным тралом, донным тралом 24,7 м, обловам конусным под-

хватом на электросвет, так и по типичным эхограммам при работе с так называемыми «сырыми» данными (raw-files), и в программе постобработки «Simrad BI-60» [Помогаева и др., 2014]. Карты распределения построены в программе ArcView Gis 3.1 методом интерполяции IDW.

На рис. 1 представлена схема учётной килечной съёмки, проходящей обычно в июле. Съёмки, проходящие в июне, охватывают акваторию от 20- метровой изобаты в отличие от июльской съёмки, от 50 метровой глубины и не имеют стандартной сетки галсов.

Расчёты выполнялись с использованием уточнённых сил целей каспийских килек, полученных в 2014 году в программе SALTSE (разработчики Ермольчев В.А., Убарчук И.А.) совместно с сотрудниками лаборатории промысловой гидроакустики и подводных исследований ПИНРО [Помогаева и др., 2017]. Учитывались размерно-весовые характеристики трёх видов каспийских килек (обыкновенная, анчоусовидная, большеглазая), выловленных различными способами: конусным подхватом, донным тралом, разноглубинным тралом. Использовались следующие уравнения:

$$TS = 20\log L - 72{,}9; \quad (1)$$

$$TS = 20\log L - 70{,}8 \quad (2)$$

для молоди килек (1) и взрослых рыб (2), где L — длина рыбы.

При постобработке результатов было принято допущение «взрослой средней кильки» массой 11 г и длиной 11 см. Все полученные значения были переведены в биомассу «средней кильки».

Съёмки по учёту каспийских килек, проведённые в летний период (июнь-июль) с 2015 по 2018 гг., показали, что наибольшая масса каспийских килек, совершая нагульные миграции, концентрируется в средней части Каспийского моря, над глубинами от 100 до 700 метров. Для удобства восприятия все карты распределения килек построены в одной градации. Промысловыми скоплениями принято считать скопления килек с плотностью свыше 50 т/миля^2. В этих скоплениях должна отсутствовать молодь.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

На рис. 2 показано распределение килек в июне 2015 года. Скопление с плотностью свыше 100 т/миля^2 отмечено у берегов Дагестана, на глубинах до 50 метров.

Выделив наиболее хорошо изученную акваторию Среднего Каспия в июне и проведя такие же исследования по изучению распределения каспийских килек в июле с разницей лишь в том, что в июне охвачена акватория от 20 м, а в июле от 50 м, мы сравнили полученные результаты.

Максимальные концентрации взрослых килек (свыше 100 т/миля^2) как в июне, так и в июле (рис. 3) были отмечены в Среднем Каспии над глубинами от 150 до 700 м, и в июне в западной

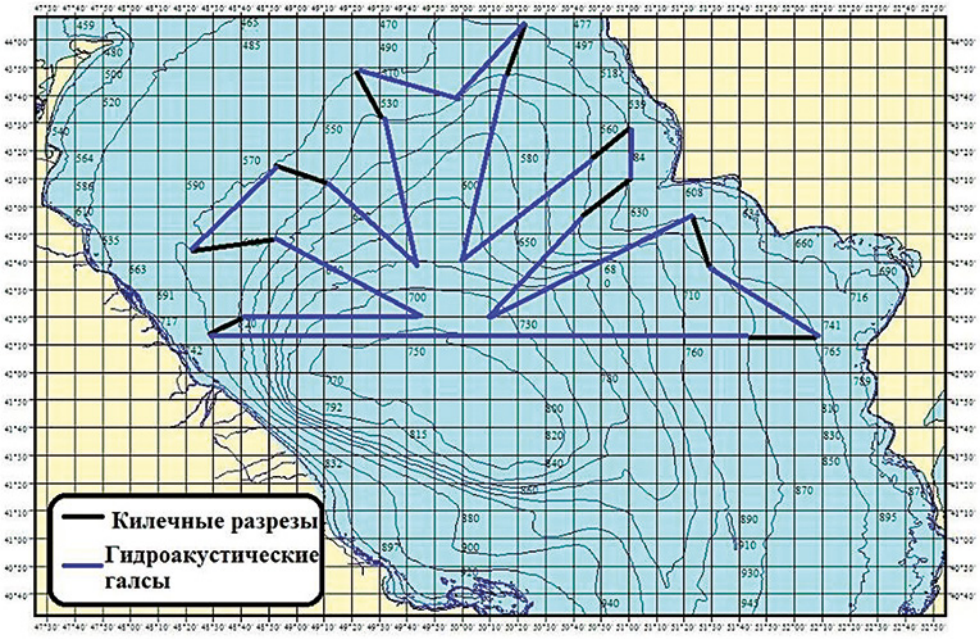


Рис. 1. Схема летней гидроакустической съёмки

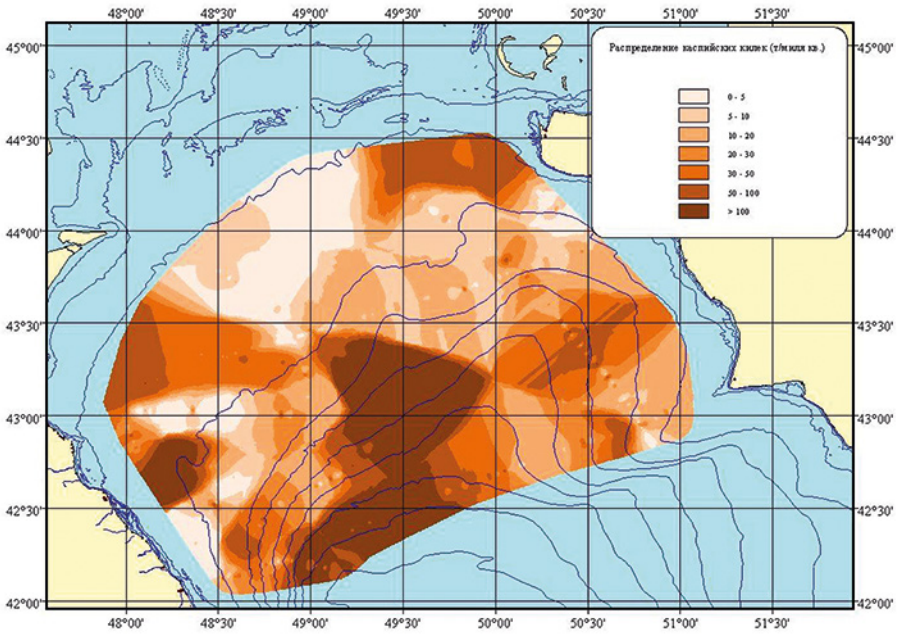


Рис. 2. Распределение каспийских килек, июнь 2015 г.

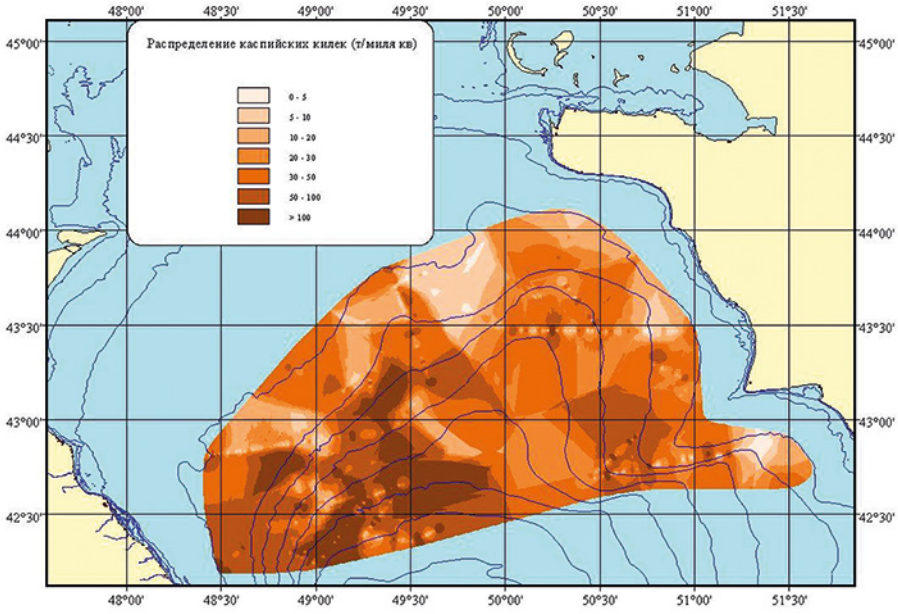


Рис. 3. Распределение каспийских килек, июль 2015 г.

части Среднего Каспия, на траверзе Избербаша, над глубинами от 30 до 100 м.

Для оценки биомассы каспийских килек в июне 2016 г. в ходе съёмки гидроакустическими галсами над глубинами от 20 до 800 м был пройден Средний Каспий. В июле был обследован район с глубинами от 50 до 700 метров. Также, как и в 2015 году для изучения распределения каспийских килек на акватории Среднего Каспия были проведены съёмки в июне и в июле с разницей лишь в том, что в июне охвачена акватория от 20 м, а в июле от 50 м. Максимальные концентрации взрослых килек (свыше 100 т/миля^2) как в июне (рис. 4), так и в июле (рис. 5) были отмечены в юго-западной части Среднего Каспия над глубинами от 100 до 700 м а также в июле в западной части Среднего Каспия над глубинами от 50 до 100 м [Помогаева, 2017].

В 2017 году была проведена одна летняя съёмка по учёту каспийских килек, охватившая

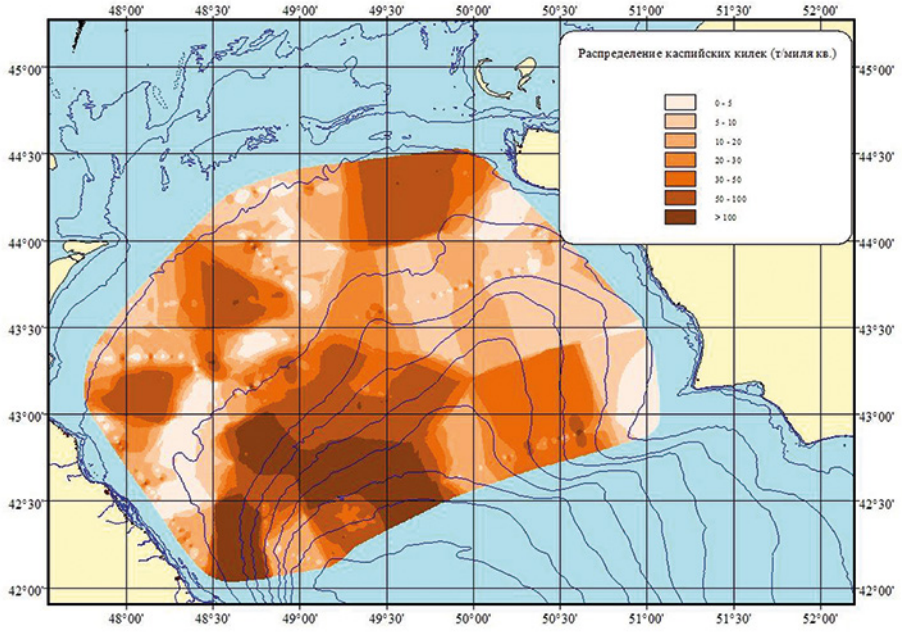


Рис. 4. Распределение каспийских килек, июнь 2016 г.

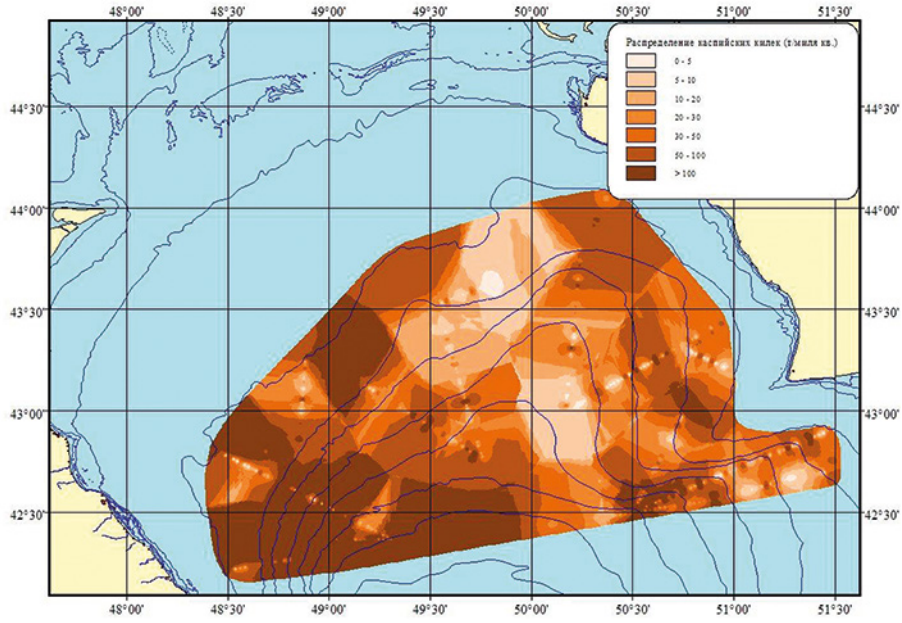


Рис. 5. Распределение каспийских килек, июль 2016 г.

период с середины июня до середины июля. При обработке гидроакустического материала не первый год выявляется закономерность нахождения плотных скоплений в верхнем 50-метровом слое. Максимальные концентрации взрослых килек в верхнем слое были отмечены лишь в западной части Среднего Каспия [Помогаева, 2018].

Основные скопления килек располагались в верхнем 50-метровом слое. Используя возможности программы постобработки Simrad BI-60, мы рассчитали плотность килек в отдельно взятых горизонтах. Постпроцессинговая программа Simrad BI-60 позволяет детально, по слоям, рассматривать скопления рыб и горизонт нахождения объектов. В настройках программы были установлены вертикальные слои толщиной 10 метров с выдачей значений через каждую пройденную милю. Полученные первично обработанные материалы подверглись дальнейшей обработке с помощью программы Excel.

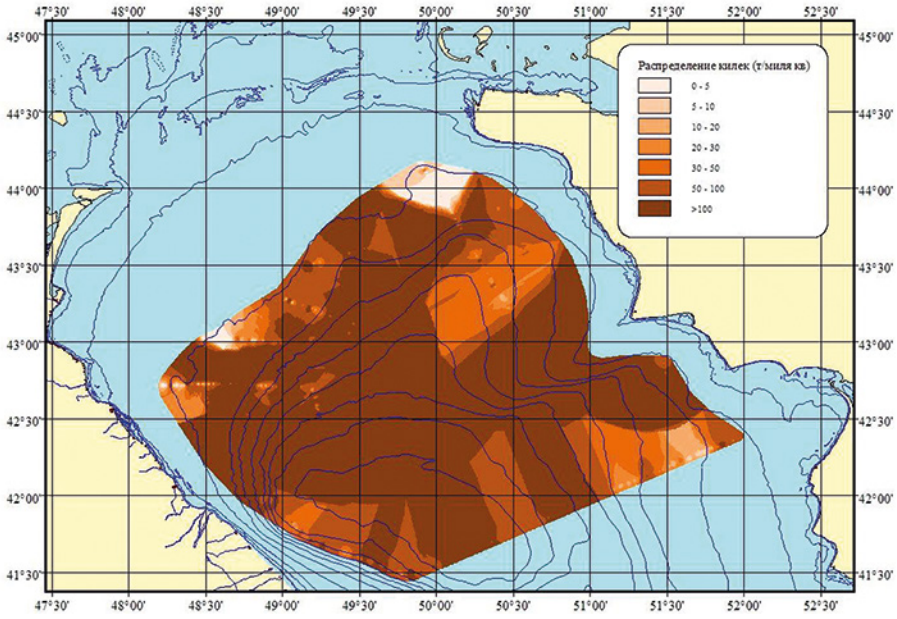


Рис. 6. Распределение каспийских килек, июнь-июль 2017 г.

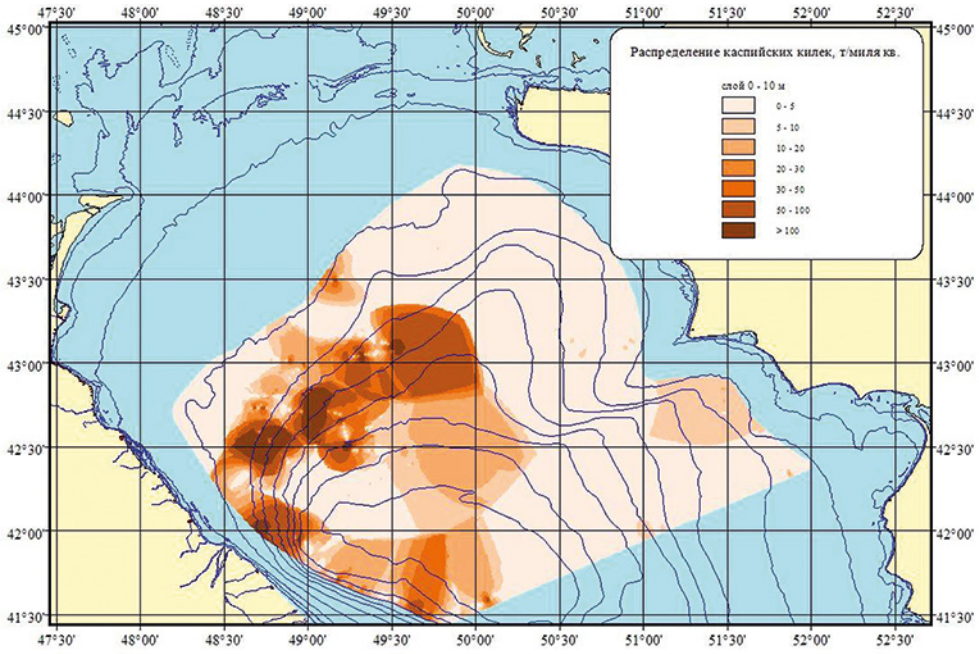


Рис. 7. Распределение каспийских килек, июнь-июль 2017 г., слой 0–10 м

Максимальные концентрации взрослых килек в верхнем слое 0–10 м были отмечены лишь в западной части Среднего Каспия (рис. 7).

В слое 10–20 м плотные скопления встречались как в западной, так и в восточной и центральной частях акватории (рис. 8).

Плотности свыше 100 т/миля² преобладали в слое 20–30 метров в центральной части акватории (рис. 9).

В слоях 30–40 м и 40–50 м (рис. 10, 11) плотность скоплений килек была значительно ниже.

На рис. 12 представлено соотношение по слоям каспийских килек. Преобладающим слоем по биомассе являлся слой от 20 до 30 метров от поверхности воды. Скопления взрослых килек в этом слое достигли значений свыше 130 т/миля². Следует отметить, что глубже

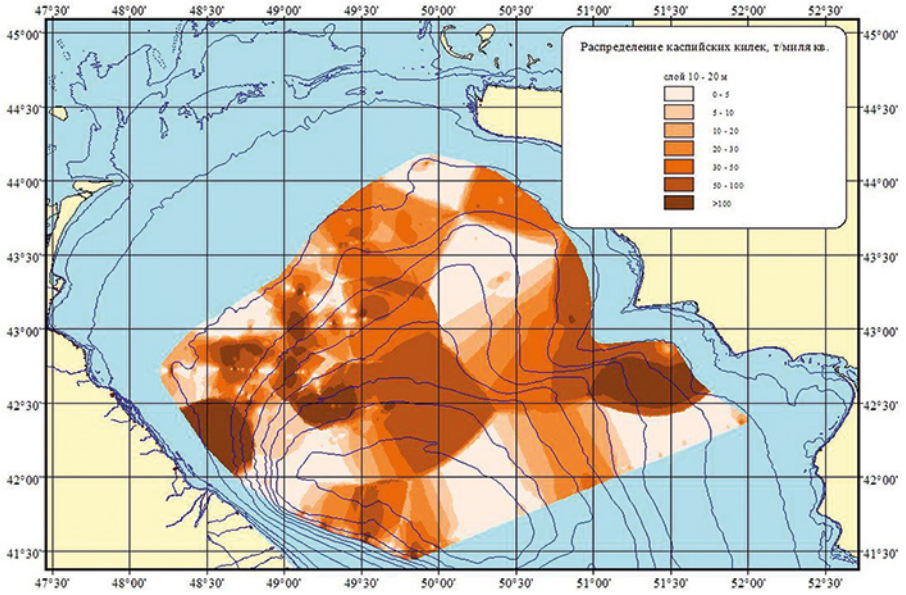


Рис. 8. Распределение каспийских килек, июнь-июль 2017 г., слой 10–20 м

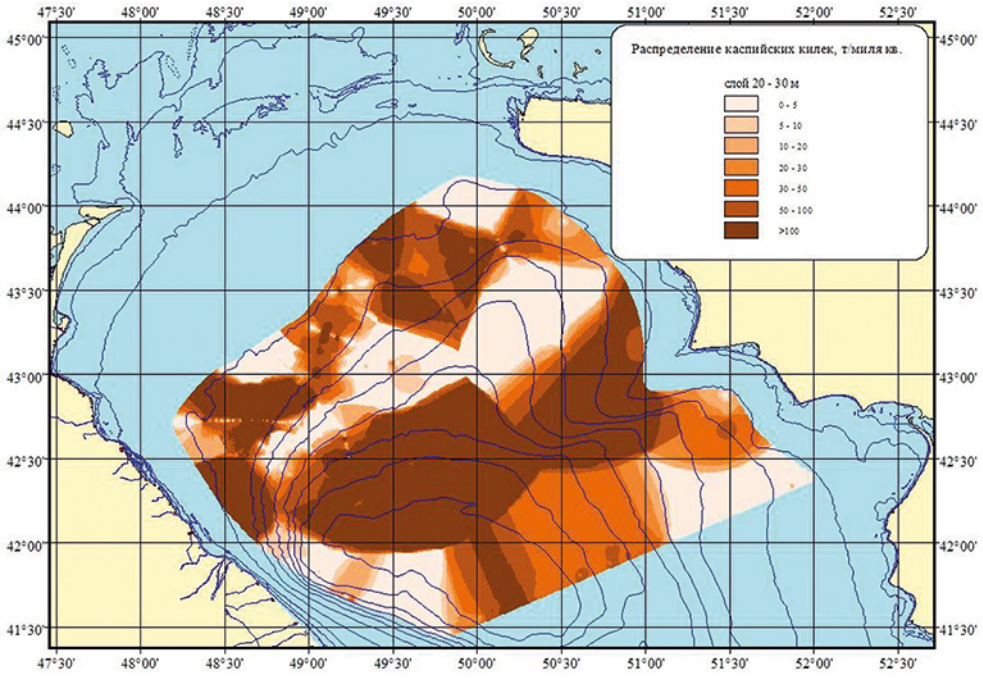


Рис. 9. Распределение каспийских килек, июнь-июль 2017 г., слой 20–30 м

50-метровой изобаты доля биомассы каспийских килек составила менее 11%.

Максимальные концентрации взрослых килек в июне 2018 г. (рис. 13) были отмечены в центральной части Среднего Каспия, над глубинами от 50 до 800 м, тогда как в июле этот участок оказался недообследованным (рис. 14). Также в июне существовали очень плотные скопления в западной части Среднего Каспия, над глубинами от 50 м.

По результатам летних гидроакустических съёмок построены карты распределения килек в средней части Каспийского моря. Анализируя материалы съёмок и учитывая, что промысловыми скоплениями принято считать скопления килек с плотностью свыше 50 т/миля^2, можно выделить определённый район. Этот район можно условно оконтурить по широте от 42° с.ш. до 43°30′с.ш. и по долготе от 48°30′ в. д. до 50° в.д.

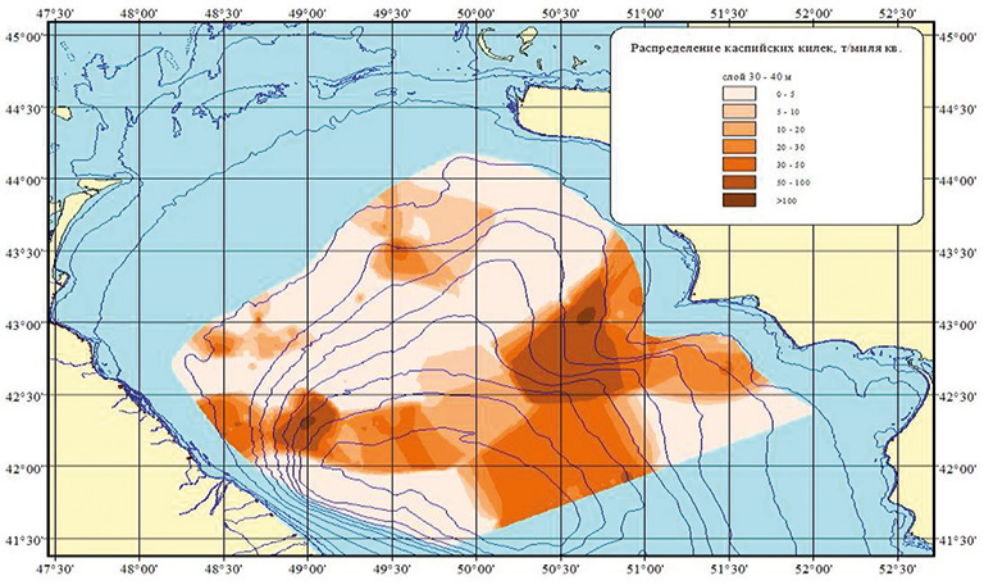


Рис. 10. Распределение каспийских килек, июнь-июль 2017 г., слой 30–40 м

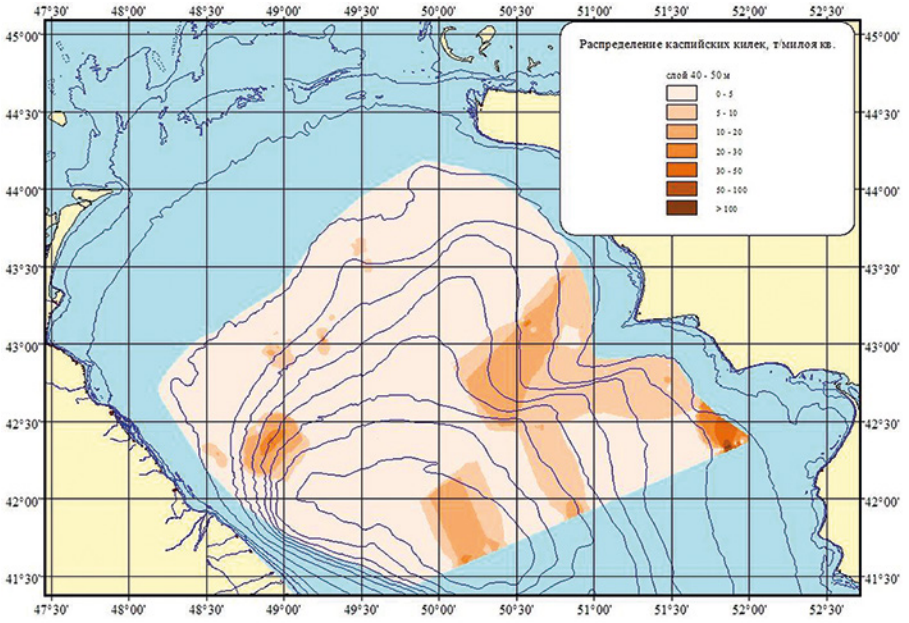


Рис. 11. Распределение каспийских килек, июнь-июль 2017 г., слой 40–50 м

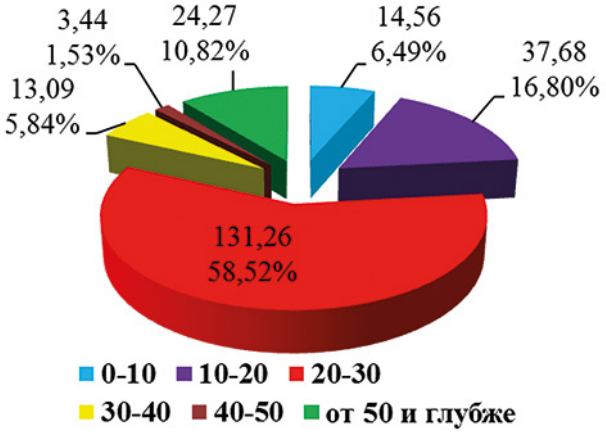


Рис. 12. Распределение каспийских килек, июнь-июль 2017 г.

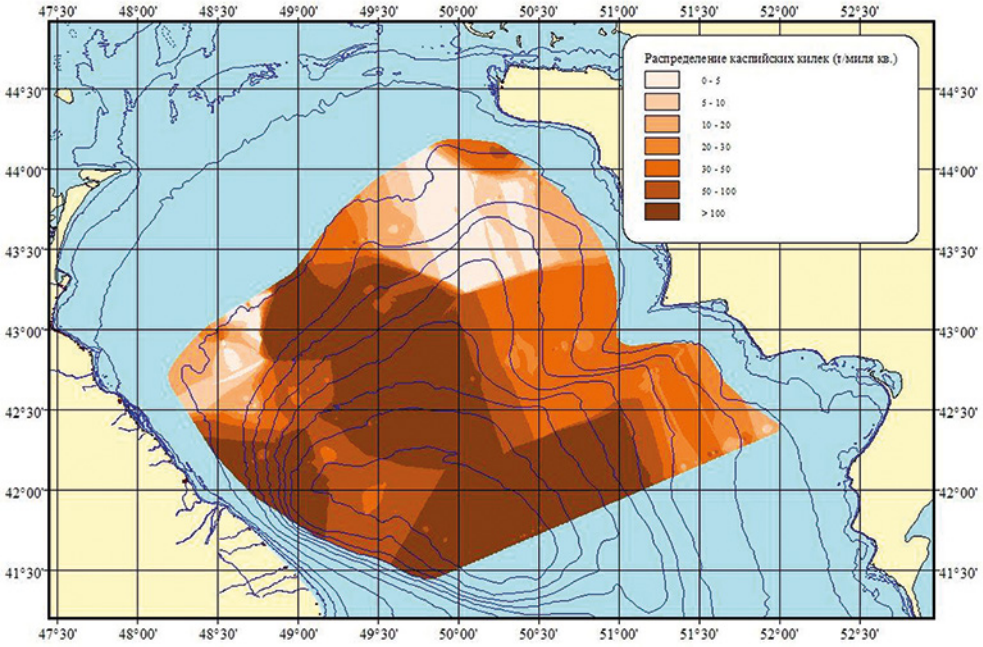


Рис. 13. Распределение каспийских килек, июнь 2018 г.

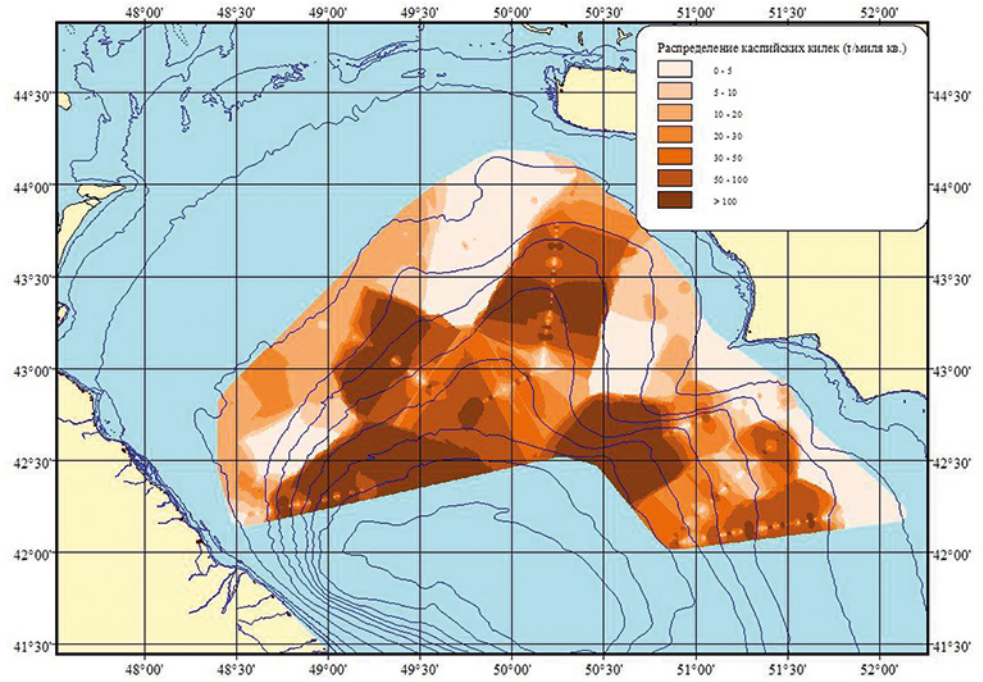


Рис. 14. Распределение каспийских килек, июль 2018 г.

Концентрации свыше 100 т/миля^2 характеризовали очень плотные концентрации. Скопления такой плотности целесообразно облавливать тралом.

Правовый статус Каспийского моря определяется Конвенцией о правовом статусе Каспийского моря (ратифицирована Федеральным законом от 01.10.2019 № 329-ФЗ) [Конвенция, 2018], а организация промысла водных биологических ресурсов в Каспийском море регламентирована Соглашением о сохранении и рациональном использовании водных биологических ресурсов Каспийского моря (ратифицировано Федеральным законом от 23.11.2015 № 311-ФЗ) [Соглашение, 2019]. В соответствии с этими правовыми актами каждая Сторона-

подписант обладает исключительным правом на осуществление промысла водных биологических ресурсов (ст. 9, пар. 2 Конвенции), а общий допустимый улов совместных водных биологических ресурсов распределяется по национальным квотам Комиссией по сохранению, рациональному использованию водных биологических ресурсов и управлению их совместными запасами (далее — Комиссия).

В соответствии со ст. 9 пар. 5 Конвенции порядок и условия промысла совместных водных биологических ресурсов в Каспийском море определяется в соответствии с отдельными соглашениями между всеми Сторонами. Определение рекомендованного вылова всех видов килек осуществляется в целом по бассейну с дальнейшим разделением по отдельным прикаспийским государствам: «Научные основы устойчивого рыболовства и регионального распределения промысловых объектов Каспийского моря» [Беляева и др., 1998]. Для каждой Стороны определена доля водного биологического ресурса от определённого общего допустимого улова (или рекомендованного вылова). Доля России составляет анчоусовидной кильки 39,2%, большеглазой кильки 48,75%, обыкновенной кильки 67,74%.

В соответствии с этим рекомендованный вылов для России на 2020 год был определён — по

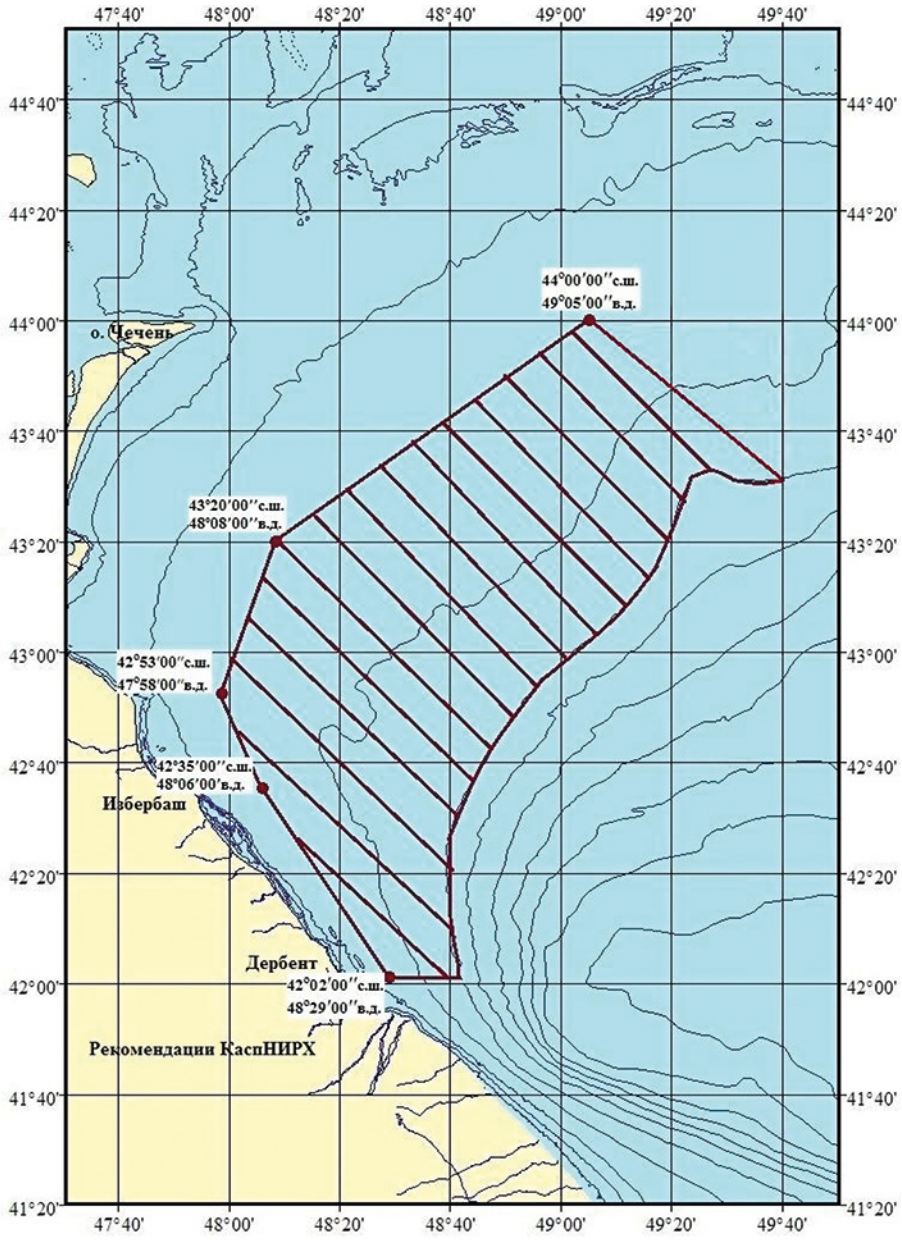


Рис. 15. Рекомендованный район

анчоусовидной 19,1 тыс. т, большеглазой 0,13 тыс. т обыкновенной — 80,0 тыс. т.

Особый статус в Конвенции и Соглашении прописан для осетровых видов рыб, прилов которых при ведении специализированного промысла других видов должен быть сведен к минимуму с обязательной регистрацией таких фактов.

По результатам гидроакустических исследований специалистами Волжско-Каспийского филиала ФГБНУ «ВНИРО» («КаспНИРХ») были разработаны рекомендации по организации промысла килек. Благодаря этим рекомендациям впервые был начат траловый промысел обыкновенной каспийской кильки у дагестанского побережья на глубинах 30–50 м. Следует отметить, что при ведении специализированного лова кильки в российской зоне в осенне-зимний период прилов осетровых видов рыб отсутствовал полностью. На рис. 15 показан данный район. В конце сентября 2019 г. в западной части Среднего Каспия был организован промышленный траловый лов 3 судами: улов на судо-сутки варьировал от 9 до 29 т при среднем показателе 19 т с общим уловом на конец года 2,2 тыс. т. В 2020 г. количество добывающих судов увеличилось до 19 единиц. Вылов на конец года составил 13 тыс. т, при среднем годовом улове на судо-сутки 18 т. В январе 2021 г. количество судов достигло рекомендуемой величины — 20 ед. Вылов за первые 3 месяца 2021 г. (с января по март) составил более 19 тыс. т. Благодаря организации тралового промысла, уже в 2020 г. вылов кильки на Каспии составил 15 тыс. т, что соответственно в 4 и 13 раз больше, чем в 2019, 2011–2018 гг.

ВЫВОДЫ

Таким образом, можно утверждать, что глубоководная часть Среднего Каспия является перспективным районом для промысла каспийских килек.

Результаты гидроакустических исследований в период выполнения съёмок на дагестанском шельфе показали, что после двадцатилетнего перерыва судовой килечный промысел возрождается на совершенно новой основе. Но этот промысел эффективен только в осенне-зимний и весенний периоды, до повышения нерестовых температур в данном районе и распада зимовальных скоплений кильки. Актуальность данной работы состоит в рекомендации новых перспективных районов для промысла килек в летний период.

ЛИТЕРАТУРА

Беляева В.Н., Иванов В.П., Зиланов В.К. 1998. Научные основы устойчивого рыболовства и регионального распределения промысловых объектов Каспийского моря. М.: Изд-во ВНИРО. 167 с.

Канатьев С.В., Помогаева Т.В., Разинков В.П. 2014. Перспективы морского тралового промысла обыкновенной кильки в российской части Северного Каспия // Сохранение биологических ресурсов Каспия. Межд. науч.-практ. конф. Мат. и докл. Астрахань, 18.09.-19.09. 2014 г. Изд-во АГТУ. С. 62–71.

Конвенция о правовом статусе Каспийского моря. 2018. Доступно через: http://kremlin.ru/supplement/5328. 18.09.2019 г.

Методические рекомендации по проведению гидроакустических съемок запасов килек в Каспийском море. 1990. Мурманск: ПИНРО-КаспНИРХ. 90 с.

Парицкий Ю.А., Асейнова А.А., Разинков В.П., Помогаева Т.В. 2018. Современное состояние и перспективы развития промысла каспийских килек // Вестник АГТУ № 1. С. 69–75.

Помогаева Т.В., Балченков И.Б., Смирнов А.В. 2014. Особенности использования постпроцессинговой программы BI-60 (SIMRAD) для определения биомассы каспийских килек по горизонтам в северо-западной части Каспийского моря. Современное состояние биоресурсов внутренних вод // II Всерос. конф. с межд. участием. Тез. докл. Т. 2. Борок, Россия 06.11.–09.11 2014 г. М.: ПОЛИГРАФ-ПЛЮС. С. 458–463.

Помогаева Т.В. 2017. Особенности пространственного распределения каспийских килек в глубоководной части Каспийского моря по результатам гидроакустических исследований в 2016 г. // XIX Межд. практ. конф. с элементами научной школы молодых учёных «Биологическое разнообразие Кавказа и юга России». Тез. докл. С. 644–645.

Помогаева Т.В. 2018. Особенности распределения промысловых скоплений килек в Среднем Каспии в летний период // VI Межд. Балтийский морской форум. Тез. докл. Калининград, 03.09–06.09.2018 г. Т. 2. Морская техника и технологии. Безопасность морской индустрии. VI Межд. науч. конф. Калининград: Изд-во БГАРФ. С. 405–410.

Соглашение о сохранении и рациональном использовании водных биологических ресурсов Каспийского моря. 2015. Доступно через: https://docs.cntd.ru/document/420356911. 12.06.2019 г.

Поступила в редакцию 11.11.2019 г.
Принята после рецензии 02.12.2019 г.

DOI: 10.36038/2307-3497-2021-184-87-98

Features of the spatial distribution of the Caspian sprats in the middle part of the Caspian Sea in the summer period according to the results of sonar studies

T.V. Pomogaeva,
V.A. Tatarnikov

Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (VNIRO), Moscow

Studies of the distribution density and assessment of the biomass of Caspian sprats in the deep-water part of the Middle Caspian Sea were carried out at the NIS " Issledovatel Caspia "by the EK-60 hydroacoustic complex of the company" Simrad "(Norway) with permanently installed split-beam antennas at 38 and 120 kHz. The assessment of the biomass of Caspian sprats was carried out in the course of hydroacoustic survey on a pre-planned grid of tacks over depths from 20 to 800 m. Surveys on the registration of Caspian sprats, conducted in the summer period (June-July) from 2015 to 2018, showed that the largest mass of Caspian sprats, making feeding migrations, is concentrated in the middle part of the Caspian Sea, above depths from 100 to 700 meters. Based on the results of the 2015–2018 summer hydroacoustic surveys, maps of the distribution of sprats in the middle part of the Caspian Sea were constructed. The maximum concentrations of adult sprats in the upper layer of 0–10 m were observed only in the western part of the Middle Caspian Sea. In the 10–20 m layer, dense clusters were found both in the western, eastern, and central parts of the water area. Based on the results of the research, recommendations were developed for the fishing fleet on the resumption of sprats fishing by trawl in the middle part of the Caspian Sea.

Keywords: density of clusters of sprats, sonar studies, Caspian sprats, Middle Caspian, western part of the Caspian Sea.

REFERENCES

Belyaeva V.N., Ivanov V.P., Zilanov V.K. 1998. Nauchnye osnovy ustojchivogo rybolovstva i regional'nogo raspredeleniya promyslovykh ob"ektov Kaspijskogo morya [Scientific foundations of sustainable fisheries and regional distribution of Caspian Sea fishing subjects]. M.: Izd-vo VNIRO. 167 s.

Kanat'ev S.V., Pomogaeva T.V., Razinkov V.P. 2014. Perspektivy morskogo tralovogo promysla obyknovennoj kil'ki v rossijskoj chasti Severnogo Kaspiya [Prospects of sea trawl fishing for common sprat in the Russian part of the Northern Caspian Sea] // Sokhranenie biologicheskikh resursov Kaspiya. Mezhd. nauch.-prakt. konf. Mat. i dokl. Astrakhan', 18.09.-19.09. 2014 g. Izd-vo AGTU. S. 62–71.

Konvenciya o pravovom statuse Kaspiyskogo moray [Convention on the Juridical Status of the Caspian Sea]. 2018. Accessible via: http://kremlin.ru/supplement/5328 18.09.2019 r.

Metodicheskie rekomendatsii po provedeniyu gidroakusticheskikh s"emok zapasov kilek v Kaspijskom more [Methodological recommendations for conducting hydroacoustic surveys of sprat reserves in the Caspian Sea.]. 1990. Murmansk: PINRO-KaspNIRKH. 90 s.

Paritskij Yu.A., Asejnova A.A., Razinkov V.P., Pomogaeva T.V. 2018. Sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya promysla kaspijskikh kilek [Current state and prospects of development of the Caspian sprat fishery] // Vestnik AGTU № 1. S. 69–75

Pomogaeva T.V., Balchenkov I.B., Smirnov A.V. 2014. Osobennosti ispol'zovaniya postprotsessingovoj programmy BI-60 (SIMRAD) dlya opredeleniya biomassy kaspijskikh kilek po gorizontam v severo-zapadnoj chasti Kaspijskogo morya. Sovremennoe sostoyanie bioresursov vnutrennikh vod [Features of using the BI-60 post-processing program (SIMRAD) for determining the biomass of Caspian sprats along the horizons in the north-western part of the Caspian Sea. Current state of bioresources of inland waters] // II Vseros. konf. s mezhd. uchastiem. Tez. dokl. T.2. Borok, Rossiya 06.11.– 09.11 2014 g. M.: POLIGRAF-PLYUS. S. 458–463.

Pomogaeva T.V. 2017. Osobennosti prostranstvennogo raspredeleniya kaspijskikh kilek v glubokovodnoj chasti Kaspijskogo morya po rezul'tatam gidroakusticheskikh issledovanij v 2016 g. [Features of the spatial distribution of Caspian sprat in the deep-water part of the Caspian Sea according to the results of hydroacoustic studies in 2016] // XIX mezhd. prakt. konf. s ehlementami nauchnoj shkoly molodykh uchenykh «Biologicheskoe raznoobrazie Kavkaza i yuga Rossii». Tez. dokl. S. 644–645.

Pomogaeva T.V. 2018. Osobennosti raspredeleniya promyslovykh skoplenij kilek v Srednem Kaspii v letnij period [Features of distribution of commercial sprat clusters in the Middle Caspian Sea in the summer period] // VI Mezhd. Baltijskij morskoj forum. Tez. dokl. Kaliningrad, 03.09–06.09.2018 g. T.2. Morskaya tekhnika i tekhnologii. Bezopasnost' morskoj industrii. VI Mezhd. nauch. konf. Kaliningrad: Izd-vo BGARF. S. 405–410.

Soglashenie o sohranenii i ratceonalnom ispolzovanii vodnih biologicheskih resursov Kaspiyskogo morya [Agreement on the Conservation and Rational Use of Aquatic Biological Resources of the Caspian Sea]. 2015. Accessible via: https://docs.cntd.ru/document/420356911. 12.06.2019 r.

FIGURE CAPTIONS

Fig. 1. Scheme of summer hydroacoustic survey

Fig. 2. Distribution of Caspian sprat, June 2015

Fig. 3. Distribution of Caspian sprat, July 2015

Fig. 4. Distribution of Caspian sprat, June 2016

Fig. 5. Distribution of Caspian sprat, July 2016

Fig. 6. Distribution of Caspian sprat, June-July 2017

Fig. 7. Distribution of Caspian sprat, June-July 2017, layer 0–10 m.

Fig. 8. Distribution of Caspian sprat, June-July 2017, layer 10–20 m.

Fig. 9. Distribution of Caspian sprat, June-July 2017, layer 20–30 m.

Fig. 10. Distribution of Caspian sprat, June-July 2017, layer 30–40 m.

Fig. 11. Distribution of Caspian sprat, June-July 2017, layer 40–50 m.

Fig. 12. Distribution of Caspian sprat, June-July 2017

Fig. 13. Distribution of Caspian sprat, June 2018

Fig. 14. Caspian sprat distribution, July 2018

Fig. 15. Recommended area

УДК 551.46 DOI: 10.36038/2307-3497-2021-184-99-111

Оценка неопределённости калибровки эталонной ячейки электропроводимости калибратора CT01 «Idronaut» «Установки для измерения УЭП морской воды ВНИРО»

А.Н. Рамазин

Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ФГБНУ «ВНИРО»), Москва

E-mail: ramazin@vniro.ru

Приведены результаты анализа экспериментальных исследований метрологических характеристик эталонных ячеек, выполненных в процессе калибровки датчиков удельной электропроводимости (УЭП) СТД-зондов в течение 10 лет с 2008 по 2017 гг. с помощью «Установки для измерения УЭП морской воды ВНИРО». Рассмотрены факторы, определяющие неопределённость калибровки эталонной ячейки УЭП. Проведены расчёты суммарной стандартной неопределённости (ССН) калибровки ячейки и стандартных неопределённостей её составляющих. Сделан вывод о том, что расширенная ССН их калибровки в любой точке диапазона (53÷27) мСм/см не будет превышать (2,2÷1,0)·10^{-3} мСм/см, что соответствует относительной расширенной ССН калибровки, равной 4·10^{-5}. Дан анализ вклада отдельных составляющих в суммарную неопределённость. Показано, что ССН калибровки ячейки $u_{\Sigma_{Cell}}$ определяется главным образом ССН определения эталонного значения УЭП SSW, обусловленная неопределённостью определения температуры пробы внутри ячейки из-за нестабильности и неоднородности температурного поля вокруг неё $u_{\Sigma C(T)}$. Величина $u_{\Sigma C(T)}$ колеблется от 9,7·10^{-4} мСм/см до 3,6·10^{-4} мСм/см при уровне нестабильности морской воды в рабочей зоне термобаке, находящейся в пределах от (1,1±0,17)·10^{-3} °С при температуре 25 °С до (0,53±0,19)·10^{-3} °С при температуре 1 °С. Показано, что дрейф статической функции преобразования ячеек за 413 суток не превысил ±0,003 мСм/см.

Ключевые слова: ячейка УЭП, калибровка, стандартная, суммарная и расширенная неопределённость, нестабильность, временной уход.

ВВЕДЕНИЕ

Солёность является одной из характеристик морской воды, определение которой необходимо для расчёта её фундаментальных термодинамических свойств. На современном уровне практическая солёность определяется с использованием алгоритма её расчёта на основе данных измерений относительной электрической проводимости (ОЭП), температуры и избыточного давления [Lewis, Perkin, 1981], получаемых с применением солемеров и CTD-зондов.

Наиболее распространённым эталонным средством измерения, используемым для калибровки датчиков электропроводимости CTD-зондов, являются солемеры Autosal 8400B, Portasal 8410A фирмы «Guildline» (Канада).

Вместе с тем, ряд метрологических служб наряду с солемерами для калибровки датчиков электропроводимости использует прецизионную измерительную аппаратуру с выносной кондуктивной эталонной ячейкой. Например, фирмы-производители CTD-зондов «General Oceanics», «Neil Brown Instrument System» (США), «Idronaut» (Италия) и др. используют средства калибровки, состоящие из прецизионного моста сопротивления (ПМС) в комплекте с адаптером CSA-1250, согласующим первичный преобразователь электропроводимости с входом ПМС ATB-1250 [Левашов, 2003]. Аналогичные функции выполняют калибраторы электропроводимость-температура CT01 «Idronaut» или CT-02 «FSI» (США).

Преимуществом солемера является то, что процесс калибровки его ячейки и измерения длятся всего несколько минут. За это время характеристики ячейки и измерительной схемы остаются практически неизменными.

Недостатком калибраторов является необходимость в течение нескольких часов калибровать ячейку в термобаке. За это время уход характеристик измерительного тракта более веро-

ятен. Вместе с тем, они обладают преимуществом непосредственно проводить сравнения показаний ячейки и средства измерения. В то время как при использовании солемера необходимо отобрать пробу воды, привести её температуру к температуре стабилизации ячейки и после измерения провести вычисления электропроводимости отобранной пробы по результатам измерения ОЭП и температуры морской воды в баке [Lewis, Perkin, 1981], при которой проводилось измерение электропроводимости и отбор пробы.

У солемеров ячейка термостатирована, а у калибраторов она термостабилизируется в калибруемом объёме морской воды. Эта принципиальная конструктивная особенность обуславливает способ их использования для калибровки датчиков удельной электропроводимости (УЭП) CTD-зондов, позволяющих осуществлять калибровку в искусственной морской воде или растворах её солей методом сличения показаний эталонной ячейки и датчика. Это обстоятельство особенно важно для метрологических служб, находящихся вдали от североатлантических вод, ионный состав которых является стандартным [IOC, SCOR and IAPSO, 2010].

Целью настоящего исследования являлось анализ и оценка всей совокупности факторов, влияющих на неопределённость калибровки эталонной ячейки CT01 «Idronaut», входящий в состав комплекса метрологического оборудования «Установки для измерения УЭП морской воды ВНИРО» (свидетельство об утверждении типа средства измерений RU.E.31.001.A № 42535).

Оборудование. В течение 10 лет с 2008 по 2017 гг. Метрологической службой измерителей параметров морской воды ВНИРО (МС ВНИРО) были проведены экспериментальные исследования метрологических характеристик эталонных кондуктометрических ячеек, выполняемых в процессе калибровки датчиков удельной электропроводимости различных CTD-зондов. Эти исследования были выполнены с использованием прецизионного калибровочного оборудования [Рамазин, Левашов, 2016; Рамазин, 2016], представленного на рис. 1 а.

В качестве чувствительного элемента датчиков электропроводимости калибратора (стандарта электропроводимость-температура) CT01 «Idronaut» (Италия) применяется семиэлектродная кондуктивная ячейка [Stueben D. et al., 1994]. Центральные кольцевые электроды как бы «удвоенной» ячейки запитываются переменным током, текущим к обоим наиболее удалённым кольцевым электродам. Две смежных пары кольцевых электродов считывают относительное падение напряжения, пропорционально измерен-

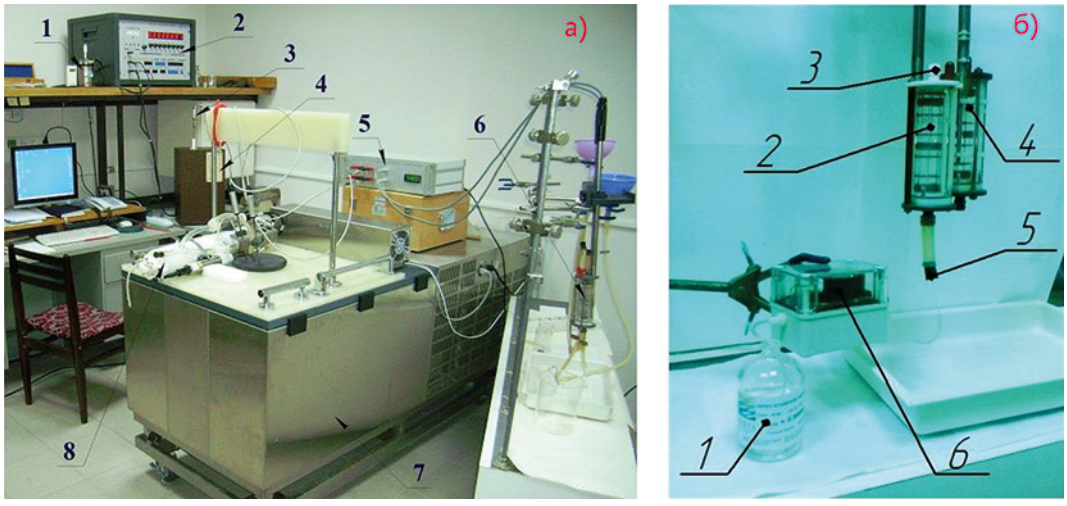


Рис. 1. а) Средства калибровки CTD-зондов: Условные обозначения: 1 — эталонная катушка сопротивлений модель 5685A «Tinsley» (UK); 2 — прецизионный мост сопротивлений модели F-18 «ASL» (UK); 3 — СПТС модели 162CE «Rosemount» (USA); 4 — термостат с ячейкой точки плавления галлия модели 17041, 17042 «Yellow Springs Instrument» (USA); 5 — стандарт электропроводимость-температура модели CT01 «Idronaut» (ITA); 6 — эталонные ячейки электропроводимости; 7–216 л термобак модели 7051A «Hart Scientific» (USA); 8 — CTD-зонд SBE19plus перед калибровкой.
б) Заполнение эталонной ячейки стандартной морской водой. 1– стандартная морская вода SSW; 2,4 — эталонные ячейки УЭП калибратора CT01; 3 — крышка эталонной ячейки УЭП; 5-трубопровод; 6 — помпа «OSIL»

ной УЭП воды. Наиболее удалённая пара кольцевых электродов экранирует измерительную ячейку от любых внешних электрических помех.

Кольцевые платиновые электроды, вплавленные внутри трубки из кварцевого стекла с внутренним диаметром 0,8 см. Сама ячейка, длина которой равна 4,5 см, размещена внутри цилиндрического пластикового кожуха.

Нами была проведена некоторая модернизация ячеек. Для этого, для каждой ячейки были изготовлены по 2 крышки (рис. 1 б), обеспечивающие возможность промывки и заполнения ячеек стандартной морской водой — IAPSO Standard Seawater (SSW).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Ячейки после предварительной многократной тщательной промывки заполнялась SSW. Момент заполнения ячейки SSW представлен на рис. 1 б.

Калибровка ячеек осуществлялась в термобаке модели 7051A «Hart Scientific», в котором размещались одна или две ячейки, заполненные SSW вместе со стандартным платиновым термометром сопротивлений (СПТС), располагающемся от них в непосредственной близости. Калибровка проводилась по двум, трём, реже пяти стабилизированным точкам многоразовых измерений в диапазоне изменения температуры от 30 (25)°C до –1,6 (+0,8) °C.

Статическая функция преобразования (СФП) или общее уравнение калибровки CT01 имеет вид:

$$C(35,T_{68},0) = A + B \cdot N, \qquad (1)$$

где A и B калибровочные коэффициенты, определяемые методом наименьших квадратов по результатам обработки серий измерений: N — кодовые (не преобразованные) показания ячейки образцовых значений УЭП SSW $C(35,T_{68},0)_э$ калибратора CT01; T_{68} — значения температуры по Международной практической температурной шкале 1968 г (МПТШ-68) пробы SSW в стабилизированных точках калибровки.

Эталонные значения УЭП рассчитывались по данным измерения СПТС и значению относительной электропроводности $K_{15,}$ указанной на этикетке пузырька со стандартной морской водой с использованием уравнения зависимости относительной электропроводимости SSW r_T от температуры T_{68} с помощью программы «Sea Water Calculator»:

$$r_T = \frac{C(35,T_{68},0)}{C(35,15,0)} = c_0 + c_1 T_{68} + c_2 T_{68}^2 + c_3 T_{68}^3 + c_4 T_{68}^4, \quad (2)$$

где $c_0 = 0{,}6766097$; $c_1 = 2{,}00564 \times 10^{-2}$;
$c_2 = 1{,}104259 \times 10^{-4}$; $c_3 = -6{,}9698 \times 10^{-7}$;
$c_4 = 1{,}0031 \times 10^{-9}$

Суммарная стандартная неопределённость измерения температуры СПТС в рабочем объёме термостата $u_{\Sigma O}$ для различных значений температуры T_{90} представлена в табл. 1 [Рамазин, 2018].

Температура T_{68} определялась из уравнения:

$$T_{68} = 1{,}00024 \cdot \bar{T}_{90}, \qquad (3)$$

где $\bar{T}_{90}$ — среднее значение преобразованных показаний СПТС R_i в температуру Международной температурной шкалы 1990 (МТШ-90) [Mangum, Furukawa, 1990; Рамазин, Левашов, 2016]:

$$\bar{T}_{90} = f\left(\sum_1^n \frac{R_i}{n}\right). \qquad (4)$$

Необходимо отметить, что алгоритм расчёта практической солёности по данным CTD-измерений разработан для относительных измерений электропроводимости $S = f(R)$.

Измеряемая CTD-зондами или солемерами относительная электропроводимость (ОЭП) R, равна отношению УЭП пробы морской воды $C(S,T,p)$ солёностью S, находящейся под воздействием температуры T_{68} и давления p, к УЭП стандартной морской воды $C(35,15,0)$, солёностью 35 при температуре 15 °C и атмосферном давлении [Lewis, Perkin, 1981]:

$$R = \frac{C(S,T_{68},p)}{C(35,15,0)} = \frac{C(S,T_{68},p)}{C(S,T_{68},0)} \cdot \frac{C(S,T_{68},0)}{C(35,T_{68},0)} \times \times \frac{C(35,T_{68},0)}{C(35,15,0)} = R_p \cdot R_T \cdot r_T. \qquad (5)$$

При измерениях на солемерах при давлении $p = 0$ значение $R_p = 1$, а уравнение (5) принимает вид:

$$R = \frac{C\left(S,T_{68},0\right)}{C\left(35,15,0\right)} = R_T \cdot r_T. \qquad (6)$$

Для удобства восприятия измерительной информации в практической океанографии на стадии калибровки и предварительных измерений используется «условный» переход от ОЭП к УЭП, основанный на умножении R на величину $C(35,15,0)$ — уравнения (5 и 6), значение которой до настоящего времени однозначно не определено. Например, по результатам анализа работы

[Yerofeyev et al., 1977], значения прямых измерений значения УЭП стандартной морской воды, выполненных до 1975 г. колеблется в диапазоне от 42,698 до 42,929 мСм/см. Более поздние многочисленные работы позволили несколько сузить разброс значений $C(35,15,0)$, но так и не определили однозначно её значение.

Не случайно, расширенная относительная неопределённость национальных государственных стандартов [Brinkmann et al., 2003] не превышает 0,02 %, что для прямых измерений $C(35,15,0)$ соответствует расширенной стандартной неопределённости, равной 0,0086 мСм/см. Практически к аналогичному значению расхождений 42,9021±0,0093 мСм/см приходим при сравнении прямых измерений $C(35,15,0)$, выполненных в работах [Poisson, 1975; Culkin, Smith, 1980].

Желание с максимальной точностью определить значение УЭП $C(35,15,0)$ связано со стремлением метрологического сообщества связать определение практической солёности и её основного стандарта с международной системой измерения (СИ) [Seitz, Spitzer, 2002].

Для перехода от ОЭП к УЭП морской воды принимаем значение $C(35,15,0)$=42,914 мСм/см, рекомендованное производителем SSW и используемое фирмой «Sea Bird». Важно заметить, что именно это значение $C(35,15,0)$ необходимо использовать в программном обеспечении CTD-зонда при использовании алгоритма расчёта практической солёности для обратного перехода от УЭП к ОЭП.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Факторы неопределённости. Измерительная система калибратора CT01 и эталонная ячейка электропроводимости, заполненная SSW с ОЭП $K15$ при температуре T_{68} измеряет УЭП $C(35, T_{68},0)_{Э}$ как:

$$C(35,T_{68},0)_{Э} = G(T)\cdot k_{cell}(T)\cdot = K_{15}\cdot r_T \cdot C(35,15,0), \quad (7)$$

где $G(T)\cdot$ – электропроводимость, величина, обратная сопротивлению измерительной системы CT01 эквивалентного сопротивлению столба воды между электродами ячейки; $k_{cell}(T)$ — постоянная ячейки.

Для расчёта неопределённости результата калибровки в каждой точке использовали суммарную стандартную неопределённость оценки.

Суммарная стандартная неопределенность (ССН) результата калибровки эталонной ячейки $u_{\Sigma_{Cell}}$ складывается из следующих неопределённостей:

$$u_{\Sigma_{cell}} = \sqrt{(u_{УЭП\ SSW})^2 + (u_{\Sigma C(T)})^2 + (u_{\Sigma CT01})^2}, \quad (8)$$

где $u_{УЭП\ SSW}$ — ССН значения УЭП SSW; $u_{\Sigma C(T)}$ — ССН эталонного значения УЭП SSW, обусловленная неопределённостью определения температуры пробы внутри ячейки из-за нестабильности и неоднородности температурного поля вокруг неё; $u_{\Sigma CT01}$ — ССН измерительной системы CT01;

ССН значения УЭП SSW может быть представлена в виде:

$$u_{УЭП\ SSW} = u_{ОЭП\ SSW} \times C\left(35,T_{68},0\right), \quad (9)$$

где $u_{ОЭП\ SSW}$ — ССН неопределённость значения ОЭП SSW, равная:

$$u_{ОЭП\,SSW} = \sqrt{(u_{K_{15}})^2 + (\delta r_T)^2}, \quad (10)$$

где u_{K15}– стандартная неопределённость (СН) значения ОЭП $K15$ SSW, расширенная стандартная неопределённость которой $U_{K_{15}}$ равна $1\cdot10^{-5}$ при ширине охвата $K=2$ [Bacon, 2007]. $u_{K_{15}}$ равна:

$$u_{K15} = \frac{U_{K15}}{2} = 5\cdot10^{-6}, \quad (11)$$

δr_T — относительная СН аппроксимации экспериментальных данных зависимости ОЭП SSW r_T от температуры T_{68} (2), равная $8{,}2\cdot10^{-6}$ [Perkin, Lewis, 1980]. Тогда:

$$u_{ОЭП\,SSW} = \sqrt{(u_{K_{15}})^2 + (\delta r_T)^2} = 9{,}6\cdot10^{-6}. \quad (12)$$

Подставляя значения T_{68} в уравнение (2), а затем полученные значения $C(35,T_{68},0)$ в уравнение (9), получим значения $u_{УЭП\ SSW}$. Результаты вычислений размещены в табл. 1, из которой видно, что СН $u_{УЭП\ SSW}$ при 15 °C будет равна $4{,}1\cdot10^{-4}$ мСм/см, и изменяться от $2{,}7\cdot10^{-4}$ мСм/см до $5{,}6\cdot10^{-4}$ мСм/см при изменении температуры от –1,6 °C до 30 °C, соответственно.

ССН измерения УЭП $u_{\Sigma C(T)}$, обусловленная неоднородностью поля температуры, нестабильностью его поддержания и, как следствие неопределённостью определения среднего значения температуры T_{68} внутри калибруемой ячейки $u_{\Sigma C(T)}$ может быть представлена в виде:

$$u_{\Sigma C(T)} = \frac{\partial C\left(35,T,0\right)}{\partial T}\cdot u_{\bar{T}}, \quad (13)$$

где

$$u_{\bar{T}} = \sqrt{(u_{\Sigma O})^2 + (u_{\Sigma T})^2}; \quad (14)$$

$u_{\Sigma O}$ – СКН измерения температуры СПТС в рабочем объёме термостата $u_{\Sigma O}$ = (1,2÷1,6)·10^{-4} °С представлена в табл. 1 [Рамазин, 2018]; $u_{\Sigma T}$ – СКН неоднородного u_{T1} и нестабильного u_{T2} температурного поля в рабочей зоне калибровки термостата, оцениваемая по типу В:

$$u_{\Sigma T} = \sqrt{(u_{T1})^2 + (u_{T2})^2}. \qquad (15)$$

Калибруемая ячейка СТ01 располагалась в непосредственной близости от СПТС. Неравномерность температурного поля u_{T1} и нестабильность температуры в рабочей зоне термостата u_{T2} лежат в пределах верхней границы $\overline{b}_+$ и нижней $\overline{b}_-$. Таким образом, считая, что неравномерность температурного поля в рабочем объёме термостата носит равновероятный характер u_{T1} и $u_{T2,}$ находим из выражения:

$$u_{T1} = u_{T2} = \frac{\overline{b}_+ - \overline{b}_-}{2 \cdot \sqrt{3}}. \qquad (16)$$

Были обработаны данные неоднородности температурного поля и нестабильности поддержания температуры в рабочей зоне термостата в процессе калибровке ячеек СТ01, наблюдаемые в течение 10 лет. Усреднённые данные значений $\pm\overline{b}$ отклонений температуры от среднего значения $\overline{T}_{90}$ для различных точек калибровки помещены в табл. 1. Они лишь при высоких температурах 25 – 30 °С несколько превышали ±0,001 °С, в то время как при более низких температурах едва достигали ±0,0005 °С.

На рис. 2 представлена диаграмма, показывающая уровень нестабильности температуры воды в термобаке при калибровке эталонных ячеек СТ01, выполненных за период 2008 – 2017 гг.

При обработке многолетних данных было установлено, что $\overline{T}_{90}$ практически равнялась значению медианы. Модуль разности этих величин не превышал (0,2÷0,3)·10^{-4} °С при колебании усреднённого значения $\overline{b}$ от 11,3·10^{-4} °С при T_{90}=25 °С до 5,2·10^{-4} °С при T_{90}=1 °С, что свидетельствует о хорошей степени приближения исследуемого процесса колебаний верхней границы к нормальному закону с симметричным распределением.

В табл. 1 приведены значения стандартных неопределённостей $s(\overline{b})$, характеризующие степень отклонений отдельных результатов кали-

Таблица 1. СКН калибровки эталонной ячейки и её составляющих в рабочем зоне термостата в температурном диапазоне –1,6 ÷ 30 °С

Температура воды в баке, °С	**30**	**25**	**20**	**15**	**10**	**5**	**1**	**-1,6**
$u_{\Sigma O}$ ·10^{-4},°С	1,6	1,6	1,5	1,4	1,3	1,3	1,2	1,3
$\pm\overline{b}$·10^{-4},°С	10,3	11,3	9,3	8,3	6	4,5	5,3	6
$s(\overline{b})$·10^{-4},°С	1,5	1,7	–	1,7	–	1,7	1,9	–
(u_{T1} = u_{T2})·10^{-4},°С	6,0	6,5	5,3	4,8	3,5	2,6	3,0	3,5
$u_{\Sigma T}$ ·10^{-4},°С	8,4	9,2	7,6	6,8	4,9	3,7	4,3	4,9
УЭП, мСм/см	58	53	48	43	38	33	29	27
$\partial C(35,T,0)/\partial T$, °С/мСм·см$^{-1}$	1,07	1,04	1,02	0,98	0,95	0,906	0,87	0,85
$u_{\Sigma G(T)}$ 10^{-4}, мСм/см	**0,6**	**0,6**	**0,6**	**0,6**	**0,6**	**0,6**	**0,6**	**0,6**
$u_{G(\tau)}$·10^{-4}, мСм/см	**–**	**1,4**	**1,4**	**1,5**	**1,5**	**1,6**	**1,6**	**1,6**
$u_{\Sigma CT01} = \sqrt{(u_{\Sigma G(T)})^2 + (u_{G(\tau)})^2 + (u_{C,K_{cell}})^2}$								
$u_{\Sigma CT01}$·10^{-4}, мСм/см	**–**	**1,5**	**1,5**	**1,6**	**1,6**	**1,7**	**1,7**	**1,7**
u_{SSW}·10^{-4}, мСм/см	**5,6**	**5,1**	**4,6**	**4,1**	**3,7**	**3,2**	**2,9**	**2,7**
$u_{\Sigma C(T)}$·10^{-4}, мСм/см	**9,1**	**9,7**	**7,9**	**6,8**	**4,8**	**3,6**	**3,9**	**4,3**
$u_{\Sigma_{cell}} = \sqrt{(u_{SSW})^2 + (u_{\Sigma C})^2 + (u_{\Sigma CT01})^2}$								
$u_{\Sigma_{Cell}}$ ·10^{-4}, мСм/см	**–**	11,1	9,3	8,1	6,3	5,1	5,2	5,4
$U_{\Sigma_{Cell}}$·10^{-3}, мСм/см	**–**	**2,1**	**1,9**	**1,6**	**1,3**	**1,0**	**1,0**	**1,1**
U_{RT} ·10^{-5}	**–**	**4,1**	**3,9**	**3,8**	**3,3**	**3,0**	**3,5**	**3,9**

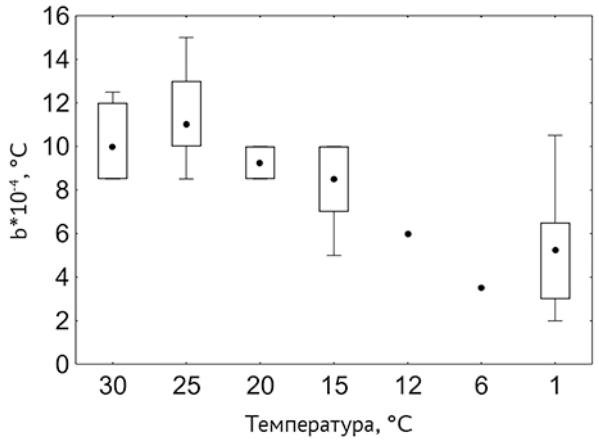


Рис. 2. Диаграмма значений нестабильности температуры воды в термобаке при калибровке эталонных ячеек CT01, выполненных за период 2008–2017 гг. Условные обозначения: I – диапазон значений отклонений верхней границы стабилизированной температуры в термобаке от среднего значения T_{90}; □ – диапазон значений отклонений верхней границы стабилизированной температуры в термобаке от медианы (68,27%).

бровок от усреднённых значений $\overline{b}$. Эти отклонения лежат в пределах ±1,5·10^{-4} °C при T=30 °C и ±1,9·10^{-4} °C при T=1 °C.

Коэффициент чувствительности измерения УЭП SSW находим из выражения:

$$\frac{\partial C(35,T,0)}{\partial T} = (c_1 + 2c_2 \cdot T_{68} + 3c_3 \cdot T_{68}^{\ 2} + 4c_4 \cdot T_{68}^{\ 3}) \cdot C(35,15,0). \quad (17)$$

По полученным значениям $u_{\Sigma O}$, u_{T1}, u_{T2}, $u_{\Sigma T}$, u_T и коэффициента чувствительности по уравнениям (13–16) рассчитываем значения $u_{\Sigma C(T)}$ – ССН вычисления эталонных значений УЭП SSW внутри калибруемой ячейки по определённому среднему значению температуры T_{68}. Результаты всех вычислений представлены в табл. 1.

Кроме того, для анализа временной стабильности и экспериментального определения ССН $u_{\Sigma C(T)}$ ячеек проводилось сравнение их показаний, сдвинутых на 24 часа следующим образом: при калибровке первого зонда для каждой из 7 стабилизованных точек получали значение расхождений Δ_1 показаний ячеек С2 и С1. А при калибровке второго зонда, сдвинутой по времени ещё на 24 часа, расхождений их показаний Δ_2 (рис. 4в). При этом предполагалось, что другие составляющие суммарной неопределённости калибровки ячеек приблизительно равны между собой, а разница Δ_1-Δ_2 будет в значительной степени характеризовать ССН $u_{\Sigma C(T)}$ В табл. 2 представлены данные измерений и последующего анализа.

Как видно из табл. 2 большинство значений Δ_1-Δ_2 эталонных ячеек С2 и С1, сдвинутых по времени на 24 ч и 48 ч лежит внутри интервала значений, определённых расчётной величиной ССН $u_{\Sigma C(T)}$.

Результат влияния фактора. Как видно из табл. 1 ССН эталонного значения УЭП SSW $u_{\Sigma C(T)}$ снижается в 2,5 раза с (9,7÷9,1)·10^{-4} мСм/см при 25 °C и 30 °C до (3,9÷3,6)·10^{-4} мСм/см при 5 °C и 1 °C. При этом основной вклад вносит ССН u_T, обусловленная, главным образом, нестабильностью и неоднородностью поля температуры вокруг эталонной ячейки.

Необходимо отметить, что уровень стабилизации температуры в рабочей зоне, где располагается эталонная ячейка, влияет на уровень стабилизации температуры и УЭП SSW внутри ячей-

Таблица 2. Значения разности показаний Δ_1–Δ_2 эталонных ячеек С2 и С1, сдвинутых по времени на 24 ч и 48 ч

Даты	УЭП, мСм/см						
	53	48	43	38	33	29	27
	(Δ_1–Δ_2)·10^{-4} мСм/см						
22.09.2016	-6,9	3,7	5,8	2,1	-2,1	0,0	-2,6
09–10.11.2016	10,5	8,0	8,6	5,5	4,0	5,0	3,0
23–24.11.2016	3,0	1,0	-2,0	0,0	2,5	3,0	-2,0
21–22.06.2017	10,5	2,5	-0,5	1,5	0,5	4,0	0,5
05–06.07.2017	5,0	3,0	4,0	5,0	3,0	3,5	-1,0
19–20.07.2017	9,0	5,5	4,5	7,0	3,0	3,5	0,5
25–26.10.2017	11,0	7,5	0,5	4,0	5,5	5,0	1,5
s(Δ_1-Δ_2)	6,5	2,6	3,8	2,5	2,5	1,7	2,0
$u_{\Sigma C(T)}$·10^{-4}, мСм/см	**9,1**	**9,7**	**7,9**	**6,8**	**4,8**	**3,6**	**3,9**

ки. Анализ результатов измерения колебаний температуры СПТС и УЭП ячейки показал, что коэффициент температурного демпфирования $K_{ТД}$, равный отношению уровня нестабильности температуры b_T в рабочей зоне термобака к уровню колебаний температуры внутри ячейки b_C лежит в пределах 4÷5.

ССН измерительной схемы СТ01 $u_{\Sigma CT01}$ определяем из выражения:

$$u_{\Sigma CT01} = \sqrt{(u_{\Sigma G(T)})^2 + (u_{G(\tau)})^2 + (u_{C,K_{cell}})^2}, \quad (18)$$

где $u_{\Sigma G(T)}$ — ССН схемы измерения УЭП $G(T)$ калибратора СТ01, $u_{G(\tau)}$— СН временной дрейф СФП измерительной схемы СТ01; $u_{K_{Cell}}$ — СН измерения УЭП за счёт неопределённости постоянной эталонной ячейки K_{cell}.

$u_{\Sigma G(T)}$ находим из выражения:

$$u_{\Sigma G(T)} = \sqrt{\left(u_{GA(T)}\right)^2 + \left(u_{GB}\right)^2}, \quad (19)$$

где $u_{GA(T)}$ — СН типа А измерительной схемы УЭП СТ01; u_{GB} — СН типа В измерительной схемы УЭП СТ01;

$$u_{GA} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \cdot \sum_{i=1}^{n} \left(\frac{N_i - \bar{N}}{\partial N / \partial C}\right)^2} = 2{,}6 \cdot 10^{-5} \text{мСм/см}, \quad (20)$$

где n — число наблюдений кода УЭП СТ01; $n \geqslant 60$; N_i — i-й результат наблюдения кода УЭП пробы SSW в эталонной ячейке измерительной схемой СТ01 в процессе калибровки; $\bar{N}$ — среднее значение кода УЭП из n наблюдений; $\partial N/\partial C$ = 1,004 ед.кода/мСм·см$^{-1}$ — коэффициент чувствительности измерительной схемы СТ01 при измерении УЭП.

Оценка СН ячейки по типу В u_{GB} обусловлена дискретностью ΔN показаний СТ01

$$u_{GB} = \frac{\Delta N}{\partial N / \partial C \cdot \sqrt{3}} = \frac{1 \cdot 10^{-4}}{1{,}004 \cdot \sqrt{3}} = 5{,}8 \cdot 10^{-5} \text{ мСм/см}, \quad (21)$$

Подставляя вычисленные значения $u_{GA(T)}$ и u_{GB} в выражение (19) получим значения ССН $u_{\Sigma G(T)}$ которые помещены в табл. 1.

Результат влияния фактора. Влияние фактора незначительно и значениями СН $u_{GA(T)}$ и u_{GB} можно пренебречь.

Временная стабильность эталонных ячеек. Для ответа на вопрос, как долго эталонные ячейки сохраняют свои метрологические характеристики, выражающиеся в изменении калибровочных коэффициентов СФП и определении значения СН $u_{G(\tau)}$ была проведена серия экспериментов.

В 2012 году эталонная ячейка С2 калибровалась с периодичностью 1 раз в 1÷2 недели. На рис. 3 представлены графики временной изменчивости СФП ячейки С2 в период с 25 января по 28 марта 2012 г., полученные по данным её калибровки по SSW серии Р153, S=34,992. Все сравнения делались по отношению к усреднённым коэффициентам СФП за этот промежуток времени.

Для каждой новой калибровки график временной изменчивости СФП имеет следующий вид:

$$\Delta C2 = \left[\left(\bar{A} - A_i\right) + \left(\bar{B} - B_i\right) \cdot N\right]\left(\frac{\partial C}{\partial N}\right), \quad (22)$$

где A и B — средние значения калибровочных коэффициентов A_i и B_i i-калибровок; а $\partial C/\partial N$= 0,996 мСм·см$^{-1}$/ед. кода.

Как видно из результатов проведённого исследования (рис. 3 а, б) уход СФП за 2 месяца (62 дня) находится в пределах ±(0,0015÷0,0023) мСм/см.

Суточный уход калибровочных коэффициентов определялся из выражения:

$$\Delta\bar{C} = \Delta C / \tau, \quad (23)$$

где $\Delta C = C_i - C_{i+1}$; τ — количество суток между двумя ближайшими калибровками ячейки i и i+1.

А СН дрейфа калибровочных коэффициентов оцениваем по типу В равна

$$u_{G(\tau)} = \frac{\Delta C_{max}}{\sqrt{3}}. \quad (24)$$

Результаты расчётов представлены в табл. 3. Средний суточный дрейф СФП измерительной схемы СТ01, выраженный в изменчивости калибровочных коэффициентов, составил от $0{,}9 \cdot 10^{-4}$ мСм/см при 53 мСм/см до $1{,}6 \cdot 10^{-4}$ мСм/см при 27 мСм/см.

В 2016–17 гг. в течение 413 дней с 22 сентября 2016 г. по 26 ноября 2017 г. проводились наблюдения за изменчивостью ряда метрологических характеристик измерительной схемы СТ01. В процесс этих наблюдений были получены данные для определения временной стабильности СФП $u_{G(\tau)}$. Для этого осуществлялось сравнение коэффициентов СФП каждой новой калибровки по отношению к коэффициентам предыдущей.

При анализе были исключены данные, дающие заниженные результаты, когда срок между

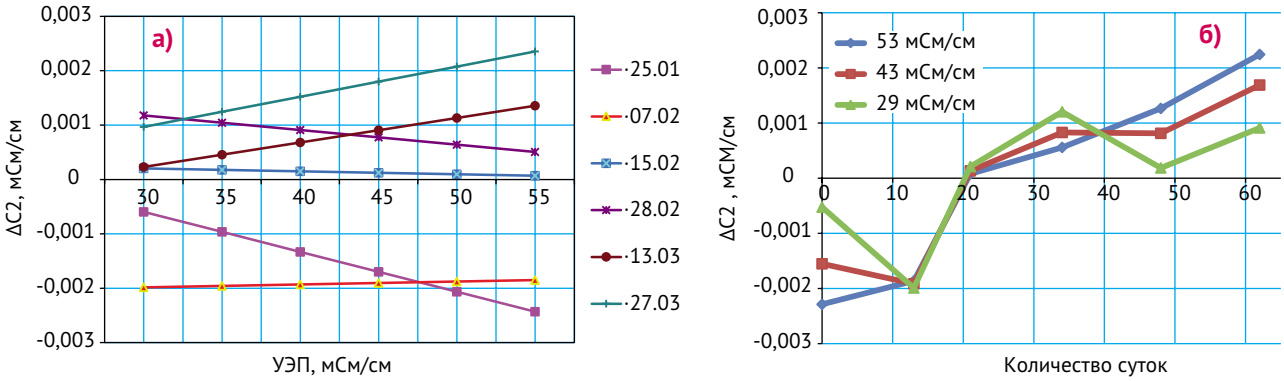


Рис. 3. График временной изменчивости СФП эталонных ячейки С2 за период с 25 января по 28 марта 2012 г.

Таблица 3. Значения суточного дрейфа показаний эталонной ячейки С2

Количество суток, t	УЭП, мСм/см						
	27	29	33	38	43	48	53
	Значения суточного ухода ячейки С2 — ΔC, мСм/см						
За период с 25 января по 28 марта 2012г							
13	1,2E-04	1,1E-04	8,9E-05	5,8E-05	2,8E-05	-2,3E-06	-3,3E-05
8	**-2,8E-04**	**-2,7E-04**	**-2,7E-04**	**-2,6E-04**	**-2,6E-04**	**-2,5E-04**	**-2,4E-04**
	$u_{G(\tau)} = \frac{\Delta C_{max}}{\sqrt{3}}$, мСм/см						
	1,6E-04	**1,6E-04**	**1,6E-04**	**1,5E-04**	**1,5E-04**	**1,4E-04**	**1,4E-04**
13	-8,0E-05	-7,7E-05	-7,0E-05	-6,2E-05	-5,3E-05	-4,5E-05	-3,7E-05
14	8,3E-05	7,3E-05	5,2E-05	2,7E-05	9,1E-07	-2,5E-05	-5,0E-05
14	-5,0E-05	-5,2E-05	-5,5E-05	-5,9E-05	-6,2E-05	-6,6E-05	-7,0E-05
$\Delta\overline{C}$	1,6E-04	1,5E-04	1,4E-04	1,3E-04	1,1E-04	9,9E-05	8,9E-05
За период с22 сентября 2016 г. по 9 ноября 2017г							
14	6,8E-05	7,4E-05	8,6E-05	1,0E-04	1,2E-04	1,3E-04	1,5E-04
14	-8,3E-05	-8,9E-05	-1,0E-04	-1,1E-04	-1,3E-04	-1,4E-04	-1,6E-04
14	-1,0E-04	-9,9E-05	-8,9E-05	-7,5E-05	-6,2E-05	-4,9E-05	-3,6E-05
15	5,2E-05	5,3E-05	5,5E-05	5,8E-05	6,1E-05	6,3E-05	6,6E-05
$\Delta\overline{C}$	8,9E-05	9,1E-05	9,6E-05	1,0E-04	1,1E-04	1,2E-04	1,3E-04
Средние значения суточного ухода ячейки С2 — $\Delta\overline{C}$, мСм/см (за оба периода)							
$\Delta\overline{C}$	**1,3E-04**	**1,2E-04**	**1,2E-04**	**1,1E-04**	**1,1E-04**	**1,1E-04**	**1,1E-04**

двумя ближайшими калибровками превышал 15 суток.

Результаты расчётов представлены в табл. 3. Средний суточный дрейф СФП измерительной схемы СТ01, выраженный в изменчивости калибровочных коэффициентов, составил от $0{,}9\cdot10^{-4}$ мСм/см при 27 мСм/см до $1{,}3\cdot10^{-4}$ мСм/см при 53 мСм/см.

Кроме того, в процессе этого эксперимента проводилось сравнение показаний двух эталонных ячеек и анализ их стабильности. В начале 22.09.2016 г. была выполнена одновременная калибровка двух ячеек С1 и С2 по SSW. Затем, непосредственно перед каждой калибровкой датчиков зондов на протяжении всего срока испытаний осуществлялась калибровка только ячейки С2. В процессе калибровки датчиков сначала одного, а затем второго зонда, по времени сдвинутым на 24 ч и 48 ч, проводилось сравнение показаний ячейки С2 с некалиброванной — С1 (рис. 4 в, г).

На рис. 4 а, б представлены графики временной изменчивости СФП ячейки С2 за 413 дней. На

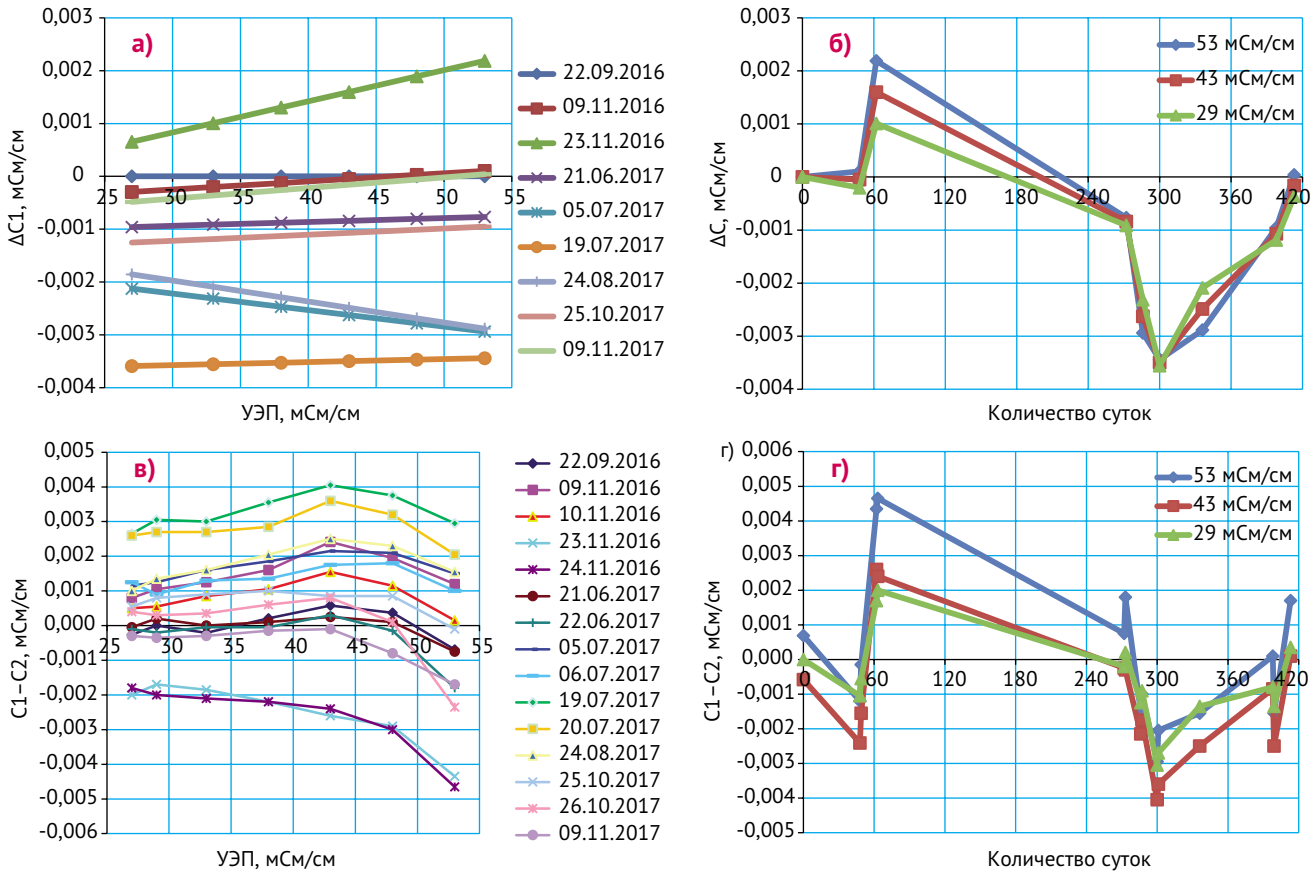


Рис. 4. График временной изменчивости СФП эталонной ячейки С2 и С1 за период с 22 сентября 2016 г. по 9 ноября 2017 г.

а) и б) — стабильность калибруемой каждый раз ячейки С2;
в) и г) — стабильность некалиброванной ячейки С1 относительно ячейки С2

рисунке 4 в, г представлены графики временной изменчивости СФП некалиброванной ячейки С1.

Результат влияния фактора — суточный уход. Анализ всей совокупности данных за два периода исследований даёт СН дрейфа калибровочных коэффициентов измерительной схемы СТ01 $u_{G(\tau)}$ не превышает $(1{,}4\div1{,}6)\cdot10^{-4}$ мСм/см. Максимальные значения временного ухода показаний ячейки наблюдались на уровне $(2{,}4\div2{,}8)\cdot10^{-4}$ мСм/см (табл. 3), когда межкалибровочный интервал составлял 8 суток.

– временная стабильность. Как видно из графиков (рис. 4 а, б) уход СФП ячейки С2 более чем за 1 год не превысил ± 0,003 мСм/см и может иметь как положительную, так и отрицательную величину.

Дрейф не калиброванной ячейки С1 (рис. 4 в, г) лежит в диапазоне, не превышающем ±0,004 мСм/см. При этом график временной изменчивости СФП ячейки С1 по отношению к калиброванной ячейке С2 практически полностью повторяет очертания аналогичного графика для С2 (рис. 4 б, г).

СН постоянной эталонной ячейки СТ01 $u_{C,KCell}$ в основном определяется влиянием температуры на кварцевую трубку кондуктометрической ячейки. Для неё влияние температуры T на постоянную ячейки определяется как [Shreiner, Pratt, 2004]:

$$\left(\frac{\partial K_{Cell}}{\partial T}\right)\cdot\frac{1}{K_{Cell}}\approx\left(\frac{\partial l}{\partial T}\right)\cdot\frac{1}{l}-\left(\frac{\partial s}{\partial T}\right)\cdot\frac{1}{s}=$$
$$=\alpha_{кв}-2\alpha_{кв}=-\alpha_{кв}, \qquad (25)$$

где l — длина ячейки 4,5см; s — площадь ячейки 0,5024см2; K_{cell} = 8,957 см-1; $\alpha_{кв}$ = $5{,}5\cdot10^{-7}$ °C^{-1} — коэффициент теплового расширения кварцевого стекла трубки ячейки.

Относительная СН постоянной ячейки будет равна:

$$\frac{u_{K_{cell}}}{K_{cell}}=-\alpha_{кв}\cdot u_T, \qquad (26)$$

где u_T — СН изменения температуры SSW снаружи ячейки не превышает $1{,}2\cdot10^{-3}$ °C.

Результат влияния фактора. Относительная СН изменения постоянной ячейки, связанная

с неопределённостью u_T, будет равна $6{,}6 \cdot 10^{-10}$ и в расчётах ССН ею можно пренебречь.

Таким образом, ССН калибровки эталонной ячейки, рассчитанная на основе полученных усреднённых данных (табл. 1), находится в пределах $(1{,}1 \div 0{,}5) \cdot 10^{-3}$ мСм/см при изменении УЭП от 53 мСм/см до 27 мСм/см.

Расширенная ССН для уровня доверия 0,95 равна:

$$U_{\Sigma_{Cell}} = K \cdot u_{\Sigma_{Cell}}, \qquad (27)$$

где $K = 1{,}96$ – коэффициент охвата, определяемый по формуле Велча-Саттерсвейта как коэффициент Стьюдента с эффективным числом степеней свободы [Руководство, 1999] v_{eff}, близком к ∞.

Таким образом, расширенная ССН калибровки эталонных ячеек в любой точке диапазона (53÷27) мСм/см не будет превышать:

$$U_{\Sigma_{Cell}} = K \cdot u_{\Sigma_{Cell}} = 1{,}96(1{,}11 \div 0{,}51) \cdot 10^{-3} = \\ = (2{,}2 \div 1{,}0) \cdot 10^{-3} \text{ мСм/см}. \qquad (28)$$

А относительная расширенная ССН калибровки эталонных ячеек не превысит величины, равной $(3{,}5 \div 4{,}2) \cdot 10^{-5}$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненный анализ усреднённых экспериментальных данных калибровок эталонных ячеек калибратора СТ01 Установки для измерения УЭП морской воды ВНИРО (рис. 1), позволяет сделать вывод о том, что, расширенная ССН их калибровки в любой точке диапазона (53÷27) мСм/см не будет превышать $(2{,}2 \div 1{,}0) \cdot 10^{-3}$ мСм/см, что соответствует относительной расширенной ССН калибровки, не превышающей $4 \cdot 10^{-5}$.

Значения ССН u_Σ калибровки эталонных ячеек определяется, главным образом, ССН значения УЭП SSW внутри ячейки $u_{\Sigma C(T)}$, вычисляемой через ССН среднего значения T_{68} пространственно-временной неоднородности температурного поля вблизи ячейки. Значение $u_{\Sigma C(T)}$ колеблется от $9{,}7 \cdot 10^{-4}$ мСм/см до $3{,}6 \cdot 10^{-4}$ мСм/см при уровне нестабильности морской воды в рабочей зоне термобака, находящейся в пределах от $(1{,}1 \pm 0{,}17) \cdot 10^{-3}$ °С при температуре 25 °С до $(0{,}53 \pm 0{,}19) \cdot 10^{-3}$ °С при температуре 1 °С (рис. 2).

Такая стабилизация температуры морской воды в рабочей зоне термобака обеспечивает повышение уровня стабилизации температуры и УЭП внутри эталонной ячейки в 4–5 раз.

При расчётах ССН калибровки ячеек относительную ССН значения ОЭП SSW можно считать величиной постоянной, равной $9{,}6 \cdot 10^{-6}$.

Анализ временной стабильности метрологических характеристик ячеек, выполненный в 2016–17 гг. в течение 413 суток, показал, что дрейф СФП постоянно калибруемой ячейки С2 более чем за 1 год находится в пределах ±0,003 мСм/см (рис. 4а, б) и может иметь как положительную, так и отрицательную величину. Дрейф не калиброванной ячейки С1 (рис. 4 в, г) лежит в диапазоне, не превышающем ±0,004 мСм/см. Характер дрейфа, выраженный конфигурацией кривых, идентичен.

Максимальные значения временного дрейфа показаний ячейки наблюдались на уровне $(2{,}4 \div 2{,}8) \cdot 10^{-4}$ мСм/см (табл. 3), когда межкалибровочный интервал составлял 8 суток. СН временной изменчивости СФП измерительной схемы СТ01, отражающей суточный уход калибровочных коэффициентов, находится на уровне $(1{,}4 \div 1{,}6) \cdot 10^{-4}$ мСм/см.

ЛИТЕРАТУРА

Левашов Д.Е. 2003. Техника экспедиционных исследований: Инструментальные методы и технические средства оценки промыслово-значимых факторов среды. М.: Изд-во ВНИРО. 400 с.

Рамазин А.Н. 2016. Некоторые научно-методические аспекты метрологического обеспечения измерений электропроводности и температуры морской воды с помощью СТД-зондов // Труды ВНИРО. Т. 159. С. 167–182.

Рамазин А.Н., Левашов Д.Е., 2016. Методические рекомендации по калибровке и метрологическому обеспечению измерителей параметров водной среды. М.: Изд-во ВНИРО. 127 с.

Рамазин А.Н. 2018. Оценка неопределённости калибровки и измерений датчиков температуры СТД-зондов «Sea Bird» // Системы контроля окружающей среды. Севастополь: ИПТС. 2018. Вып.14 (34), С. 33–42.

Руководство по выражению неопределённости измерения. 1999. Перевод с англ. под науч. ред. проф. Слаева В.А. СПб.: ВНИИМ им. Д.И. Менделеева. 134 с. (Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement. 1993. First edition. ISO, Switzerland. 101 pp.)

Bacon, S.; Culkin, F.; Higgs, N.; Ridout, P. 2007. IAPSO Standard Seawater: definition of the uncertainty in the calibration procedure, and stability of recent batches // J. of Atmospheric and Oceanic Technology. 24 (10). pp.1785–1799. Accessible via: https://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/JTECH2081.1 20.08.2019.

Brinkmann F, Dam N.E., Deak E., Durbiano F., Ferrara E., Fuko J., Jensen H.D., Mariassy M., Shreiner R.H., Spitzer P., Sudmeier U., Surdu M., Vyskoč̌il, Vyskoč̌il L. Primary

methods for the measurement of electrolytic conductivity. Accessible via: http://www.researchgate.net/publication/227274619. 20.08.2019.

*Culkin F., Smith N.*D. 1980. Determination of the Concentration of Potassium Chloride Solution Having the Same Electrical Conductivity, at 15 °C and Infinite Frequency, as Standard Seawater of Salinity 35.0000‰ (Chlorinity 19.37394‰) // IEEE J. of Oceanic Engineering. V. OE-5. N 1, p. 22–23.

IOC, SCOR and IAPSO. 2010. The international thermodynamic equation of seawater – 2010: Calculation and use of thermodynamic properties. Intergovernmental Oceanographic Commission, Manuals and Guides. No. 56, UNESCO (English), 196 pp. Accessible via: http://www.teos-10.org/TEOS-10_Manual.pdf. 20.08.2019.

Lewis E.L., Perkin R.G. 1981. The Practical Salinity Scale 1978: conversion of existing data // Deep-Sea Res. V. 28a. № 4. pp. 307–328.

Mangum B.W., Furukawa, G.T. 1990. Guidelines for Realizing the International Temperature of 1990 (ITS-90). NIST Tech. Note 1265. 190 p.

Poisson A. 1975. Measurement of absolute electrical conductivity of standard sea water on the basis of KCl as standard // UNESCO Technical Paper in Marine Science. Annex 3, vol. 24–61 p.

Perkin R.G., Lewis E.L. 1980. The practical salinity scale1978: Fitting the data // IEEE J. Oceanic Engineering.V. OE-5. no. 1, pp. 9–16.

Seitz S, Spitzer P. Traceable measurements of conductivity and its relation to salinity. Working Group for Electrochemistry. Physikalisch-Technische Bundesanstalt. 31 p. Accessible via: https://www.ptb.de/cms/fileadmin/internet/fachabteilungen/abteilung_3/3.1/3.13/230ptbsem/230ptbsem_ptb-seitz.pdf/ 20.08.2019.

Stueben D., Haushahn P., Stueben K. 1994. MINIBAT – a new, simple system for in-situ measurement, mapping and sampling of dissolved trace elements in aquatic systems // Int. underwater syst. desing. V. 16. N 5. pp. 5–14.

Shreiner R.H., Pratt K.W. 2004. Standard Reference Materials: Primary Standards and Standard Reference Materials for Electrolytic Conductivity. NIST Special Publication 260–142. 26 p.

*Yerofeyev P.N., Ponomareva L.S., Ramazin A.*N., 1977. Criteria for the definition of salinity water by electroconductivity with corrections for temperature and pressure. Four Russian papers on salinity. Inst. of Ocean Sciences, Patricia Bay. Victoria, B.C., pp. 1–56. Accessible via: http://www.dfo-mpo.gc.ca/Library/54947.pdf. 20.08.2019.

Поступила в редакцию 09.09.2019 г.
Принята после рецензии 30.10.2019 г.

DOI: 10.36038/2307-3497-2021-184-99-111

Evaluation of calibration uncertainty reference conductivity cell of calibrator CT01«Idronaut» «Installations for measuring conductivity of sea water VNIRO»

Ramazin A.N.

Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (VNIRO), Moscow, Russia

The results of analysis are given for the experimental studies of the metrological characteristics of the reference conductivity cells carried out during the calibration of the conductivity sensors of CTD probes from 2008 to 2017 using "Installation for measuring conductivity sea water VNIRO" The factors determining the uncertainty of calibration of the conductivity reference cell are considered. The calculations were carried out for the combined standard uncertainty (CSU) of the cell calibration and standard uncertainties of its components. The expanded CSU of their calibration at any point in the range (53÷27) mS/cm was concluded not to exceed $(2.2 \div 1.0) \cdot 10^{-3}$ mS/cm, which corresponds to the relative expanded CSU calibration equal to $4 \cdot 10^{-5}$. The analysis of the contribution of individual components to the total uncertainty is given. It was shown that CSU of the cell calibration is mainly estimated by the CSU of determining the reference value of the CSU SSW, due to the uncertainty in determining of the sample temperature inside the cell because of instability and inhomogeneity of the temperature field around it $u_{\Sigma C(T)}$. The value of $u_{\Sigma C(T)}$ varies from $9.7 \cdot 10^{-4}$ mS/cm to $3.6 \cdot 10^{-4}$ mS/cm at the level of instability of sea water in the thermal tank ranging from $(1.1 \pm 0.17) \cdot 10^{-3}$ °C at a temperature of 25 °C to $(0.53 \pm 0.19) \cdot 10^{-3}$ °C at a temperature of 1 °C. The drift of the static cell conversion function for 413 days did not exceed ±0.003 mS/cm.

Keywords: conductivity cell, calibration, standard, combined and expanded uncertainty, instability, temporal drift.

REFERENCES

Levashov D.E. 2003. Tekhnika ekspedicionnyh issledovanij: Instrumental'nye metody i tekhnicheskie sredstva ocenki promyslovo-znachimyh faktorov sredy [Facilities and technique for marine surveys: Instrumental methods and components for estimating the fishing-significant characteristics of water medium]. M.: Izd-vo VNIRO. 400 s.

Ramazin A.N. 2016. Nekotorye nauchno-metodicheskie aspekty metrologicheskogo obespecheniya izmerenij elektroprovodnosti i temperatury morskoj vody s pomoshch'yu STD-zondov [Some scientific and methodological aspects of metrological supply of conductivity and sea water temperature measurements with CTD-probes] // Trudy VNIRO, T. 159, S. 167–182.

Ramazin A.N., Levashov D.E., 2016. Metodicheskie rekomendacii po kalibrovke i metrologicheskomu obespecheniyu izmeritelej parametrov vodnoj sredy [Guidelines for calibration and metrological support of measuring instruments for the parameters of the aquatic environment]. M.: Izd-vo VNIRO. 127 s.

Ramazin A.N. 2018. Ocenka neopredelyonnosti kalibrovki i izmerenij datchikov temperatury STD-zondov «Sea Bird» [Evaluation of calibration and measurement uncertainty of temperature sensors of CTD-probe "Sea Bird"] //Sistemy kontrolya okruzhayushchej sredy. Sevastopol': IPTS. 2018. Vyp.14 (34), S.33–42.

Rukovodstvo po vyrazheniyu neopredelennosti izmereniya. 1999.Perevod s angl. pod nauch. red. prof. Slaeva V.A. SPb.: VNIIM im. D.I. Mendeleeva. 134 s. (Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement. 1993. First edition. ISO, Switzerland. 101 pp.)

Bacon, S.; Culkin, F.; Higgs, N.; Ridout, P. 2007. IAPSO Standard Seawater: definition of the uncertainty in the calibration procedure, and stability of recent batches // J. of Atmospheric and Oceanic Technology. 24 (10). pp.1785–1799. Accessible via: https://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/JTECH2081.1 20.08.2019.

Brinkmann F, Dam N.E., Deak E., Durbiano F., Ferrara E., Fuko J., Jensen H.D., Mariassy M., Shreiner R.H., Spitzer P., Sudmeier U., Surdu M., Vyskoč̌il, Vyskoč̌il L. Primary methods for the measurement of electrolytic conductivity. Accessible via: http://www.researchgate.net/publication/227274619. 20.08.2019.

*Culkin F., Smith N.*D. 1980. Determination of the Concentration of Potassium Chloride Solution Having the Same Electrical Conductivity, at 15 °C and Infinite Frequency, as Standard Seawater of Salinity 35.0000‰ (Chlorinity 19.37394‰) // IEEE J. of Oceanic Engineering. V. OE-5. N 1, pp. 22–23.

IOC, SCOR and IAPSO. 2010. The international thermodynamic equation of seawater – 2010: Calculation and use of thermodynamic properties. Intergovernmental Oceanographic Commission, Manuals and Guides. No. 56, UNESCO (English), 196 pp. Accessible via: http://www.teos-10.org/TEOS-10_Manual.pdf. 20.08.2019.

Lewis E.L., Perkin R.G. 1981. The Practical Salinity Scale 1978: conversion of existing data // Deep-Sea Res. V. 28a. № 4. pp. 307–328.

Mangum B.W., Furukawa, G.T. 1990. Guidelines for Realizing the International Temperature of 1990 (ITS-90). NIST Tech. Note 1265. 190 p.

Poisson A. 1975. Measurement of absolute electrical conductivity of standard sea water on the basis of KCl as standard // UNESCO Technical Paper in Marine Science. Annex 3, vol. 24–61 p.

Perkin R.G., Lewis E.L. 1980. The practical salinity scale1978: Fitting the data // IEEE J. Oceanic Engineering.V. OE-5. pp. 9–16.

Seitz S, Spitzer P. Traceable measurements of conductivity and its relation to salinity. Working Group for Electrochemistry. Physikalisch-Technische Bundesanstalt. 31 p. Accessible via: https://www.ptb.de/cms/fileadmin/internet/fachabteilungen/abteilung_3/3.1/3.13/230ptbsem/230ptbsem_ptb-seitz.pdf/ 20.08.2019.

Stueben D., Haushahn P., Stueben K. 1994. MINIBAT – a new, simple system for in-situ measurement, mapping and sampling of dissolved trace elements in aquatic systems // Int. underwater syst. desing. V. 16. N 5. pp. 5–14.

Shreiner R.H., Pratt K.W. 2004. Standard Reference Materials: Primary Standards and Standard Reference Materials for Electrolytic Conductivity. NIST Special Publication 260–142. 26 p.

Yerofeyev P.N., Ponomareva L.S., Ramazin A.N., 1977. Criteria for the definition of salinity water by electroconductivity with corrections for temperature and pressure. Four Russian papers on salinity. Inst. of Ocean Sciences, Patricia Bay. Victoria, B.C., pp. 1–56. Accessible via: http://www.dfo-mpo.gc.ca/Library/54947.pdf. 20.08.2019.

TABLE CAPTIONS

Table 1. The combined standard uncertainty of calibration of the reference cell and its components in the working area of the thermostat in the temperature range –1.6 ÷ 30 °C

Table 2. The values of the difference in the readings Δ_1-Δ_2 of the reference cells C2 and C1, shifted in time by 24 and 48 hours

Table 3. Values of daily reading drift of indications of reference cell C2

FIGURE CAPTIONS

Fig. 1. a) Calibration Tools for CTD Probes: Symbols: 1 – Standard resistor model 5685A «Tinsley» (UK); 2 – Precision Thermometry Bridge F18 «ASL» (UK); 3 – Standard Platinum Resistance Thermometer model 162CE «Rosemount» (USA); 4 – Gallium melting point thermostat models 17041, 17042 «Yellow Springs Instrument» (USA); 5 – Standard conductivity- temperature model CT01 «Idronaut» (ITA); 6 – Reference conductivity cell; 7–216 l thermal tank model 7051A «Hart Scientific» (USA); 8 – CTD-probe SBE19plus before calibration. 6) – filling the reference conductivity cell with standard seawater; 2,4 – Reference conductivity cell; 3 – reference cell cover; 5 – tubing; 6 – pump «OSIL»

Fig. 2. The water temperature instability diagram for thermal tank during calibration of reference cells, conducted in 2008–2017. Symbols: I – the range of deviations of the upper limit of the stabilized temperature in the thermal tank from the average; □ – range of deviations of the upper limit of the stabilized temperature in the thermal tank from the median (68,27%)

Fig. 3. Graph of temporal variability of calibration function of reference cell C2 for the period from January 25 to March 28, 2012

Fig. 4. Graph of the temporal variability of the calibration function of reference cells C2 and C1 for the period from September 22, 2016 till November 9, 2017. a) and b) stability of C2 cell calibrated each time; c) and d) stability of an uncalibrated cell C1 relative to cell C2

УДК 551.46 DOI: 10.36038/2307-3497-2021-184-112-124

О неопределённости калибровки датчиков электропроводимости CTD-зондов «Sea Bird» при измерениях и в расчётах практической солёности

А.Н. Рамазин

Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ФГБНУ «ВНИРО»), Москва

E-mail: ramazin@vniro.ru

Рассмотрены факторы, определяющие суммарную стандартную неопределённость (ССН) калибровки датчиков удельной электропроводимости (УЭП) прецизионных CTD-зондов. Проведен расчёт стандартных неопределённостей (СН) отдельных компонентов и дан анализ их вклада в ССН калибровки датчиков УЭП пяти основных моделей CTD-зондов фирмы «Sea Bird». Показано, что расширенная ССН калибровки датчиков УЭП, рассмотренных моделей CTD-зондов в любой точке диапазона от 53 мСм/см до 27 мСм/см не будет превышать $(2{,}2 \div 1{,}0) \cdot 10^{-3}$ мСм/см. А относительная расширенная ССН калибровки этих датчиков не превысит $4{,}2 \cdot 10^{-5}$ и будет определяться величиной ССН калибровки эталонной ячейки. Расширенная ССН определения солёности U_S по данным *CTp*-измерений при ширине охвата $K=2$ будет равна 0,0031÷0,0034 при вкладе ССН калибровки CTD-зонда на уровне 0,0004÷0,0008 для $31 \leqslant S \leqslant 39$; $-2 \leqslant T \leqslant 25$ °C; $27 \leqslant C \leqslant 53$ мСм/см и $0 \leqslant p \leqslant 10000$ дбар. По экспериментальным данным рассчитаны характеристики зависимостей коэффициента чувствительности $\partial f/\partial C$, среднеквадратичных отклонений частоты входного сигнала $s(f_i)$ и показаний датчика $s(Cз_i)$ от электропроводимости морской воды. Выполнен анализ временного ухода калибровочных характеристик датчиков УЭП за время между калибровками.

Ключевые слова: многоразовые измерения, датчик УЭП, калибровка, CTD-зонд, солёность, стандартная, суммарная и расширенная неопределённость, коэффициент чувствительности, стандартное отклонение, временной уход.

ВВЕДЕНИЕ

За последние десятилетия CTD-зонды стали основным средством сбора гидрофизической информации, используемой для определения солёности (практической и абсолютной) морской воды как основы для расчёта её всех фундаментальных термодинамических свойств [IOC, SCOR and IAPSO, 2010].

Практическая солёность представляет собой величину, вычисляемую по данным измерений относительной (удельной) электропроводимости R (C), температуры T и давления p, с использованием международного алгоритма практической шкалы солёности 1978 года (ПШС-78) [Perkin, Lewis, 1980]. Ожидаемая программой WOCE неопределённость в значениях практической солёности составляет ±0,002 [Saunders et al., 1991] при условии, что температуру и удельную электропроводимость (УЭП) можно измерить с неопределённостью, не превышающей 0,002 °C и 0,002 мСм/см, соответственно.

Для различных комбинаций солёности S и *CTp*-параметров вклад составляющих неопределённости расчёта солёности, зависящих от неопределённости измерения УЭП $u(S_c)$, температуры $u(S_т)$ и давления $u(S_p)$ различен. Для диапазона изменения солёности, характерного для Мирового океана $31 \leqslant S \leqslant 39$, вклад составляющих, зависящих от неопределённостей УЭП и температуры близок друг к другу, а вклад составляющей, зависящей от неопределённости измерения давления во много раз меньше. В крайних точках этого диапазона отношение $u(S_c)/u(S_т)$ составляет (1,32÷1,02) для S = 31 и (1,02÷0,78) для S=39 при изменении температуры от –2 до 35 °C и давлении от 0 до 10000 дбар, соответственно [Рамазин, 2017]. А при низких солёностях вклад составляющей, зависящей от неопределённости измерения датчика УЭП, играет наиболее значительную роль в суммарной неопределённости расчета солёности.

Вместе с тем датчики УЭП являются наиболее сложным и уязвимым звеном при получении

СТр-информации, что связано с их конструктивными особенностями и методами их калибровки [Рамазин, 2016; Рамазин, Левашов, 2016].

Целью настоящей работы является анализ и оценка всей совокупности факторов, влияющих на неопределённость калибровки и измерения этих датчиков, а также влияния неопределённости их калибровки на суммарную неопределённость определения практической солёности морской воды.

Оборудование. В течение 10 лет с 2008 по 2017 гг. Метрологической службой измерителей параметров морской воды ВНИРО (МС ВНИРО) были откалиброваны датчики УЭП 122 зондов различных моделей. Эти калибровки были выполнены с использованием зарубежного прецизионного калибровочного оборудования, схема калибровки представлена на рис. 1.

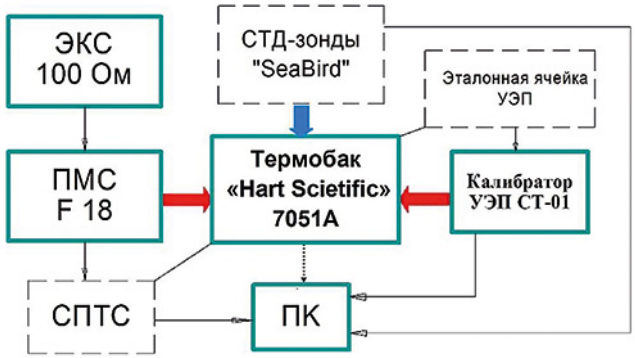


Рис. 1. Схема калибровки датчиков УЭП CTD-зондов «Sea Bird»:

ЭКС — эталонная катушка сопротивления модель 5685A «Tinsley» (UK); ПМС — прецизионный мост сопротивлений модели F18 «ASL» (UK); СПТС — стандартный платиновый термометр сопротивлений модели 162CE «Rosemount» (USA); ПК — персональный компьютер

Калибровке датчиков УЭП подверглись 107 CTD-зондов повышенной точности [Левашов, 2003], при этом 98 зондов (91,6%) приходились на различные модели фирмы «Sea Bird».

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве чувствительного элемента датчиков УЭП этих моделей CTD-зондов используется кондуктометрическая ячейка, выпускаемая фирмой «Sea Bird» под названием SBE4. Ячейка [Pederson, Gregg, 1979], используемая в датчике SBE4, имеет три кольцевых платинизированных электрода шириной 10 мм, размещённых внутри трубки из пирекса длиной 190 мм и внутренним диаметром 7 мм. Крайние электроды расположены симметрично относительно центрального и на расстоянии от него в 50 мм. Внутренний диаметр трубки на участке между крайними электродами сужен до 4 мм.

В данной работе приведены результаты экспериментальных исследований метрологических характеристик датчиков УЭП 5-ти наиболее часто применяемых моделей CTD-зондов фирмы «Sea Bird».

Калибровка датчиков УЭП CTD-зонда осуществлялась методом их сличения с эталонной ячейкой калибратора CT01 «Idronaut», входящего в состав комплекса метрологического оборудования: «Установки для измерения УЭП морской воды ВНИРО» (свидетельство об утверждении типа средства измерений RU.E.31.001.A № 42535). Измерения проводились в прецизионном термобаке модели 7051A «Hart Scientific» объёмом 216 л, заполненном искусственной морской водой солёностью 34,4÷35,2 с помощью многоразовых измерений по 7÷8 точкам в температурном диапазоне от –1,6 °C до 25 °C (реже 30 °C), что обеспечивало изменения УЭП в диапазоне от 2,7 См/м до 5,3 (5,8) См/м.

Искусственная морская вода приготавливалась из соли фирмы «Red Sea» (Израиль). Температура воды контролировалась с помощью стандартного платинового термометра сопротивлений (СПТС), являющегося рабочим эталоном 0 разряда, суммарная стандартная неопределённость (ССН) измерения температуры которого в рабочем объёме термостата $u_{\Sigma СПТС}$ = (1,2÷1,6)·10^{-4} °C [Рамазин, 2018].

Нестабильность температуры и наибольшая разность температур между двумя точками в рабочей зоне калибровки термостата, в которых размещались СПТС и датчик зонда, в течение не менее 1÷3 минут не превышал ±0,0002 °C.

При этом выполнялись следующие операции:

1. Измерение УЭП эталонной ячейкой.
2. Измерение УЭП датчиком зонда.
3. Определение разности показаний датчика и образцовой ячейки при измерении ими одной и той же температуры и УЭП поддерживаемой в рабочей зоне калибровки термостата.

Факторы неопределённости. К факторам, определяющим неопределенность калибровки можно отнести [Походун, 2006; Руководство..., 1999]:

1. Неопределенность результата измерения УЭП эталонной ячейкой.

2. Неоднородность температурного поля и нестабильность поддержания температуры в рабочей зоне калибровки термостата, определяющие пространственно-временную нестабильность поля УЭП.

3. Неопределенность результата измерения УЭП калибруемого датчика зонда.

Для расчёта неопределенности результата калибровки в каждой точке использовали суммарную стандартную неопределенность (ССН) оценки.

ССН результата калибровки $u_{\Sigma уэп}$ датчика УЭП зонда складывается из следующих неопределенностей:

– ССН измерения УЭП эталонной ячейки в рабочем объёме термостата $u_{\Sigma Э}$;

– ССН поля УЭП, обусловленной неоднородностью температурного поля и нестабильностью поддержания температуры и УЭП в рабочей зоне термостата $u_{\Sigma C(T)}$;

– ССН измерения УЭП калибруемого датчика зонда $u_{\Sigma Cз}$.

ССН результата калибровки $u_{\Sigma уэп}$ датчика УЭП СТД-зонда может быть представлена в виде:

$$u_{\Sigma уэп} = \sqrt{(u_{\Sigma Э})^2 + (u_{\Sigma C(T)})^2 + (u_{\Sigma Cз})^2}, \qquad (1)$$

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

ССН измерения УЭП эталонной ячейки в рабочем объёме термостата $u_{\Sigma Э}$ находим из выражения:

$$u_{\Sigma Э} = \sqrt{\left(u_{АЭ}\right)^2 + \left(u_{ВЭ}\right)^2}, \qquad (2)$$

где $u_{АЭ}$ – стандартная неопределённость (СН) измерения УЭП типа А, представляет собой стандартное отклонение оценки среднего значения результата измерения УЭП измерительной схемы эталонной ячейки и может быть определена из соотношения:

$$u_{АЭ} = \sqrt{\frac{1}{m\cdot(m-1)}\sum_{i=1}^{m}(C_{Эi} - \overline{C}_Э)^2} = \sqrt{\frac{1}{m\cdot(m-1)}\cdot\sum_{i=1}^{m}\left(\frac{N_i - \overline{N}}{\partial N / \partial C}\right)^2}, \qquad (3)$$

где m – число наблюдений кода УЭП СТ01 с помощью эталонной ячейки; $39 \geqslant m \geqslant 62$; Ni – i-й результат наблюдения кода УЭП пробы морской воды электропроводимостью $C_{Эi}$; $\overline{N}$ и $\overline{C}_Э$ – средние значения кода и УЭП из m наблюдений; $\partial N/\partial C = 1{,}004$ ед. кода / мСм·см$^{-1}$ – коэффициент чувствительности измерительной схемы СТ01 при измерении УЭП.

Рассчитанные значения $u_{АЭ}$ для всех точек калибруемого диапазона занесены в табл. 1.

$u_{ВЭ}$ – ССН измерения УЭП эталонной ячейки, оцениваемая по типу В, определяется из соотношения

$$u_{ВЭ} = \sqrt{(u_{\Sigma_{Cell}})^2 + (u_{ДСТ01})^2}, \qquad (4)$$

где $u_{\Sigma_{Cell}}$ – ССН калибровки эталонной ячейки, значения которой размещены в табл. 1 [Рамазин, 2021]; $u_{ДСТ01}$ – СН эталонной ячейки калибратора СТ01, обусловленная дискретностью её измерений. Она может быть определена из соотношения:

$$u_{ДСТ01} = \frac{1\cdot10^{-4}}{\sqrt{3}} = 5{,}8\cdot10^{-5}\ \text{мСм/см}. \qquad (5)$$

Таблица 1. ССН измерений эталонной ячейки и её составляющих в рабочей зоне термостата в температурном диапазоне –1,6 ÷ 30 °С

Температура воды в баке, °С	30	25	20	15	10	5	1	-1,6
$u_{\Sigma СПТС}\cdot10^{-4}$, °С	1,6	1,6	1,5	1,4	1,3	1,3	1,2	1,3
УЭП, мСм/см	58	53	48	43	38	33	29	27
Число измерений СПТС, m	47	62	41	60	41	52	54	39
$u_{АЭ} = \sqrt{\frac{1}{m\cdot(m-1)}\cdot\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{N_i - \overline{N}}{\partial N / \partial C}\right)^2}$								
$u_{АЭ}\cdot10^{-6}$, мСм/см	2,9	2,6	3,1	2,6	3,1	2,8	2,7	3,2
$u_{\Sigma_{Cell}}\cdot10^{-4}$, мСм/см	–	11,1	9,3	8,1	6,3	5,1	5,2	5,4
$u_{ДСТ01}\cdot10^{-4}$, мСм/см	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
$u_{ВЭ} = \sqrt{(u_{\Sigma})^2 + (u_{ДСТ01})^2}$								
$u_{ВЭ}\cdot10^{-4}$, мСм/см		11,1	9,3	8,1	6,3	5,1	5,2	5,4

Окончание табл. 1

Температура воды в баке, °С	**30**	**25**	**20**	**15**	**10**	**5**	**1**	**-1,6**
$u_{\Sigma Э} = \sqrt{(u_{AЭ})^2 + (u_{BЭ})^2}$								
$u_{\Sigma Э}\cdot 10^{-4}$, мСм/см		**11,1**	**9,3**	**8,1**	**6,3**	**5,1**	**5,2**	**5,4**
$u_{\Sigma T}\cdot 10^{-4}$, °С	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
$\partial C/\partial T$, мСм см$^{-1}$/°С	1,07	1,04	1,02	0,98	0,95	0,906	0,87	0,85
$u_{\Sigma C(T)} = u_{\Sigma T}\cdot\frac{\partial C}{\partial T}$								
$u_{\Sigma C(T)}$ 10^{-4}, мСм/см	1,71	**1,66**	**1,63**	**1,57**	**1,52**	**1,45**	**1,39**	**1,36**

В табл. 1 представлены результаты расчёта значения неопределённостей $u_Э$, $u_{AЭ}$, $u_{BЭ}$, $u_{\Sigma Э}$ эталонной ячейки для всех точек калибровки.

Результат влияния фактора. Результаты расчётов $u_{AЭ}$ и $u_{BЭ}$, приведённые в табл. 1 показывают, что составляющая суммарной неопределённости ячейки $u_{\Sigma_{Cell}}$ практически полностью определяет значение $u_{BЭ}$, а следовательно и ССН измерения УЭП эталонной ячейки в рабочем объёме термостата $u_{\Sigma Э}$. Значения неопределённостей $u_{AЭ}$ и $u_{ДСТ01}$пренебрежимо малы.

ССН поля УЭП $u_{\Sigma C(T)}$, обусловленная неоднородностью температурного поля u_{T1} и нестабильностью поддержания температуры в рабочей зоне калибровки термостата u_{T2}, может быть оценена по типу В. Суммарная стандартная неопределенность $u_{\Sigma C(T)}$ может быть представлена в виде:

$$u_{\Sigma C(T)} = \sqrt{\left(\frac{u_{T1}}{\partial T/\partial C}\right)^2 + \left(\frac{u_{T2}}{\partial T/\partial C}\right)^2} = \frac{\sqrt{(u_{T1})^2 + (u_{T2})^2}}{\partial T/\partial C} = u_{\Sigma T}\cdot\frac{\partial C}{\partial T};$$

$$u_{T1} = u_{T2} = \frac{b_+ - b_-}{2\cdot\sqrt{3}} = \frac{0{,}0002 - (-0{,}0002)}{2\cdot\sqrt{3}} = 0{,}000115\ °\text{C}, \quad (6)$$

где b_+ и b_- — соответственно верхняя и нижняя границы распределения неравномерности и нестабильности поля температуры в рабочей зоне калибровки, носящий равновероятный характер; $u_{\Sigma T}$ — ССН пространственно-временная неоднородность температурного поля в зоне калибровки (табл. 1) [Рамазин, 2018]; $\partial C/\partial T$ — коэффициент чувствительности измерения УЭП морской воды в термобаке, значения которого находим из выражения:

$$\frac{\partial C}{\partial T} \approx \frac{\partial C(35,T,0)}{\partial T} = (c_1 + 2c_2T_{68} + 3c_3T_{68}^2 + 4c_4T_{68}^3)\cdot C(35,15,0), \quad (7)$$

где c_1, c_2, c_3, c_4 — коэффициенты уравнения зависимости УЭП стандартной морской воды (IAPSO Standard Seawater) от температуры международной практической шкалы температуры 1968 г. (МПШТ-68) [Perkin, Lewis, 1980].

При этом, предполагается, что эта неравномерность температурного поля и его нестабильность справедливы для всех точек рабочей зоны калибровки термостата, в которых находятся СПТС, эталонная ячейка и датчик УЭП зонда в течение времени калибровки (1–3 мин.)

Результат влияния фактора. Результаты расчёта значений $\partial C/\partial T$ и ССН $u_{\Sigma C(T)}$ представленные в табл. 1, показывают, что величина ССН поля УЭП $u_{\Sigma C(T)}$ находится в пределах $(1{,}4\div 1{,}7)\cdot 10^{-4}$ мСм/см и играет незаметную роль в ССН измерения УЭП эталонной ячейки в рабочем объеме термостата $u_{\Sigma Э}$ при калибровке СТД-зонда.

ССН измерения датчиком УЭП CTD-зонда $u_{\Sigma C}$ в рабочей зоне калибровки термостата может быть представлена в виде

$$u_{\Sigma Cз} = \sqrt{(u_{ACз})^2 + (u_{BCз})^2}, \quad (8)$$

где $u_{ACз}$ и $u_{BCз}$ — соответственно оценки неопределенности по типу *A* и типу *B*.

Используя данные результата калибровки датчика УЭП зонда, оценку СН по типу *A* можно определить из соотношения

$$u_{ATз} = \sqrt{\frac{1}{n\cdot(n-1)}\sum_{i=1}^{n}(C_{3i} - \overline{C}_з)^2} = \sqrt{\frac{1}{n\cdot(n-1)}\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{f_{3i} - \overline{f}_з}{\partial f/\partial C}\right)^2}, \quad (9)$$

где C_{3i} – i-й результат наблюдения УЭП с помощью датчика зонда в процессе его калибровки; n – число многоразовых измерений в одной из точек калибровки, выполненные с помощью датчика зонда; $\overline{C}_3$ – среднее значение УЭП из n-измерений; f_{3i} – i-й результат измерения частоты датчика; $\bar{f}_3$ – среднее значение частоты измерений из n наблюдений; $\partial f/\partial C$ – коэффициент чувствительности датчика УЭП (Гц/См·м$^{-1}$) при измеряемом значении электропроводимости в термобаке. Значения n и f_{3i} брались из соответствующего файла калибровки.

Можем уверенно предположить, что неопределенность результатов измерений УЭП с помощью датчика зонда типа А имеет нормальный закон распределения. Тогда, оценка СН u_{AC3} определяется из соотношения

$$u_{AC3} = \sqrt{\frac{1}{n\cdot(n-1)}\cdot\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{f_{3i}-\bar{f}_3}{\partial f/\partial C}\right)^2} = \frac{s(f3_i)}{(\partial f/\partial C)\cdot\sqrt{n}} = \frac{s(C3_i)}{\sqrt{n}}, \quad (10)$$

где $\bar{f}_3 = \frac{1}{n}\cdot\sum_i^n f_{3i}$; (11)

$$s(C3_i) = \frac{\partial C}{\partial f}\cdot\sqrt{\frac{1}{(n-1)}\cdot\sum_{i=1}^{n}(f_{3i}-\bar{f}_3)^2} = \frac{\partial C}{\partial f}\cdot s(f3_i), \quad (12)$$

где $s(C_{3i})$ и $s(f_{3i})$ – экспериментальные стандартные отклонения измерений УЭП $C3i$ и частоты f_{3i} датчиком зонда от среднего значения.

Значения $\bar{f}_3$ и $s(f_{3i})$ рассчитывались непосредственно в файле с калибровочными данными с использованием стандартных функций Microsoft Excel 2003: СРЗНАЧ и СТАНДОТКЛОН.

Коэффициент чувствительность датчика УЭП $\partial f/\partial C$ (Гц/См·м$^{-1}$) при измеряемом значении электропроводимости в термобаке определялись следующим образом

$$\frac{\partial f}{\partial C} = \lim_{\Delta T\to 0}\frac{\Delta f}{\Delta C} = \left|\frac{f-(f+\Delta f)}{C-(C+\Delta C)}\right|, \quad (13)$$

где $C=\varphi(f)$ – статическая (калибровочная) функция преобразования (СФП) датчика УЭП CTD-зонда.

Для измерителей CTD-зондов фирмы “Sea Bird” SBE19plus, SBE19plusV2, SBE16plus, SBE16plusV2, SBE37SM и SBE37SI СФП имеет вид

$$C = \frac{\left[g+h\cdot f^2+i\cdot f^3+j\cdot f^4\right]}{\left[1+\delta\cdot T+\varepsilon\cdot p\right]}, \quad (14)$$

Для СТД-зонда SBE25

$$C = \frac{\left[g+h\cdot f^2+i\cdot f^3+j\cdot f^4\right]}{\left[1+\delta\cdot T+\varepsilon\cdot p\right]\cdot 10}, \quad (15)$$

где f – частота измеренного сигнала, кГц; T – температура, °С МПТШ-68; p – давление, дбар; g, h, i, j –калибровочные коэффициенты СФП,

Учет влияния температуры и давления на постоянную ячейки осуществляется с помощью эмпирического выражения:

$$1+\delta T+\varepsilon p,$$

где $\delta = 3{,}25\cdot10^{-6}$ °С-1 – поправочный коэффициент на влияние температуры T; $\varepsilon = -9{,}5700\cdot10^{-8}$ дбар$^{-1}$ – поправочный коэффициент на влияние давления p.

Для ряда СТД-зондов модели SBE37SM и SBE37SI:

$$f = f_{INSRFREQ} = \sqrt{(1{,}0+\mathrm{WBOTC}\cdot T)}/1000{,}0, \quad (16)$$

WBOTC – поправочный коэффициент влияния температуры на измеряемую частоту сигнала $f_{INSR.FREQ}$ (для каждой ячейки индивидуально определяется на фирме изготовителе и указан в сертификате калибровки).

Полученные по данным калибровки пяти различных моделей CTD-зондов «Sea Bird» значения $\partial f/\partial C$, $s(f_i)$ и $s(C_{3i})$ являлись исходными данными для вычисления СН измерения датчиком зонда u_{AC3} (10), оценённой по типу *А*.

Вычисленные значения СН u_{AC3} в диапазоне калибровки (27÷53) мСм/см зондов SBE19plusV2 № 6794 и SBE25 № 0342 занесены в табл. 2.

Оценка неопределённости датчика температуры по типу В u_{BC3} обусловлена дискретностью Δf частотного способа измерений зонда

$$u_{BC3} = \frac{\Delta f}{\left(\frac{\partial f}{\partial C}\right)\cdot\sqrt{3}}. \quad (17)$$

Для всех моделей CTD-зондов «Sea Bird» Δf=10^{-3} Гц.

Рассчитанные значения u_{BT3} для диапазона изменения УЭП (27÷53) мСм/см представлены в табл. 2.

Необходимо отметить, что для CTD-зондов моделей SBE19plus, SBE16plusV и SBE37 значения суммарных неопределённостей $u_{\Sigma C(T)}$ и $u_{\Sigma Э}$ не отличаются от значений, рассчитанных для зондов SBE19plusV2 № 6794 и SBE25 № 0342, а значения ССН $u_{\Sigma C3}$ зависят лишь от количества мно-

Таблица 2. Значения стандартных неопределённостей калибровки датчиков УЭП CTD-зондов SBE19plusV2 № 6794 и SBE25 № 0342

Температура воды в баке, °С	**25**	**20**	**15**	**10**	**5**	**1**	**-1,6**
УЭП, мСм/см	53	48	43	38	33	29	27
SBE19plusV2							
n – число измерений зонда	502	325	476	326	417	431	309
$s(f_{зi})$, 10^{-2} Гц	1,5	1,8	2,6	2,5	2,5	2,6	3,2
$\partial f/\partial C$, Гц/См м$^{-1}$	508,9	531,1	555,5	586,4	617,8	646,9	663,4
$s(C_{зi})\cdot10^{-5}$, См/м	3,0	3,5	4,7	4,4	4,1	4,0	4,8
$\Delta(C_{зi})\cdot10^{-5}$, См/м	5,8	6,8	9,2	8,5	8,0	7,9	9,5
$u_{ACз} = \frac{s(fз_i)}{(\partial f/\partial C)\cdot\sqrt{n}};\ s(Cз_i) = \frac{\partial C}{\partial f}\cdot s(fз_i)$							
$u_{ACз}\cdot10^{-6}$, См/м	1,3	1,9	2,1	2,4	2,0	1,9	2,7
$u_{BCз}\cdot10^{-6}$, См/м	1,1	1,1	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9
$u_{\Sigma Cз} = \sqrt{(u_{ACз})^2 + (u_{BCз})^2}$							
$u_{\Sigma Cз}\cdot10^{-5}$, См/м	**0,17**	**0,22**	**0,24**	**0,26**	**0,22**	**0,21**	**0,29**
SBE25							
n	74	75	58	32	21	23	–
$s(f_{зi})$, 10^{-2} Гц	0,9	1,2	1,0	1,0	1,1	1,1	–
$\partial f/\partial C\cdot$, Гц/См м$^{-1}$	502,6	524,2	548,0	574,7	605,3	633,6	–
$s(C_{зi})\cdot10^{-5}$, См/м	1,7	2,3	1,8	1,8	1,8	1,7	–
$\Delta(C_{зi})\cdot10^{-5}$, См/м	3,4	4,5	3,5	3,5	3,4	3,4	–
$u_{ACз}\cdot10^{-6}$, См/м	2,0	2,6	2,3	3,1	3,8	3,6	–
$u_{BCз}\cdot10^{-6}$, См/м	1,1	1,1	1,0	1,0	0,9	0,9	
$u_{\Sigma Cз}\cdot10^{-6}$, См/м	**0,23**	**0,28**	**0,25**	**0,33**	**0,39**	**0,37**	
Для всех CTD-зондов							
$u_{\Sigma C(T)}\cdot10^{-5}$, См/м	**1,66**	**1,63**	**1,57**	**1,52**	**1,45**	**1,39**	**1,36**
$u_{\Sigma Э}\cdot10^{-5}$, См/м	11,1	9,3	8,1	6,3	5,1	5,2	5,4
$u_{\Sigma уэп} = \sqrt{(u_{\Sigma Э})^2 + (u_{\Sigma C(T)})^2 + (u_{\Sigma Cз})^2}$							
$u_{\Sigma уэп}\cdot10^{-5}$, См/м	11,2	9,4	8,3	6,5	5,3	5,4	5,6
$u_{\Sigma уэп}\cdot10^{-3}$, мСм/см	**1,12**	**0,94**	**0,83**	**0,65**	**0,53**	**0,54**	**0,56**
$u_{RT}\cdot10^{-5}$	2,1	2,0	1,9	1,7	1,6	1,8	2,0
$U_{\Sigma уэп}\cdot10^{-3}$, мСм/см	**2,2**	**1,9**	**1,6**	**1,3**	**1,0**	**1,1**	**1,1**
$U_{RT}\cdot10^{-5}$	4,2	3,9	3,8	3,3	3,1	3,5	3,9

горазовых измерений и находятся на уровне $(0{,}17\div0{,}29)\cdot10^{-4}$ мСм/см.

Результат влияния фактора. Вклад ССН измерения датчиком УЭП зонда $u_{\Sigma Cз}$ в ССН калибровки датчиков УЭП крайне незначителен и не превышает 0,29 10^{-4} мСм/см. Им можно пренебречь.

Результаты вычисления ССН калибровки датчика УЭП CTD-зонда $u_{\Sigma уэп}$ (1) по рассчитанным данным ССН $u_{\Sigma Э}$, $u_{\Sigma C(T)}$ и $u_{\Sigma Cз}$ (табл. 2.) показывает, что её значение находится в интервале значений $(0{,}60\div1{,}16)\cdot10^{-3}$ мСм/см.

Относительная ССН калибровки этих датчиков u_{R_T} определится из выражения

$$u_{R_T} = \frac{u_{\Sigma C(S,T_{68},0)}}{C(35,T_{68},0)}, \qquad (18)$$

где $u_{\Sigma C(S,T_{68},0)}$ – ССН калибровки датчика УЭП $u_{\Sigma уэп}$ при значении УЭП $C(S,T_{68},0)$ пробы морской воды солёностью S, относительной электропроводности R_T при температуре T_{68} и атмосферном давлении.

Как видно из табл. 2 значения u_{R_T} находится в пределах (1,6÷2,1)·10^{-5}, что соответствует оценке уровня неопределённости измерения R_T пробы морской воды, выполняемых с помощью солемера Portasal при T = 24 °C: u_{RT} = (2,1÷2,2)·10^{-5} для S = 35 [Menn, 2011].

Расширенная ССН результата калибровки $u_{\Sigma уэп}$ датчика УЭП зонда для уровня доверия 0,95 будет равна

$$U_\Sigma = K \cdot u_{\text{уэп}}, \qquad (19)$$

где K=1,96 — коэффициент охвата, определяемый по формуле Велча-Саттерсвейта как коэффициент Стьюдента с эффективным числом степеней свободы [Руководство, 1999] v_{eff} близком к ∞ для всех калибруемых CTD-зондов.

Таким образом, расширенная ССН калибровки датчиков УЭП пяти рассмотренных моделей CTD-зондов «Sea Bird» в любой точке диапазона (53÷27) мСм/см (5,3÷2,7 См/м) будет определяться величиной ССН калибровки эталонной ячейки (табл. 2) и не будет превышать

$$U_{\Sigma уэп} = K \cdot u_{\Sigma уэп} = \\ = 1{,}96 \cdot (1{,}12 \div 0{,}53) \cdot 10^{-3} \le (2{,}2 \div 1{,}0) \cdot 10^{-3} \text{ мСм/см}. \qquad (20)$$

А относительная расширенная ССН калибровки этих датчиков U_{R_T} не превысит величины равной (4,2÷3,0)·10^{-5}.

ССН расчёта практической солёности, выполненного по международному алгоритму ПШС-78 по данным *CTp*-измерений CTD-зондов [Perkin, Lewis, 1980] с учётом ССН датчиков можно определить из выражения

$$u_{S_{calc}} = \sqrt{u(S_C)^2 + u(S_T)^2 + u(S_p)^2} = \\ = \sqrt{(u_{\Sigma уэп} \cdot \frac{\partial S}{\partial C})^2 + (u_{\Sigma T} \cdot \frac{\partial S}{\partial T})^2 + (u_{\Sigma p} \cdot \frac{\partial S}{\partial p})^2}, \qquad (21)$$

где u_Σ, $u_{\Sigma T}$, $u_{\Sigma p}$ — ССН измерения датчиками УЭП, температуры и давления, соответственно. Величина

$$u_\Sigma \cdot \frac{\partial S}{\partial C} \gg u_{\Sigma T} \cdot \frac{\partial S}{\partial T} \gg u_{\Sigma p} \cdot \frac{\partial S}{\partial p},$$

поэтому выражение (21) примет вид

$$u_{S_{calc}} = u_{\Sigma уэп} \cdot \frac{\partial S}{\partial C}. \qquad (22)$$

А ССН определения практической солёности будет равна

$$u_S = \sqrt{u_{S_{calc}}{}^2 + u_{PSS}^2} = \sqrt{(u_{\Sigma уэп} \cdot \frac{\partial S}{\partial C})^2 + u_{PSS}^2}. \qquad (23)$$

где $u_{\Sigma уэп}$ = (1,12÷0,53)·10^{-3} мСм/см (табл. 2); $\frac{\partial S}{\partial C}$ — представлена в табл. 3 для диапазонов значений 31 ⩽ S ⩽ 39; −1,6 ⩽ T ⩽ 25 °C; 27 ⩽ C ⩽ 53 мСм/см и 0 ⩽ p ⩽ 10000 дбар соответственно [Рамазин, 2017], а u_{PSS} = 0,0015 — суммарное стандартное отклонение алгоритма ПШС-78 от экспериментальных данных [Perkin, Lewis, 1980]. Результаты вычислений ССН определения практической солёности, выполненных по формуле (23) представлены в табл. 3.

Расширенная ССН определения практической солёности U_S = 2u_S по данным *CTp*-измерений при ширине охвата K=2 (с уровнем достоверности 95%) будет равна 0,0031÷0,0034.

Таблица 3. Значения ССН практической солёности, рассчитанной по данным ССН калибровки датчика УЭП $u_{\Sigma уэп}$, коэффициента чувствительности $\partial S/\partial C$ и u_{PSS} = 0,0015 для диапазона значений 31 ⩽ S ⩽ 39; −2 ⩽ T ⩽ 25 °C; 27 ⩽ C ⩽ 53 мСм/см и 0 ⩽ p ⩽ 10000 дбар.

T, °C	$u_{\Sigma уэп}$, 10^{-3}, мСм/см	$\partial S/\partial C$, епс/мСм см$^{-1}$			$(u_{\Sigma уэп} \times \partial S/\partial C)\times 10^{-3}$, епс			u_S, епс		
		S=31	S=35	S=39	S=31	S=35	S=39	S=31	S=35	S=39
-1,6	0,56	1,400	1,411	1,421	0,784	0,790	0,796	0,0017	0,0017	0,0017
1	0,54	0,94	0,83	0,65	0,508	0,448	0,351	0,0016	0,0016	0,0015
5	0,53	1,152	1,161	1,171	0,611	0,615	0,621	0,0016	0,0016	0,0016
10	0,65	1,016	1,025	1,033	0,660	0,666	0,671	0,0016	0,0016	0,0016
15	0,83	0,904	0,913	0,92	0,750	0,758	0,764	0,0017	0,0017	0,0017
20	0,94	0,812	0,82	0,827	0,763	0,771	0,777	0,0017	0,0017	0,0017
25	1,12	0,735	0,742	0,749	0,823	0,831	0,839	0,0017	0,0017	0,0017

Из данных табл. 3 следует, что основной вклад при оценке ССН определения солёности U_S вносит СН математического алгоритма её определения u_{PSS}

$$u_{PSS} = \sqrt{(u_{R_T})^2 + (u_{r_T})^2 + (u_{R_p})^2}, \qquad (25)$$

где u_{R_T} = 0,0007 — стандартное отклонение уравнения $S=f(R_T,T_{68})$; u_{r_T} = 0,0003 — стандартное отклонение уравнения для SSW r_T = C(35,15,0)·$f(T)$; u_{Rp} = 0,0013 — стандартное отклонение влияния давления $R_p=f(p,T)$ алгоритма ПШС-78 [Perkin, Lewis, 1980].

Следовательно, расширенная ССН определения практической солёности по *CTp*-измерениям не может быть меньше величины U_{PSS} = 0,003, основной вклад в расчёт которой вносит неопределённость уравнения влияния давления, расширенная СН которой u_{Rp} = 0,0026. А вклад ССН калибровки датчика УЭП, температуры и давления CTD-зондов в расширенную ССН определения практической солёности для $31 \leqslant S \leqslant 39$; $-2 \leqslant T \leqslant 25$ °C; $27 \leqslant C \leqslant 53$ мСм/см и $0 \leqslant p \leqslant 10000$ дбар не будет превышать 0,0004÷0,0008 даже без учёта корреляции между *CTp*-переменными, способной значительно снизить её значение [Menn, 2011].

Среднее стандартное отклонение измерения $s(f_i)$, $s(Cз_i)$, коэффициент чувствительности $\partial f/\partial C$ и их функциональное взаимодействие, наряду с оценкой суммарной неопределённости калибровки, имеют важное значение для метрологической оценки датчика CTD-зонда. На графиках рис. 2 представлены зависимости коэффициентов чувствительности датчиков $\partial f/\partial C$, стандартных отклонений $s(f_i)$ и $s(Cз_i)$ от измеряемой электропроводимости морской воды двух СТД-зондов SBE19plusV2 и SBE25.

Как видно из графиков значения коэффициентов чувствительности у обоих зондов практически совпадают.

Для SBE19plusV2 с уменьшением УЭП морской воды, что обусловлено снижение её температуры, происходит увеличение значений стандартных отклонений $s(f_i)$ и $s(Cз_i)$ измерений частоты f_{3i} и УЭП C_{3i} от среднего значения. В то время как у зонда SBE25 они остаются практически неизменными. Значения $s(f_i)$ и $s(Cз_i)$, датчика УЭП зонда SBE19plusV2 превышает соответствующие значения $s(f_i)$ и $s(Cз_i)$ датчика зонда SBE25 в (1,7÷2,6) раза (табл. 2). На графиках рис. 3а. представлены зависимости стандартных отклонений измерений УЭП $s(Cз_i)$ датчиков пяти моделей калибруемых СТД-зондов «Sea Bird» от электропроводимости.

Как видно из графиков стандартные отклонения $s(Cз_i)$ не превышает в целом величины $5\cdot10^{-5}$ См/м ($0{,}5\cdot10^{-3}$ мСм/см) у SBE25 лежит в пределах $(1{,}7\div2{,}3)\cdot10^{-5}$ См/м (табл. 2). У SBE16plusV2 — в пределах $(1{,}2\div3{,}1)\cdot10^{-5}$ См/м. У зонда SBE37SM — в пределах $(2{,}6\div4{,}4)\cdot10^{-5}$ См/м. У зондов SBE19plusV2 — в пределах $(3{,}0\div4{,}8)\cdot10^{-5}$ См/м.

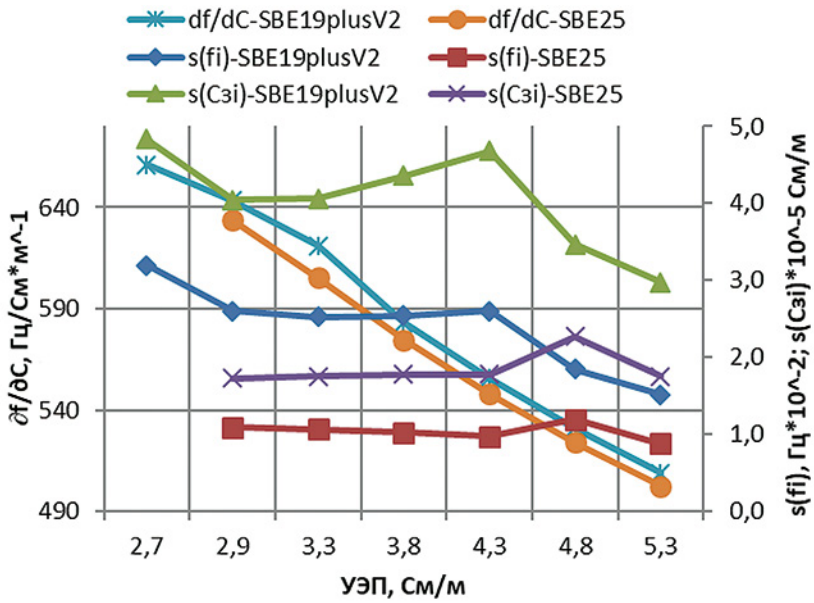


Рис. 2. Графики зависимости параметров $\partial f/\partial C$, $s(f_i)$ и $s(Cз_i)$ датчиков калибруемых CTD-зондов SBE19plusV2 № 6794 и SBE25 № 0342 от УЭП.

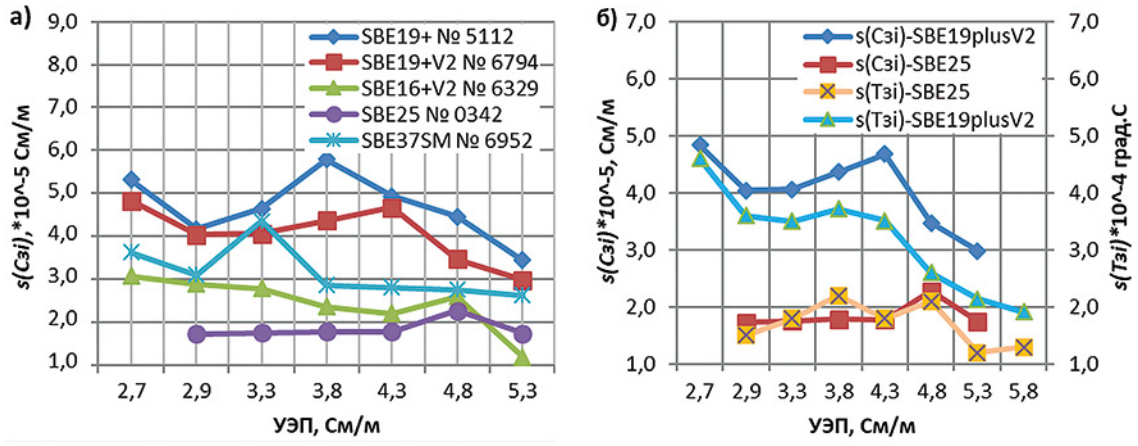


Рис. 3. Графики изменчивости: а) – стандартных отклонений измерений УЭП $s(Cз_i)$ датчиков пяти моделей калибруемых CTD-зондов «Sea Bird»; б) – стандартных отклонений и датчиков УЭП $s(Cз_i)$ и температуры $s(Tз_i)$ SBE19plusV2 и SBE25, от УЭП (температуры)

Стандартное отклонение измерения $s(Cзi)$ является метрологическим параметром, характеризующим неопределённость датчика как средства измерения, раскрывающий меру его прецизионности [Рекомендации по стандартизации Р50.01.097–2014, 2015].

Используем $s(Cз_i)$ для оценки интервала неопределённости измерений УЭП датчиками зондов. Интервал неопределённости, соответствующий уровню доверия 0,95 в предположении нормального закона распределения результатов измерений датчиками УЭП для этих зондов находим из выражения

$$\varepsilon(Cз_i) = 2 \cdot s(Cз_i). \qquad (26)$$

В табл. 2 размещены значения $\varepsilon(Cз_i)$ для всех 7 точек многоразовых измерений SBE19plusV2 и SBE25 в диапазоне от 2,7 См/м до 5,3 См/м.

Как видно из табл. 2 $\varepsilon(Cз_i)$ для CTD-зонда SBE25 и зонда SBE19plusV2 не превышает $4{,}5 \cdot 10^{-5}$ См/м и $9{,}5 \cdot 10^{-5}$ См/м соответственно.

Значения $\varepsilon(Cз_i)$ для других моделей зондов SBE16plusV2, SBE37SM и SBE19plusV2 лежат внутри диапазона $(4{,}5 \div 11{,}6) \cdot 10^{-5}$ См/м, или $(0{,}45 \div 1{,}2) \cdot 10^{-3}$ мСм/см (рис. 2). При этом наблюдается некоторая тенденция к увеличению значений $\varepsilon(Cз_i)$ в области низких температур и значений УЭП у всех зондов, кроме SBE25. Аналогичная, но более выраженная тенденция наблюдается у температурных датчиков этих зондов [Рамазин, 2018], в то время как у SBE25 она полностью отсутствует (рис. 2б).

Временной уход калибровочных характеристик датчиков УЭП, выражающийся в изменении коэффициентов СФП и влияющий на общую неопределённость измерения, возникает в процессе эксплуатации CTD-зонда. Для его оценки были использованы экспериментальные данные калибровок рассмотренных выше моделей CTD- зондов “Sea Bird”, выполненных за период с 2008 по 2017 гг.

По уравнениям (14–15) для каждого значения частоты датчика f_{3i}, с учётом соответствующих калибровочных коэффициентов g, h, i, j проводился расчёт разности значений УЭП ΔC вычисленных для $C_{i,j}$ и последующей $C_{i,j+1}$ калибровок для каждой из 7 точек диапазона изменения электропроводимости. Затем вычислялся усредненный временной уход показаний датчиков между двумя ближайшими калибровками

$$\Delta\overline{C} = \frac{\sum_i^7 (C_{i,j} - C_{i,j+1})}{7 \cdot \tau}. \qquad (27)$$

В табл. 4 представлены результаты расчёта значений временного ухода датчиков УЭП CTD-зондов “Sea Bird” $\Delta C \cdot 10^{-4}$ См/м за время τ между калибровками и его среднее за месяц значение $\Delta\overline{C} \cdot 10^{-4}$ См/м.

Как видно из табл. 3, временной уход датчиков УЭП СТД-зондов колеблется в очень широких пределах, достигая $25{,}3 \cdot 10^{-4}$ за 10,1 месяца и в тоже время $5{,}4 \cdot 10^{-7}$ См/м – за 20,8 месяца. Установить функциональную зависимость между величиной временного ухода и временем между калибровками не удалось из-за очень значительных временных интервалов между ними (табл. 3). Анализ полученных данных показал, что, временной дрейф в первую очередь зависит от условий эксплуатации и качества ухода за датчиками УЭП,

Таблица 4. Значения временного ухода $\Delta C \cdot 10^{-4}$ См/м показаний датчиков УЭП CTD-зондов «Sea Bird» за время τ между двумя калибровками

Температура воды в термобаке, °C			25	20	15	10	5	1	–1,6
УЭП воды в термобаке, См/м			**5,3**	**4,8**	**4,3**	**3,8**	**3,3**	**2,9**	**2,7**
Модель CTD-зонда, серийный номер	Время τ, месяц	Средний уход за месяц	Расхождения показаний датчиков УЭП между двумя ближайшими калибровками $C=(C1-C2)\cdot 10^{-4}$ См/м						
SBE19plusV2 № 6794	10,1	1,71	25,3	23,6	22,1	20,6	19,2	18,0	17,3
	50,3	-0,16	-13,0	-11,6	-10,6	-9,7	-9,1	-8,6	-8,4
	20,8	0,05	0,0	0,3	0,7	1,2	1,6	1,9	2,1
SBE25 № 0342	116,3	0,10	16,9	15,6	14,6	13,6	12,7	11,9	11,2
SBE16plusV2 № 6329	35,0	0,14	4,0	4,5	5,1	5,7	6,2	6,5	6,6
SBE19plus № 5112	41,3	0,01	0,4	0,0	0,0	0,2	0,6	0,9	1,1
SBE19plus № 4896	60,4	0,20	16,7	16,0	15,2	14,4	13,4	12,6	12,1
	66,2	-0,21	-26,0	-22,4	-19,3	-16,5	-14,0	-12,2	-11,2
SBE37SM № 6952	16,4	0,50	9,5	10,4	10,7	10,3	9,5	8,6	8,0
	29,6	-0,14	-4,8	-5,7	-5,8	-5,5	-4,8	-4,0	-3,5
	11,7	-0,06	-0,6	-0,7	-0,8	-0,8	-0,8	-0,7	-0,7
SBE 19plus № 6952	34,3	0,29	14,2	13,6	12,9	12,0	11,0	10,1	9,6
	65,5	-0,22	-24,9	-22,5	-20,0	-17,5	-15,0	-12,9	-11,8

кондуктивная ячейка которого в значительной степени подверженных загрязнению и даже обрастанию.

Вместе с тем, можно сделать вывод о том, что временной уход калибровочных характеристик имеет разную направленность, т. е. ΔC имеет как положительное, так и отрицательное значение. Усредненное среднее значение временного ухода по всем калибровкам 7 зондов составляет $1{,}7 \cdot 10^{-5}$ См/м в месяц при стандартном отклонении от среднего равном $5{,}1 \cdot 10^{-5}$ См/м в месяц.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ экспериментальных данных калибровок CTD-зондов, выполненных с помощью прецизионного оборудования, позволяет сделать вывод о том, что:

– расширенная ССН калибровки датчиков УЭП рассмотренных моделей CTD-зондов «Sea Bird», а также практически любых прецизионных CTD-зондов, в любой точке диапазона от 53 мСм/см до 27 мСм/см не будет превышать $(2{,}3 \div 1{,}2) \cdot 10^{-3}$ мСм/см. А относительная расширенная ССН калибровки этих датчиков не превысит величины, равной $(4 \div 5) \cdot 10^{-5}$;

– расширенная ССН калибровки датчиков УЭП в любой точке диапазона 53÷27 мСм/см будет определяться величиной ССН калибровки эталонной ячейки (табл. 2);

– расширенная ССН определения практической солёности U_S по данным *CTp*-измерений CTD-зондов рассмотренных моделей «Sea Bird» находится в пределах 0,0034÷0,0036. Её значение не может быть меньше U_{PSS} = 0,003, обусловленной отклонением алгоритма ПШС-78 от экспериментальных данных. Основной вклад в её расчёт вносит неопределённость уравнения влияния давления, расширенная СН которой U_{Rp} равна 0,0026. А вклад ССН калибровки датчика УЭП CTD-зондов в расширенную ССН определения практической солёности для $31 \leqslant S \leqslant 39$; $-2 \leqslant T \leqslant 25$ °C; $27 \leqslant C \leqslant 53$ мСм/см и $0 \leqslant p \leqslant 10000$ дбар будет находиться на уровне 0,0007÷0,0010 даже без учёта корреляции между *CTp*-переменными, способной внести значительный вклад в уменьшение её значения;

– значения ССН, обусловленной пространственно-временной неоднородностью температурного поля в рабочей зоне калибровки $u_{\Sigma C(T)}$ для каждой точки калибровки, можно считать практически величиной постоянной или изменяющейся незначительно. Если, при калибровке датчиков температуры в термобаке её значение будет в основном определять величину их ССН, то при калибровке датчиков УЭП её значением можно пренебречь (табл. 2);

– вклад ССН измерения датчиком УЭП зонда $u_{\Sigma C_3}$ в ССН калибровки датчиков УЭП крайне незначителен и не превышает $0{,}29 \cdot 10^{-4}$ мСм/см. Им можно пренебречь;

– стандартное отклонение измерения от среднего $s(C_{3_i})$ датчиков УЭП исследованных мо-

делей СТД-зондов не превышают $5 \cdot 10^{-4}$ мСм/см для зондов моделей SBE19plusV2, SBE16plusV2 и SBE37SM, и $2{,}3 \cdot 10^{-4}$ мСм/см — для SBE25, демонстрируя тем самым высокий потенциал как прецизионное средство измерения УЭП морской воды;

— временной уход калибровочных характеристик имеет разную направленность, т. е. ΔC имеет как положительное, так и отрицательное значение. Усредненное среднее значение временного ухода по всем калибровкам 7 зондов составляет $1{,}7 \cdot 10^{-5}$ См/м в месяц при среднеквадрачном отклонении от среднего $5{,}1 \cdot 10^{-5}$ См/м в месяц;

— временной дрейф калибровочных характеристик датчиков УЭП в первую очередь зависит от условий эксплуатации и качества ухода за датчиками УЭП, кондуктометрическая ячейка которого в значительной степени подвержена загрязнению.

ЛИТЕРАТУРА

Левашов Д.Е. 2003.Техника экспедиционных исследований: инструментальные методы и технические средства оценки промыслово-значимых факторов среды. М.: Изд-во ВНИРО. 400 с.

Походун А.И. 2006. Экспериментальные методы исследований. Погрешности и неопределенности измерений. Учебное пособие. СПб: СПбГУ ИТМО. 112 с.

Рамазин А.Н. 2016. Некоторые научно-методические аспекты метрологического обеспечения измерений электропроводности и температуры морской воды с помощью СТД-зондов // Тр. ВНИРО. Т. 159. С. 167–182.

Рамазин А.Н., Левашов Д.Е. 2016. Методические рекомендации по калибровке и метрологическому обеспечению измерителей параметров водной среды. М.: Изд-во ВНИРО, 127 с.

Рамазин А.Н. 2017. Расчёт погрешности определения практической солёности по данным *CTp*-измерений // Системы контроля окружающей среды. Севастополь: ИПТС. Вып. 9 (29). С. 7–18.

Рамазин А.Н. 2018. Оценка неопределённости калибровки и измерений датчиков температуры СТД-зондов «Sea Bird» // Системы контроля окружающей среды. Севастополь: ИПТС. Вып.14 (34). С. 33–42.

Рамазин А.Н. 2021. Оценка неопределённости калибровки эталонной ячейки электропроводимости калибратора CT01 «Idronaut» «Установки для измерения УЭП морской воды ВНИРО» // Труды ВНИРО. Т. 184. С. 99-111.

Рекомендации по стандартизации Р50.01.097–2014. 2015. Статистические методы. Примеры измерений при анализе повторяемости и воспроизводимости. М. Стандартинформ. 2015. 34 с.

Руководство по выражению неопределенности измерения. 1999: Перевод с англ. под науч. ред. проф. Слаева В.А. ВНИИМ им. Д.И. Менделеева, С.-Петербург. 134 с. (Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement. 1993. First edition. ISO, Switzerland. 101 pp.)

IOC, SCOR and IAPSO. 2010. The international thermodynamic equation of seawater — 2010: Calculation and use of thermodynamic proper-ties. Intergovernmental Oceanographic Com-mission, Manuals and Guides 56, UNESCO (English), 196 pp. http://www.teos-10.org/TEOS-10_Manual.pdf. 20.08.2019.

Menn M.L.2011.About uncertainties in practical salinity calculations // Ocean Science. Copernicus, V.7, pp. 651–659. https://www.researchgate.net/publication/307769547_About_uncertainties_in_practical_salinity_calculations. 20.08.2019.

*Pederson A.M., Gregg M, C.*1979. Development of a Small *In situ* Conductivity Instrument // IEEE J Ocean Engineering. V. OE-04. N 3. pp. 69–75.

Perkin R.G., and E.L. Lewis, 1980: The practical salinity scale1978: Fitting the data // IEEE J. Oceanic Engineering. V. OE-5, no.1. pp. 9–16.

Saunders, P. M., Mahrt, K.-H., and Williams, R. T. 1991. Standard and Laboratory Calibration, WHP Operations and Methods, Juli, pp. 0–11. https://cchdo.github.io/hdo-assets/documentation/manuals/pdf/91_1/saunders.pdf. 26.09.2019.

Поступила в редакцию 23.10.2019 г.
Принята после рецензии 04.09.2020 г.

DOI: 10.36038/2307-3497-2021-184-112-124

About the of calibration uncertainty of conductivity sensors of CTD-probes «Sea Bird» in measurements and in practical salinity calculations

A.N. Ramazin

Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (VNIRO), Moscow, Russia

The factors determining combined standard uncertainty (CSU) in the calibration of precision CTD probes conductivity sensors are considered. Calculation of standard uncertainties (SU) of individual components is done and analysis of their contribution into CSU calibrations of conductivity sensors of five basic models CTD-probes «Sea Bird» is done. It is shown that expanded CSU calibration of conductivity sensors of CTD-probes reviewed models at any points in the range from 53 mS/cm till 27 mS/cm will not exceed $(2.2 \div 1.0) \cdot 10^{-3}$ mS/cm; relative extended CSU calibration of these sensors will not exceed $4.2 \cdot 10^{-5}$ and will be determined by CSU value of reference conductivity cell calibration. Expanded CSU of salinity U_S determination according to *CTp* measurements dat at coverage factor $K = 2$ will be equal to $0.0031 \div 0.0034$ upon contribution of CTD-probe CSU calibration at the level $0{,}0007 \div 0{,}0010$ for $31 \leq S \leq 39$; $-2 \leqslant T \leqslant 25$ °C; $27 \leqslant C \leqslant 53$ mS/cm and $0 \leqslant p \leqslant 10000$ dbar. According to experimental data the characteristics of sensitivity coefficient $\partial f/\partial C$ dependencies of standard deviations of input frequency $s(f_i)$ and sensor readings $s(Cз_i)$ from sea water electrical conductivity are calculated. Analysis of calibration characteristics of conductivity sensors temporal drift between calibrations is conducted.

Keywords: repeated measurements, conductivity sensor, calibration, CTD probe, standard, combined and expanded uncertainty, sensitivity coefficient, standard deviation, temporal drift.

REFERENCES

Levashov D.E. 2003. Tekhnika ekspedicionnyh issledovanij: Instrumental'nye metody i tekhnicheskie sredstva ocenki promyslovo-znachimyh faktorov sredy [Facilities and technique for marine surveys: Instrumental methods and components for estimating the fishing-significant characteristics of water medium]. M.: Izd-vo VNIRO. 400 s.

Pohodun A.I. 2006. Eksperimental'nye metody issledovanij. Pogreshnosti i neopredelennosti izmerenij [Experimental research methods. Errors and measurement uncertainties]. Uchebnoe posobie. SPb: SPbGU ITMO. 112 s.

Ramazin A.N. 2016. Nekotorye nauchno-metodicheskie aspekty metrologicheskogo obespecheniya izmerenij elektroprovodnosti i temperatury morskoj vody s pomoshch'yu STD-zondov [Some scientific and methodological aspects of metrological supply of conductivity and sea water temperature measurements with CTD-probes] // Trudy VNIRO. T. 159. S. 167–182.

Ramazin A.N., Levashov D.E., 2016. Metodicheskie rekomendacii po kalibrovke i metrologicheskomu obespecheniyu izmeritelej parametrov vodnoj sredy [Guidelines for calibration and metrological support of measuring instruments for the parameters of the aquatic environment]. M.: Izd-vo VNIRO. 127 s.

Ramazin A.N. 2017. Raschyot pogreshnosti opredeleniya prakticheskoj solyonosti po dannym STr-izmerenij [Error calculation of practical salinity determination according to the CTP-date measurements] // Sistemy kontrolya okruzhayushchej sredy. Sevastopol': IPTS. Vyp.9 (29), S.7–18.

Ramazin A.N. 2018. Ocenka neopredelyonnosti kalibrovki i izmerenij datchikov temperatury CTD-zondov «Sea Bird» [Evaluation of calibration and measurement uncertainty of temperature sensors of CTD-probe "Sea Bird"] //Sistemy kontrolya okruzhayushchej sredy. Sevastopol': IPTS. Vyp.14 (34), S.33–42.

Ramazin A.N. 2021. Ocenka neopredelyonnosti kalibrovki etalonnoj yachejki elektroprovodimosti kalibratora ST01 «Idronaut» «Ustanovki dlya izmereniya specific electrical conductivity morskoj vody VNIRO» [Evaluation of calibration uncertainty reference conductivity cell of calibrator CT01«Idronaut» "Installations for measuring specific electrical conductivity of sea water VNIRO"] // Trudy VNIRO. T. 184. S. 99-111.

Rekomendacii po standartizacii R50.01.097–2014. 2015. Statisticheskie metody. Primery izmerenij pri analize povtoryaemosti i vosproizvodimosti. [ISO/TR 12888:2011. Selected illustrations of gauge repeatability and reproducibility studies (IDT)]. M. Standartinform. 34 s.

Rukovodstvo po vyrazheniyu neopredelennosti izmereniya. 1999.Perevod s angl. pod nauch. red. prof. Slaeva V.A. SPb.: VNIIM im. D.I. Mendeleeva. 134 s. (Guide to the

Expression of Uncertainty in Measurement. 1993. First edition. ISO, Switzerland. 101 pp.)

IOC, SCOR and IAPSO, 2010. The international thermodynamic equation of seawater — 2010: Calculation and use of thermodynamic proper-ties. Intergovernmental Oceanographic Com-mission, Manuals and Guides 56, UNESCO (English), 196 pp.

Menn M. Le. 2011.About uncertainties in practical salinity calculations. //. Ocean Science. Copernicus, V. 7, pp. 651–659. https://www.researchgate.net/publication/307769547_About_uncertainties_in_practical_salinity_calculations. 20.08.2019.

*Pederson A.M., Gregg M, C.*1979. Development of a Small *In situ* Conductivity Instrument // IEEE J Ocean Engineering. V. OE-04. N 3. pp. 69–75.

Perkin R.G., and E.L. Lewis, 1980: The practical salinity scale1978: Fitting the data // IEEE J. Oceanic Engineering. V. OE-5, no. 1. pp. 9–16.

Saunders, P. M., Mahrt, K.-H., and Williams, R. T. 1991. Standard and Laboratory Calibration, WHP Operations and Methods, Juli, pp. 0–11. https://cchdo.github.io/hdo-assets/documentation/manuals/pdf/91_1/saunders.pdf. 26.09.2019.

TABLE CAPTIONS

Table 1. Combined standard uncertainty (CSU) measurements of the reference cell and its components in the thermostat working area at temperature range –1.6 ÷ 30 °C

Table 2. Values of standard uncertainties of conductivity sensors calibration of CTD-probes SBE19plusV2 No. 6794 and SBE25 No. 0342

Table 3. Values of combined standard uncertainty (CSU) of practical salinity calculated according to TSU of measurements of the reference cell u_{Σ}, sensitivity coefficient $\partial S/\partial C$ and u_{PSS} = 0.0015 for the range of values 31 ⩽S⩽ 39; –2 °C ⩽T⩽ 25 °C; 27 mS/cm ⩽C⩽ 53 mS/cm and 0 ⩽p⩽ 10000 dbar

FIGURE CAPTIONS

Fig. 1. Calibration scheme for conductivity sensors CTD probes “Sea Bird” sensors. Symbols: ЭКС — Standard resistor model 5685A «Tinsley» (UK); ПМС — Precision Thermometry Bridge F18 «ASL» (UK); СПТС — Standard Platinum Resistance Thermometer model 162CE «Rosemount» (USA); ПК

Fig. 2. Graphs of parameters dependence $\partial f/\partial C$, $s(f_i)$ and $s(Cз_i)$ of calibrated CTD probes SBE19plusV2 No. 6794 sensors and SBE25 No. 0342 sensors from conductivity

Fig. 3. Variability graph: a) — standard deviations of conductivity $s(Cз_i)$ measurements of five models of calibrated CTD-probes «Sea Bird» sensors; b) — standard deviations of conductivity sensors $s(Cз_i)$ and temperature $s(Tз_i)$ SBE19plusV2 and SBE25, from conductivity (temperature)

УДК551.46 DOI: 10.36038/2307-3497-2021-184-125-139

Результаты исследования метрологических характеристик профилографа YSI CastAway-CTD

А.Н. Рамазин[1], *А.Ю. Лазарюк*[2]

[1] Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ФГБНУ «ВНИРО»), г. Москва

[2] Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН (ФГБУН «ТОИ ДВО РАН»), г. Владивосток

E-mail: ramazin@vniro.ru, lazaryuk@poi.dvo.ru

Представлены результаты лабораторных экспериментов по исследованию метрологических характеристик профилографа YSI CastAway-CTD. Рассмотрены факторы, определяющие суммарную стандартную неопределённость (ССН) калибровки датчиков температуры и удельной электропроводимости (УЭП). Выполнен расчёт стандартных неопределённостей отдельных компонентов ССН. Из анализа выявленных систематических отклонений в показаниях датчиков тестируемых экземпляров CastAway-CTD получены оценки пределов временного дрейфа калибровочных характеристик. Для устранения систематического эффекта в данных профилографов использовались корректирующие уравнения 3-го порядка. Установлено, что после коррекции данных оценки расширенной ССН датчиков температуры и УЭП (в пределах рабочих диапазонов $-1{,}6 \leqslant T \leqslant 30$ °C и $27 \leqslant C \leqslant 57$ мСм/см) не превысили значений, заявленных производителем. На основе экспериментальных данных продемонстрировано, что тепловая инерционность корпуса зонда является одной из значимых метрологических характеристик профилографа, способной исказить картину стратификации исследуемых водных масс.

Ключевые слова: CTD-зонд, профилограф YSI CastAway-CTD, стандартная, суммарная, расширенная неопределённость, временной дрейф, датчики, контраст температур, проточный канал.

ВВЕДЕНИЕ

Ценность информации, полученной современными автономными профилографами, или *CTD (Conductivity, Temperature, Depth)* зондами, в полевых условиях, определяется мерой допустимой её потери, которая зависит от совершенства средств и методов, используемых при проведении гидрологических работ. В настоящее время, в соответствии с требованиями ГОСТ Р 54500.3–2011 [ГОСТ, 2012] количественную оценку качества результата измерений выражают термином неопределённость — «параметром, связанным с результатом измерения, который характеризует разброс значений, которые могли бы быть обоснованно приписаны измеряемой величине» [Походун, 2006]. Все неопределённости делятся на 2 типа: оцениваемые по типу А или по типу В. Оценки, полученные при статистической обработке результатов многократных измерений, относят к типу А. Оценки, сделанные на основе анализа нестатистической информации, на базе научного суждения, основанного на всей доступной возможной информации об изменчивости измеряемой величины, относят к типу В [ГОСТ, 2012].

Неопределённости измерений зарубежных зондов часто отождествляют с понятием «accuracy» — не всегда корректным выражением абсолютной погрешности. Сравнение действительных значений метрологических характеристик используемого CTD-зонда со значениями, заявленными производителем, повышает корректность оценок неопределённости измеряемых параметров водной среды.

Объективная оценка неопределённости калибровки и измерения используемых средств измерений (СИ) осуществляется по результатам метрологических исследований СИ, их регулярной поверки и калибровки, проводимых в стационарных лабораторных условиях с использованием стандартов, эталонных, образцовых средств измерения и испытательного оборудования.

Уже на этапе лабораторных метрологических испытаний требуются оценки неопределённости измеренных характеристик, а также первичная обработка CTD-данных, ставящая целью опреде-

ления всех составляющих и источников возникновения суммарной неопределённости измерений для их минимизации и выявление основных факторов её возникновения.

При осуществлении таких оценок и выборе алгоритмов обработки необходимо учитывать не только полученные в стационарных условиях уровни неопределённостей измеряемых величин, но и возможные условия эксплуатации прибора.

Эксплуатируются гидрологические зонды в агрессивной морской водной среде (перепады температуры, высокое давление) и, нередко, в сложных погодных условиях (температурные аномалии, качка, дрейф судна). В результате на качество данных CTD-зондирований оказывают влияние не только собственно метрологические характеристики прибора, но и стратификация морской среды [UNESCO, 1982; Giles et al., 1986; Morison et al., 1994], а также условия и методы проведения натурного эксперимента [Trump, 1983; Лазарюк, 2009].

В этой связи, специализированные лабораторные установки также могут использоваться для моделирования некоторых из перечисленных динамических условий. При динамическом тестировании профилографа проявляются индивидуальные особенности реакции его измерительной системы, которые необходимо учитывать, оценивая качество данных CTD-зондирований, а также выполняя их первичную обработку.

В работе обсуждаются результаты экспериментов с двумя экземплярами автономного зонда CastAway-CTD (YSI Incorporated, США), датчики которых тестировались на специализированном прецизионном лабораторном оборудовании и в натурных условиях. В экспериментах моделировались как стационарные, так динамические условия, а именно, тепловой контраст между водной средой и корпусом тестируемого зонда. Для полученных рядов данных выполнен анализ неопределённостей результатов измерений.

Конструктивные особенности профилографа CastAway-CTD

Автономный профилограф CastAway-CTD, внешний вид, которого представлен на рис. 1, является относительно дешевым (около $6000) средством измерения («карманных размеров»), позволяющий одному человеку осуществлять сбор гидрологических данных приемлемого качества с минимальными затратами времени. Прибор включает электронный модуль, блок управления и датчики, размещённые в едином ударопрочном, нейтральном к среде корпусе [CastAway-CTD User's Manual, 2010]. Его геометрические размеры (с учётом эластичного бандажа, рис. 1а) не превышают 7,2 см в диаметре и 20 см по длине. Вес прибора на воздухе около 610 г, а в воде менее 200 г. Встроенный в прибор GPS-навигатор фиксирует координаты местоположения выполняемого зондирования и позволяет определять значения гравитационной постоянной и глубины погружения с большой точностью [WGS84 Ellipsoid Gravity Formula, 2000; Millard, 1983].

Зонд имеет вмонтированный в корпус жидкокристаллический водонепроницаемый дисплей, который в совокупности с панелью управления и комплектом программ, обеспечивает многофункциональный интерфейс для контроля режи-

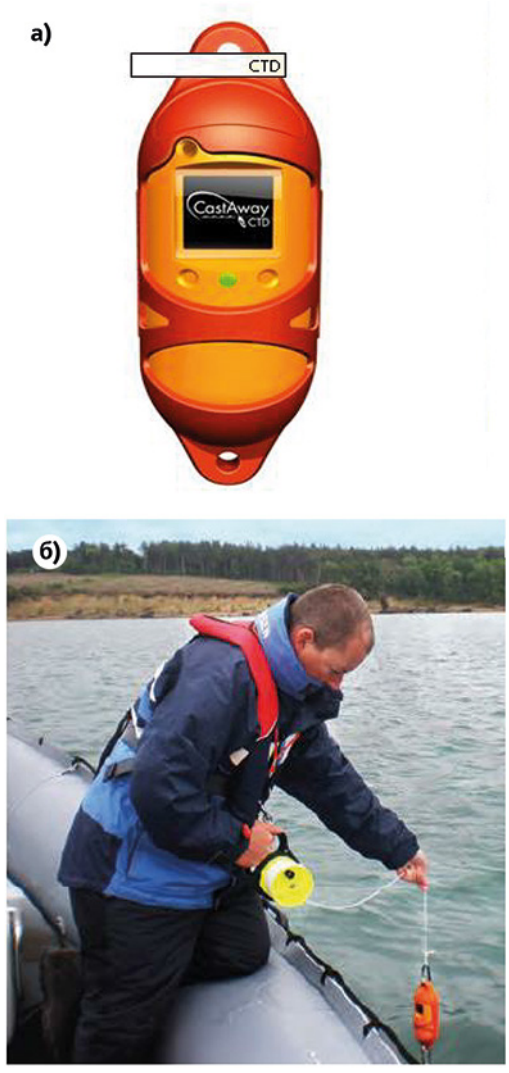


Рис. 1. CTD-зонд YSI CastAway-CTD: а) — внешний вид; б) — зонд в процессе работы

мов функционирования прибора, визуализацию измеренных и расчётных параметров состояния водной среды без необходимости использования ноутбука. Передача данных из памяти CastAway-CTD осуществляется по беспроводной технологии (Bluetooth) на находящийся в пределах досягаемости компьютер. Программное обеспечение под ОС Windows позволяет экспортировать данные зонда в ряд форматов для архивирования и оперативного использования в стандартах Excel, Hypack или Matlab.

Согласно инструкции для обеспечения временной стабильности точностных характеристик CastAway-CTD в течение рекомендованного годового межкалибровочного срока достаточно ополаскивать прибор в чистой воде после каждого зондирования и периодически промывать блок датчиков раствором жидкого мыла (например, Тритон X-100).

Размер, форма и вес CastAway-CTD обеспечивают в режиме «свободного падения» скорость погружения около 1 м/с, а расположение и опрос его датчиков, осуществляемый с частотой 5 Гц, позволяют минимизировать возникающие динамические погрешности измеряемых и рассчитываемых гидрологических параметров в процессе первичной обработки данных CTD- зондирований.

Датчики удельной электропроводимости (УЭП) и температуры размещены последовательно внутри проточного канала диаметром 7,5 мм и длиной около 106 мм, который обеспечивает поток воды мимо чувствительных элементов в процессе зондирования. Входное отверстие датчика давления расположено в нижней части крышки корпуса зонда (рис. 2), а его чувствительный элемент (тензометрический преобразователь) установлен внутри центральной части корпуса рядом с элементами питания.

Датчик УЭП представляет собой ячейку кондуктивного типа с шестью электродами. Центральная пара электродов генерирует электрический ток, а боковые пары используются для измерения сопротивления R расположенного между ними столба морской воды площадью сечения $s \approx 0{,}441$ см^2 и длиной $l \approx 4{,}0$ см. Соответственно, величина удельной электропроводимости определяется отношением:

$$C = \frac{l}{R \cdot s} = \frac{K_{cell}}{R},$$

где $K_{cell} \approx 9{,}0703$ см$^{-1}$ — постоянная ячейки. В данных CastAway-CTD УЭП имеет размерность — 1 мкСм/см = 10^{-3} мСм/см = 10^{-4} См/м = 10^{-4} Ом$^{-1}$·м$^{-1}$.

В качестве датчика температуры используется терморезистор, сопротивление которого меняется с изменением температуры [Архипкин и др., 2009].

Основные метрологические характеристики профилографа CastAway-CTD представлены в табл. 1.

Процессор зонда CastAway обеспечивает расчёт вторичных параметров среды: солёности, плотности, скорости звука и глубины, — используя стандартные алгоритмы [Millard, Fofonoff, 1983].

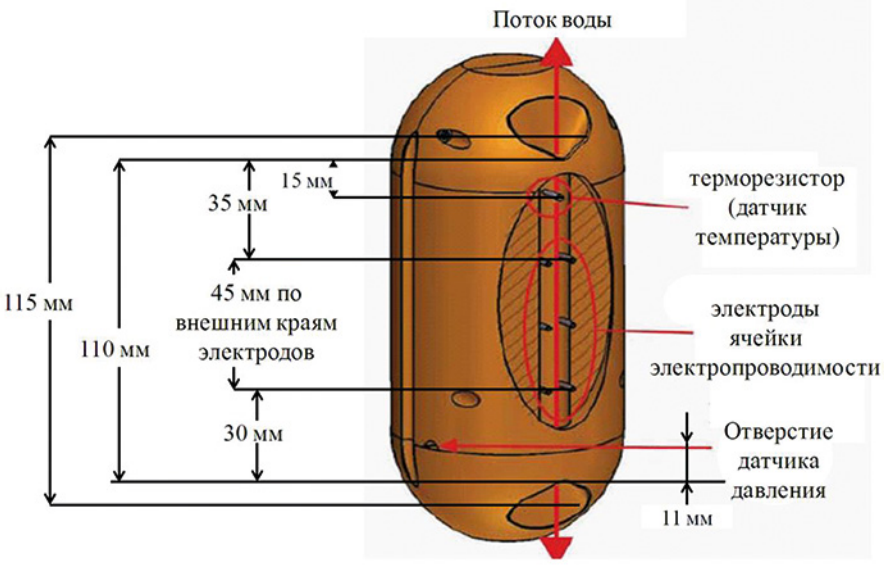


Рис. 2. Геометрические размеры и схема расположения датчиков зонда CastAway-CTD

Таблица 1. Метрологические характеристики зонда CastAway-CTD [CastAway-CTD User's Manual, 2010]

Измеряемые параметры	Диапазон	Точность	Чувствительность
GPS		±10 м	
Давление	0÷100 дбар	±0,25 дбар	0,01 дбар
Температура	-5÷45 °C	0,05 °C	0,01 °C
Электропроводимость	0÷100 мСм/см	0,25% ±0,005 мСм/см	0,001 мСм/см
Расчётные параметры			
Практическая солёность	до 42	±0,1	0,01
Скорость звука	1400÷1730 м/с	±0,15 м/с	0,01 м/с
Плотность	990÷1035 кг/м^3	±0,02 кг/м^3	0,004 кг/м^3

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Лабораторные исследования метрологических характеристик CastAway-CTD проводились на прецизионном калибровочном оборудовании «Установка для измерения УЭП морской воды ВНИРО» (свидетельство об утверждении типа средства измерений RU.E.31.001.A № 42535) (Установка) [Рамазин и Левашов, 2016]. В тестовых экспериментах использовали два экземпляра Castaway-CTD.

Основной испытательный модуль Установки — термобак модель 7051A фирмы «Hart Scientific» ёмкостью 216 л был заполнен отфильтрованной искусственной морской водой «Red Sea Salt» (Израиль) солёностью 34,2 [Рамазин, 2016]. При диапазоне изменения температуры от –1,6 до 30 °C её УЭП варьировала в пределах от 27 до 57 мСм/см. В начале эксперимента вода в термобаке для дегазации нагревалась до температуры 32,5 °C, выдерживалась на этом уровне в течение часа, а затем охлаждалась до температуры 30 °C.

Температурный режим в термобаке контролировали с помощью стандартного платинового термометра сопротивлений (СПТС) 25,5 Ом, являющегося рабочим эталоном 0 разряда, расширенная (при ширине охвата $K=2$) неопределённость СПТС U_{T0}, составляет 0,1 мК в тройной точке воды (0,0100°C), 0,24 мК — в точке плавления галлия (29,7646°C) и 0,5 мК — в точке плавления ртути (–38,8344°C).

Сопротивление СПТС измерялось прецизионным мостом сопротивлений F18, расширенная неопределённость которого при ширине охвата $K=2$ составляет

$U_M^R = 2 \cdot 10^{-5}$ Ом, и эталонной катушки сопротивления 100 Ом, расширенная (K=2) относительная неопределённость которой $\delta U_{ЭК} = 1 \cdot 10^{-7}$.

Значения УЭП морской воды в баке измерялись с помощью эталонной семиэлектродной ячейки калибратора CT01 «Idronaut», входящего в состав Установки. Относительная расширенная ($K=2$) стандартная неопределённость ячейки не превышает 0,004% [Рамазин, 2021].

Приборы погружали в термобак при стабилизированных уровнях температуры воды: 30; 25; 20; 15; 10; 5; 1 и –1,6 °C, которым соответствовали значения УЭП: 57; 52; 47; 42; 37; 33; 29 и 27 мСм/см. Уровень нестабильности в каждой точке удерживался в пределах ±0,001 °C и ±0,001 мСм/см.

Зонд размещали в термобаке таким образом, чтобы его датчики были максимально приближены к СПТС и эталонным ячейкам.

Так как исследуемая модель CastAway-CTD имеет ограниченный ресурс по электропитанию (две батарейки, тип AA), то в экспериментах использовали кратковременный режим регистрации зондом параметров воды. Каждый раз при достижении очередного стабилизированного значения температуры зонд погружался в термобак, нарушая стабильность температуры воды тем больше, чем значительнее тепловой контраст между его корпусом и водой. Режим регистрации данных запускали непосредственно перед погружением зонда и прерывали через 3 мин. после повторной стабилизации температуры и УЭП воды в баке, контролируя этот процесс по показаниям СПТС и эталонной ячейки. В экспериментах с незначительными контрастами (уровни 30–15 °C) продолжительность регистрации данных зондом составляла 5÷7 мин, и достигала 12 мин при значениях температурного фона от 10 до –1,6 °C. Пример данных, полученных CastAway-CTD при температуре воды в термобаке 15 °C

(корпус в момент погружения имел 21 °С), представлены на рис. 3а, б.

Во всех экспериментах с зондами CastAway-CTD конечные 3-минутные фрагменты реализаций $T(t)$ или $C(t)$ (далее $Хз$~{T, C}), сформированные при относительной стабильности фоновых показателей тестируемой водной массы, тем не менее, содержат возмущения, вызванные процессом теплообмена между корпусом прибора и прилегающим водным слоем. Периодограммы — (спектральные плотности):

$$W_X(П) = \int Хз(t) \cdot \exp(-2\pi i \cdot П^{-1} \cdot t)\, dt, \qquad (1)$$

рассчитанные для этих фрагментов, показали доминирование случайных процессов на масштабах до 2–4 с, и наличие возмущений с характерными периодами ($П$) в диапазоне от 4 с до 1 мин, рис. 3в.

Принимая во внимание случайный характер возмущений на временных интервалах $\Delta t \leqslant 4$ с для оценки метрологических характеристик датчиков температуры и УЭП тестируемых экземпляров CastAway-CTD использовали выборки, содержащие по $n = 20$ отсчётов. Выборки определяли из анализа конечных 30-секундных фрагментов реализаций $Хз(t)$, оптимально удовлетворяя аксиоме случайности (2), $\bar{x} \to 0$ и нормальности распределения вероятностей (3), $p(X) \approx p_{norm}(X)$:

$$\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(Хз_i - \bar{Хз}) = \\ = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(Хз_i - \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} Хз_i) = 0; \qquad (2)$$

$$p_{norm}(Хз) = \frac{1}{s(Хз)\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(Хз-\bar{Хз})^2}{2s(Хз)^2}}, \qquad (3)$$

где $Хз_i$ — i-е значение рассматриваемой выборки ($1 \leqslant i \leqslant n$) реализации $Хз(t)$, $x_i = Хз_i - \bar{Хз}$ — функция аномалии, ограниченная временным интервалом Δt, а $s(Хз)$ — среднеквадратическое отклонение (СКО) и $s(Хз)^2$ — дисперсия, установленные также на этом интервале:

$$s(Хз) = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \cdot \sum_{i=1}^{n}(X_{3i} - \bar{X}_3)^2}. \qquad (4)$$

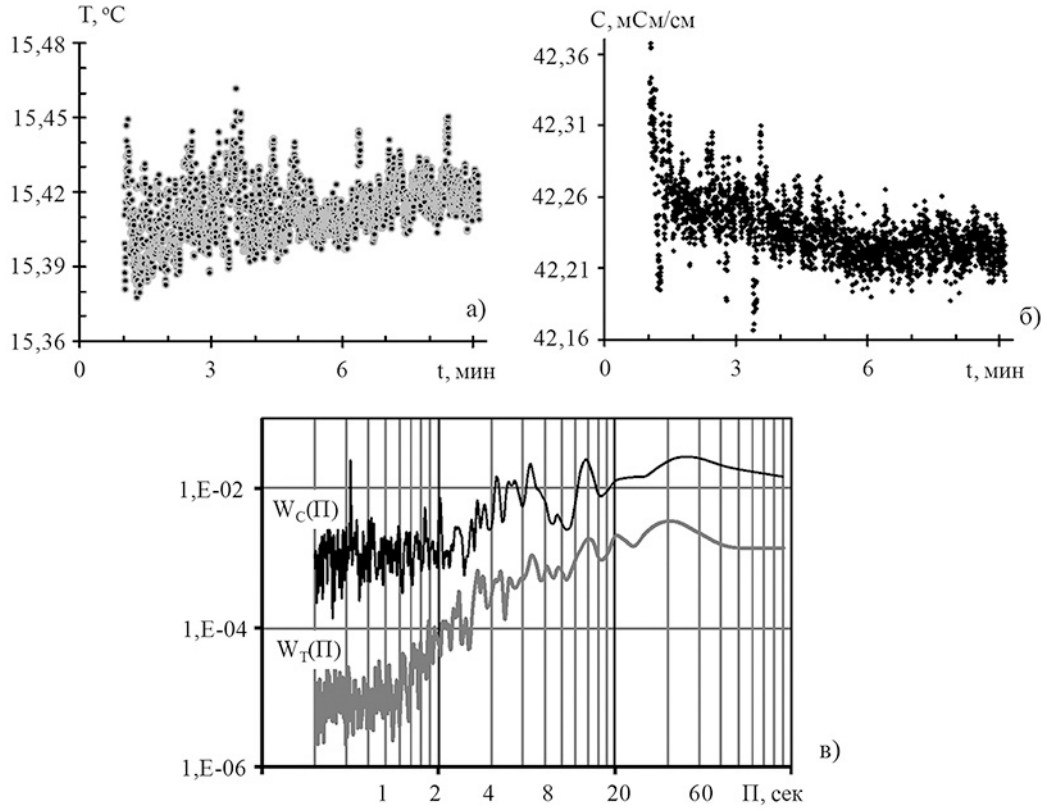


Рис. 3. Временные ряды температуры (а) и УЭП (б), измеренные CastAway-CTD при температуре воды в термобаке 15 °С. А также спектральные плотности $W_T(П)$ и $W_C(П)$ (1) конечных 3-минутных интервалов этих рядов (в)

Для оценки неопределённости результата калибровки датчиков температуры и УЭП CastAway-CTD в каждой точке (эксперименте) использовали суммарную стандартную неопределённость (ССН) $u_{\Sigma(X)}$:

$$u_{\Sigma(X)} = \sqrt{(u_{\Sigma(XЭ)})^2 + (u_{\Sigma X(T)})^2 + (u_{\Sigma Xз})^2}, \qquad (5)$$

где $u_{\Sigma(XЭ)}$ — ССН эталонных измерений температуры [Рамазин, 2018] и УЭП [Рамазин, 2021] в рабочей зоне термостата (см. табл. 2); $u_{\Sigma X(T)}$ — ССН, характеризующая неоднородность температурного поля и нестабильность поддержания температуры в рабочей зоне термобака; $u_{\Sigma Xз}$ — ССН измерения калибруемого датчика зонда.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

ССН температурного поля в рабочей зоне термобака $u_{\Sigma T(T)}$ (5) оценивали по типу B, учитывая его неоднородность u_{T1} и нестабильность u_{T2}:

$$u_{\Sigma T(T)} = \sqrt{(u_{T1})^2 + (u_{T2})^2} = 8{,}2 \cdot 10^{-4}\ °C \qquad (6)$$

при

$$u_{T1} = u_{T2} = \frac{b_+ - b_-}{2 \cdot \sqrt{3}} = \frac{0{,}001 - (-0{,}001)}{2 \cdot \sqrt{3}} = 5{,}8 \cdot 10^{-4}\ °C, \qquad (7)$$

где $b+$ и $b-$ — границы распределений неравномерности и нестабильности температурного поля, носящие равновероятный характер.

Полученные оценки характеристик температурного поля (6, 7) также применили при расчёте ССН поля УЭП $u_{\Sigma C(T)}$:

$$u_{\Sigma C(T)} = u_{\Sigma T(T)} \cdot \frac{\partial C}{\partial T}, \qquad (8)$$

где $\partial C / \partial T$ — коэффициент чувствительности измерения УЭП морской воды в термобаке:

$$\frac{\partial C}{\partial T} \approx \frac{\partial C(35,T,0)}{\partial T} = (c_1 + 2c_2 T_{68} + 3c_3 T_{68}^2 + 4c_4 T_{68}^3) \cdot C(35,15,0), \qquad (9)$$

где c_1, c_2, c_3, c_4 — коэффициенты уравнения зависимости УЭП стандартной морской воды (IAPSO Standard Seawater) от температуры T_{68} международной практической шкалы температуры 1968 г (МПШТ-68) [Perkin, Lewis, 1980]. Результаты выполненных вычислений (9 и 8) помещены в табл. 2.

ССН измерений температуры и УЭП датчиками зонда $u_{\Sigma}Xз$ в рабочей зоне термостата рассчитывали по формуле:

$$u_{\Sigma Xз} = \sqrt{(u_{AXз})^2 + (u_{AXск})^2 + (u_{BXз})^2}, \qquad (10)$$

где $u_{AXз}$, $u_{AXск}$ — оценки неопределенности по типу *A* и $u_{BXз}$ — по типу *B*.

По результатам экспериментов с зондами CastAway-CTD стандартную неопределённость (СН) $u_{AXз}$, оцениваемую по типу *A*, находили из выражения:

$$u_{AXз} = \sqrt{\frac{1}{n \cdot (n-1)} \sum_{i=1}^{n} (X_{Зi} - \overline{X}_З)^2} = \frac{s(Xз)}{\sqrt{n}}, \qquad (11)$$

используя выборки исходных рядов $Xз(t)$ ($Xз \sim \{T, C\}$), установленные ранее из анализа (2, 3), т. е. при $n = 20$.

Компоненту $u_{AXск}$ в формуле (10) оценивали, используя стандартное отклонение корректирующего уравнения (общее уравнение калибровки) вида $X_{ск} = f(\overline{X}з)$ от усреднённых значений показаний эталона $X_Э$, формула (15). Другую аддитивную составляющую (10) $u_{BXз}$ оцениваемую по типу B, определяли по формуле:

$$u_{BXз} = \frac{\Delta Xз}{\sqrt{3}}, \qquad (12)$$

учитывая $\Delta Xз$ — дискретность показаний соответствующего датчика зонда.

Для оценки входных измеряемых величин и определения поправок на систематические эффекты использовали величины расхождений между усреднёнными (на тождественных временных интервалах Δt = 4 с) показаниями рабочих эталонов $\overline{X}_Э$ и соответствующих датчиков тестируемых приборов:

$$\Delta\overline{X} = \overline{X}_Э - \overline{X}_З. \qquad (13)$$

Результаты сравнения $\Delta Xз(T)$ (13) по двум сериям экспериментов с профилографами CastAway-CTD представлены на рис. 4а. Расхождения $\Delta\overline{T}(T)$, полученные в пределах диапазона $-1{,}6 \leqslant T \leqslant 30$ °C, демонстрируют практически одинаковые тренды: для 1-го экземпляра положительный уход на величину от 0,36 до 0,23 °C, а для 2-го — от 0,41 °C до 0,20 °C. Систематические отклонения в показаниях терморезисторов тестируемых зондов CastAway-CTD, учитывая даты их изготовления, соответствуют временному дрейфу 0,04÷0,08 °C/год. Аналогичный результат получен из анализа показаний датчика УЭП 1-го зонда, а именно, при наличии положительного тренда $0{,}10 \leqslant \Delta\overline{C}_1(T) \leqslant 0{,}39$ мСм/см имеем временной дрейф 0,02÷0,08 мСм/см/год. Расхождения (13) в показаниях датчика

Таблица 2. Бюджет неопределённости откорректированных по формуле (15) измерений термистора и ячейки УЭП 2-го экземпляра Castaway-CTD для диапазона −1,6 ⩽*T*⩽ 30 °C и 27 ⩽*C*⩽ 57 мСм/см

Температура морской воды в термобаке (СПТС), °C	**29,808**	**24,883**	**19,996**	**15,113**	**10,168**	**5,084**	**0,825**	**−1,629**
ССН СПТС $U_{\Sigma Э(T)}\cdot10^{-3}$ °C	0,16	0,16	0,15	0,14	0,13	0,13	0,12	0,13
ССН поля температуры в рабочей зоне термобака $U_{\Sigma T(T)}\cdot10^{-3}$ °C	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82
$u_{ATз}\cdot10^{-3}$ °C (11)								
n=20	0,9	0,7	0,7	0,9	0,9	2,7	2,2	3,1
$u_{A(Tск)}\cdot10^{-3}$ °C (16)								
n=20	6	6	6	6	6	6	6	6
$u_{BTз}\cdot10^{-3}$ °C	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
$u_{\Sigma Tз}$ °C, (*n*=20)	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011
$u_{\Sigma(T)}=\sqrt{(u_{\Sigma Э(T)})^2+(u_{\Sigma T(T)})^2+(u_{\Sigma Tз})^2}$ (10)								
$u_{\Sigma(T)}$°C, (*n*=20)	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006
$U_{\Sigma(T)}$°C, (*n*=20)	**0,012**	**0,012**	**0,012**	**0,012**	**0,012**	**0,012**	**0,012**	**0,012**
УЭП морской воды в баке, мСм/см	57,005	51,913	46,975	42,182	37,491	32,862	29,152	27,089
ССН эталонной ячейки $u_{\Sigma Э(C)}\cdot10^{-3}$ мСм/см	–	1,12	1,15	1,00	0,73	0,58	0,62	0,67
ССН поля УЭП в рабочей зоне термобака, $u_{\Sigma C(T)}\cdot10^{-3}$ мСм/см	0,88	0,85	0,84	0,80	0,78	0,75	0,71	70
$u_{ACз}\cdot10^{-3}$ мСм/см (11)								
n=20	2,5	2,5	1,8	2,2	2,7	3,8	3,8	6,5
$u_{A(Cск)}\cdot10^{-3}$ мСм/см (16)								
n=20	16	16	16	16	16	16	16	16
$u_{BCз}\cdot10^{-3}$ мСм/см	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
$u_{\Sigma Cз}$, мСм/см, (*n*=20)	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,017
$u_{\Sigma(C)}=\sqrt{(u_{\Sigma Э(C)})^2+(u_{\Sigma C(T)})^2+(u_{\Sigma Cз})^2}$ (10)								
$u_{\Sigma(C)}$, мСм/см, (*n*=20)	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,017
$U_{\Sigma C(T)}$, мСм/см, (*n*=20)	**0,032**	**0,032**	**0,032**	**0,032**	**0,032**	**0,032**	**0,032**	**0,034**
$\delta U_{\Sigma(C)}$, %	**0,06**	**0,06**	**0,07**	**0,08**	**0,09**	**0,10**	**0,11**	**0,12**

УЭП 2-го зонда небольшие и лежат в пределах от 0 до 0,09 мСм/см.

Особенностью выявленных трендов систематических отклонений в показаниях терморезисторов и ячеек обоих зондов является наличие изгибов графиков Δ*X*з(*T*) в разные стороны на концах исследуемых диапазонов измерения (рис. 4а), характерных для кривых 3-го порядка (из общей закономерности выпадает только точка Δ*C*з2 (10 °C).

Для устранения выявленных систематических эффектов в показаниях тестируемых профилографов CastAway-CTD использовали уравнения:

$$X_{ск}(X)=a+bX; \qquad (14)$$

$$X_{ск}(X)=a+bX+cX^2+dX^3, \qquad (15)$$

с целью оценки эффективности применения кубических зависимостей (15) по сравнению с линейными (14). На рис. 4б, в представлены графики расхождений $\Delta\overline{X}(X)$ (13) после применения корректирующих уравнений (14 и 15).

Рассчитанные после устранения линейных трендов (14) стандартные отклонения:

$$s\left(X_{ск}\right)=\sqrt{\frac{1}{(k-1)}\cdot\sum_{i=1}^{k}(\overline{X}_{Эi}-\overline{X}_{скi})^2} \qquad (16)$$

понизились на порядок: в показаниях терморезистора и ячейки первого зонда (при количестве

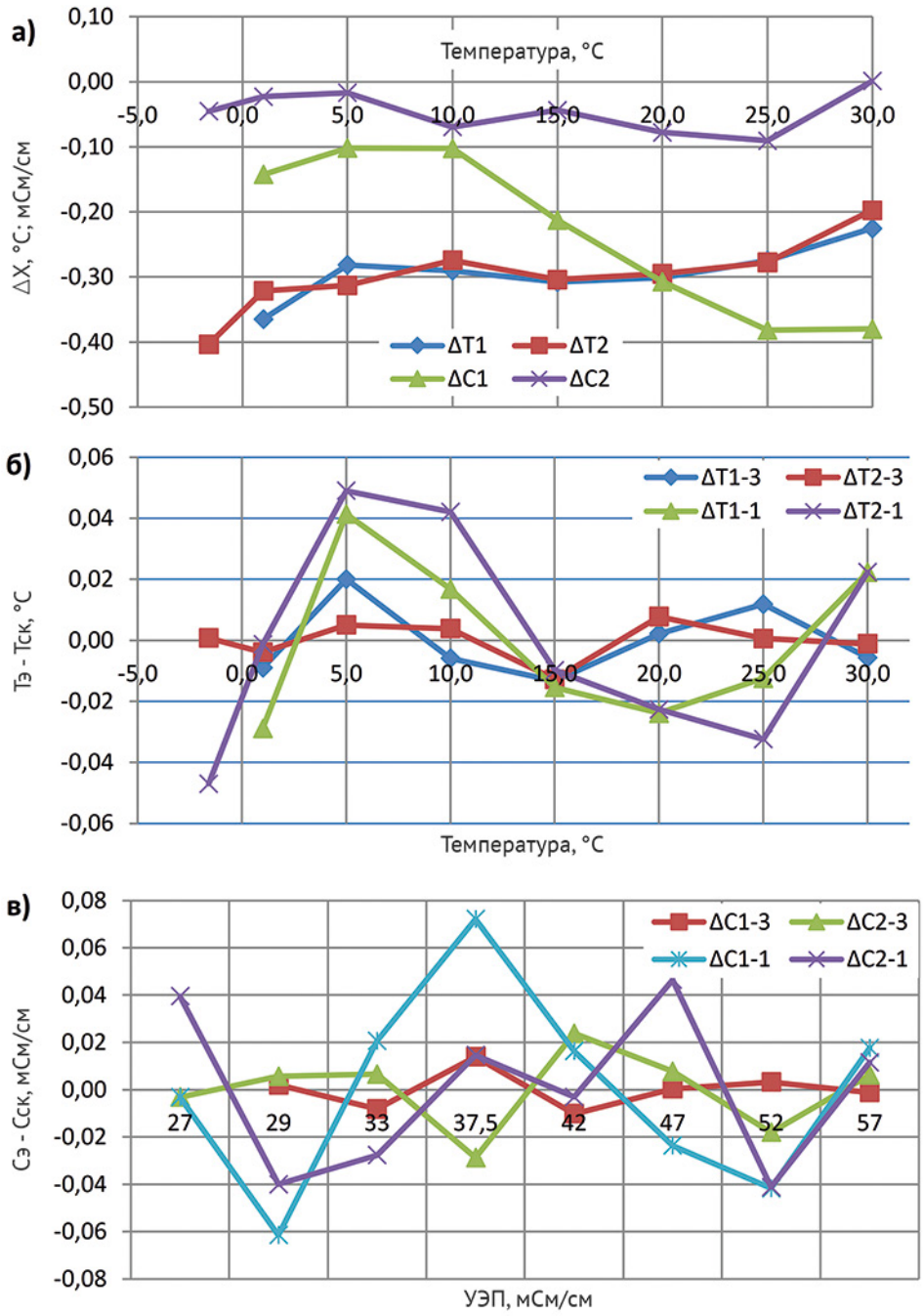


Рис. 4. Графики сравнения (13) показаний рабочих эталонов и данных тестируемых CastAway-CTD: а) — до коррекции температуры — 1-го (Δ*T*1), 2-го (Δ*T*2) зондов и УЭП — 1-го (Δ*C*1) и 2-го (Δ*C*2) зондов; б) — после коррекции показаний терморезистора уравнениями 1-го порядка (Δ*T*1 – 1, Δ*T*2 – 1), 3-го порядка (Δ*T*1 – 3, Δ*T*2 – 3) и в) — после коррекции показаний датчиков УЭП уравнениями 1-го порядка (Δ*C*1 – 1, Δ*C*2 – 1), 3-го порядка (Δ*C*1 – 3, Δ*C*2 – 3)

экспериментов k=7) до 0,027 °С и 0,042 мСм/см, а для второго (k=8) — 0,035 °С и 0,036 мСм/см, соответственно. Результаты коррекции экспериментальных данных обоих зондов CastAway-CTD с использованием уравнения (15) показали большую эффективность: $s(Tз_1)$=0,012 °С, $s(Cз_1)$=0,008 мСм/см и $s(Tз_2)$=0,006 °С, $s(Cз_2)$=0,016 мСм/см.

Для удобства последующего анализа неопределённостей результатов испытаний тестируемых экземпляров CastAway-CTD, откорректированных по формуле (15), полученные оценки, учитывая их разнородность и множественность, были сведены в табл. 2.

Из представленного бюджета неопределённости результатов тестирования 2-го экземпляра

CastAway-CTD на лабораторной установке, табл. 2, следует, что оценки стандартной неопределённости (СН), рассчитанные по типу *A* (11) для датчиков температуры $u_{AT\text{э}}$ и УЭП $u_{AC\text{э}}$, находятся в интервалах $(0{,}7 \div 3{,}1) \cdot 10^{-3}$ °С и $(0{,}3 \div 1{,}5) \cdot 10^{-3}$ мСм/см, соответственно. А оценки СН-отклонений по принятым корректирующим уравнениям (15) тождественны расчётным величинам СКО (16): $u_{A(Tск)} = 0{,}006$ °С и $u_{A(Cск)} = 0{,}016$ мСм/см.

Расширенную суммарную стандартную неопределённость результатов испытаний u_{Σ} по каждому датчику оценивали при уровне доверия 0,95:

$$U_{\Sigma(X)} = K \cdot u_{\Sigma(X)}, \qquad (17)$$

где $K = 1{,}96$ — коэффициент охвата, определяемый по формуле Велча-Саттерсвейта для всех калибруемых CTD-зондов как коэффициент Стьюдента с эффективным числом степеней свободы v_{eff}, близким к ∞ [Руководство, 1999]. Для датчиков 1-го экземпляра CastAway-CTD оценки расширенной ССН не превысили $U_{\Sigma(T)} = 0{,}024$ °С и $U_{\Sigma(C)} = 0{,}016$ мСм/см, а для 2-го — $U_{\Sigma(T)} = 0{,}012$ °С и $U_{\Sigma(T)} = 0{,}032$ мСм/см. При этом относительная расширенная ССН-датчика УЭП 2-го экземпляра варьирует от 0,06 до 0,12% при росте УЭП от 27 мСм/см до 57 мСм/см, соответственно (табл. 2).

Таким образом, испытания показали, что в диапазоне изменений температуры $-1{,}6 \leqslant T \leqslant 30$ °С и УЭП $27 \leqslant C \leqslant 57$ мСм/см полученные оценки расширенной неопределённости датчиков температуры и УЭП тестируемых экземпляров зонда CastAway-CTD находятся в пределах значений «accuracy», заявленных производителем.

Вместе с тем, в процессе эксперимента удалось выявить ряд факторов, влияние которых способно внести большую неопределённость как в результаты калибровки, так и в результаты измерения.

В процессе испытаний зонд, имеющий температуру лабораторного помещения, опускали в морскую воду с относительно более низкой или высокой температурой. Через определённый промежуток времени по показаниям СПТС фиксировался необходимый уровень стабилизации температуры воды в термобаке (±0,001 °С), характеризующий отсутствие вносимых корпусом зонда температурных искажений в зоне калибровки.

Используемые в экспериментах условия испытаний, которые соответствуют предельно высокими уровнями пространственно-временной однородности основных параметров водной среды, ранее обеспечивали эффективную калибровку различных моделей CTD-зондов [Рамазин, 2016]. Однако, для испытуемых зондов CastAway-CTD эти условия оказались недостаточными, т. к. способ перемешивания воды в баке не обеспечивал требуемого динамического режима, скорости потока морской воды, направленного через проточный канал блока датчиков, не превышали 0,15 м/с и отличались кратно от рекомендованной $V \approx 1$ м/с. В экспериментах со значительными температурными контрастами между корпусом зонда и водой в баке этот недостаток проявился в виде аномалий в показаниях терморезистора и ячейки УЭП.

На рис. 5 представлены характерные распределения температуры и УЭП на конечных 3-минутных интервалах регистрации данных в экспериментах при незначительном и ярко выраженном тепловых контрастах.

В эксперименте со вторым экземпляром CastAway-CTD, который выполнялся при $T_{СПТС} \approx 25$ °С и тепловом контрасте в начальный момент $\Delta T(0) = Tз(0) - T_{СПТС} \approx 1{,}5$ °С, флуктуации $x(t)$ (отклонения от среднего значения) (2) представленных фрагментов реализаций $Tз(t)$ или $Cз(t)$ (рис. 5а, в) варьировали в пределах ±0,01 °С и ±0,03 мСм/см при СКО (4) 0,004 °С и 0,013 мСм/см, соответственно. Ряды аналогичных флуктуаций, полученные при большем на порядок контрасте $\Delta T \approx 16{,}7$ °С (рис. 5б, г), показали не только многократный рост средних уровней до ±0,07 °С и ±0,07 мСм/см, но и аномалии, в несколько раз их превышающие, 0,17 °С и 0,20 мСм/см.

Дестабилизирующий эффект при наличии термического контраста в системе «корпус зонда — вода», влияющий на качество показаний терморезистора и ячейки УЭП CastAway-CTD, подтверждается результатами статистического анализа данных лабораторных экспериментов. При анализе использовали свойство СКО измерений стационарных процессов, которые характеризуются нормальным законом распределения случайных величин, а именно, приблизительное равенство значений СКО флуктуаций не зависимо от используемого числа измерений. Для данных, полученных в экспериментах со вторым экземпляром зонда, значения СКО флуктуаций определялись по выборкам $Xз(n)$, содержащим по 20, 50 и 900 измерений, что соответствует временным интервалам 4 с, 10 с и 3 мин.

Из графиков $s(Tз)$, представленных на рис. 6а, следует, что в диапазоне изменения температуры

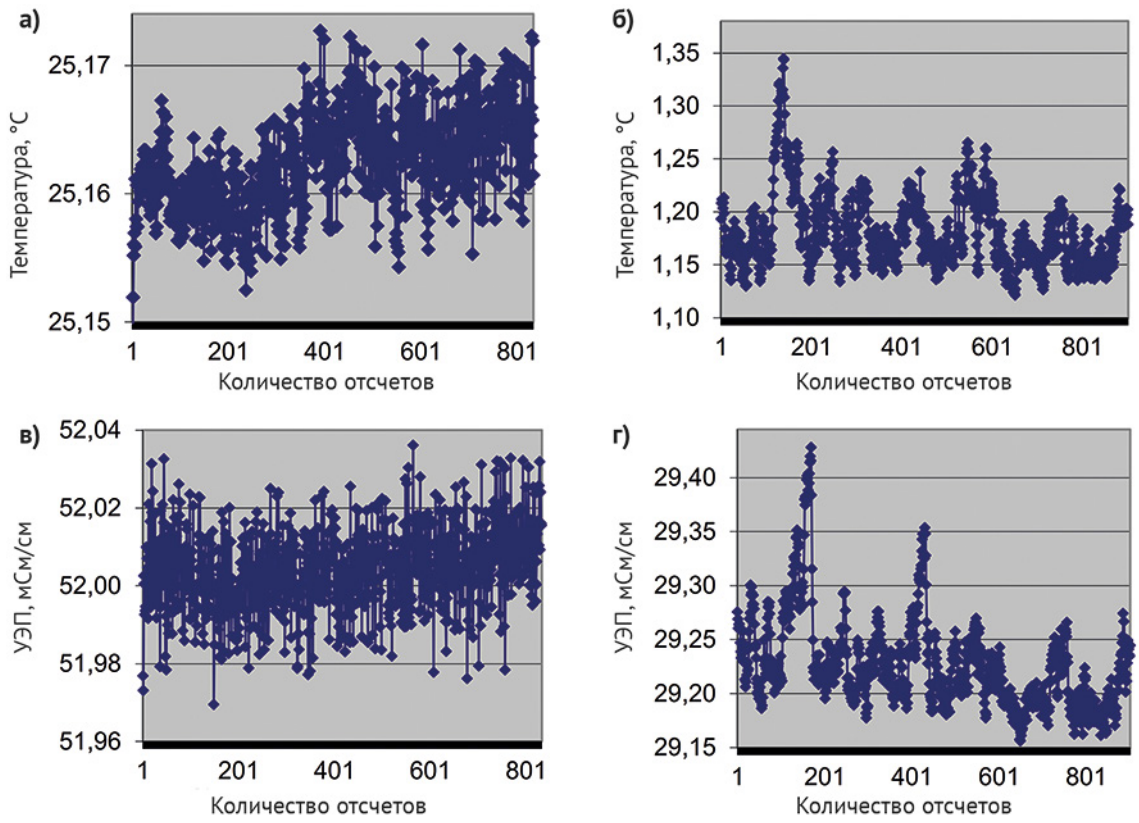


Рис. 5. Ряды температуры *Tз*(*t*) и УЭП *Cз*(*t*), измеренные терморезистором и ячейкой УЭП CastAway-CTD (экземпляр № 2) на конечных 3-минутных временных интервалах в экспериментах с температурой воды в термобаке 25 °С (а, в) и 1 °С (б, г)

от 15 до 25 °С значения СКО флуктуаций терморезистора практически не зависят от длины выборки и не превышают уровень чувствительности, заявленный производителем 0,01 °С (табл. 1). А значения СКО флуктуаций датчика УЭП *s*(*Cз*), рис. 6б, рассчитанные в том же диапазоне лежат в интервале 0,008÷0,013 мСм/см.

По мере снижения температурного фона в тестовых экспериментах, начиная с 10 °С, значения СКО флуктуаций в показаниях обоих датчиков возрастают вне зависимости от размеров выборок, достигая максимальных значений при осреднениях по 3-минутным интервалам: *s*(*Tз*) = 0,036 °С при 1 °С и *s*(*Cз*) = 0,044 мСм/см при 5 и 1 °С.

Таким образом, при наличии в процессе калибровки зонда эффекта тепловой инерционности его корпуса наблюдаются завышенные уровни СКО флуктуаций в показаниях датчиков, которые, соответственно, уменьшают меру прецизионности полученного результата [Рекомендации по стандартизации Р50.01.097–2014, 2015].

Влияние корпуса зонда CastAway CTD на показания его основных датчиков также демонстрируют данные натурных измерений, выполненных со льда Амурского залива в 2018 и 2019 гг., рис. 7. В эксперименте 6 февраля 2019 г. использовались три CTD-зонда различных моделей: один SBE 19plus и два CastAway CTD. Эти приборы в связанном виде, вынутые из тёплого салона автомобиля, были погружены в полынью на глубину 6 м и находились в неподвижном положении в течение часа. Результаты этого эксперимента представлены на рис. 7а.

Из графиков *T*(*t*) или *C*(*t*), полученных в этом эксперименте, следует, что показания терморезистора и ячейки УЭП двух зондов CastAway CTD только в самом конце эксперимента (после 45 мин пребывания в воде) максимально приблизились к соответствующим значениям параметров окружающей их воды, зафиксированных зондом SBE 19plus. При этом они продолжали флуктуировать, по-видимому, за счёт эффекта «нагревания током питания терморезистора окружающего его незначительного объёма воды» [A-8. Overview of Available, 2010].

Таким образам, температурную инерционность корпуса зонда, по проточному каналу кото-

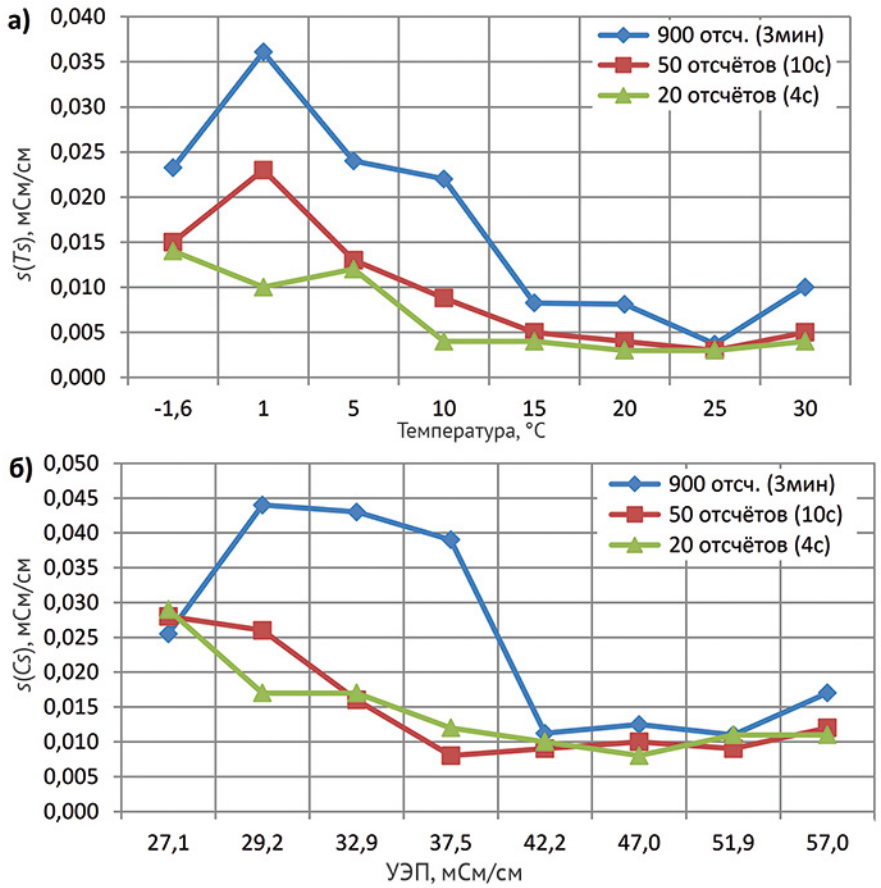


Рис. 6. СКО (4) показаний датчиков температуры (а) и УЭП (б), рассчитанные по выборкам с различным количеством данных, полученных в серии экспериментов со 2-м экземпляром CastAway-CTD

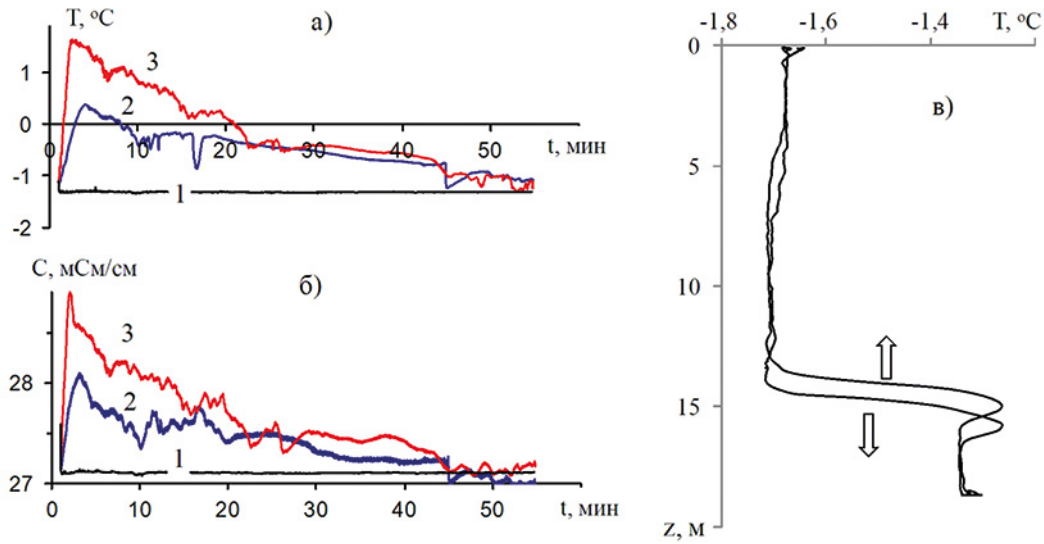


Рис. 7. Временные ряды показаний датчиков температуры (а) и УЭП (б) моделей CTD- зондов SBE 19plus (1) и 2-х экземпляров CastAway CTD (2 и 3), полученные в эксперименте со льда Амурского залива 6 февраля 2019 г; в) — профили температуры, полученные при спуске и подъёме CastAway CTD при работах со льда Амурского залива 19 января 2018 г.

рого, минуя чувствительные элементы датчиков, проходит исследуемая морская вода, следует рассматривать в качестве одной из значимых метрологических характеристик CastAway CTD. Для минимизации эффекта тепловой инерции производитель зонда предлагает использовать его с максимально возможной скоростью зондирования — в режиме свободного падения. В этом случае, поток воды в проточном канале зонда будет интенсивнее охлаждать примыкающую к нему внутреннюю часть корпуса, понижая тем самым его тепловую инерционность. Однако, и в этом случае инерционность корпуса не снижается полностью. Профили температуры (рис. 7б), полученные со скоростью 1–1,2 м/с при спуске и подъёме CastAway CTD во время работ со льда Амурского залива 19 января 2018 г., демонстрируют характерный для инерционных датчиков гистерезис. В рекомендациях по обработке данных зондирований производитель предлагает усреднять измерения, полученные при движении прибора вниз и вверх [A-8. Overview of Available, 2010]. В результате получается усреднённый профиль измеряемого параметра, нивелирующий характерные структурные неоднородности исследуемой стратификации.

При тестированиях профилографа CastAway CTD в лабораторных условиях, снижения эффекта тепловой инерции его корпуса можно добиться путём подключения к входному отверстию проточного канала помпы, позволяющей увеличить интенсивность потока исследуемой воды через проточный канал блока датчиков зонда. Это одновременно позволит термистору проводить измерения температуры в рабочем режиме без тепловых искажений, вызванных эффектом «нагревания током питания».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Лабораторные исследования метрологических характеристик двух экземпляров зонда «YSI CastAway-CTD», выполненные на прецизионном калибровочном оборудовании «Установка для измерения УЭП морской воды ВНИРО» при диапазонах изменения температуры от –1,6 до 30 °С и УЭП от 27,1 до 57,2 мСм/см, показали следующее:

1. Наличие в данных терморезисторов обоих зондов систематических отклонений, которые варьировали от 0,36 до 0,23 °С у 1-го экземпляра, и от 0,41 °С до 0,20 °С — у 2-го. Эти отклонения соответствуют временному дрейфу 0,04÷0,08 °С/год. Аналогичный результат установлен для датчика УЭП 2-го зонда: тренд 0,10÷0,39 мСм/см и дрейф 0,020÷0,076 мСм·см$^{-1}$/год. Систематический уход показаний датчика УЭП 1-го зонда относительно показаний эталонной ячейки был незначительным, варьировал от 0 до 0,09 мСм/см и не выходил за пределы, заявленные изготовителем.

2. Оценки суммарных стандартных неопределённостей (ССН) показаний датчиков температуры и УЭП исследуемых профилографов CastAway-CTD, полученные после дополнительной коррекции уравнениями 3-го порядка, соответствуют значениям, заявленным производителем. Для 1-го экземпляра оценки расширенной ССН составили 0,024 °С и 0,016 мСм/см, а для 2-го — 0,012 °С и 0,032 мСм/см.

Лабораторные и натурные эксперименты с зондами CastAway-CTD выявили ряд факторов, влияние которых при определённых условиях способно внести значительный вклад в ССН результатов калибровки и измерения.

Это связано с особенностями конструкции его измерительного блока, чувствительные элементы которого, терморезистор и электроды ячейки УЭП, расположены внутри узкого и длинного проточного канала, проходящего внутри тела корпуса зонда. Соответственно в процессе измерения имеет место теплообмен с проходящими через канал порциями морской воды, который приводит к увеличению неопределённости измерений.

Неизбежный рост оценок ССН данных CastAway-CTD возникает:

– при значительных температурных контрастах между корпусом зонда и исследуемой средой;

– при низких скоростях зондирования либо условиях перемешивания воды в термобаке, не обеспечивающих необходимый динамических режим;

– в силу недостаточной промываемости кондуктивной ячейки [Fozdar 1985].

Обнаруженный фактор инерционности корпуса зонда при наличии теплового контраста не повлиял на оценки ССН результатов тестирования экземпляров CastAway-CTD. Понизить тепловой эффект корпуса (например, при последующих калибровках) возможно подключением к входному отверстию проточного канала помпы, которая обеспечит интенсивность потока морской воды через блок датчиков со скоростью 1 м/с.

Тепловая инерционность корпуса зонда CastAway-CTD, гидродинамическое сопротивление ячейки УЭП и её низкая промываемость являются факторами, исключающими адекватное разрешение особенностей тонкой структуры при профилировании.

Профилографы CastAway-CTD при условии регулярной поверки и калибровки (не реже одного раза в год) могут быть эффективны при выполнении гидрологических съёмок по определению фоновых распределений температуры и солёности с указанной неопределённостью. Эту модель также можно рекомендовать для использования при проведении студенческих практик и для решения ограниченного перечня исследовательских задач.

ЛИТЕРАТУРА

ГОСТ Р 54500.3–2011. Руководство ИСО/МЭК 98–3:2008. 2012. Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения. М.: Стандартинформ. 101 с. Accessible via: https://meganorm.ru/Index2/1/4293792/4293792084.htm 07.11.2019.

Архипкин В.С., Лазарюк А.Ю., Левашов Д.Е., Рамазин А.Н. 2009. Океанология: инструментальные методы измерения основных параметров морской воды. М.: МАКС Пресс Москва. 336 с.

Лазарюк А.Ю. 2009. Динамическая коррекция CTD-данных // Подводные исследования и робототехника. № 2 (8). С. 59–71.

Походун А.И. 2006. Экспериментальные методы исследований. Погрешности и неопределенности измерений. СПб: СПбГУ ИТМО. 112 с.

Рамазин А.Н. 2016**.** Некоторые научно-методические аспекты метрологического обеспечения измерений электропроводности и температуры морской воды с помощью СТД-зондов // Труды ВНИРО. Т. 159. С. 167–182.

Рамазин А.Н. 2018. Оценка неопределённости калибровки и измерений датчиков температуры СТД-зондов «Sea Bird» // Системы контроля окружающей среды. Севастополь: ИПТС. 2018. Вып.14 (34). С. 33–42.

Рамазин А.Н. 2021. Оценка неопределённости калибровки эталонной ячейки электропроводимости калибратора T01 «Idronaut» «Установки для измерения УЭП морской воды ВНИРО» // Труды ВНИРО. Т. 184. С. 99-111.

*Рамазин А.Н., Левашов Д.*Е. 2016. Методические рекомендации по калибровке и метрологическому обеспечению измерителей параметров водной среды. М.: Изд-во ВНИРО. 127 с.

Рекомендации по стандартизации Р50.01.097–2014. 2015. Статистические методы. Примеры измерений при анализе повторяемости и воспроизводимости. М.: Стандартинформ. 2015. 34 с.

A-8. Overview of Available. CastAway-CTD User's Manual, 2010. Accessible via: https://www.fondriest.com/pdf/ysi_castaway_manual.pdf. 28.09.2019.

CastAway-CTD User's Manual, 2010. Accessible via: http://www.xylemanalytics.com.au/media/pdfs/ysi-castaway-ctDprinciples-of-operation.pdf. 24.10.2019.

Fozdar F.M., Parker G.J., Imberger J. 1985. Matching temperature and conductivity sensor response characteristics // J. Physical Oceanography. V. 15, p. 1557–1569.

Giles A.B., McDougall T.J. 1986. Two methods for the reduction of salinity spiking of CTD's // Deep-Sea Res. V. 33. № 9. P. 1253–1274.

IOC, SCOR and IAPSO, 2010. The international thermodynamic equation of seawater — 2010: Calculation and use of thermodynamic proper-ties. Intergovernmental Oceanographic Com-mission, Manuals and Guides 56, UNESCO (English), 196 pp. Accessible via: http://www.teos-10.org/TEOS-10_Manual.pdf. 20.08.2019.

Fofonoff N.P., Millard R.C. 1983. Algorithms for computation of fundamental properties of seawater, UNESCO technical papers in marine science 44, 53 pp.

Morison J., Andersen R., Larson N., D'Asaro E., Boyd T. 1994. The correction for thermal-lag effects in Sea-Bird CTD Data // J. Atmos. Oceanic Technol., 11, 1151–1164.

Trump C.L. 1983. Effects of ship's roll on the quality of precision CTD data // Deep-Sea Res. V. 30. No. 11A. P. 1173–1183.

WGS84 Ellipsoid Gravity Formula, Department of Defense World Geodetic System 1984, NIMA TR8350.2, 3rd edition amendment 1, January 2000, Technical Report pages 3–5 to 4–2. Accessible via: http://earth-info.nga.mil/GandG/publications/tr8350.2/tr8350_2.htm. 24.10.2019.

UNESCO technical papers in marine science. 1988. UNESCO. V. 54. 94 p.

Поступила в редакцию 25.12.2019 г.
Принята после рецензии 10.01.2020 г.

DOI: 10.36038/2307-3497-2021-184-125-139

The results of studies of metrological characteristics YSI CastAway-CTD profilograph

A.N. Ramazin[1], *A. Yu. Lazaryuk*[2]

[1] Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (VNIRO), Moscow, Russia

[2] V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute («POI FEB RAS»), Vladivostok, Russia

The results of laboratory experiments to study the metrological characteristics of the YSI CastAway-CTD profilograph are discussed. The factors determining the combined standard uncertainty (CSU) of the calibration of temperature and conductivity sensors are considered. Systematic deviations in CastAway-CTD sensor readings are determined and the temporal drift limits of their calibration characteristics are estimated. To eliminate the systematic effect in the temperature and conductivity data, correcting equations of the third order were used. Estimates of the expanded CSU after correcting the CTD data (the ranges: $-1.6 \leqslant T \leqslant 30$ °C and $27 \leqslant C \leqslant 57$ mS/cm) did not exceed the values stated by the manufacturer. It is shown that the CastAway-CTD data is affected by the thermal inertia of its body (TIB), therefore TIB is an important metrological characteristic of the profilograph, which can distort the stratification of the studied water masses.

Keywords: CTD profiler, standard, combined, expanded uncertainty, temporal drift, sensors, temperature contrast, flow channel.

REFERENCES

GOST R 54500.3–2011. Rukovodstvo ISO/MEK 98–3:2008. Neopredelennost' izmereniya. CHast' 3. Rukovodstvo po vyrazheniyu neopredelennosti izmereniya [Uncertainty of measurement. Part 3. Guide to the expression of uncertainty in measurement]. M.: Standartinform. 101 s. Accessible via: https://meganorm.ru/Index2/1/4293792/4293792084. 07.11.2019.

Arhipkin V.S., Lazaryuk A. Yu., Levashov D.E., Ramazin A.N. 2009. Okeanologiya: instrumental'nye metody izmereniya osnovnyh parametrov morskoj vody [Oceanology: instrumental methods for measuring the basic parameters of sea water]. M.: MAKS Press Moskva. 336 s.

Lazaryuk A. Yu. 2009. Dinamicheskaya korrekciya STD-dannyh [Dynamic correction of CTD data] // Podvodnye issledovaniya i robototekhnika. № 2 (8). S. 59–71.

Pohodun A.I. 2006. Eksperimental'nye metody issledovanij. Pogreshnosti i neopredelennosti izmerenij. Uchebnoe posobie [Experimental research methods. Errors and measurement uncertainties]. SPb: SPbGU ITMO. 112 s.

Ramazin A.N. 2016. Nekotorye nauchno-metodicheskie aspekty metrologicheskogo obespecheniya izmerenij elektroprovodnosti i temperatury morskoj vody s pomoshch'yu STD-zondov [Some scientific and methodological aspects of metrological supply of conductivity and sea water temperature measurements with CTD-probes] // Trudy VNIRO. T. 159. S. 167–182.

Ramazin A.N. 2018. Ocenka neopredelyonnosti kalibrovki i izmerenij datchikov temperatury CTD-zondov «Sea Bird» [Evaluation of calibration and measurement uncertainty of temperature sensors of CTD-probe «Sea Bird»] // Sistemy kontrolya okruzhayushchej sredy. Sevastopol': IPTS. Vyp.14 (34), S.33–42.

Ramazin A.N. 2021. Ocenka neopredelyonnosti kalibrovki etalonnoj yachejki elektroprovodimosti kalibratora ST01 «Idronaut» «Ustanovki dlya izmereniya UEP morskoj vody VNIRO» [Evaluation of calibration uncertainty reference conductivity cell of calibrator CT01«Idronaut» "Installations for measuring specific electrical conductivity of sea water VNIRO"] // Trudy VNIRO. T. 184. S. 99-111.

Ramazin A.N., Levashov D.E. 2016. Metodicheskie rekomendacii po kalibrovke i metrologicheskomu obespecheniyu izmeritelej parametrov vodnoj sredy [Guidelines for calibration and metrological support of measuring instruments for the parameters of the aquatic environment]. M.: Izd-vo VNIRO. 127 s.

Rekomendacii po standartizacii R50.01.097–2014. 2015. Statisticheskie metody. Primery izmerenij pri analize povtoryaemosti i vosproizvodimosti [ISO/TR 12888:2011. Selected illustrations of gauge repeatability and reproducibility studies (IDT)] // M. Standartinform. 2015. 34 s.

A-8. Overview of Available. CastAway-CTD User's Manual, 2010. Accessible via: https://www.fondriest.com/pdf/ysi_castaway_manual.pdf. 28.09.2019.

CastAway-CTD User's Manual, 2010. Accessible via: http://www.xylemanalytics.com.au/media/pdfs/ysi-castaway-ctDprinciples-of-operation.pdf, 24.10.2019.

Fozdar F.M., Parker G.J., Imberger J. 1985. Matching temperature and conductivity sensor response characteristics // J. Physical Oceanography. V. 15, p. 1557–1569.

Giles A.B., McDougall T.J. 1986. Two methods for the reduction of salinity spiking of CTD's // Deep-Sea Res. V. 33. № 9. P. 1253–1274.

IOC, SCOR and IAPSO, 2010. The international thermodynamic equation of seawater — 2010: Calculation and use of thermodynamic proper-ties. Intergovernmental Oceanographic Com-mission, Manuals and Guides 56, UNESCO (English), 196 pp. Accessible via: http://www.teos-10.org/TEOS-10_Manual.pdf. 20.08.2019.

Fofonoff N.P., Millard R.C. 1983. Algorithms for computation of fundamental properties of seawater, UNESCO technical papers in marine science 44, 53 pp.

Morison J., Andersen R., Larson N., D'Asaro E., Boyd T. 1994. The correction for thermal-lag effects in Sea-Bird CTD Data // J. Atmos. Oceanic Technol., 11, 1151–1164.

Trump C.L. 1983. Effects of ship's roll on the quality of precision CTD data // Deep-Sea Res. V.30. No. 11A. P. 1173–1183.

WGS84 Ellipsoid Gravity Formula, Department of Defense World Geodetic System 1984, NIMA TR8350.2, 3rd edition amendment 1, January 2000, Technical Report pages 3–5 to 4–2. Accessible via: http://earth-info.nga.mil/GandG/publications/tr8350.2/tr8350_2.htm. 24.10.2019.

UNESCO technical papers in marine science. 1988. UNESCO. V. 54. 94 p.

FIGURE CAPTIONS

Fig. 1. CTD probe YSI CastAway-CTD: a) — appearance; b) — the probe in the process

Fig. 2. Dimensions and arrangement of CastAway-CTD sensors

Fig. 3. Temperature (а) and conductivity (б), measured by CastAway-CTD at water temperature 15 °C in a thermal tank. As well as the spectral densities W_T(П) and W_C(П) (1) of the final 3-minute interval of CTD data (в)

Fig. 4. Comparison (13) working standards and CTD data of two CastAway-CTD: а) — before data correction of temperature — 1st (ΔT1), 2nd (ΔT2) probes and conductivity — 1st (ΔC1), 2nd (ΔC2) probes; б) — after the thermistors data correction by equations 1st order (ΔT1–1, ΔT2–1) and 3rd order (ΔT1–3, ΔT2–3), and в) — after the conductivity cell data correction by equations of the 1st order (ΔC1–1, ΔC2–1) and 3-th order (ΔC1–3, ΔC2–3)

Fig. 5. Temperature *Т*з(*t*) and conductivity *С*з(*t*), measured by CastAway-CTD (instance No. 2) at the final 3-minute intervals in experiments with the water temperature 25 °C (*а*, *в*) and 1 °C (*б, г*)

Fig. 6. Standard deviations (4) of the thermistor (а) and conductivity cell (б), calculated from a different samples of CTD data CastAway-CTD (instance No. 2)

Fig. 7. Temperature (а) and conductivity (б) measured by SBE 19plus (1) and two instances CastAway CTD (2 and 3) in the Amursky Bay on February 6, 2019; в) — temperature profiles of CastAway CTD (up and down casts), the Amursky Bay on January 19, 2018

TABLE CAPTIONS

Table 1. Metrological characteristics of the Castaway-CTD [CastAway-CTD User's Manual, 2010]

Table 2. Uncertainty budget of Castaway-CTD (instance No. 2) temperature and conductivity measurements of the corrected by formula (14) for the ranges $-1.6 \leqslant T \leqslant 30$ °C and $27 \leqslant C \leqslant 57$ mS/cm

УДК 574.586:681.7 DOI: 10.36038/2307-3497-2021-184-140-148

Новый лазерный планктономер «КАРП» — комплексный автономный регистратор планктона

Н.П. Буланова[1],
Д.Е. Левашов[1],
П.В. Гайский[2],
Д.А. Иващенко[1],
Л.И. Литвиненко[3],
К.В. Куцанов[3]

[1] Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ФГБНУ «ВНИРО»), г. Москва

[2] Морской гидрофизический институт (ФГБУН «МГИ»), г. Севастополь

[3]Тюменский филиал ФГБНУ «ВНИРО» (Госрыбцентр), Тюмень

E-mail: nata@vniro.ru

Разработан и испытан действующий макет нового лазерного планктономера — комплексного автономного регистратора планктона «КАРП». Приведено описание устройства прибора. Проведены исследования характеристик прибора по возможности регистрации науплий, цист и рачков артемии, мальков различных видов рыб и некоторых видов планктона в рыборазводных танках и аквариумах. Также приведены результаты полевых испытаний прибора «КАРП» в июле 2019 г., проведённых совместно со специалистами Тюменского филиала ФГБНУ «ВНИРО» на озере Соленое Тюменской области. Произведена оценка влияния дневной паразитной засветки и предложены пути её минимизации. Показаны предварительные результаты доработки прибора и предложены перспективные варианты его использования в качестве дополнительного датчика в составе зондирующих и буксируемых СТД-комплексах — на НИС для оценки размерно-количественных характеристик мезопланктона, как кормовой базы рыбных скоплений, а также в полевых работах, связанных с промышленным разведением артемии на мелководных водоёмах.

Ключевые слова: НИС, СТД, мезопланктон, датчик, зонд, лазер, видеокамера, регистратор, артемия, дафния.

ВВЕДЕНИЕ

Для ликвидации разрыва, существующего в методиках судовых исследований основных гидролого-гидрохимических параметров воды, получаемых в реальном времени с помощью СТД-зондов и традиционными методами исследования планктона, в ФГБНУ «ВНИРО» на основе имеющегося патента ВНИРО [Левашов, Буланова, 2014] и ранее проведённых экспериментов [Левашов, Буланова, 2020], разрабатывается лазерный планктономер КАРП — комплексный автономный регистратор планктона. Новый измеритель должен интегрироваться в состав комплексов на основе СТД-зондов, используемых на рыбохозяйственных НИС, что может позволить проводить предварительную оценку кормовых запасов промысловых скоплений, выявляя трофическую структуру сообществ на основе оптоэлектронных методов визуализации и определения размерно-количественных характеристик мезопланктона непосредственно в водной толще.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В исследованиях использовалось устройство для анализа пространственного распределения и оценки запасов артемии в гипергалинных водоёмах, которое представляет собой макет комплекса автономного регистратора планктона («КАРП»), созданного по ТЗ, разработанному в Отделе техники экспедиционных исследований ФГБНУ «ВНИРО» совместно со специалистами лаборатории гидрофизических и биоэлектронных измерительных систем ИПТС (г. Севастополь).

В процессе разработки и макетирования устройства для анализа пространственного распределения частиц мезопланктона проводились эксперименты в аквариумах и водоёмах. Работы проводились в три этапа:

1. Экспериментальные исследования и оценка работы макета «КАРП» в лабораториях ФГБНУ «ВНИРО», с использованием танков с мальками различных видов рыб, аквариумов с пресной и солёной водой с мальками рыб, науплиями ар-

темии и прочими свободно плавающими микрообъектами.

2. Полевые испытания устройства макета «КАРП», проводимые в июле 2019 г. на озере Солёное Тюменской области.

3. Доработка прибора по результатам полевых испытаний.

Для проведения экспериментов с макетом «КАРП» использовались стеклянный аквариум в лаборатории ФГБНУ «ВНИРО» объёмом 210 л, наполовину заполненный солёной (30‰) или пресной водой. При использовании пресной воды в ней находились свободно плавающие рачки дафний (*Daphnia*) размером 3–5 мм. С технической точки зрения и в плане характеристик регистрации частиц планктона того или иного вида организмов значимого различия не выявлено. Дополнительно использовался малый узкий аквариум объёмом примерно 2 л, располагающийся между иллюминаторами модулей. Для оценки чёткости фокусировки камер применялась стандартная телевизионная таблица, ламинированная для возможности работы в воде.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

По результатам проведённых ранее работ с технологическими платформами типа КЭП [Левашов, Буланова, 2020], разработан и изготовлен рабочий макет прибора «КАРП», который состоит из бортового устройства (БУ) и погружного устройства (ПУ), соединённых герметизированным кабелем длиной 3 м (рис. 1).

Описание конструкции прибора

В качестве основы БУ использован микрокомпьютер типа Compute Strick в комплектации Intel Atom 1800МГц/2Гб DD3/32Гб SD Memory с внешними портами 1USB3.0/1USB2.0/WiFi/Bluetooth4.0/microSDcard/HDMI под управлением ПО Windows10 в комплекте с жидкокристаллическим дисплеем — 7” 1024×600/HDMI/USB Touch. Вместе с преобразователями напряжений для них весь комплект размещён в стандартный герметизированный корпус G218C с внешними размерами 222×146×55 мм с прозрачной крышкой. Все внешние разъёмы БУ имеют герметизированное исполнение. Энергопитание БУ с напряжением 12 В постоянного тока подается от внешнего стабилизированного блока питания (БП) 220 В/12В или от внешних аккумуляторов.

Конструкция макета ПУ прибора состоит из трёх пластин из конструкционного пластика толщиной 10 мм, соединённых в П-образную конструкцию, в центре верхней части которой располагается водозащищенный пластиковый цилиндрический контейнер с иллюминатором в торце и установленным внутри модулем видеокамеры. Для проведения экспериментов выбрана камера Razer KIYO USB2.0 (разрешение видеосъёмки — 1920×1080 пиксель, 60 fps; фотосъёмки — 2668×1520/3840×2160 пиксель). Её объектив с переменным фокусным расстоянием в сочетании с интерфейсом USB позволяет в режиме онлайн определять оптимальное фокусное расстояние с целью подстройки и юстировки взаимного расположения модулей.

В нижней части П-образной рамы установлены контейнеры аналогичной конструкции с модулями лазерной подсветки. В качестве осветителей для модулей лазерной подсветки использовались два красных лазера с цилиндрической оптикой: RL-250 (650–680нм, 250 мВт, 12В) и CarLaser (650нм, 100мВт, 8–36В), которые для удобства экспериментов и возможности параллельного наблюдения расположены на макете во встречно-направленном положении так, что фик-

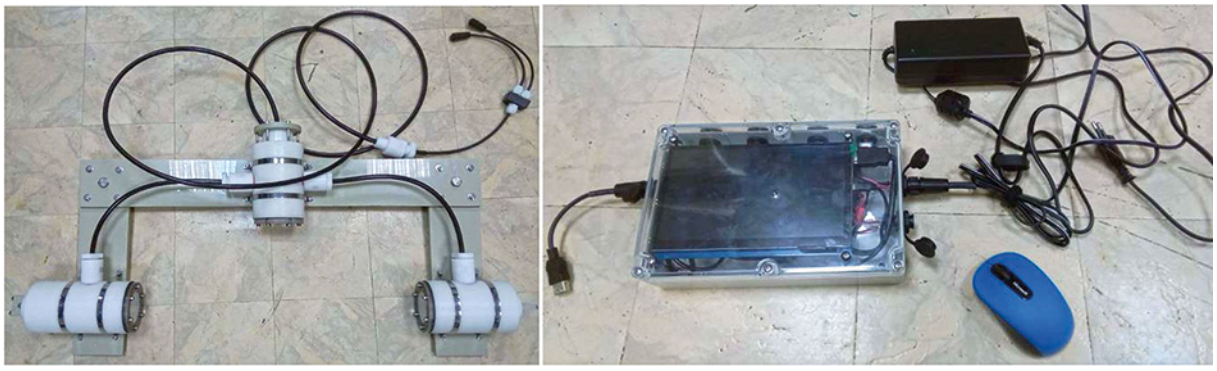


Рис. 1. Общий вид макета устройства для анализа пространственного распределения частиц мезопланктона «КАРП» (слева ПУ, справа БУ)

сируемые объекты находятся в одной плоскости, одновременно освещаемые с двух сторон. Все блоки соединены между собой герметичными кабелями. Размерные соотношения оптической схемы прибора соответствуют использованным в конструкциях технологических платформ типа КЭП (рис. 2).

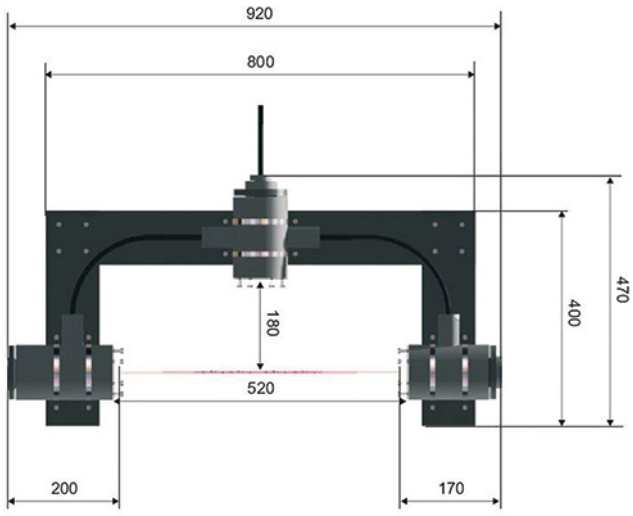


Рис. 2. Общий вид и размеры макета комплексного автономного регистратора планктона «КАРП»

При работе с БУ в среде ПО Windows10 используется фирменное ПО для камеры Razer KIYO. Для управления используется беспроводный манипулятор типа «мышь». Для съёмки фото повышенного разрешения, заявленного в технических характеристиках камеры, использовалось стороннее ПО, которое не имеет возможности снимать видео такого же высокого разрешения. Изображение с камеры можно наблюдать на встроенном ЖК экране БУ через прозрачную крышку. По окончании работ полученные данные переносятся на внешний носитель для последующего детального просмотра записей и дополнительного анализа на стационарном ПК.

Такая конструкция спроектирована с целью последующего проведения экспериментов в природных водоёмах, глубиной до 1 м с питанием от аккумуляторов 12 В, обеспечивающих автономную работу в полевых условиях.

Экспериментальные исследования в лабораторных условиях

На первом этапе все эксперименты проводились в аквариальных танках с пресной водой, как при выключенном внешнем освещении, так и при наличии засветки лампами дневного освещения с использованием красного светофильтра, установленного перед иллюминатором камеры. На рис. 3 изображён работающий макет с двумя включёнными лазерами в танке с мальками.

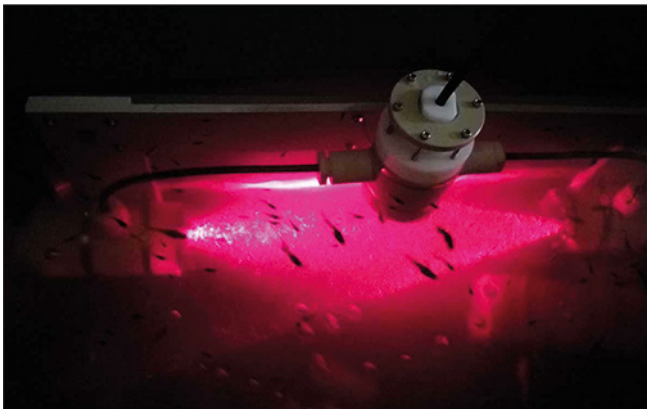


Рис. 3. Макет комплексного автономного регистратора планктона «КАРП» в танке с мальками

При оценке работы модуля с лазером CarLaser установлено, что при наличии дневной засветки подсветка объектов не обеспечивает достаточной контрастности изображения для выделения объектов для её дальнейшей обработки. Установка перед модулем видеокамеры светофильтра КС17, не пропускающего свет в видимой части спектра до 650 нм, значительно повысила контрастность изображения, но при этом была потеряна возможность фиксации малоразмерных объектов в связи со снижением уровня общего освещения из-за малой мощности лазера; объекты размером менее 3–4 мм не регистрировались.

Использование модуля с лазером RL-250 показало, что при наличии дневной засветки, подсветка объектов также не обеспечивает достаточной контрастности изображения для выделения объектов. Однако установка светофильтра КС17 как и в первом случае, значительно повысившая контрастность, не позволила снизить чувствительность прибора к фиксации малоразмерных объектов по причине более высокой мощности лазера 250 мВт. По экспертной оценке регистрировались объекты размером примерно до 1 мм.

Исследовалась также одновременная работа обоих модулей подсветки. При этом была зафиксирована регистрация перекрёстного паразитного рассеяния света от лазеров на объектах, которое значительно снижало качество изображения. Одновременно выявлена сложность сведения (юстировки) световых плоскостей от обоих лазеров

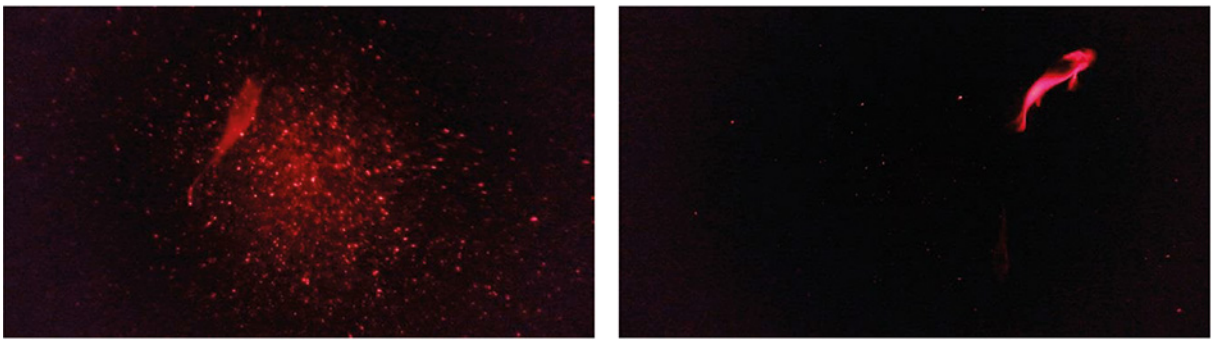


Рис. 4. Изображения, полученные макетом комплексного автономного регистратора планктона «КАРП»

в одну плоскость. На рис. 4 показаны изображения, полученные при помощи действующего макета.

С учётом полученных результатов при первоначальных экспериментах в танках на втором этапе был разработан и изготовлен рабочий стенд для исследования и оценки характеристик действующего макета «КАРП». В качестве главного элемента стенда был выбран стеклянный аквариум, общей вместимостью 210 л, в котором были созданы условия (солёность воды ~ 30‰, температура ~25 °С) для поддержания жизни объектов исследования — артемии. Макет размещался в аквариуме таким образом, чтобы обеспечить возможность визуального наблюдения и проведения съёмки (рис. 5).

В начале эксперимента была проведена предварительная оценка видимости объектов, которая реализована при помощи вспомогательного аквариума меньшего размера (80×80×340 мм), помещённого в рабочий объём прибора (рис. 6а).

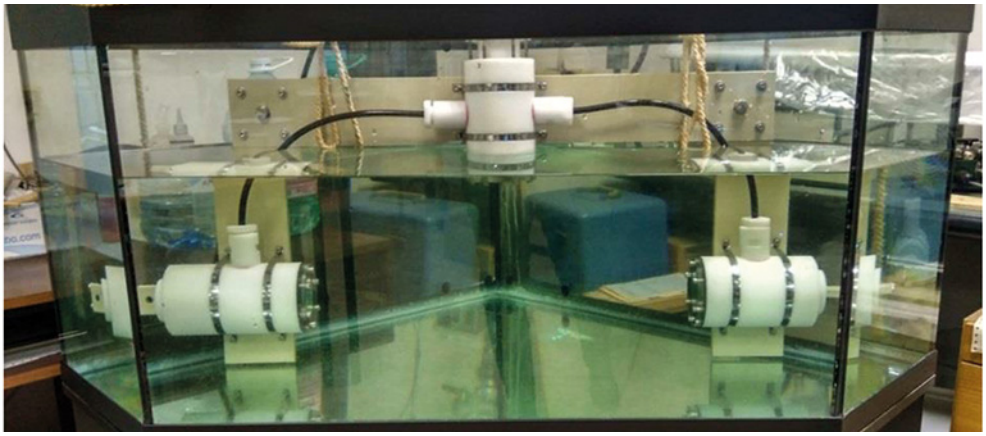


Рис. 5. Рабочий стенд — действующий макет устройства в аквариуме с солёной водой

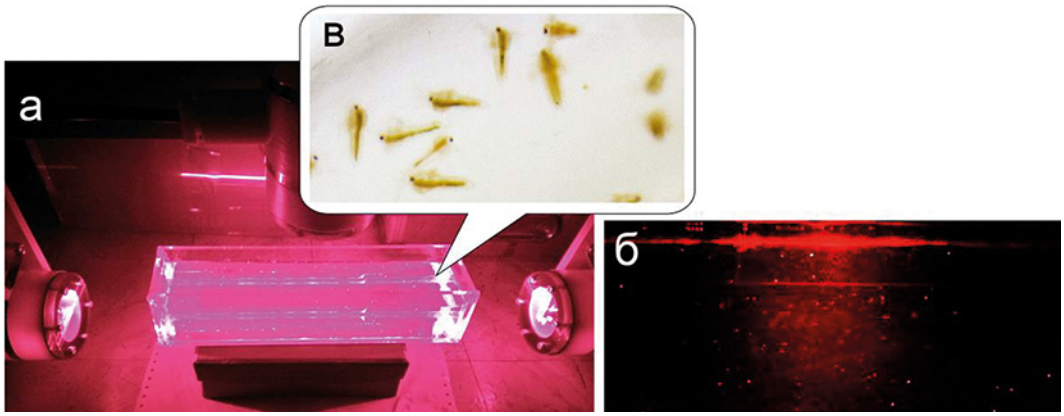


Рис. 6. Экспериментальная съёмка науплий в малом аквариуме

Характерный снимок объектов, полученный с видеорегистратора макета, представлен на рис. 6б. Использовались науплии артемии размером менее 1 мм (фото макросъёмки — рис. 6в), помещённые в малый аквариум.

Далее проводились эксперименты в большом аквариуме (рис. 7 слева), где было установлено ПУ макета.

Производился выпуск науплий артемии при помощи штемпель-пипетки, выходное отверстие которой было расположено в непосредственной близости к рабочему световому объёму. Один из таких моментов показан на фрагменте кадра с видеорегистратора макета (рис. 7 справа). Такая методика была выбрана для прицельного выпуска объектов с максимальной вероятностью попадания в пространство рабочего светового объёма прибора.

Полученные результаты показали, что прибор способен зафиксировать объекты, размером менее 1 мм — такие, как используемые образцы науплий артемии (рис. 8), но с большой погрешностью, поскольку на 1 мм размера регистрируемого объекта приходится примерно 10 пикселей на приёмной матрице видеорегистратора и по полученным снимкам трудно отличить исследуемые объекты от пузырьков воздуха или частиц посторонней взвеси.

На рис. 8 показаны фотоснимки науплий у выходного отверстия в штемпель-пипетке перед выпуском в большой аквариум (а) и при просмотре под микроскопом с мерной пластиной (б).

Как показано на рис. 8б, типичный размер объекта составлял примерно 0,8 мм в длину и 0,2 мм в ширину.

Полевые испытания прибора

Полевые испытания прибора «КАРП» проведены в несколько этапов в период с 15 по 17 июля 2019 г. совместно со специалистами Тюменского филиала ФГБНУ «ВНИРО» («Госрыбцентр») на озере Солёное Тюменской области (площадь озера 0,75 км^2, средняя глубина 0,8 м). Водоём находится в Бердюжском районе Тюменской области, рядом с селом Окунёво (55°42’16.1" N 68°41’13.2"E).

Параллельно с регистрацией зоопланктона комплексом «КАРП» был проведён отбор планктонных проб, согласно методике [Литвиненко

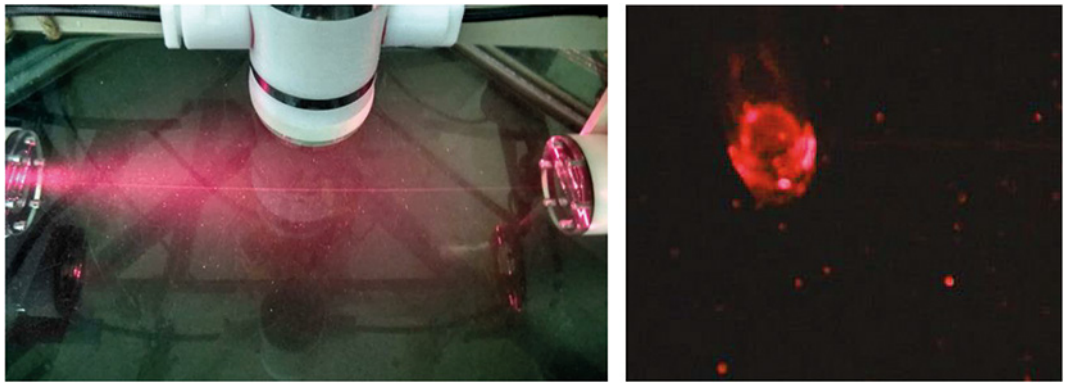


Рис. 7. Экспериментальная съёмка науплий в большом аквариуме

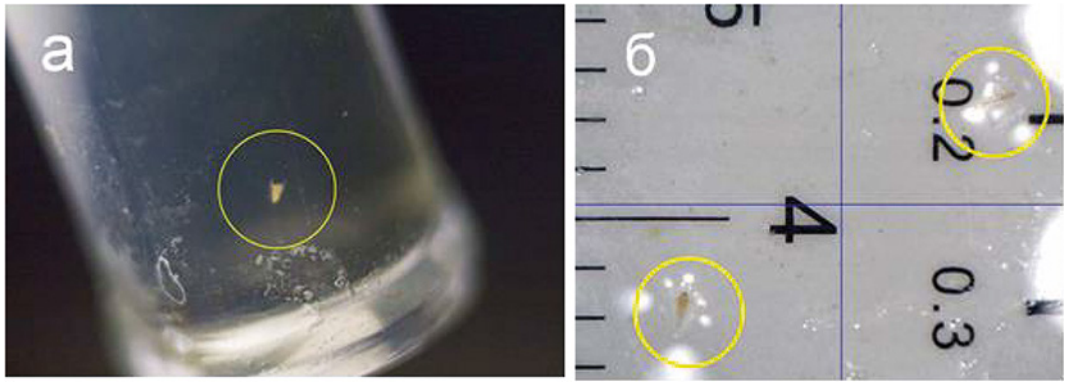


Рис. 8. Экспериментальные фотоснимки науплий

и др., 2019], количественной сетью Апштейна с размером ячеи № 46–52 и входным отверстием 25 см^2 протяжкой от дна, (глубина 1 м) на трёх станциях. В период отбора гидробиологических проб и испытания прибора (16.07.2019 г.) абиотические условия были следующими: солёность по рефрактометру — 84‰, температура воды — 28,7 °С, содержание растворённого кислорода — 6,5–8,4 мг/л, pH – 8,13, жёсткость — 540 Ж, цветность – 48 град., перманганатная окисляемость 45,6 мгО/л, БПК5 – 5,9 мгO_2/л, глубина — 1 м, прозрачность — 0,5 м. Таким образом, испытание прибора проходило в условиях водоёма, относящегося к эвтрофным по большому количеству органических веществ и высокоминерализованным — по содержанию солей.

Во время апробации прибора был проведён отбор проб зоопланктона на трёх станциях. В планктоне по численности преобладали цисты артемии и веслоногие рачки *Cletocamptus retrogressus* Schm, по биомассе — личинки мухи-береговушки рода *Ephydra* Fallén, 1810. Артемия была представлена только предвзрослыми рачками и цистами. Фитопланктон из озера Солёное, отобранный 04.07.2019, был весьма беден с численностью не более 0,02 млн кл./л, биомассой — не более 0,01 мг/л. Плотность артемии в озере по результатам предварительных биологических проб была крайне мала для масштабного испытания прибора — всего 0,02–0,08 экз./л на станциях и в среднем по озеру — 0,05 экз./л, в связи с чем эксперименты проводились также в специальном бассейне, подготовленном для инкубации цист (рис. 9).



Рис. 9. Оз. Солёное и специальный бассейн для инкубации цист артемии

Съёмка регистратором планктона («КАРП») проводилась по 10 минут, в безоблачную погоду со светофильтром и повторно без светофильтра для понимания ясности кадров.

В вечернее время съёмка проводилась в бассейне без светофильтра. При апробации прибора в бассейне можно было чётко различить следующие объекты: рачки артемии длиной 7,4 мм и их цисты, диаметром около 300 мкм. При использовании светофильтра в дневное время чёткость очертания объектов зоопланктона увеличивается (рис. 10).

Проведённые полевые испытания прибора показали, что прибор в натурных условиях способен регистрировать отдельные экземпляры рачков и цист артемии, которые попадают в реперный объём, при этом экспериментально подтверждена возможность определения размеров регистрируемых объектов с точностью до 0,1 мм.

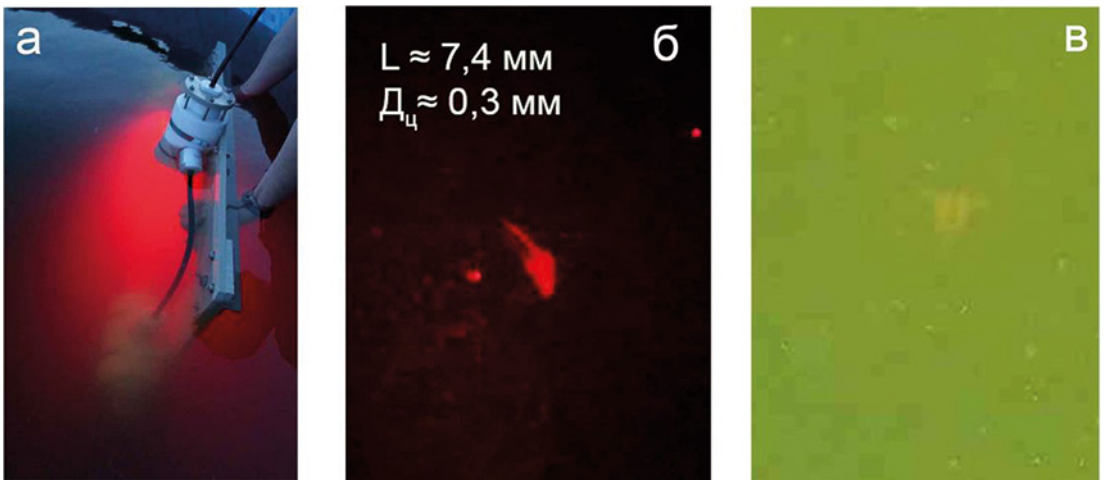


Рис. 10. Прибор в бассейне вечером (а); кадр регистрации экземпляра артемии, полученный со светофильтром (б); кадр в условиях дневной засветки без светофильтра (в)

Вместе с тем, в процессе экспериментов были выявлены некоторые конструктивные недостатки прибора. Наиболее важным оказалось то, что использование в конструкции камеры автоматической фокусировки в данном случае неприемлемо, так как в некоторых случаях камера пытается сфокусироваться на объектах, находящихся вне реперного объёма, что грозит искажением размерно-количественных характеристик объектов в процессе работы. Также, в случае дальнейших работ, связанных с применением прибора «КАРП» для полевых работ с артемией, следует принять во внимание следующие особенности гипергалинных водоёмов: высокая солёность (от 70 до 300 г/л и более), высокое содержание органических веществ (БПК5 — до 8 мгO_2/л и более; ПО — до 78 мгO_2/л и более), мелководность (глубина от 0,1 до 1,0 м).

Доработка прибора по результатам полевых испытаний

Для ликвидации основных недостатков, выявленных при полевых испытаниях, наиболее оптимальным способом оказалась смена установленной видеокамеры на веб-камеру модели Defender G-lens 2577 HD720p, с ручной установкой фокуса объектива со стеклянной линзой (5 слоёв). Для оценки результативности выбранного решения проведены эксперименты в аквариумах. На этот раз использовались рачки дафний размером 3–5 мм. Экспертная оценка их концентрации в начале экспериментов составляла 40 экз./л. Использование этих рачков вместо артемии обусловлено широкой распространённостью и неприхотливостью дафний, а также возможностью применения пресной воды вместо солёной. С технической точки зрения и в плане характеристик регистрации частиц планктона того или иного вида значимого различия не выявлено. Типичный вид планктона в световой плоскости лазера представлен на рис. 11. Слева — вид на включённый прибор и световую плоскость сверху, справа — кадр, зарегистрированный прибором в реперном участке световой плоскости со вставкой, выделенной измеренной особью дафнии. Оценка чёткости фокусировки с учётом декларируемого и проверенного по испытательной таблице разрешения, представляется достаточной. Вычисленный размер отдельно взятой особи равен 3,11 мм, что составляет 33 пикселя. На рис. 11 также представлено выделенное изображение отдельной особи с оценкой линейных размеров.

Учитывая перспективность дальнейшего использования прибора для полевых работ, связанных с артемией, были проведены предварительные экспериментальные исследования, направленные на оценку возможности использования прибора в мелководных водоёмах в условиях паразитной дневной засветки. С этой целью было принято решение использовать ИК-лазер. Однако, в связи с сильным затуханием ИК-излучения в воде, требуемая мощность лазера должна быть значительно больше используемого до этого красного лазера (250 мВт). Поскольку ИК-лазер с необходимыми характеристиками сразу найти не удалось, для этих целей была использован доработанный «зелёный» лазер типа L-303 с длиной волны 532 нм, с декларируемой мощностью 1000 мВт. Удалив из оптической схемы лазера преобразователь длины волны излучения — кристалл титанила-фосфата калия (KTiOPO4, сокращённо KTP), был получен ИК-лазер с длиной волны 808 нм.

Для экспериментов использовался малый аквариум. ИК-лазер вместе с цилиндрической линзой и выходным зрачком располагался вплотную и перпендикулярно к большей стенке аквариума с тем, чтобы сформированная плоскость лазерного ИК-излучения была в той же области, что

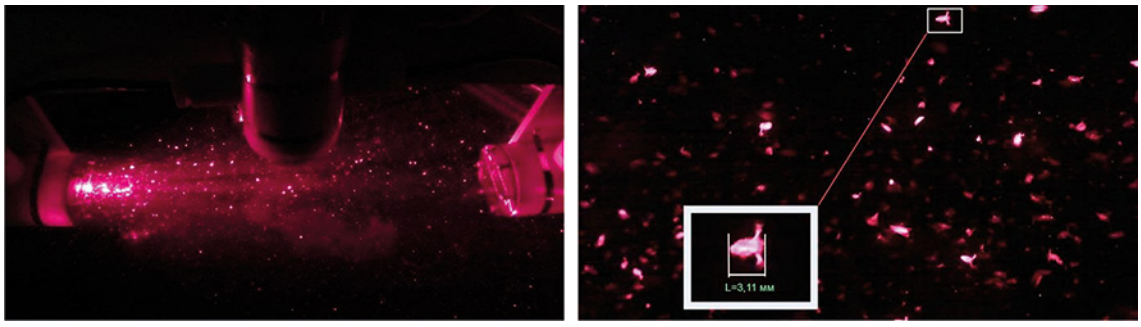


Рис. 11. Экспериментальная съёмка дафний в большом аквариуме

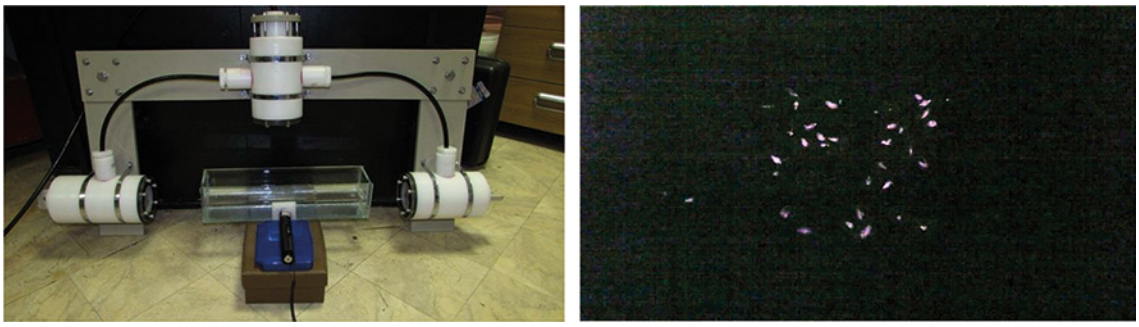


Рис. 12. Экспериментальная съёмка дафний в малом аквариуме

и предусмотренная в приборе плоскость красного излучения, которая при данном эксперименте включена не была. Данная экспериментальная установка показана на левой части рис. 12.

На правой части рис. 12 показано смонтированное для наглядности искусственное изображение из 10 кадров, сделанных прибором в реперном участке световой плоскости в малом аквариуме. Полученный результат подтверждает возможность использования лазерного ИК-излучения для замены красного. Вместе с тем, мощность использованного лазера оказалась мала, в связи с чем на объективе видеокамеры не устанавливался ИК-светофильтр, который ещё более снизил бы чувствительность камеры в данном эксперименте.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведённых экспериментальных исследований с разработанным прибором «КАРП» уточнены его конструктивные решения, в частности, в качестве осветителя для упрощения юстировки целесообразнее использовать только один лазер и необходимо использовать видеокамеру с возможностью неавтоматической фокусировки объектива.

Проведённые эксперименты позволили оценить минимальную размерную границу, при которой данный прибор способен зафиксировать объекты, размером менее 1 мм, типичные размеры которых составляли примерно 0,8 мм в длину и 0,2 мм в ширину. Вместе с тем, для регистрации объектов меньших размеров с необходимой чёткостью необходимо использовать модель видеокамеры с большим разрешением.

Полученные результаты экспериментов позволяют считать перспективным создание на основе исследуемого действующего макета конкретных приборов, которые могут использоваться в двух направлениях:

— для оценки размерно-количественных характеристик мезопланктона, как кормовой базы рыбных скоплений, на НИС [Буланова, 2016] в составе зондирующих или буксируемых комплексов на основе СТД-зондов, а также в системах прокачки забортной воды в качестве дополнительного измерителя;

— для полевых работ, связанных с промышленным разведением артемии в качестве полевого прибора.

В последнем случае требуются дополнительные исследования и эксперименты, так как, если в первом варианте в качестве излучателя достаточно мощности в 250 мВт красного лазера, то для второго варианта необходим достаточно мощный ИК-лазер, позволяющий освещать объекты в специфической водной среде на расстоянии до 350 мм.

ЛИТЕРАТУРА

Буланова Н.П. 2016. Новый шаг в оснащении современных зарубежных НИС — лазерные планктономеры и видеорегистраторы планктона // Морские суда для рыбопромысловых исследований 2010–2015 гг. М.: Изд-во ВНИРО. С. 180–182.

Левашов Д.Е., Буланова Н.П. 2020. Разработка экспериментальных технологических платформ и исследования на их основе с целью создания нового лазерного планктономера // Труды ВНИРО. Т. 182. С. 182–190

Левашов Д.Е., Буланова Н.П. 2014. Подводный видеорегистратор планктона. Патент РФ. № 148 827. Бюл. № 35.

Литвиненко Л.И., Бизиков В.А., Ковачева Н.П., Саенко Е.Н., Веснина Л.В., Куцанов К.В., Семик А.М., Паршин-Чудин А.В. 2019. Методические рекомендации по оценке запаса и прогнозированию рекомендованного объёма добычи (вылова) артемии. М.: ВНИРО. 50 с.

Поступила в редакцию 16.07.2020 г.
Принята после рецензии 02.10.2020 г.

DOI: 10.36038/2307-3497-2021-184-140-148

New plankton laser meter «KARP» — comprehensive autonomous plankton recorder

N.P. Bulanova[1],
D.E. Levashov[1],
P.V. Gaysky[2],
D.A. Ivaschenko[1],
L.I. Litvinenko[3],
K.V. Kutsanov[3]

[1] Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (VNIRO), Moscow, Russia

[2] Institute of Natural and Technical Systems («INTS»), Sevastopol, Russia

[3]Tyumen' branch of VNIRO (Gosrybtsentr), Tyumen', Russia

A prototype of a new laser plankton recorder was developed and tested. The device description is presented. The possibility of registering nauplii, cysts and mature individuals of artemia, fry of various species of fish and some species of plankton were investigated in fish tank and aquariums. The results of field tests of the model of the device in July 2019, carried out jointly with the specialists of the Tyumen branch of "VNIRO" on the Solyonoe Lake of the Tyumen Region, are presented. The impact of daylight on the layout was evaluated. Solutions have been proposed to minimize it. The preliminary results of the refinement of the device were shown and promising options for its use as an additional sensor in the probing and towed CTD complexes at the RV were proposed. The device is being developed to estimate the size and quantitative composition of mesoplankton, which is the food base of fish stocks as well as for the field research related to the industrial breeding of artemia.

Keywords: RV, CTD, mesoplankton, sensor, probe, laser, video camera, recorder, artemia, daphnia.

REFERENCES

Bulanova N.P. 2016. Novyj shag v osnashchenii sovremennykh zarubezhnykh NIS — lazernye planktonomery i videoregistratory planktona [Laser plankton meter and plankton video recorder — new step in modern foreign research vessels equipment] // Morskie suda dlya rybopromyslovykh issledovanij 2010–2015 gg. M.: Izd-vo VNIRO. S. 180–182.

Levashov D.E., Bulanova N.P. 2020. Razrabotka ehksperimental'nykh tekhnologicheskikh platform i issledovaniya na ikh osnove s tsel'yu sozdaniya novogo lazernogo planktonomera [Development of experimental technology platforms and research on their basis in order to create a new laser plankton meter] // Trudy VNIRO. T. 182. S. 182–190

Levashov D.E., Bulanova N.P. Podvodnyj videoregistrator planktona [Plankton underwater video recorder]. Patent na poleznuyu model'. Zayavka № 2014129440/28(047512) ot 18.07.2014.

Litvinenko L.I., Bizikov V.A., Kovacheva N.P., Saenko E.N., Vesnina L.V., Kutsanov K.V., Semik A.M., Parshin-Chudin A.V. 2019. Metodicheskie rekomendatsii po otsenke zapasa i prognozirovaniyu rekomendovannogo ob"ema dobychi (vylova) artemii [Methodological recommendations on stock assessment and forecasting of recommended catch (yield) of Artemia]. M.: VNIRO. 50 s.

FIGURE CAPTIONS

Fig. 1. View of the layout of unit for analyzing the spatial distribution of mesoplankton «КАРП»submersible device (left) and control unit (right)
Fig. 2. General view and size of the layout of the integrated autonomous plankton recorder
Fig. 3. Layout of the comprehensive autonomous plankton recorder «КАРП» in a tank with fish fry.
Fig. 4. Images obtained using the layout of the comprehensive autonomous plankton recorder «КАРП»
Fig. 5. Testing stand — working model of the device in a saltwater aquarium
Fig. 6. Experimental shooting of nauplii in a small aquarium
Fig. 7. Experimental shooting of nauplii in a large aquarium
Fig. 8. Experimental photos of nauplii
Fig. 9. The Solyonoe lake and a special pool for the incubation of Artemia cysts
Fig. 10. The device in the pool in the evening (а); a frame of the individual of artemia (б); a frame in daylight without a filter (в)
Fig. 11. Experimental shooting of daphnia in a large aquarium
Fig. 12. Experimental shooting of daphnia in a small aquarium

УДК 551.465 DOI: 10.36038/2307-3497-2021-184-149-158

Видеосистема для мониторинга зоопланктона и частиц взвеси

А.Л. Оленин[1],
И.Д. Бадюков[2],
Н.М. Коровчинский[3],
Е.А. Аистов[1]

[1] Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН (ФГБУН «ИО РАН»), г. Москва

[2] ООО «Экоскай»

[3] Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН (ФГБУН «ИПЭЭ РАН»), г. Москва

E-mail: olenin.al@ocean.ru

В настоящее время измерение вертикальной структуры распределения частиц взвеси выполняют с помощью трудоёмких методов с использованием пробоотбора планктонными сетями или батометрами с последующим визуальным микроскопическим исследованием проб в условиях лаборатории. Для проведения оперативного мониторинга акваторий (экологические и рыбохозяйственные задачи) актуальна видеорегистрация планктона и иных частиц взвеси с передачей изображения в реальном времени оператору. Цветные изображения in situ, полученные с борта судна с помощью зондирующего устройства на грузонесущем кабеле позволяют быстро оценивать концентрацию частиц на горизонтах, визуально селектировать зоо- и фитопланктон. Приводится анализ существующей в настоящее время аппаратуры для регистрации изображений планктона, указаны её недостатки и описывается собственный опыт разработки и результаты испытаний созданной при этом оригинальной видеорегистрирующей аппаратуры. Описана конструкция погружаемой видеосистемы высокого разрешения (2048x1536 пикселей) с оригинальной осветительной системой со стержневыми светильниками на основе мощных белых светодиодов, мгновенно регистрируемый объем воды 150 кубических сантиметров. Показаны примеры регистрации изображений культивированных пресноводных дафний в лабораторных условиях. Приведены результаты работы с камерой в октябре 2019 года на Гидробиологической станции ИПЭЭ РАН (оз. Глубокое, Рузский район Московской области) с получением цветных изображений взвеси до глубины 30 м с одновременным измерением температуры и концентрации растворённого в воде кислорода. Последующей визуальной обработкой полученных на разных глубинах изображений получен оценочный профиль распределения зоопланктона по глубине. Результатом исследований, лабораторных и натурных испытаний стало создание системы оперативной мониторинговой видеосъёмки, позволяющей проводить визуальные исследования планктона in situ, показаны пути улучшения характеристик системы.

Ключевые слова: зоопланктон, взвесь, мониторинг, видеосъёмка, видеокамера, осветитель, дафния.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время измерение вертикальной структуры распределения частиц взвеси производится с помощью отработанных, но трудоёмких методов с использованием пробоотбора планктонными сетями или батометрами с последующим визуальным микроскопическим исследованием проб в условиях лаборатории.

Изучение особей зоопланктона обычно происходит в лабораторных условиях. Для отбора проб традиционно используют планктонные сети. При этом осуществляют вертикальное зондирование водной толщи мелкоячеистой сетью и все взвешенные частицы, задержанные ею, собирают в специальный стакан. Его содержимое затем исследуется в лаборатории с помощью микроскопа. Так определяют видовой состав и распределение зоопланктона по горизонтам [Виноградов, 1983].

Для проведения оперативного мониторинга акваторий (экологические и рыбохозяйственные задачи) актуальна видеорегистрация планктона и иных частиц взвеси с передачей изображения в реальном времени оператору. Качественные цветные изображения in situ, полученные с борта судна с помощью зондирующего устройства на грузонесущем кабеле позволяют быстро оценивать концентрацию частиц на горизонтах, визуально селектировать зоо- и фитопланктон, при-

нимать решения о применении других методов исследований (прицельных ловов с выявленных горизонтов и т. п.)

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

С целью обеспечения исследований в режиме непрерывного зондирования к настоящему моменту разными исследователями были предложены различные технические решения. В частности, разработаны специальные счётчики планктона типа ТРАП [Левашов, 2003; Levashov, Mikheychic, 2004], позволяющие подсчитывать размерно-количественные характеристики частиц, проходящих через измерительную камеру, однако эти приборы регистрировали лишь тени от частиц, а не их изображения, что могло приводить к ошибкам.

Наиболее перспективными представляются устройства подводного видеонаблюдения, позволяющие регистрировать изображения зоопланктона непосредственно в местах его обитания. Например, известна система, которая может осуществлять видеосъёмку частиц в составе океанологического зонда-розетты. Частицы регистрируются при их проходе через измерительную камеру прибора [Picheral, Guidi, 2010]. Однако в данном приборе использовано монохромное освещение, малое количество осветителей, что делает невозможным получение качественного цветного изображения частиц.

Известна также система [Задереев, Толомеев, 2013] для определения вертикального распределения и размерной структуры зоопланктона, состоящая из погружаемого блока, включающего: цифровую цветную видеокамеру, лазерный модуль, гидростатический датчик глубины, и регистрирующего компьютера. Элементы погружаемого блока закреплены на треножном штативе. В верхней части штатива располагается направленная вниз видеокамера, помещённая в водонепроницаемый бокс с обзорным окном. Опоры штатива служат для крепления гидростатического датчика глубины и лазерного модуля, которые располагаются на одном уровне. Видеокамера и датчик глубины соединены с регистрирующим компьютером комбинированным кабелем. По кабелю осуществляется передача видеоданных и управление видеокамерой, передача сигнала с датчика глубины, а также питание видеокамеры и лазерного модуля. Лазерный модуль крепится на штативе таким образом, чтобы генерируемая лазерная плоскость была перпендикулярна главной оптической оси объектива видеокамеры, а зона видимости камеры находилась внутри границ лазерной плоскости. Расстояние от объектива камеры до лазерной плоскости выбирается с таким расчётом, чтобы исследуемые объекты, находящиеся на этом расстоянии, были достаточно хорошо различимы на видеокадрах с целью последующего определения их размера.

Недостатком системы является чёрно-белый характер изображения и очень малая глубина резкости из-за подсветки монохромным плоским лазерным пучком.

Разработка видеорегистрирующей аппаратуры (как дальнейшее развитие регистраторов, основой которых были приборы ТРАП) выполняется во ВНИРО [Левашов, Буланова, 2014].

Интересным современным методом регистрации частиц и зоопланктона является цифровая лазерная голография [Дёмин, 2008, 2018; Katz, 2010]. Однако получаемые с её помощью двумерные изображения частиц являются монохромными цифровыми реконструкциями, полученными вычислительным способом из зарегистрированной голографической картины исследуемого объёма и потому непривычны для оператора, привыкшего к реальным изображениям. Таким образом, в настоящее время, несмотря на высокий уровень развития цифровой видеотехники, отсутствуют реальные инструментальные средства для качественного оперативного цветного видеонаблюдения частиц взвеси.

Работа с камерами для видеосъёмки планктона начата нами в 2008 году в рамках выполнения проекта НИОКР по теме «Многоканальный гидролого-оптико-химический комплекс для проведения океанологических и экологических исследований на подвижных измерительных платформах» из целевой научно-технической программы «Разработка уникальных научно-исследовательских приборов и оборудования для учреждений РАН», утверждённой Президентом РАН 27.03.2008 г. Созданная регистрирующая камера описана в [Смирнов, 2014, 2015]. Камера устанавливалась на погружаемый зонд измерительно-технологической платформы, позволяющей опускать её на заданную глубину с передачей изображений по оптико-волоконному кабелю на борт исследовательского судна. Недостатками камеры являлись: низкое разрешение 1,3 Мп, размеры резко изображаемого объёма 1,5×1,5×1,5 см, отсутствие схемы управления временем экспозиции. Это приводило к плохому

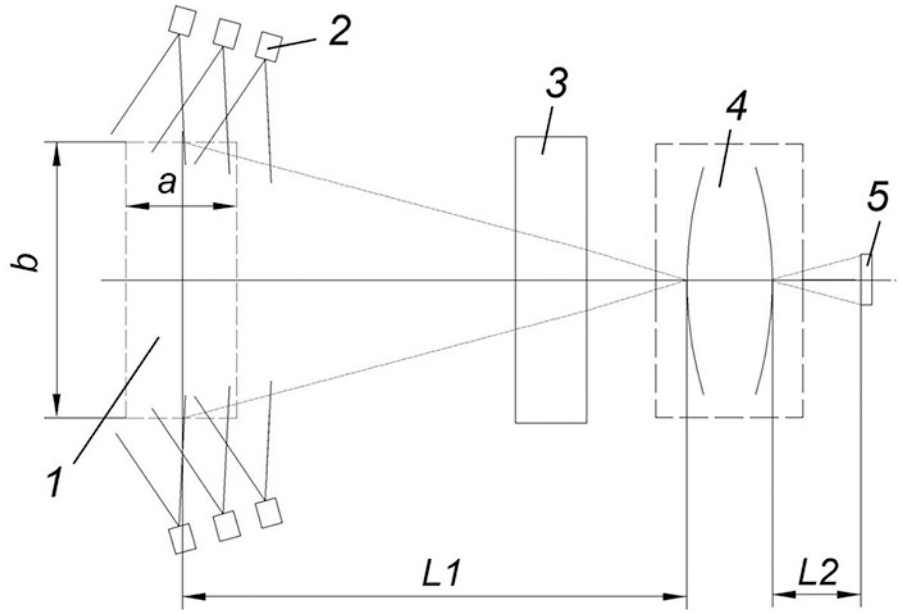


Рис. 1. Схема регистрации частиц и зоопланктона погружаемой телевизионной камерой:
1 — регистрируемый объём воды; 2 — светодиодные светильники; 3 — иллюминатор прочного глубоководного корпуса камеры; 4 — объектив; 5 — матрица телевизионной камеры

качеству изображения и его смазыванию при попытках делать снимки при высоком увеличении.

В 2017–2019 гг. мы провели дополнительные исследования и разработки с целью создать более совершенную видеосистему высокого разрешения. В общем случае схема регистрации выглядит согласно рис. 1.

Ранее, работая в режиме макросъёмки с увеличением наблюдаемых предметов близким к 1 (фактически, при диагонали матрицы камеры, равной 1/2 дюйма (12 мм) мы имели диагональ регистрируемого в воде прямоугольного поля зрения равной примерно 15 мм. Однако глубина резкости при этом, даже при сильном диафрагмировании объектива, составляет буквально единицы или доли миллиметров.

В настоящее время мы используем видеосистему с увеличением от 0,1 до 0,05, что позволяет увеличить глубину резкости до 3–5 см. Применение в камере матрицы высокого разрешения позволяет не потерять качество изображения мелких деталей зоопланктона. Особое внимание мы уделяем системе освещения измеряемого объёма.

Общий вид видеосистемы показан на рис. 2. Она состоит из прочного глубоководного корпуса с иллюминатором, внутри которого установлена промышленная камера технического зрения VCXG-32C (матрица формата 1/1,8" разрешением 3,1 мегапикселей (2048×1536 пикселя), тип затвора глобальный, время экспозиции кадров задаётся оператором, интерфейс Ethernet 1Gb).



Рис. 2. Общий вид видеосистемы для мониторинга зоопланктона и частиц взвеси

Перед иллюминатором смонтирована оригинальная осветительная система, состоящая из нескольких выполненных в глубоководном исполнении прозрачных стержневых светильников, содержащих мощные светодиоды белого свечения. Их преимущество состоит в малых гидродинамических завихрениях регистрируемого объёма при высоком уровне распределённого светового потока, создающего мало теней. Элементы новиз-

ны технических решений оформляются в настоящее время в виде заявки на патент РФ на устройство. Светильники с помощью единого кабеля с герморазъёмом могут быть подключены к прочному глубоководному корпусу блока питания. Сигнал от камеры с помощью герметичного кабеля Ethernet 1Gb может быть передан на зонд и далее по оптико-волоконной линии на борт судна исследователю.

Регистрируемый видеосистемой объём воды условно показан на рис. 3, 4, он имеет основание 50×70 мм, величина объёма 150 см^3 (0,15 литра), разрешающая способность внутри регистрируемого объёма равна 0,04 мм), таким образом, могут быть хорошо зарегистрированы объекты размерами от 0,5 мм и выше.

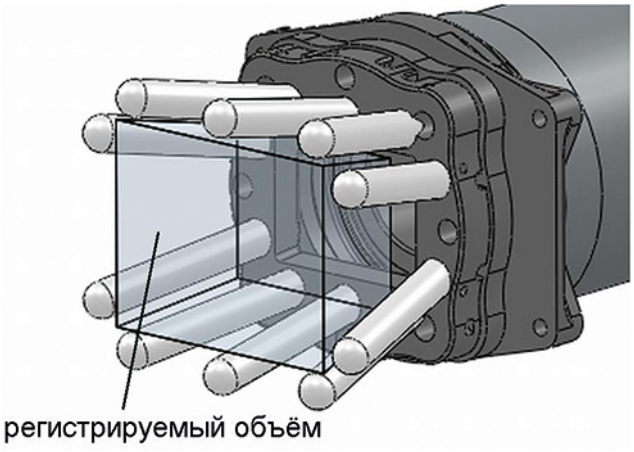


Рис. 3. Объём воды, регистрируемый видеосистемой

На рис. 4 а, б показана регистрация пресноводных дафний в лабораторных условиях. Видеосистема была установлена в бак с пресной водой, куда были помещены культивированные дафнии. Привлекаемые светом от стержневых светильников, дафнии попадали в поле зрения камеры (дафний видно около светильников на рис. 4 б).

Фотографии дафний, полученные видеосистемой, показаны на рис. 5 а, б. Таким образом, она показала способность регистрировать частицы и давать изображение, пригодное для визуальной идентификации частиц.

Натурные испытания видеосистемы для мониторинга зоопланктона и частиц взвеси выполнены нами 9–10 октября 2019 г. на Гидробиологической станции оз. Глубокое ИПЭЭ РАН Рузский район Московской области. Общий вид системы показан на рис. 6.

Видеосистема мониторинга включает в себя:
- несущая рама
- камера со стержневыми светильниками
- блок связи и питания
- грузонесущий Ethernet-кабель длиной 35 м
- судовой блок управления
- ноутбук с программным обеспечением (ПО).

Блок связи и питания содержит литий-железо-фосфатный аккумулятор, цепи формирования питающего напряжения для камеры и силовое реле для включения светодиодных светильников камеры. Включение светильников производится кнопкой с судового блока управления. Блок связи и питания содержит также

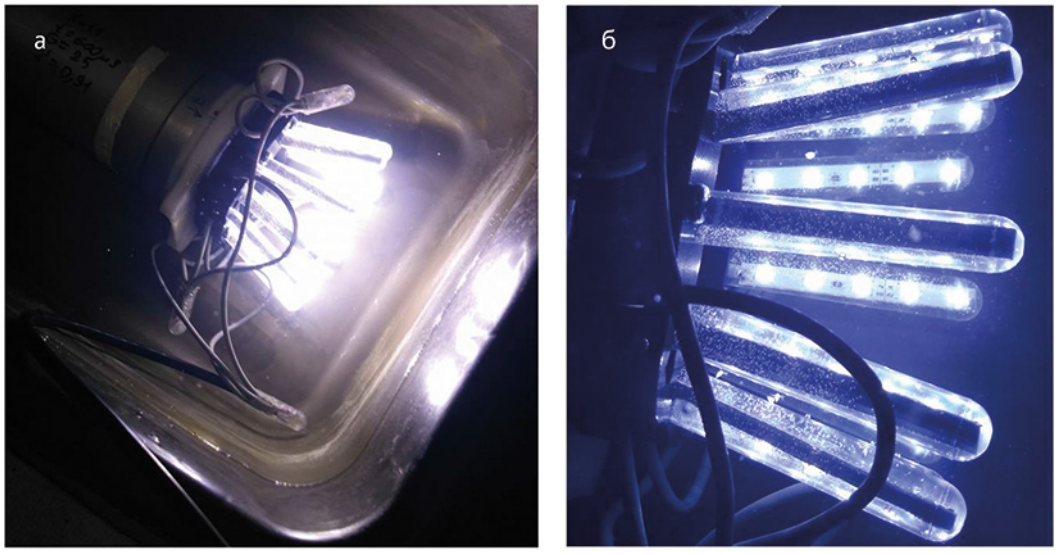


Рис. 4. Регистрация пресноводных дафний в лабораторных условиях

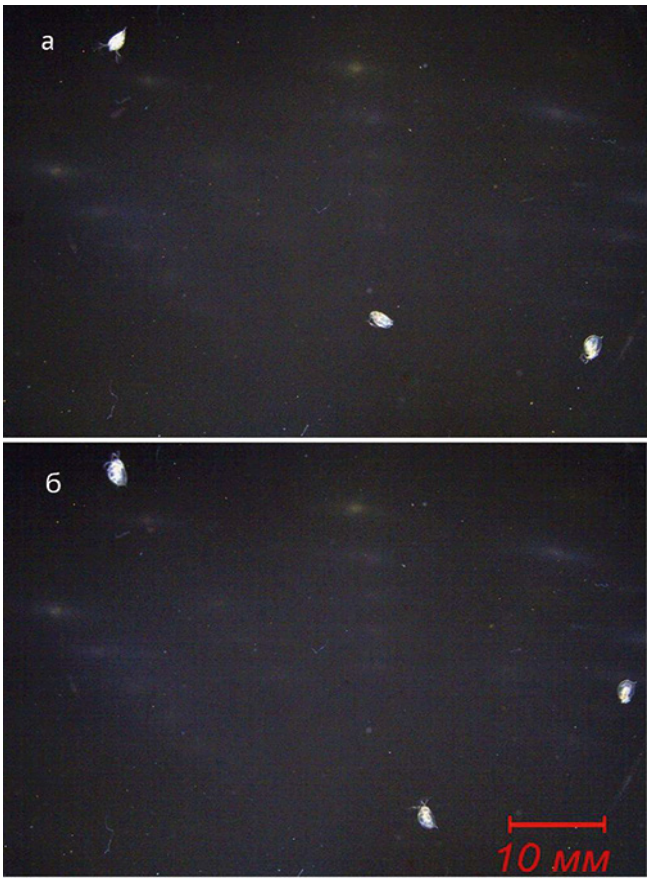


Рис. 5. Фото дафний, полученные камерой со стержневыми светильниками в лабораторных условиях

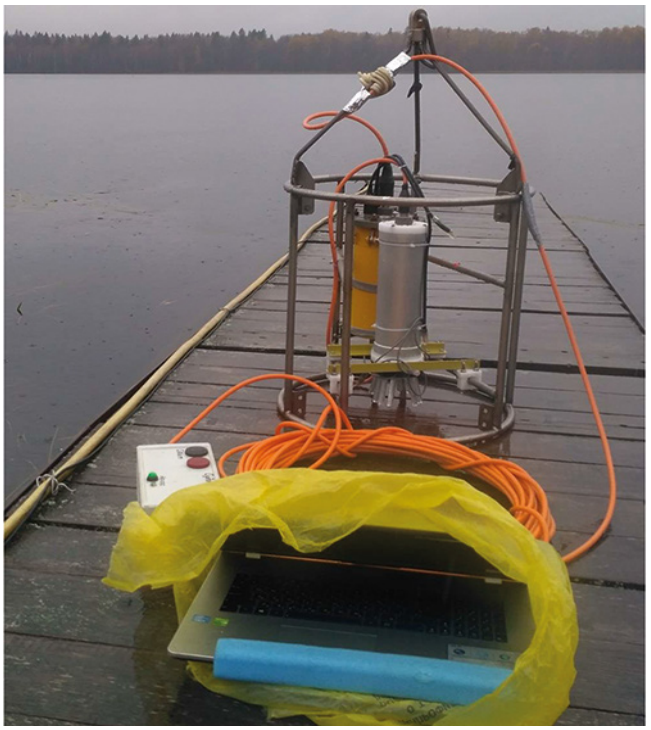


Рис. 6. Общий вид видеосистемы для мониторинга зоопланктона и частиц взвеси при работе на Гидробиологической станции ИПЭЭ РАН

цифровой датчик гидростатического давления и оптико-волоконный модем. Это позволяет подключать видеосистему через оптико-волоконный кабель-трос для погружения на глубину 200 м с измерением глубины. При работе на оз. Глубокое датчик давления не задействовался (глубина определялась по цветным меткам, нанесённым через каждый метр на грузонесущем кабеле), а передача данных выполнялась по интерфейсу 1 Gb по грузонесущему кабелю с витыми парами.

Программное обеспечение отображает текущее изображение с камеры и по нажатию кнопки на экране сохраняет изображения разрешением 2048×1536 или записывает последовательность таких изображений со скоростью 5–10 к/сек длительностью 10–500 кадров для последующего воспроизведения в режиме мультипликации.

Работа выполнялась с вёсельной лодки. После постановки на якорь в точке с глубиной около 30 м с помощью портативного погружаемого термооксиметра Марк-303 (ООО ВЗОР, Нижний Новгород) были промерены профили температуры и растворённого кислорода (приведены в табл. 1 и рис. 12). Далее последовательно на глубинах 1, 4, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 21, 23, 25, 27, 29, 30 метров записывались серии одиночных фото с частотой около 1 к/сек.

Визуальный анализ фото на экране ноутбука в процессе погружения показал, что до глубины примерно 10 м встречалось достаточно много зоопланктона и мелкой взвеси, в том числе, по всей видимости, фитопланктона. Ниже глубины

Таблица 1. Температура и растворённый кислород, оз. Глубокое. 12:45. 10.10.2019

Глубина, м	Температура, °С	Кислород, мг/л
0,5	8,8	8,21
1	8,8	7,97
2	8,8	7,94
3	8,8	7,93
4	8,8	7,94
5	8,8	7,93
6	8,8	7,91
7	8,8	7,84
8	8,7	7,82
9	8,6	7,20
10	6,7	4,27
15	4,1	0,0965
20	4,1	0,0511
25	4,0	0,05

10 м резко уменьшилось количество зоопланктеров, что очевидно связано с соответствующим измеренным резким падением концентрации растворённого кислорода. На рис. 7–11 приведены характерные примеры изображений, полученных при погружении.

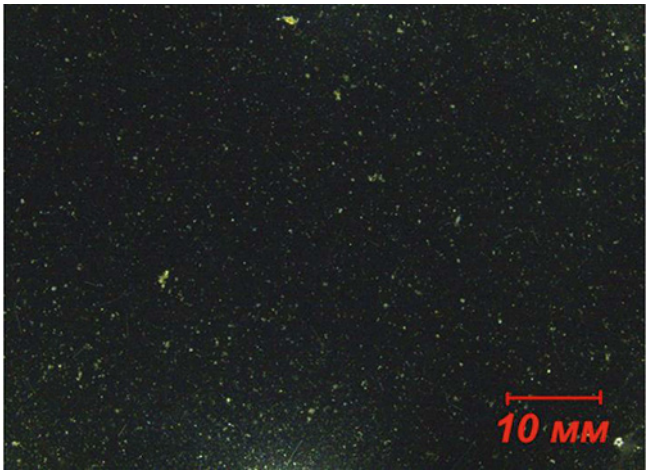


Рис. 7. Снимок на глубине 4 метра, температура 8,8 °С, кислород 7,94 мг/л

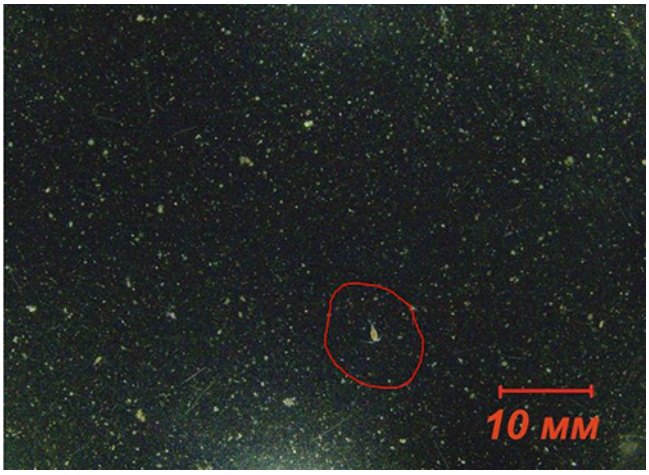


Рис. 8. Снимок на глубине 8 метров, температура 8,7 °С, кислород 7,82 мг/л, красным обведены организмы зоопланктона

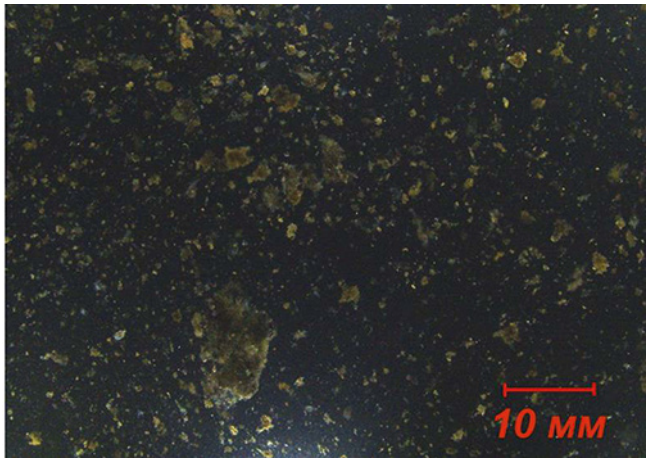


Рис. 11. Снимок на глубине 28 метров, частицы донных отложений, поднятые со дна приближением рамы погружаемого устройства, температура 4,0 °С, кислород 0,05 мг/л

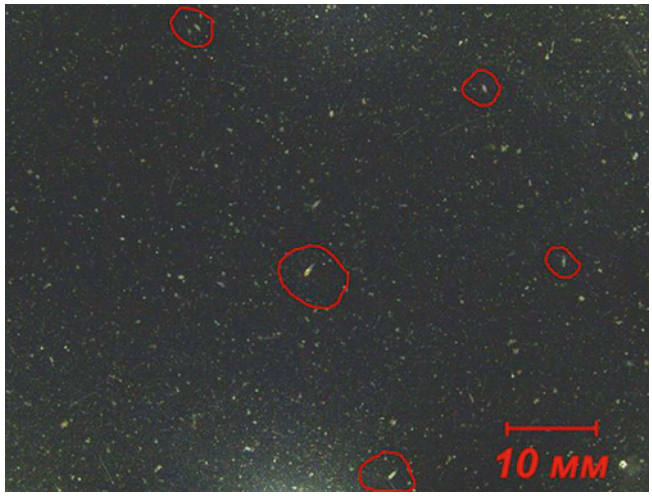


Рис. 9. Снимок на глубине 9 метров, температура 8,6 °С, кислород 7,2 мг/л; красным обведены организмы зоопланктона

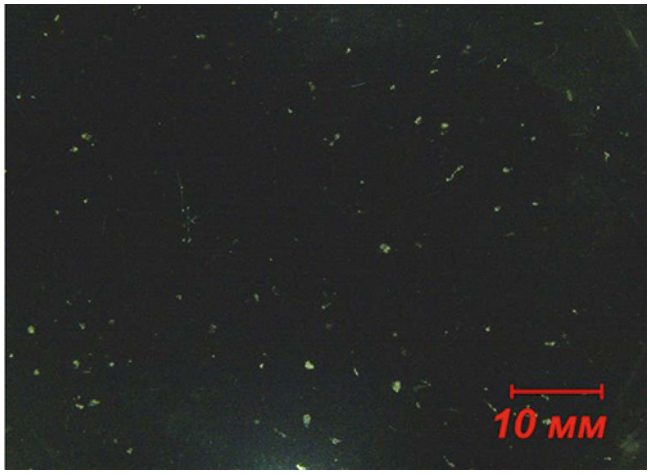


Рис. 10. Снимок на глубине 20 метров, температура 4,1 °С, кислород 0,0511 мг/л

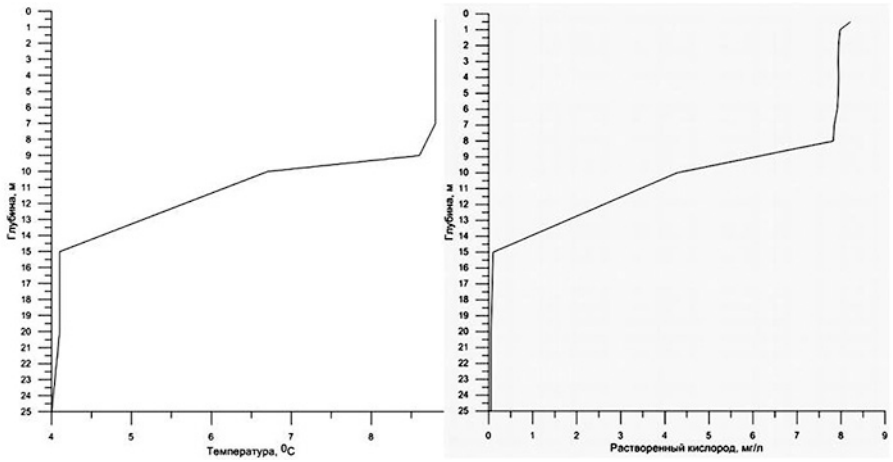


Рис. 12. Профили температуры и растворённого кислорода, оз. Глубокое 12:45. 10.10.2019

Отметим, что размер линейного поля в пространстве предметов (в воде) на рис. 7–11 равен 50×70 мм, т. е. мы видим увеличенное изображение регистрируемого объёма воды.

Обработкой изображений, полученных видеорегистрацией частиц взвеси построен оценочный профиль распределения зоопланктона по глубине на оз. Глубокое 10.10.2019 г. На каждом горизонте было выбрано по 18 изображений, на каждом из которых визуально подсчитано количество зоопланктеров (на изображениях встречалось от 0 до 6 зоопланктеров, т. е. столько их встречалось на объем 0,15 л) и затем взято среднее по всем 18. Профиль этой средней концентрации, пересчитанный с объёма 0,15 л на 1 м^3 представлен на рис. 13.

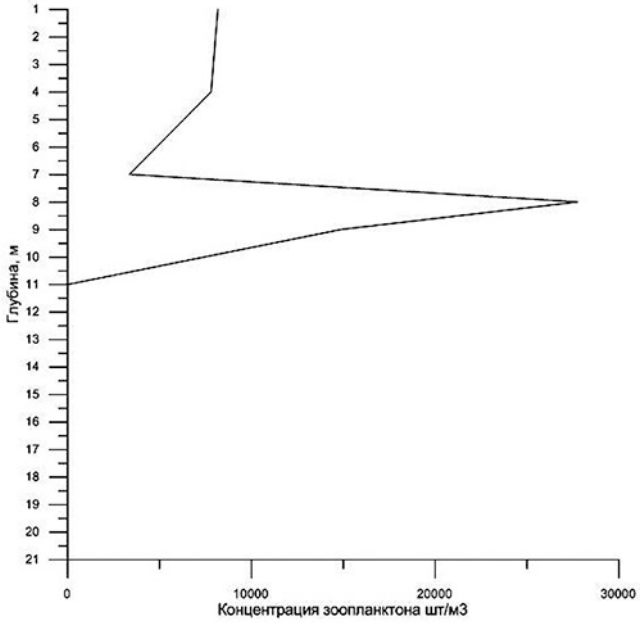


Рис. 13. Оценка концентрации зоопланктона

Общую концентрацию частиц необходимо подсчитывать автоматически без распознавания с использованием плагинов на Java или OpenCV, на данном этапе эту работу мы не проводили.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведённой работы создана видеосистема для мониторинга зоопланктона и частиц взвеси, позволяющая проводить оперативные визуальные исследования in situ. Использование оригинальной осветительной системы позволяет получать цветное изображение частиц планктона, что обеспечивает более удобную визуальную селекцию частиц разных типов. Данной камерой разрешением 3 Мп наиболее эффективно наблюдать непрерывно поступающие изображения с конкретного горизонта глубины в реальном времени (или просматривать запись мультипликации из последовательности кадров) когда видны движения зоопланктеров. Одиночные изображения позволяют оценивать общую концентрацию частиц и оценивать типы крупных экземпляров планктона. Общую концентрацию частиц возможно подсчитывать автоматически без распознавания с использованием самостоятельно написанных плагинов на Java или иных языках программирования с использованием библиотек OpenCV.

Намечены пути улучшения работы системы:

– необходимость увеличения разрешающей способности камеры

– устранение выявленных остаточных паразитных засветок

– конструкторская перекомпоновка системы с целью уменьшения размеров

–использование оптико-волоконной линии передачи с подключением гидрофизических датчиков и проведение исследований в условиях морской экспедиции.

Данная работа показывает правильность и реализуемость обозначенных требований к видеосистеме для оперативного мониторинга зоопланктона и частиц взвеси.

ЛИТЕРАТУРА

Виноградов М.Е. (Ред.) 1983. Современные методы количественной оценки распределения морского планктона. М.: Наука, 279 с.

Дёмин В.В., Оленин А.Л., Половцев И.Г., Каменев Д.В., Козлова А.С., Ольшуков А.С. 2018. Морские испытания цифрового голографического модуля с использованием измерительно-технологической платформы // Океанология. Т. 58. № 5. С. 817–828.

Дёмин В.В., Ольшуков А.С., Наумова Е.Ю., Мельник Н.Г. 2008. Цифровая голография планктона // Оптика атмосферы и океана. Т. 64. № 12. С. 1089–1095.

Задереев Е.С., Толомеев А.П. 2013. Способ определения вертикального распределения и размерной структуры зоопланктона в водоёме: Патент РФ RU2495451. Бюл. № 28.

Левашов Д.Е. 2003. Техника экспедиционных исследований: Инструментальные методы и технические средства оценки промыслово-значимых факторов среды М.: Изд-во ВНИРО. 400 с.

Левашов Д.Е., Буланова Н.П. 2014. Подводный видеорегистратор планктона. Патент на полезную модель РФ № RU148827 U1, заявл. 18.07.2014. Бюл. № 35.

Смирнов Г.В., Матишов Г.Г., Оленин А.Л., Аистов Е.А., Григоренко К.С., Степаньян О.В. 2014. Морские испытания многоканальной измерительно-технологической платформы // Вестник ЮНЦ Т. 10. № 3. С. 54–60.

Смирнов Г.В., Оленин А.Л. 2015. Зонд гидролого-оптико-химический. Патент РФ RU2551670, заявл. 19.08.2013. Бюл. № 15.

Katz J., Sheng J. 2010. Application of Holography in Fluid Mechanics and Particle Dynamics // Annu. Rev. Fluid Mechanics. V. 42. P. 531–555.

Levashov D.E., Mikheychic P.A., Sedov A. Yu., Kantakov G.A., Voronkov A.P. 2004. Laser plankton meter TRAP-7A, a new sensor for CTD probing // Sea Technology. 45 (2). 61–65.

Picheral M., Guidi L., Stemmann L., Karl D.M., Iddaoud G., Gorsky G. 2010. The Underwater Vision Profiler 5: An advanced instrument for high spatial resolution studies of particle size spectra and zooplankton // Limnol. Oceanogr.: Methods, 8, 462–473.

Поступила в редакцию 13.08.2020 г.
Принята после рецензии 02.10.2020 г.

DOI: 10.36038/2307-3497-2021-184-149-158

Video system for monitoring zooplankton and suspended particles

A.L. Olenin[1],
I.D. Badyukov[2],
N.M. Korovchinskij[3],
E.A. Aistov[1]

[1] P.P. Shirshov Institute of Oceanology RAS («SIO RAS»), Moscow, Russia

[2] «EcoSky» LLC

[3] A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution RAS («SIEE RAS»), Moscow, Russia

At present, the measurement of the vertical structure of the distribution of particulate matter is performed using labor-intensive methods using sampling with plankton nets or bathometers, followed by visual microscopic examination of samples in a laboratory. For real-time monitoring of water areas (ecological and fishery tasks), video recording of plankton and other particulate matter with real-time image transmission to the operator is relevant. Colored in situ images obtained from a ship using a probe on a carrying cable make it possible to quickly estimate the concentration of particles at the horizons, and visually select zoo and phytoplankton. An analysis of the currently existing equipment for recording plankton images is given, its shortcomings are indicated, and our own experience in the development and test results of the original video recording equipment created in this case is described. The design of a high-resolution submersible camera (2048x1436 pixels) with an original lighting system with rod lamps based on powerful white LEDs, an instantly recorded volume of 150 cubic centimeters, is described. Examples of registration of images of cultured freshwater daphnia in laboratory conditions are shown. The results of work with the camera in October 2019 at the Hydrobiological Station of A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution (Lake Glubokoe, Ruzsky District of the Moscow Region) with obtaining color images of suspended matter to a depth of 30 m with simultaneous measurement of the temperature and concentration of oxygen dissolved in water are presented. By subsequent visual processing of the images obtained at different depths, an estimated profile of the distribution of zooplankton in depth was obtained. The result of research, laboratory and field tests was the creation of an operational monitoring video recording system that allows visual studies of plankton in situ; ways to improve the characteristics of the system are shown.

Keywords: zooplankton, suspension, monitoring, video recording, video camera, lamp, daphnia.

REFERENCES

Vinogradov M.E. (Red.) 1983. Sovremennye metody kolichestvennoj ocenki raspredeleniya morskogo planktona [Modern methods for quantifying the distribution of marine plankton] M.: Nauka, 279 s.

Dyomin V.V., Olenin A.L., Polovcev I.G., Kamenev D.V., Kozlova A.S., Ol'shukov A.S. 2018. Morskie ispytaniya cifrovogo golograficheskogo modulya s ispol'zovaniem izmeritel'no-tekhnologicheskoj platformy [Marine tests of a digital holographic module using a measuring and technological platform] // Okeanologiya. T. 58. № 5. S. 817–828.

Dyomin V.V., Ol'shukov A.S., Naumova E. Yu., Mel'nik N.G. 2008. Cifrovaya golografiya planktona [Digital holography of plankton] // Optika atmosfery i okeana. T. 64. № 12. S. 1089–1095.

Zadereev E.S., Tolomeev A.P. 2013 Sposob opredeleniya vertikal'nogo raspredeleniya i razmernoj struktury zooplanktona v vodoyome [Method for determining the vertical distribution and size structure of zooplankton in a reservoir]. Patent RF RU2495451 Byul. № 28.

Levashov D.E. 2003. Tekhnika ekspedicionnyh issledovanij: Instrumental'nye metody i tekhnicheskie sredstva ocenki promyslovo-znachimyh faktorov sredy [Technique of expeditionary research: Instrumental methods and technical means of assessing field-significant environmental factors] M.: Izd-vo VNIRO. 400 s.

Levashov D.E., Bulanova N.P. Podvodnyj videoregistrator planktona [Plankton Underwater Video Recorder]. Patent na poleznuyu model' № RU148827 U1, priority 18.07.2014. Byul. № 35.

Smirnov G.V., Matishov G.G., Olenin A.L., Aistov E.A., Grigorenko K.S., Stepanyan O.V. 2014. Morskie ispytaniya mnogokanal'noj izmeritel'no-tekhnologicheskoj platformy [Marine tests of a multichannel measuring and technological platform] // Vestnik YNC. T. 10. № 3. S. 54–60.

Smirnov G.V., Olenin A.L. 2015. Zond gidrologo-optiko-himicheskij [Hydrological-optical-chemical probe]. Patent RF RU2551670, priority 19.08.2013. Byul. № 15.

Katz J., Sheng J. 2010. Application of Holography in Fluid Mechanics and Particle Dynamics // Annu. Rev. Fluid Mechanics. V. 42. P. 531–555.

Levashov D.E., Mikheychic P.A., Sedov A. Yu., Kantakov G.A., Voronkov A.P. 2004. Laser plankton meter TRAP-7A,

a new sensor for CTD probing // Sea Technology. 45 (2). 61–65.

Picheral M., Guidi L., Stemmann L., Karl D.M., Iddaoud G., Gorsky G. 2010. The Underwater Vision Profiler 5: An advanced instrument for high spatial resolution studies of particle size spectra and zooplankton // Limnol. Oceanogr.: Methods, 8, 462–473.

TABLE CAPTIONS

Table 1. Temperature and dissolved oxygen, Glubokoe Lake 12:45 10.10.19

FIGURE CAPTIONS

Fig. 1. Scheme of registration of particles and zooplankton by a submersible television camera: 1 — recorded volume of water; 2 — LED lamps; 3 — porthole of a durable deep-sea camera body; 4 — lens; 5 — matrix of a television camera

Fig. 2. General view of the video system for monitoring zooplankton and particulate matter

Fig. 3. Volume of water recorded by the video system

Fig. 4. Registration of freshwater daphnia in laboratory conditions

Fig. 5. Photos of daphnia obtained by a camera with rod lamps in laboratory conditions

Fig. 6. General view of the video system for monitoring zooplankton and particulate matter during operation at the Hydrobiological Station IPEE RAS

Fig. 7. Snapshot at a depth of 4 meters, temperature 8.8 °C, oxygen 7.94 mg/l

Fig. 8. Image at a depth of 8 meters, temperature 8.7 °C, oxygen 7.82 mg/l, zooplankton organisms are circled in red

Fig. 9. Snapshot at a depth of 9 meters, temperature 8.6 °C, oxygen 7.2 mg/l; zooplankton organisms are circled in red

Fig. 10. Snapshot at a depth of 20 meters, temperature 4.1 °C, oxygen 0.0511 mg/l;

Fig. 11. Photo at a depth of 28 meters, particles of bottom sediments raised from the bottom by approaching the submerged device frame, temperature 4.0 °C, oxygen 0.05 mg/l

Fig.12. Profiles of temperature and dissolved oxygen, Glubokoe Lake 12:45 10.10.19

Fig. 13. Assessment of zooplankton concentration

УДК 628.1 DOI: 10.36038/2307-3497-2021-184-159-168

Биоэлектронная автоматическая станция для контроля состояния водной среды в аквакультуре

В.А. Гайский[1],
П.В. Гайский[2]

[1] Институт природно-технических систем (ФГБНУ «ИПТС»), г. Севастополь

[2] Морской гидрофизический институт РАН (ФГБУН «МГИ» РАН), г. Севастополь

E-mail: gaysky@inbox.ru

На основании опыта разработки и сопровождения океанографического измерительного оборудования сформулировано предложение по созданию комплекса автоматической прибрежной станции, обладающей высокой автономностью и надёжностью при длительном использовании в морских и пресноводных акваториях для оперативного экологического мониторинга прибрежных зон и на фермах аквакультуры. В предлагаемый состав оборудования станции входят биоэлектронный комплекс на базе аборигенных двустворчатых моллюсков и распределённый датчик температуры, измеряющий вертикальный профиль температуры и динамику его изменчивости. Особенностью такой компоновки системы являются высокая надёжность по функционированию погружных узлов и метрологическая стабильность измерительных каналов при длительной эксплуатации в натурных условиях без обслуживания на протяжении срока более года, что позволяет избежать постоянных затрат на сопровождение. Таким образом, могут быть обеспечены долговременный оперативный автоматический контроль значимых гидрологических параметров среды и обобщённая индикация экологического состояния акватории на основе анализа реакций двустворчатых моллюсков как биодатчиков.

Ключевые слова: аквакультура, двустворчатые моллюски, биомониторинг, термопрофилемер, мидия.

ВВЕДЕНИЕ

Создание гидролого-гидрохимических измерительных комплексов для береговой зоны с постановкой на заякоренных буях, платформах, вехах и пирсах является актуальной задачей для организации телеметрических наблюдений как в сферах жизнедеятельности человека (экология, метеорология), так и в научно-исследовательских и промысловых целях. Однако многие вопросы длительного сопровождения и финансовой поддержки таких систем контроля не решены. Перечень измеряемых параметров является открытым, но большинство погружных химических и оптических датчиков подвержены естественному обрастанию и загрязнению чувствительных элементов, поэтому требуют постоянного обслуживания и периодической метрологической поверки. Измерительная информация на одном горизонте (глубине) — не достаточна для оценки физических процессов в водной среде, а сканирование (зондирование) по глубине требует сопровождения и дополнительной дорогостоящей механической аппаратуры, которая в свою очередь имеет свой ресурс. В сложившихся условиях необходимо создание и использование надёжных и автономных при длительной эксплуатации средств контроля in situ, обеспечивающих комплексную оперативную оценку состояния среды. Такие системы, прежде всего, могут быть востребованы на прибрежных фермах аквакультуры двустворчатых моллюсков, поскольку кроме телеметрических экологических данных позволят одновременно изучать процессы жизнедеятельности выращиваемых организмов. Что в конечном итоге обеспечит увеличение продуктивности и развитие современного подхода к разведению мидий и устриц [Холодов, 2017].

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В 2008 году в рамках НИОКР с Гидрометслужбой были разработаны, изготовлены и аттестованы комплексы морской прибрежной гидрологической станции (МПГС) [Гайский, Забурдаев, 2011], предназначенной для контроля гидролого-гидрохимических (температура, солёность, растворённого кислорода, pH), оптических (прозрач-

ность) и гидрофизических (уровень, параметры поверхностного волнения) параметров. Пятилетний опыт сопровождения МПГС на океанографической платформе в пгт Кацивели (Южный берег Крыма) показал, что в зависимости от сезонных и погодных условий измерительные модули станции подвержены различному по интенсивности биологическому обрастанию (рис. 1). В результате — метрологические характеристики оптических и химических каналов ухудшаются в десятки раз. В среднем необслуживаемый срок службы модуля прозрачномера составил 2–3 недели, канала pH и растворенного в воде кислорода — 1 мес., датчика электрической проводимости и акустического измерителя — 2 мес. Химическая защита и механическая очистка сенсоров не даёт ощутимого результата, а в некоторых случаях, вообще не применима.

Требования к постоянному обслуживанию подобных измерителей специалистами делает их невостребованными в коммерческом плане при создании систем контроля параметров водной среды в полевых условиях.

В то же время существуют измерительные системы, надёжность и долговечность которых позволяют обеспечить часть автоматического контроля без сопровождения на срок более года.

Проводимые нами с 2008 года на морских и пресноводных объектах исследования с использованием разработанных биоэлектронных измерительных комплексов на базе двустворчатых моллюсков [Гайский, Трусевич, 2014] показали их эффективность и целесообразность для использования в качестве оперативных индикаторных средств контроля внезапных и хронических отравляющих загрязнений. Наиболее длительные непрерывные автономные наблюдения без обслуживания с одной референтной группой [Холодкевич, 2010; Гудимов, 2016] на приборе в морской воде и в речке проводились нами 6 и 22 месяца (рис. 2) соответственно. Многолетние исследования позволили изучить на базе створочной активности особенности жизнедеятельности таких моллюсков как средиземноморская мидия *Mytilus galloprovincialis,* Lamarck, 1819, перловица *Unio pictorum* (L., 1758) и беззубки *Anodonta*, а также провести эксперименты с устрицами.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Использование в качестве биоиндикаторов, близких по своим поведенческим реакциям и свойствам мидий и перловицы, позволили сформулировать основные положения таких наблюдений:

— динамика створочной активности, имеющая в естественных условиях систематичность (прежде всего, суточную) (рис. 3), и постоянство ряда статистических характеристик могут служить интегральным критерием состояния водной среды с биохимической точки зрения (внезапные и хронические загрязнения) при соответствующем анализе и реализованной алгоритмически-программной обработке;

— существует ряд естественных кратковременных абиотических факторов, которые вызывают значимую реакцию (чаще всего защитную — групповое одновременное схлопывание створок в течение нескольких секунд с оперативным возвращением к норме) моллюсков, которые могут быть автоматически распознаны или исключены из анализа (прежде всего — прямое



Рис. 1. Обрастание химических, оптических и акустических датчиков морской прибрежной станции

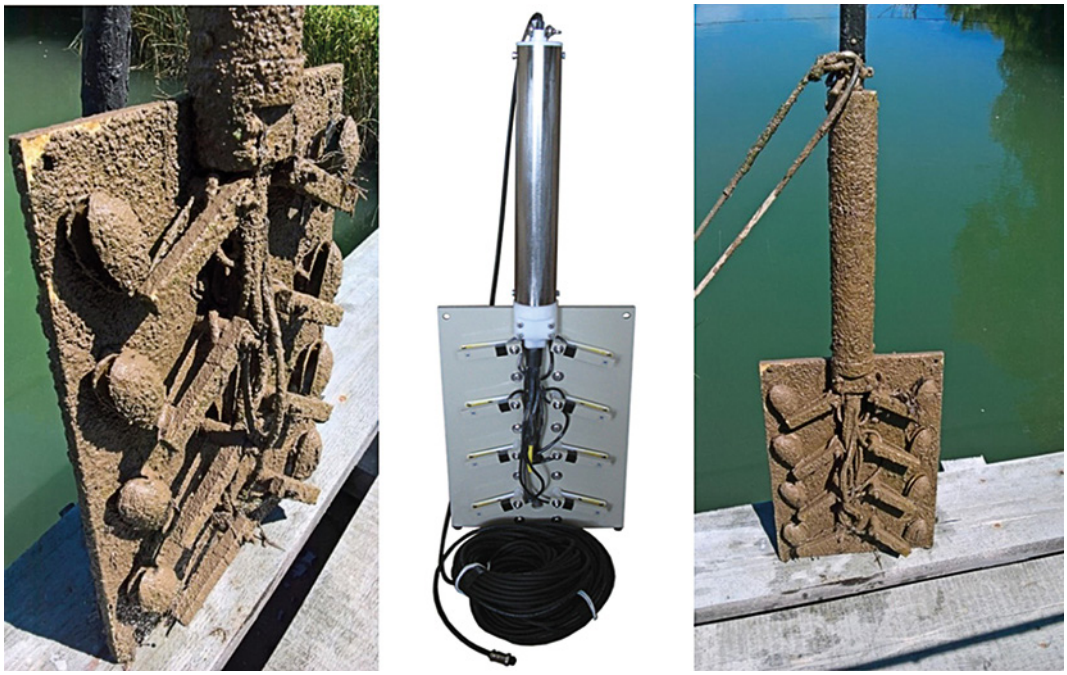


Рис. 2. Вид биосенсоров погружного модуля после 22-месячной успешной эксплуатации на речном пункте водозабора г. Севастополь

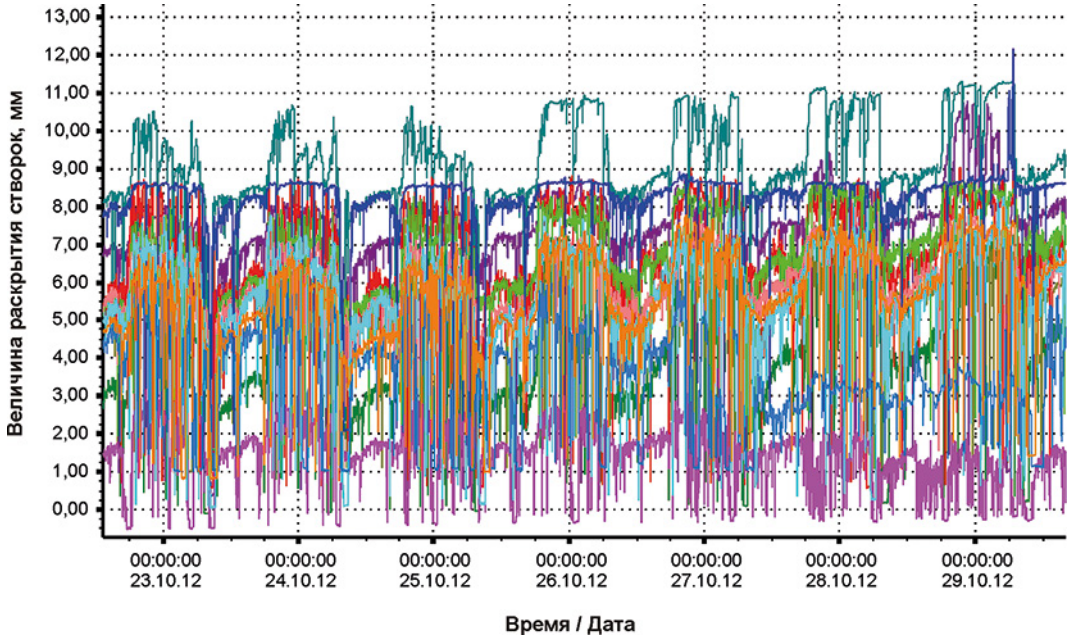


Рис. 3. Графики индивидуальной створочной активности группы моллюсков (мидии) с характерным суточным циклом

механическое воздействие, резкое изменение освещённости, температуры, давления или скорости обтекания);

— оперативная реакция на токсиканты выражена защитным схлопыванием створок (рис. 4);

— долговременное одновременное пребывание моллюсков в закрытом состоянии говорит о крайней неблагоприятности среды;

— отсутствие створочной активности моллюска при открытой створке в течение нескольких часов говорит о его смерти (рис. 5).

Эти положения легли в основу программных алгоритмов автоматического обнаружения как внезапных, так и хронических факторов, регистрируемых как угрозу жизнедеятельности моллюсков в телеметрическом режиме.

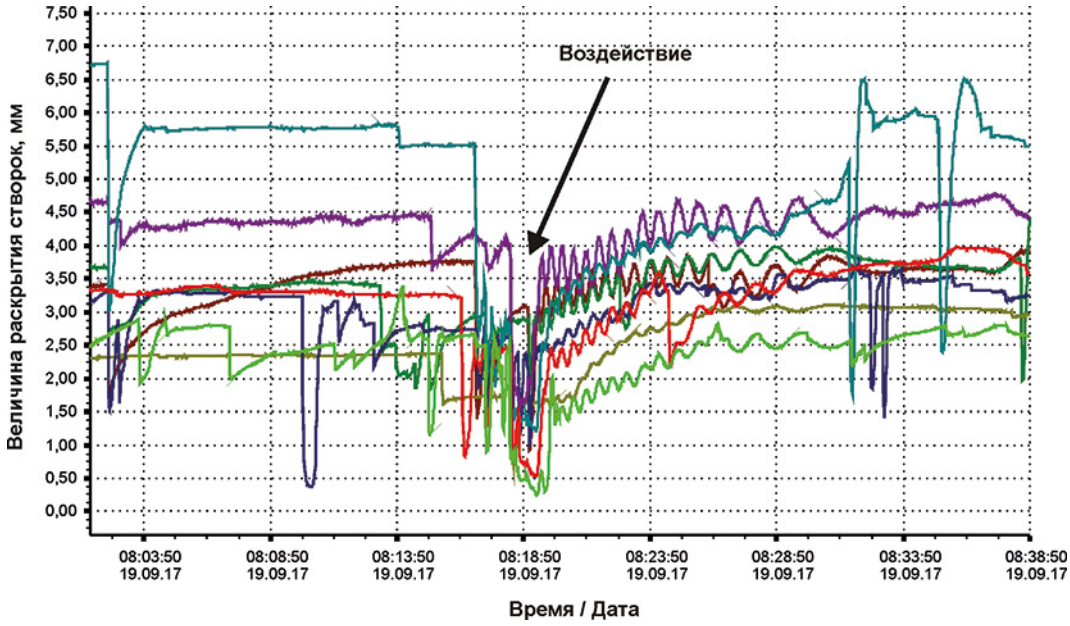


Рис. 4. Пример групповой реакции моллюсков на появление токсиканта

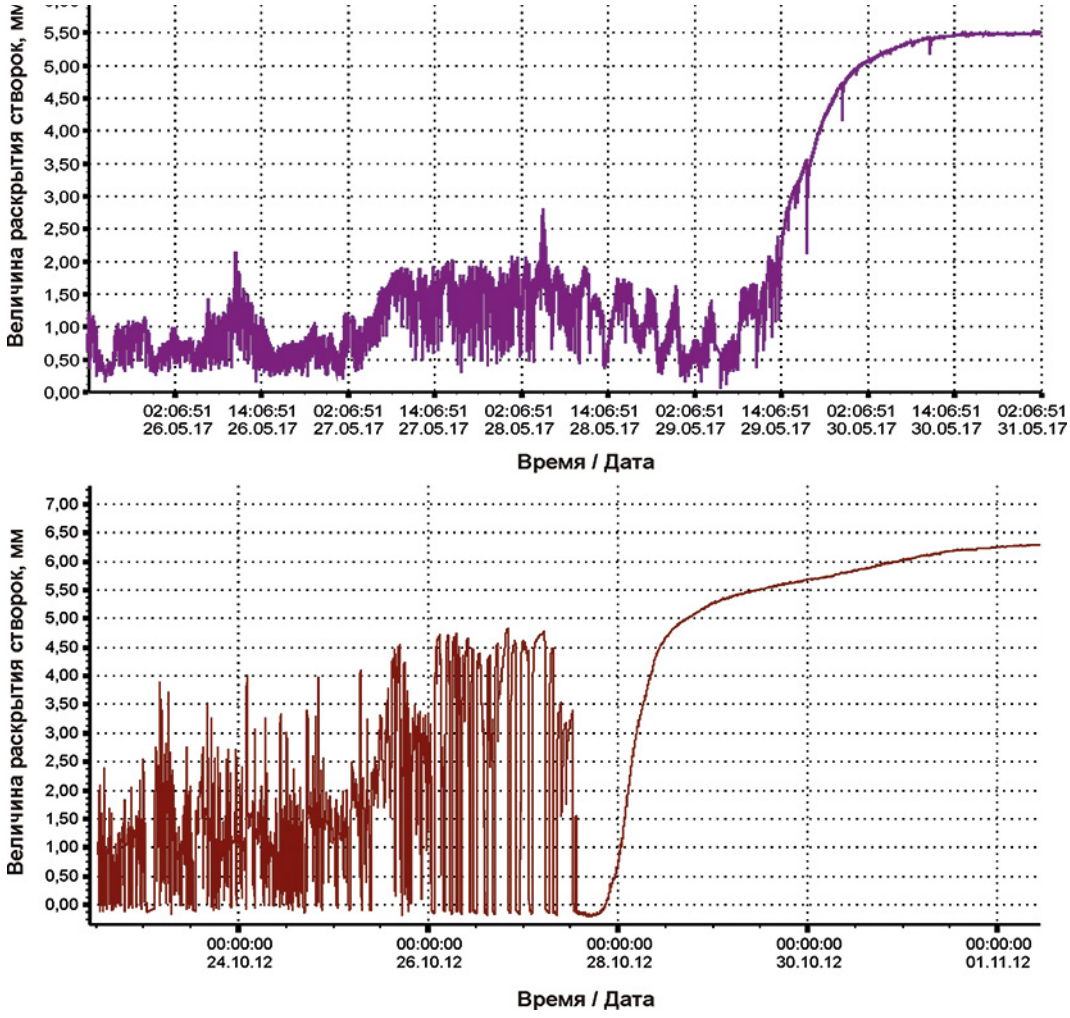


Рис. 5. Примеры графиков индивидуальной створочной активности моллюсков в случае летального исхода

Одновременно на приборе в качестве биосенсоров устанавливается стандартно до 16 моллюсков. Разработанное и используемое в лабораторных и погружных автономных приборах устройство контроля величины раскрытия створок моллюска (рис. 6) [Гайский, 2014] доказало свою эффективность и преимущество по сравнению с известными прототипами, использующими пружинные, шарнирные и осевые составные подвижные механизмы, которые подвержены обрастанию и коррозии; с нестабильными по точности креплениями датчиков непосредственно на створках моллюска; с оптоволоконными датчиками кардиоактивности, которые в основном применимы в лабораторных условиях [Холодкевич, 2011]. При анализе состояния среды используются оценки групповой створочной активности [Гайский, 2011], в которой необходимо максимально уменьшить вклад «нестандартных» индивидуальных особенностей, а также своевременно исключить из расчётов умерших моллюсков.

Распределённые датчики температуры (термопрофилемеры) [Гайский, 2018] конструктивно представляют из себя измерительный кабель-датчик длиной от нескольких см до десятков м с уложенными внутри защитной трубки проводниками. Вся механическая нагрузка ложится на внешнюю трубку. Датчик измеряет с погрешностью менее 0,1 °С непрерывный профиль температуры по всей траектории укладки. При вертикальной постановке в море обеспечивается контроль теплообмена воздух-вода, сгонно-нагонных явлений, течений, параметров внутренних волн, вертикальных и горизонтальных скоростей, теплозапаса и границ раздела сред [Гайский, 2018]. Обрастание и габариты защитной оболочки (трубки) влияют только на изменение инерционности измерений температуры, которая в среднем составляет для данного исполнения 10–60 секунд. Показания мгновенного непрерывного профиля температуры и динамику его изменения во времени с дискретизацией менее 1 секунды могут обеспечить потребителя наглядной оперативной информацией для анализа практически всех термодинамических процессов в водной среде. Многолетний опыт разработки и эксплуатации морских экспериментальных образцов термопрофилемеров на объектах показал их исключительную надёжность при длительных установках более 1 года. Прошли испытания измерителей длиной 3, 24, 32 и 50 метров. Созданное программное обеспечение позволяет в режиме реального времени в виде изолиний наблюдать тепловые процессы в среде, производить расчёт термодинамических характеристик (рис. 7).

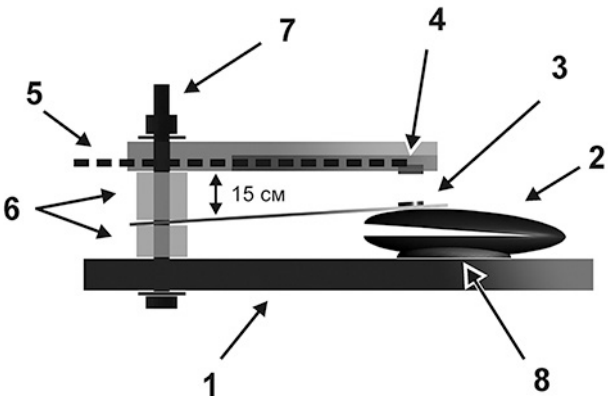


Рис. 6. Устройство измерения величины раскрытия створок моллюска (1 — каркасная подложка; 2 — моллюск; 3 — гибкая пластиковая планка с неодимовым магнитом; 4 — аналоговый датчик Холла; 5 — трёхжильный кабель питания и передачи аналогового сигнала; 6 — полиамидные вставки; 7 — нержавеющий крепёж; 8 — водостойкий клей-герметик)

На основании вышеизложенного предлагается биоэлектронная автоматическая прибрежная станция, которая структурно может быть представлена комплексом оборудования: погружное измерительное средство с 8/16-ю моллюсками и сопутствующими измерительными каналами (температура, давление); вертикальный распределённый датчик температуры заданной длины и пространственным разрешением; электронный модуль регистрации, первичного анализа и ретрансляции данных (рис. 8). Первичные электронные преобразователи измерителей должны быть закреплены на погружном каркасном устройстве. Кабельная связь и питание (12 В) погружных модулей может поддерживаться на расстоянии до 1 км.

Программное обеспечение станции позволит в численно-графическом виде наблюдать за динамикой створочной активности и статистическими характеристиками (рис. 9), а также мгновенные профили и поле температуры в изолиниях.

Размещение станции может осуществляться на платформах, вехах и буях (рис. 10). К основному фактору, отрицательно влияющему на качество и анализ измерений, можно отнести непосредственное механическое воздействие на биодатчики. Поэтому его необходимо свести к минимуму.

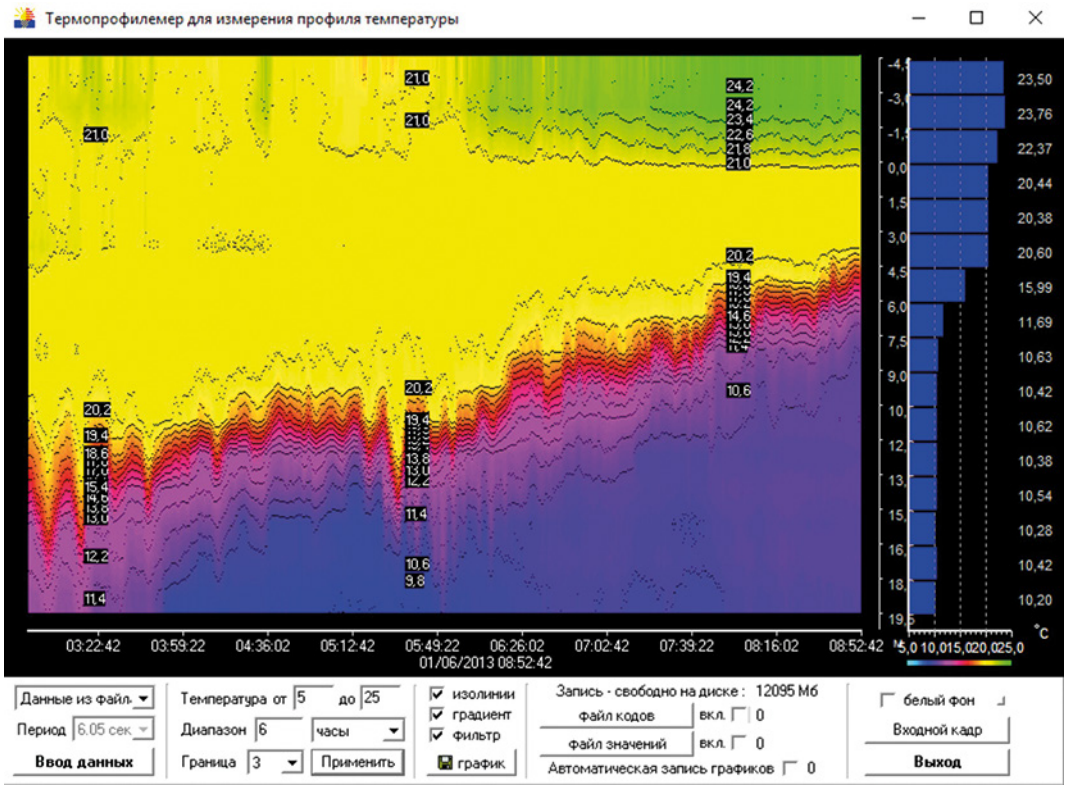


Рис. 7. Работа программного обеспечения регистрации и обработки данных термопрофилемеров

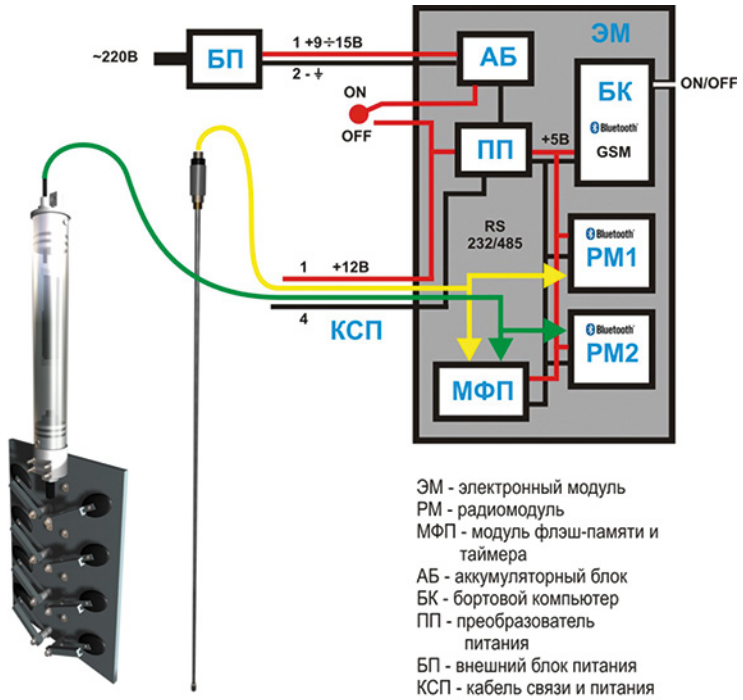


Рис. 8. Структура бортового электронного модуля системы

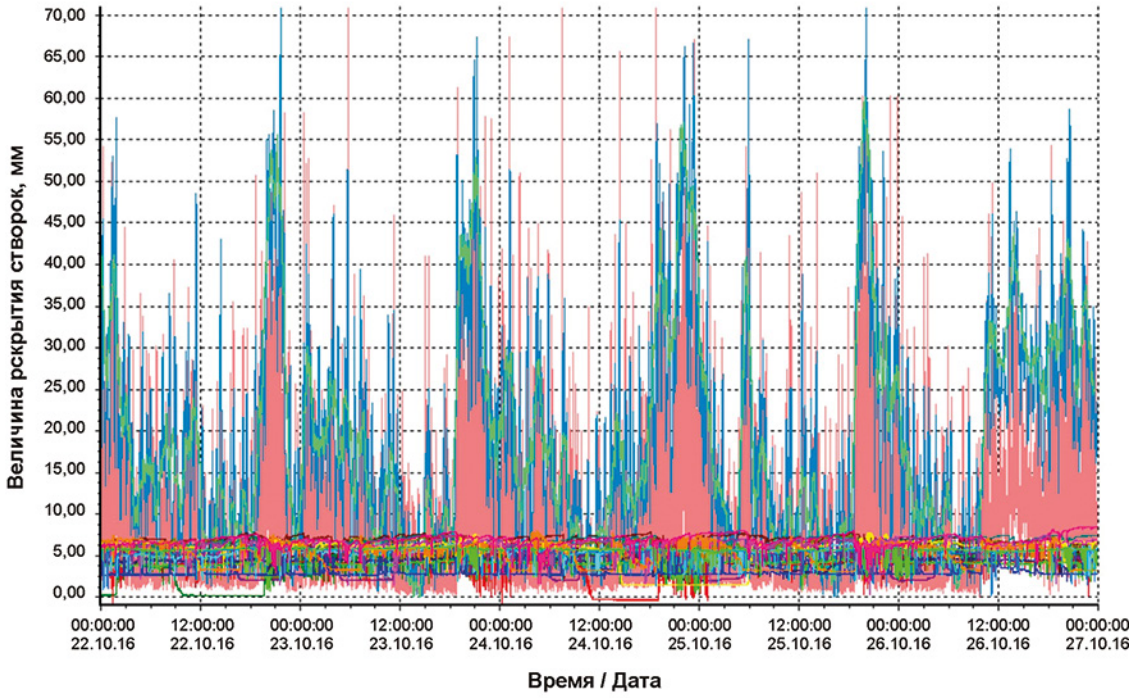


Рис. 9. Графики индивидуальной и показатели групповой створочной активности моллюсков

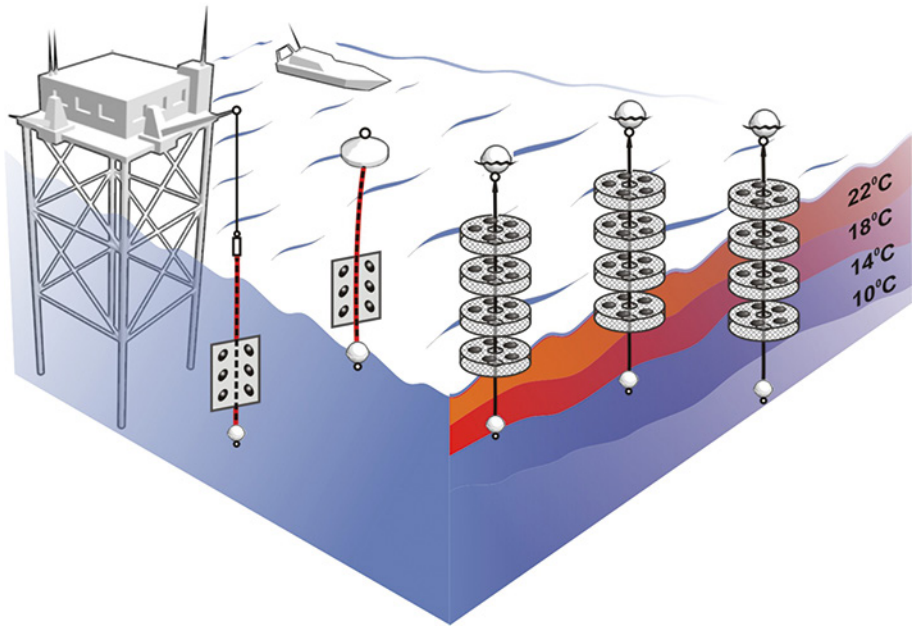


Рис. 10. Варианты постановки станции на объекте

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В целом, автоматическая система на базе предлагаемой компоновки станции обеспечит контроль по состоянию моллюсков и их жизнедеятельности краткосрочных и хронических значимых химико-биологические факторов влияния среды [Холодкевич, 2018], а также наблюдение основных термодинамических процессов в месте постановки. Для ферм аквакультуры это позволит создать или выбрать благоприятные условия для полноценного роста и размножения выращиваемых организмов, а с точки зрения научных ис-

следований – одновременно контролировать экологические факторы и изучать жизнедеятельность моллюсков.

ЛИТЕРАТУРА

Гайский П.В., Забурдаев В.И., Клименко А.В., Дмитриев О.Ф. 2011. Методические, программно-алгоритмические и технологические аспекты обеспечения работоспособности гидролого-химического модуля морской прибрежной станции «Бриз-1» // Системы контроля окружающей среды. Сб. науч. тр. МГИ НАНУ. Севастополь. Вып. 15. С. 69–76.

Гайский П.В. 2011. Алгоритмически-программное обеспечение приема и первичной обработки измерительных данных биоэлектронного комплекса «Биостраж» // Системы контроля окружающей среды. Сб. науч. тр. МГИ НАНУ. Севастополь. Вып. 16. С. 79–83.

Гайский П.В. 2014. Устройство для измерения двигательной активности створок моллюсков. ПАТЕНТ UA № 106661. 25.09.2014. Бюл. № 18.

Гайский П.В., Трусевич В.В., Забурдаев В.И. 2014. Автоматический биоэлектронный комплекс, предназначенный для раннего обнаружения отравляющих загрязнений пресных и морских вод // Морской гидрофизический журнал. № 2. С. 44–53.

Гайский В.А., Гайский П.В. 2018. Использование распределённых датчиков **д**ля температурных измерений в море. Севастополь: ИПТС. 175 с.

Гудимов А.В. 2016. Способ выявления и отбора организмов-биосенсоров для оперативной биоиндикации и биомониторинга морских и пресных вод, включая питьевую и сточные воды. Патент РФ № 2595867C2. 27.08.2016.

Холодкевич С.В., Кузнецова Т.В., Сладкова С.В., Удалова Г.П., Любимцев В.А. 2010. Методические подходы к формированию референтных групп бентосных беспозвоночных на основе комплекса оценок их функционального состояния // Современные проблемы физиологии и биохимии водных организмов. Экологическая физиология и биохимия водных организмов. Сборник научных статей. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН. 2010, т. 1. С. 297–303.

*Холодкевич С.В., Иванов А.В., Корниенко Е.Л., Куракин А.С., Любимцев В.*А. 2011. Биоэлектронный мониторинг поверхностных вод // Мир измерений. 2011. № 10. С. 6–13.

Холодкевич С.В., Кузнецова Т.В., Куракин А.С., Солдатов А.А., Гостюхина О.Л., Головина И.В., Андреенко Т.И., Кирин М.П. 2018. Новый методологический подход к оперативной оценке экологического состояния прибрежных морских акваторий. Известия ТИНРО. 2018. С. 215–238.

Холодов В.И., Пиркова А.В., Ладыгина Л.В. 2017. Выращивание мидий и устриц в Чёрном море. Практическое руководство. Воронеж: ООО ИЗДАТПРИНТ, 508 с.

Поступила в редакцию 28.06.2019 г.
Принята после рецензии 13.11.2019 г.

DOI: 10.36038/2307-3497-2021-184-159-168

Bioelectronic automatic aquaculture monitoring station

V.A. Gaisky[1],
P.V. Gaisky[2]

[1] Institute of Natural and Technical Systems («INTS»), Sevastopol, Russia

[2] Marine Hydrophysical Institute of RAS («MHI RAS »), Sevastopol, Russia

Based on the experience of the development and maintenance of oceanographic measuring equipment the proposal to create a complex of automatic coastal station having high autonomy and reliability with long-term use in marine and freshwater areas for expeditious of environmental monitoring of coastal zones and on aquaculture farms is formulated. The bioelectronic complex on basis of native clams and the distributed temperature sensing device measuring vertical profile of temperature and dynamics of its variability is the proposed equipment of the station. The feature of such configuration of the system is high reliability on functioning of submersible clusters and metrological stability of measuring channels during long-term operation in natural conditions without maintenance for a period of more than a year that allows to avoid of constant maintenance costs. Thus, a long-term operating automatic control of significant hydrological parameters of the environment and the generalized indication of ecological conditions of water area can be provided on the basis of the analysis of reactions of clams as biosensors.

Keyword: aquaculture, clams, biomonitoring, thermoprofilemeter, mussel, oyster.

REFERENCES

Gaisky P.V., Zaburdaev V.I., Klimenko A.V., Dmitriev O.F. 2011. Metodicheskie, programmno-algoritmicheskie i tekhnologicheskie aspekty obespecheniya rabotosposobnosti gidrologo-khimicheskogo modulya morskoj pribrezhnoj stantsii «Briz-1» [Methodological, software-algorithmic and technological aspects of ensuring the operability of the hydro-chemical module of the sea coastal station "Briz-1"] // Sistemy kontrolya okruzhayushchej sredy. Sb. nauch. tr. MGI NANU. Sevastopol'. Vyp. 15. S. 69–76.

Gaisky P.V. 2011. Algoritmicheski-programmnoe obespechenie priema i pervichnoj obrabotki izmeritel'nykh dannykh bioehlektronnogo kompleksa «Biostrazh» [Algorithmically software for receiving and primary processing of measurement data of the bioelectronic complex "Biostrazh"] // Sistemy kontrolya okruzhayushchej sredy. Sb. nauch. tr., MGI NANU. Sevastopol'. Vyp. 16. S. 79–83.

Gaisky P.V. 2014. Ustrojstvo dlya izmereniya dvigatel'noj aktivnosti stvorok mollyuskov [Construction device for measuring valves activity of the mollusc]. PATENT UA № 106661. 25.09.2014. Byul. № 18.

Gaisky P.V., Trusevich V.V., Zaburdaev V.I. 2014. Avtomaticheskij bioehlektronnyj kompleks, prednaznachennyj dlya rannego obnaruzheniya otravlyayushchikh zagryaznenij presnykh i morskikh vod [Automatic bioelectronic complex designed for early detection of toxic pollutants in the fresh and marine waters] // Morskoj gidrofizicheskij zhurnal. № 2. S. 44–53.

Gaisky V.A., Gaisky P.V. 2018. Ispol'zovanie raspredelennykh datchikov dlya temperaturnykh izmerenij v more [Use of distributed sensors for temperature measurements in the sea]. Sevastopol': IPTS. 175 s.

Gudimov A.V. 2016. Sposob vyyavleniya i otbora organizmov-biosensorov dlya operativnoj bioindikacii i biomonitoringa morskih i presnyh vod, vklyuchaya pit'evuyu i stochnye vody [Method for detecting and selecting biosensor organisms for operational bioindication and biomonitoring of marine and fresh water, including drinking and waste water]. Patent RF № 2595867C2. 27.08.2016.

Kholodkevich S.V., Kuznetsova T.V., Sladkova S.V., Udalova G.P., Lyubimtsev V.A. 2010. Metodicheskie podhody k formirovaniyu referentnyh grupp bentosnyh bespozvonochnyh na osnove kompleksa ocenok ih funkcional'nogo sostoyaniya [Methodological approaches to the formation of reference groups of benthic invertebrates based on a set of assessments of their functional state] // Sovremennye problemy fiziologii i biohimii vodnyh organizmov. Ekologicheskaya fiziologiya i biohimiya vodnyh organizmov. Sbornik nauchnyh statej. Petrozavodsk: Karel'skij nauchnyj centr RAN. 2010, t. 1, S. 297–303.

Kholodkevich S.V., Ivanov A.V., Kornienko E.L., Kurakin A.S., Lyubimtsev V.A. 2011. Bioehlektronnyj monitoring poverkhnostnykh vod [Bioelectronic monitoring of surface waters] // Mir izmerenij. № 10.

Kholodkevich S.V., Kuznetsova T.V., Kurakin A.S., Soldatov A.A., Gostyukhina O.L., Golovina I.V., Andreenko T.I., Kirin M.P. 2018. Novyj metodologicheskij podhod k operativnoj ocenke ekologicheskogo sostoyaniya pribrezhnyh morskih akvatorij [New methodological approach to the rapid assessment of the ecological state of coastal marine areas]. Izvestiya TINRO. 2018. S. 215–238.

Kholodov V.I., Pirkova A.V., Ladygina L.V. 2017. Vyrashchivanie midij i ustrits v Chernom more. Prakticheskoe rukovodstvo [Growing mussels and oysters in the Black Sea]. Voronezh: OOO IZDATPRINT, 508 s.

FIGURE CAPTIONS

Fig. 1. Fouling of chemical, optical and acoustic sensors of sea coastal station

Fig. 2. A view of biosensors of submersible module after 22-month successful experiments on a river point of Sevastopol water intake

Fig. 3. Diagrams of individual valve activity of group of mollusks (mussels) with a characteristic daily cycle

Fig. 4. Example of group reaction of mollusks to the appearance of toxicants

Fig. 5. Examples of diagrams of individual valve activity of mollusks in case of death

Fig. 6. Device for measuring the amount of opening of mollusk valves: 1 — frame substrate; 2 — mollusk; 3 — flexible plastic strip with neodymium magnet; 4 — analog Hall sensor; 5 — three-core power supply and analog signal transmission cable; 6 — polyamide inserts; 7 — stainless steel fasteners; 8 — water-resistant adhesive-sealant

Fig. 7. Interface of the software for collecting and processing of thermoprofilemeters data

Fig. 8. Structure of on-board electronic unit of the system

Fig. 9. Diagrams of individual and the indicators of group valve activity of mollusks

Fig. 10. Options of statement of the station on an object

УДК 639.2/.3.001.12/.18; 664.95.001.12/.18 DOI: 10.36038/2307-3497-2021-184-169-189

Обобщение положений и параметров стратегического развития рыбной отрасли

Л.И. Сергеев

Калининградский государственный технический университет (ФГБОУ ВПО «КГТУ»), г. Калининград

E-mail: doc_sergeevli@mail.ru

Рассматриваются общие и специфические положения двух Стратегий развития РХК до 2020 года и до 2030 года. Анализируется этапность, целевые показатели, основные задачи и основные отличительные содержательные основы принципов развития отрасли в условиях Стратегии 2020 и Стратегии 2030. Подчеркиваются особенности финансового обеспечения, сформированной структуризации стратегических документов развития. Проводится обобщение некоторых итогов деятельности РХК в процессе реализации Стратегии 2020, которые анализируют динамику объёма вылова ВБР, выпуска пищевой рыбной продукции, инвестиций, обновления основных фондов в соответствии с инновационной задачей стратегического инновационного и фактического развития РХК. Построены соответствующие линейные макроэконометрические модели, позволяющие оценить и сравнить динамические параметры стратегического и фактического развития. Подчёркиваются особенности развития РХК в условиях Стратегии 2030, анализируется динамика планируемого стратегического и фактического вылова ВБР, динамика накопленных инвестиций планируемого стратегического и фактического развития РХК за 2008–2030. Рассчитаны регрессионные параметры вылова ВБР и добавленной стоимости РХК за 2007–2030 годы. Делаются выводы о необходимости использования регрессионного эконометрического аппарата для установления обоснованных параметров стратегического развития РХК.

Ключевые слова: стратегия развития, регрессия, связь параметров, корреляция, объём вылова, динамика изменения.

ВВЕДЕНИЕ

Грамотное обоснование Стратегических направлений и параметров развития экономической системы является важным элементом успешного решения задач её функционирования. Под рыбохозяйственным комплексом (РХК) Российской Федерации как большой экономической системы понимается производственно-хозяйственный комплекс, включающий в себя такие виды комплексной деятельности, как добыча (вылов) и переработка водных биологических ресурсов; транспортировка, хранение, выгрузка и реализация рыбной и иной продукции из водных биологических ресурсов; производство продукции товарной аквакультуры (товарного рыбоводства) и искусственное воспроизводство водных биологических ресурсов; оптовая торговля рыбной и иной продукцией из водных биологических ресурсов и продуктами их переработки, продвижение и маркетинг рыбной и иной продукции из водных биологических ресурсов; международное сотрудничество в сфере рыбоводства; охрана и отраслевая система мониторинга водных биологических ресурсов; строительство, техническое обслуживание, модернизация, ремонт и утилизация судов рыбопромыслового флота; управление рыбными терминалами морских портов и инфраструктурой для приёмки, хранения и переработки продукции из водных биологических ресурсов; научно-исследовательская деятельность, профильное образование и подготовка кадров [Шпаченков, Гоголина, 2010; Кузин и др., 2018]

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Все эти направления деятельности на протяжении последнего более чем десятилетия развития РХК обосновывались двумя основными стратегическими документами: Стратегия развития рыбохозяйственного комплекса Российской Федерации на период до 2020 года (Стратегия 2020) [Приказ Федерального …, 2021] и Стратегия развития рыбохозяйственного комплекса Российской Федерации на период до 2030 года

(Стратегия 2030) [Распоряжение Правительства …, 2021]. Два этих стратегических документа характеризуются некоторыми отличительными элементами как методологического, так структурно-методического построения, а отсюда и отличительными акцентами отдельных направлений развития РХК. Такая не всегда относительная равнозначность подходов к построению двух стратегических документов является естественным изменением условий и факторов экономического развития отрасли как за прошедшее десятилетие, так и на период до 2030 года.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Стратегия 2020 предусматривала реализацию развития РХК на 13 лет в период с 2008 года до 2020 года. При этом данная реализация стратегического развития предусматривала три этапа реализации мероприятий, различающиеся по условиям и основным направлениям социально-экономического развития:

— первый этап — 2008–2012 годы;
— второй этап — 2013–2017 годы;
— третий этап — 2018–2020 годы.

Решаемой системной проблемой (целевой задачей) Стратегии 2020 было достижение к 2020 году лидирующих позиций России среди мировых рыболовных держав путём перехода рыбохозяйственного комплекса от экспортно-сырьевого типа к инновационному типу развития на основе сохранения, воспроизводства, рационального использования водных биоресурсов и обеспечения глобальной конкурентоспособности вырабатываемых отечественным рыбохозяйственном комплексом товаров и услуг.

Прогнозируемый объём финансирования мероприятий Стратегии 2020 (в ценах соответствующих лет) предполагался в объёме 457,58 млрд рублей, в том числе:

– за счёт средств федерального бюджета 230,58 млрд рублей;

– за счёт внебюджетных источников (средств организаций рыбохозяйственного комплекса, банковских кредитов и других средств) 227 млрд рублей.

Целевые показатели по вариантам стратегического развития рыбохозяйственного комплекса в Российской Федерации на период до 2020 года были разбиты укрупнённо по 3-м этапам. По каждому из этапов было установлено два варианта развития (и установления соответствующих показателей) — инерционный вариант и вариант с учётом реализации инновационных мероприятий стратегии. Стратегические показатели инновационного развития предусматривали опережающее развитие по сравнению с инерционным вариантом деятельности отрасли. Было утверждено три основных целевых показателя — объём добычи водных биологических ресурсов в год, объём производства товарной пищевой рыбной продукции в год и среднедушевое потребление населением Российской Федерации рыбных товаров в год. В табл. 1 представлено сравнение основных показателей инерционного и стратегического развития отрасли до 2020 года [Федеральное агентство …, 2021]

Таблица 1. Сравнение инерционных и стратегических целевых показателей развития РХК до 2020 года

	2007 г. (факт)	2012 г. (итог 1 этапа)		2017 г. (итог 2 этапа)		2020 г. (итог 3 этапа)	
		Инерц. динамика	Стратег. динамика	Инерц. динамика	Стратег. динамика	Инерц. динамика	Стратег. динамика
Вылов, тыс. т	3418,3*	3300	4300	3300	5690	4900	6580
Отличие от инерц. динам.			1,3		2,39		1,34
Объём товарн. продукц., тыс. т	3242,8*	2800	3575	2800	4450	4120	5255
Отличие от инерц. динам.			1,28		1,59		1,27
Среднедуш. потребл. рыбн. товаров, кг. в год	12,6	12,3	15,3	12,6	22,6	21,7	28,0
Отличие от инерц. динам.			1,24		1,79		1,29

* В соответствии с формой федерального статистического наблюдения N 1-П (рыба)

Судя по значениям стратегических показателей, их назначения были довольно значительными (амбициозными) как по объёмам добычи ВБР, объёмам рыбной товарной продукции, так и по объёмам потребления населением рыбной продукции. Особенное отклонение замечалось по 2017 году при установлении планируемого объёма вылова по инерционной и стратегической динамике (2,39 раза), что было недостаточно обосновано, на наш взгляд, в части установления инерционной динамики, когда вылов на 2017 год был запланирован на уровне 2012 года (3300 тыс. т), то есть без увеличения добычи ВБР за 5 лет, что предполагало сохранение застоя в деятельности отечественного РХК.

Прогнозные объёмы финансовых затрат за счёт средств федерального бюджета на реализацию стратегии развития рыбохозяйственного комплекса до 2020 года по каждому из трёх этапов предусматривали средства на инвестиции, научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы и прочие направления финансирования (проведение мелиоративных работ в местах естественных нерестилищ водных биоресурсов; содержание ремонтно-маточных стад ценных видов водных биоресурсов и приобретение посадочного материала; мероприятия в области воспроизводства и сохранения водных биоресурсов; субсидирование части процентных ставок по привлеченным кредитам и возмещение части затрат на приобретение топлива, используемого судами рыбопромыслового флота при добыче водных биоресурсов; международное сотрудничество).

Стратегия 2020 включала **решение семи задач.** При этом по годам были установлены целевые показатели по инновационному варианту стратегического развития рыбохозяйственного комплекса в Российской Федерации на период до 2020 года.

1. Восстановление и сохранение ресурсно-сырьевой базы рыболовства, развитие искусственного воспроизводства и аквакультуры (5 показателей: прирост выпуска молоди промысловых видов рыб в естественные водоёмы и водохранилища к 2007 году; выпуск продукции аквакультуры в год; степень освоения общих допустимых уловов водных биоресурсов в исключительной экономической зоне Российской Федерации; прирост объёма разведанных запасов водных биологических ресурсов к предыдущему периоду; количество единиц новых методов и технологий, повышающих эффективность воспроизводства и акклиматизации водных биологических ресурсов в год).

2. Техническое перевооружение и модернизация действующих рыбоперерабатывающих мощностей, строительство и модернизации современного рыбопромыслового флота на отечественных судоверфях, восстановление и обновление аварийно-спасательного и другого вспомогательного флота (4 показателя: коэффициент обновления основных фондов отрасли в год, в том числе: рыбоперерабатывающих мощностей, рыбопромыслового флота; прочего вспомогательного флота).

3. Развитие науки, технологий, подготовка квалифицированных кадров в сфере рыбохозяйственного комплекса (3 показателя: количество единиц внедрённых технологий в производство товарной пищевой рыбной продукции в год; доля высококвалифицированных кадров в общем количестве работающих в отрасли; рост производительности труда к 2007 году).

4. Формирование развитого внутреннего рынка рыбной продукции и его эффективной функциональной инфраструктуры (3 показателя: доля отечественной пищевой рыбной продукции на внутреннем рынке; доля продукции с высокой степенью переработки; степень переработки водных биоресурсов за счёт внедрения безотходных технологий переработки).

5. Развитие инфраструктуры морских терминалов, предназначенных для комплексного обслуживания судов рыбопромыслового флота (4 показателя: прирост объёма отгруженной рыбной продукции (в натуральном выражении); к предыдущему периоду в процентах; к 2007 году; прирост объёма перевалки грузов рыбными терминалами морских портов к предыдущему периоду в процентах).

6. Повышение эффективности государственного управления в сфере рыбохозяйственного комплекса и формирование высококонкурентной институциональной среды, стимулирующей предпринимательскую активность и привлечение капитала в экономику рыбной отрасли (3 показателя: инвестиции в развитие рыбной отрасли, включая лизинг всего (в ценах 2008 г.) к предыдущему периоду, в том числе за счёт средств: федерального бюджета; прочих источников финансирования (внебюджетные, бюджеты субъектов РФ).

7. Международное сотрудничество и укрепление позиций России на мировом рынке продукции рыбопромышленного комплекса, развитие внешней торговли рыбными товарами высокой степени переработки водных биологических ресурсов (1 показатель — доля продукции из водных биологических ресурсов высокой степени переработки российского производства на мировом рынке).

Структура построения **Стратегии 2030** отличается от содержания Стратегии 2020. Реализация Стратегии 2030 планируется в течении 12 лет. Предусматривается её осуществление в 2 этапа. Первый этап — с даты утверждения (от 26 ноября 2019 г. № 2798-р Стратегии 2030) по 31 декабря 2025 г. Второй этап — с 1 января 2026 г. по 31 декабря 2030 г. Стратегия определяет основные приоритеты, цели, задачи и показатели государственного управления в рыбохозяйственном комплексе, а также способы их эффективного достижения и решения. В документе отмечено, что прогноз целевых показателей стратегического развития рыбохозяйственного комплекса на период до 2030 года соответствует базовому варианту прогноза социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2036 года. Налицо видна взаимосвязь планирования развития РХК в системе единого комплексного народнохозяйственного развития страны.

Следует отметить, что под рыбохозяйственным комплексом РФ в Стратегии 2030 понимается широкий производственно-хозяйственный блок видов деятельности, который включает: добычу (вылов) и переработку ВБР; транспортировку, хранение, выгрузку и реализацию рыбной и иной продукции; производство продукции товарной аквакультуры (товарного рыбоводства) и искусственное воспроизводство ВБР; оптовую торговлю рыбной и иной продукцией из ВБР и продуктами их переработки; международное сотрудничество в сфере рыбоводства; охрану и отраслевую систему мониторинга водных биологических ресурсов; строительство, техническое обслуживание, модернизацию, ремонт и утилизацию судов рыбопромыслового флота; управление рыбными терминалами морских портов и инфраструктурой для приёмки, хранения и переработки продукции из ВБР; научно-исследовательскую деятельность, профильное образование и подготовку кадров. Такое расширенное толкование состава и структуры РХК отличает Стратегию 2020 от Стратегии 2030. Соответственно, подходы, а также направления и акценты стратегической деятельности смещаются определённым образом в некоторые новые актуальные структурные сферы деятельности по добыче, выращиванию, переработке и продаже рыбной пищевой продукции.

Финансирование мероприятий, предусмотренных Стратегией 2030, будет осуществляться за счёт средств бюджетов бюджетной системы Российской Федерации в пределах бюджетных ассигнований федерального бюджета, бюджетов субъектов Российской Федерации и местных бюджетов, предусмотренных для реализации государственных программ на соответствующий год, а также за счёт внебюджетных источников (средств организаций рыбохозяйственного комплекса, в том числе привлечённого финансирования). Суммарный объём частных инвестиционных вложений с начала 2017 года и на период реализации Стратегии до 2030 года оценивается в 613 млрд рублей.

В рамках реализации Стратегии 2030 необходимо обеспечить к 2030 году выполнение следующих **девяти задач**:

— увеличение суммарного объёма частных инвестиций до 613 млрд рублей;

— увеличение валовой добавленной стоимости за счёт развития производства продукции глубокой переработки до 418 млрд рублей;

— обеспечение продовольственной безопасности в части достижения среднедушевого потребления рыбопродуктов в домашних хозяйствах Российской Федерации в объёме не менее 22 кг в год в живом весе и поддержание удельного веса отечественной рыбной и иной продукции из водных биологических ресурсов в общем объёме её товарных ресурсов (с учётом переходящих запасов) внутреннего рынка на уровне не менее 85 процентов;

— увеличение общего количества рабочих мест в рыбохозяйственном комплексе на 24,5 тыс.;

— рост производительности труда в 1,4 раза к 2030 году по сравнению с 2018 годом;

— укрепление лидерства на мировых рынках рыбной и иной продукции из водных биологических ресурсов в части достижения не менее 25 процентов доли рынка Европейского союза в сегменте продукции из минтая и атлантической трески (пикши) и не менее 10 процентов доли рынка стран Азиатско-Тихоокеанского региона в сегменте продукции из лососёвых видов рыб;

– разработка и внедрение национальной системы экологической сертификации добытых (выловленных) водных биологических ресурсов и произведенной из них рыбной и иной продукции;

– увеличение до 3 млн т в год объёмов грузообработки отечественной рыбной и иной продукции из водных биологических ресурсов через российские морские порты;

– увеличение до 80 процентов доли обслуживания отечественных судов рыбопромыслового флота в российских портах.

Ключевое место в Стратегии отведено экономическим аспектам в связи со сложившимися для российской экономики за несколько последних лет принципиально новыми макроэкономическими и геополитическими вызовами. Целевые показатели стратегического развития рыбохозяйственного комплекса Российской Федерации на период до 2030 года (по годам без установления годовых назначений на 2026–2029 годы) установлены в трёх основных направлениях.

1. Экономическое развитие – 5 показателей: валовая добавленная стоимость по направлению «рыболовство, рыбоводство и рыбопереработка»; рост долгосрочных финансовых вложений, нарастающим итогом; оборот организаций по направлению «рыболовство, рыбоводство и рыбопереработка»; **объём** добычи (вылова) водных биологических ресурсов; **объём** производства продукции товарной аквакультуры, включая посадочный материал.

2. Продовольственная безопасность – 10 показателей: потребление рыбы и рыбопродуктов в домашних хозяйствах Российской Федерации – всего**,** в том числе: в 8-ми федеральных округах**;** удельный вес отечественной рыбной продукции и иной продукции из водных биологических ресурсов в общем объёме её товарных ресурсов (с учётом переходящих запасов) внутреннего рынка рыбной продукции.

3. Технологическое перевооружение и рост производительности – 5 показателей: **д**оля новых судов, построенных на территории Российской Федерации, в общей структуре рыбопромыслового флота; **с**реднегодовая численность занятых в Российской Федерации по видам экономической деятельности «Рыболовство, рыбоводство»; **д**оля продукции с высокой добавленной стоимостью в общем объёме произведённой рыбной продукции; **у**дельный вес организаций, осуществлявших инновационную деятельность в общем числе обследованных организаций; **т**емп роста производительности труда по видам экономической деятельности «Рыболовство, рыбоводство».

Установленные стратегические параметры учитывают показатели не только по ОКВЭД «Рыболовство и рыбоводство», но и «Переработка и консервирование рыбы, ракообразных и моллюсков». Кроме того, предусматривается учёт дополнительного объёма, произведённого в рамках развития пастбищного лососеводства. Уточнены расчёты ряда показателей деятельности РХК, например, доли новых судов, построенных на территории Российской Федерации, в общей структуре рыбопромыслового флота – из расчёта удельной доли в фактическом объёме добычи (вылова) за соответствующий год.

Достижение целей Стратегии 2030 будет осуществляться за счёт реализации комплекса основных (инвестиционных) и вспомогательных (поддерживающих) проектов комплексного развития**.** В основу формирования таких проектов положены следующие принципы:

– ориентация на глобальный спрос, темпы роста, уровни рентабельности и ёмкость рынков рыбной и иной продукции из водных биологических ресурсов;

– возможность выстраивания вертикальных структур и цепочек по производству рыбной и иной продукции из водных биологических ресурсов с высокой добавленной стоимостью из уловов (сырья) водных биологических ресурсов до производства и реализации конечного продукта;

– повышение производительности и операционной эффективности эксплуатации основных фондов (в первую очередь, рыбопромыслового флота);

– внедрение безотходных, энергосберегающих и инновационных технологий при добыче (вылове), переработке и транспортировке водных биологических ресурсов, включая создание стимулов по строительству новых судов рыбопромыслового флота и предъявлению к ним требования о применении современного промыслового, силового, навигационного и перерабатывающего оборудования, а также аналогичных стимулов по строительству береговых рыбоперерабатывающих заводов. В сфере транспортировки, переработки и реализации рыбной и иной продукции из водных биологических ресурсов предусматривается создание системы контроля каче-

ства и температурного режима воздействия на продукцию на каждой стадии её оборота;

— стимулирование развития отечественных технологий и оборудования для переработки и консервирования рыбы, рыбной и иной продукции из водных биологических ресурсов;

— наращивание компетенций российских предприятий в области разработки технологий и освоения производства оборудования в области рыбопереработки.

Принципиально новой составляющей Стратегии 2030 в сравнении со Стратегией 2020 является установление проектов развития отрасли с учётом имеющейся и доступной в перспективе ресурсной базы и производственных мощностей в рамках соответствующих программ. Это подчёркивалось в трудах по исследованию программного развития РХК [Волкогон и др., 2018; 2019]. Установлены 5 основных комплексных проектов развития и 8 вспомогательных (поддерживающих) проектов. При этом утвержден сводный прогноз привлечения инвестиций на период до 2030 года (по 2-м этапам с отдельным выделением 2017–2020 годов).

1. Комплексный проект «Новая тресковая индустрия» — по масштабному обновлению производственных фондов в сегменте добычи (вылова) и переработки основных тресковых объектов промысла.

2. Комплексный проект «Морские биотехнологии» — по созданию индустрии по производству высокотехнологичной и инновационной продукции пищевого и промышленного назначения.

3. Комплексный проект «Пищевая пелагика» — по наращиванию производства и поставок на внутренний рынок пищевой продукции из уловов пелагических видов рыб.

4. Комплексный проект «Лососеводство» — по развитию товарной аквакультуры (товарного рыбоводства) лососёвых видов рыб по технологиям индустриальной и пастбищной аквакультуры

5. Комплексный проект «Ценные морепродукты» — по комплексному освоению морских прибрежных акваторий под выращивание ценных видов гидробионтов.

По каждому проекту стратегии установлен блок обосновывающей и резюмирующей части, который включает четыре составляющих: стратегическое обоснование необходимости выделения проекта; производственные параметры и показатели проектной деятельности; социально-экономические параметры проекта; прогнозируемые стратегические результаты реализации проекта.

Вспомогательные (поддерживающие) проекты включают следующие составляющие направления деятельности: искусственное воспроизводство водных биологических ресурсов; отраслевая наука и научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы; отраслевое образование; создание благоприятного инвестиционного климата; инфраструктура обеспечения логистики и обслуживание рыбопромыслового флота; отраслевой маркетинг; инфраструктура обеспечения логистики и обслуживание рыбопромыслового флота; международное сотрудничество.

В каждом проекте утверждены приоритетные направления и задачи с установлением некоторых конкретных целевых параметров развития, которые должны быть достигнуты к 2030 году.

Стратегия 2030 предусматривает выделение не только отраслевого в целом, но и макрорегионального развития РХК в разрезе пяти укрупнённых регионов страны: Дальневосточный федеральный округ; Северо-Западный федеральный округ; Южный федеральный округ; Северо-Кавказский федеральный округ; Сибирский, Уральский, Приволжский и Центральный федеральные округа. Такое выделение способствует усилению связи целого и пространственного развития отрасли, что подчёркивает усиление комплексности построения стратегии 2030 развития РХК как большой экономической системы.

В стратегии 2030 выделены основные механизмы реализации намеченных мероприятий. Отмечено, что ключевыми факторами, определяющими результативность реализации намеченных проектов, являются достаточность и адресность мер государственной поддержки в форме предоставления долей квот добычи (вылова) водных биологических ресурсов, предоставленных на инвестиционные цели в области рыболовства, компенсации части процентов, уплачиваемых по инвестиционным кредитам, предоставления налоговых льгот и иных форм поддержки. При этом инструменты поддержки могут варьироваться и будут определены в соответствии с отдельными нормативными правовыми актами, принимаемыми в целях реализации Стратегии 2030.

I. Обобщение некоторых итогов деятельности РХК в процессе реализации Стратегии 2020

Разработка стратегических параметров развития социально- экономической системы, которую представляет рыбохозяйственный комплекс страны, является сложной многоплановой научно-прикладной задачей, решение которой должно включать как ранее разработанные теоретические подходы к планированию и прогнозированию, так и новый инструментарий программно- целевого управления. Важнейшей задачей при этом является грамотное осуществление процессов целеполагания развития и комплексный учёт многообразия (системы) факторов, определяющих параметры целевого ориентирования движения экономической системы. При этом следует учитывать как предыдущую динамику статистических параметров развития экономической системы, так и тенденции их изменения с ориентацией на цели социально-экономического развития. Недостаточно верное малограмотное обоснование параметров целеполагания может приводить к нежелательным последствиям развития социально-экономической системы [Волкогон, Сергеев, 2016; 2017].

Исходя из вышесказанного, следует, на наш взгляд, остановиться на рассмотрении целевых показателей и степени выполнения параметров отрасли в соответствии со Стратегией 2020. Это позволит оценить как качество установления численных значений стратегических целей, так и степень выполнения целевых показателей. Для примера нами взяты два важных показателя, которые характеризуют как главный результат работы отрасли, так и важнейший фактор её инновационного развития. В табл. 2 представлено сравнение динамики вылова ВБР и коэффициента обновления основных фондов РХК по данным, установленных Стратегией 2020 (инновационный вариант развития) и по фактическим показателям деятельности отрасли за 2007–2020 годы.

Как по вылову ВБР, так и по обновлению основных фондов, фактические параметры по годам отличаются от показателей стратегического развития. При этом фактическое отличие по вылову ВБР росло по мере увеличения с начала реализации стратегии (по инновационным параметрам) на протяжении всего горизонта её фактической реализации. Отличие по коэффициенту обновления основных фондов достигало наибольших значений в середине анализируемого периода (2012 и 2014 годы). При этом наблюдалась, в основном, тенденция невыполнения целевых годовых назначений по вылову ВБР и значительные отклонения в различные стороны от стратегических показателей фактического коэф-

Таблица 2. Динамики вылова ВБР и коэффициента обновления основных фондов РХК по данным, установленным Стратегией 2020 (инновационный вариант развития), и по фактическим показателям деятельности отрасли за 2007–2020 годы

Годы	Вылов ВБР, тыс. т			Коэффициент обновления основных фондов		
	Стратегия 2020	Фактически	Отклонение	Стратегия 2020	Фактически	Отклонение
2007	3418,3	3 215,0	1,006	6,9	6,9	–
2008	3500	3 300,0	0,953	7,2	5,3	0,74
2009	3650	3 437,9	1,041	7,5	3,8	0,51
2010	3800	3 336,1	1,060	7,7	7,9	1,03
2011	4000	3 801,4	1,066	7,9	7,9	–
2012	4300	4 027,9	0,993	8	11,5	1,44
2013	4700	4 264,7	0,914	9	10,9	1,21
2014	4850	4 269,8	0,875	9,1	13,7	1,51
2015	5120	4 296,8	0,877	9,1	10,5	1,15
2016	5400	4 245,9	0,891	8,5	10,7	1,26
2017	5690	4 492,5	0,869	8,4	6,9	0,82
2018	5980	4812,0	0,842	8,3	7	0,84
2019	6270	4 942,0	0,795	7,7	6,8	0,88
2020	6580	5109,8	0,756	10	7,2	0,72

Рассчитано автором по материалам Росстата [Финансы России. 2016, 2018, 2020].

фициента обновления основных фондов (рост в 1,51 раза в 2014 году и сокращение в 2 раза в 2009 году).

Инфографическая динамика объёма вылова ВБР стратегического инновационного и фактического развития РХК представлена на рис. 1.

Анализируя динамику вылова ВБР, заданных в стратегии развития РХК до 2020 года в сравнении с фактическими показателями, видно, что величина отклонения показателей добычи увеличивается с 2013 года и достигает наибольшего отклонения в 2020 году — 24,6%. В целом, наблюдается рост добычи ВБР, но фактически он осуществляется более низкими темпами, чем планировалось в стратегии 2020. Необходимо подчеркнуть, что в 2009, 2010 и 2011 годах объём вылова ВБР опережал показатели утверждённой стратегической добычи. Но в остальные проанализированные годы вылова ВБР фактическая добыча была ниже установленной в стратегии, и разница из года в год постоянно увеличивалась.

Коэффициент корреляции динамики фактического и стратегического вылова за 2007–2020 годы составил 0,948. Эта довольно высокая степень связи говорит в целом об удовлетворительном установлении и выполнении стратегических задач по вылову ВБР. Но к концу анализируемого периода расхождения между стратегическими и фактическими параметрами вылова увеличивались, что говорит о недостатках точечного перспективного планирования и целесообразности долгосрочного планирования показателей вылова ВБР в интервальных режимах [Сергеев, 2016].

Стратегический инновационный путь развития РХК предполагал довольно тесную связь ежегодного среднегодового увеличения добычи ВБР на 253,59 тыс. т, что позволило бы обеспечить вылов в 2020 году в объёме 6580 тыс. т. При этом регрессионная связь с годовым ростом предполагалась очень высокой (коэффициент детерминации — 0,9885). Фактическое развитие РХК по объёму выловленных водных биологических ресурсов оказалось ниже параметров инновационного стратегического роста. Регрессионная связь с годами анализируемого периода была ниже, чем в условиях планируемого инновационного сценарного развития (коэффициент детерминации — 0,9233). За рассмотренный промежуток времени с 2007 до 2020 годы среднегодовое увеличение добычи ВБР составило 129, 52 тыс. т, что в 1,96 раза ниже, чем планировалось в условиях стратегического инновационного развития. Фактическое развитие отрасли по добыче ВБР к 2020 году оказалось на уровне несколько ниже инерционного сценария стратегии (6580 тыс. т по инерционному сценарию, фактический уровень добычи — 5109,8 тыс. т).

Данные факты свидетельствуют о завышенных ожиданиях, которые планировались в стратегии инновационного развития в части добычи ВБР рыбной отрасли страны до 2020 года. Фактический объём вылова ВБР 2020 года (5109,8 тыс. т) оказался ближе к сценарию инерционного развития, который предусматривал добычу в размере 4900 тыс. т (факт превысил инерционный сценарий на 4,3%). Это свидетельствует также о недостатках методической базы разработки и расчёта параметров стратегического развития РХК. Развитие по инерционному сценарию оказалось более реальным в деятельности отрасли, что говорит о медленном изменении форм и методов хозяйственного управления и организации производства, которые предусматривались для РХК к реализации в Стратегии 2020 [Сергеев, 2018].

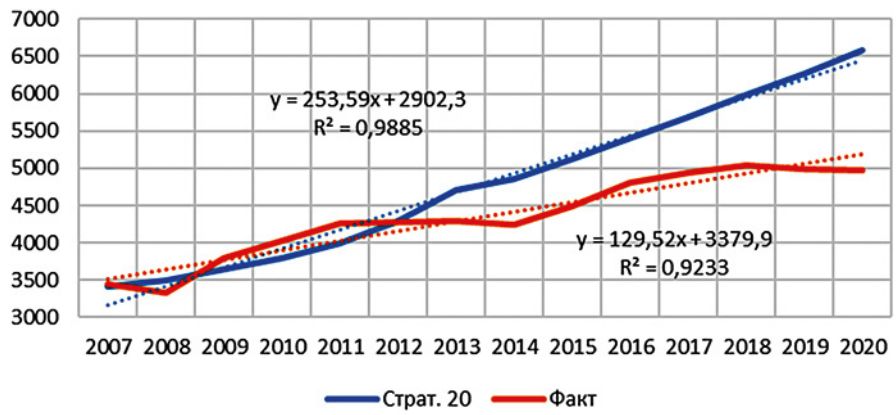


Рис. 1. Динамика фактического и стратегического (инновационного) объёма вылова ВБР за 2007–2020 гг..

Инфографика динамики и процента фактического выполнения назначений стратегического вылова ВБР за 2007–2020 годы представлена на рис. 2. Регрессионный прямолинейный анализ показывает, что ежегодное в среднем отклонение фактического вылова ВБР от инновационного стратегического составило 2,0047 процентных пункта. При этом наибольшее отклонение при постоянном увеличении (выполнено только 77,7% от прогнозируемого вылова) составило в 2020 году. При этом корреляционная связь увеличения разрыва фактического и стратегического параметров вылова ВБР с анализированными годами была незначительной (коэффициент детерминации в целом 0,7698). Но в период с 2016 по 2020 годы эта связь была чрезвычайно высокой (коэффициент корреляции 0,99).

Определённый интерес для качественного анализа причин отклонений фактических параметров от стратегических имеет обобщение годовой приростной динамики показателей фактического и прогнозируемого стратегического вылова ВБР. Динамика приростных показателей и их соотношение позволяют видеть наличие или отсутствие соответствующей связи, которая может характеризовать взаимозависимость анализируемых параметров. На рис. 3 представлена динамика роста по отношению к предыдущему году вылова ВБР в рыбной отрасли за 2008–2020 годы по стратегическому сценарию развития и по фактическим показателям деятельности отрасли. Динамика роста или падения годового вылова ВБР относительно предыдущего года по стратегической и фактической траектории развития отрасли не имеет связи, что характеризует сложность экстраполяции и прогнозирования данных приростных показателей.

Показатели ежегодного прироста вылова ВБР по инновационной Стратегии 2020 в целом имеют положительную динамику — каждый год рабо-

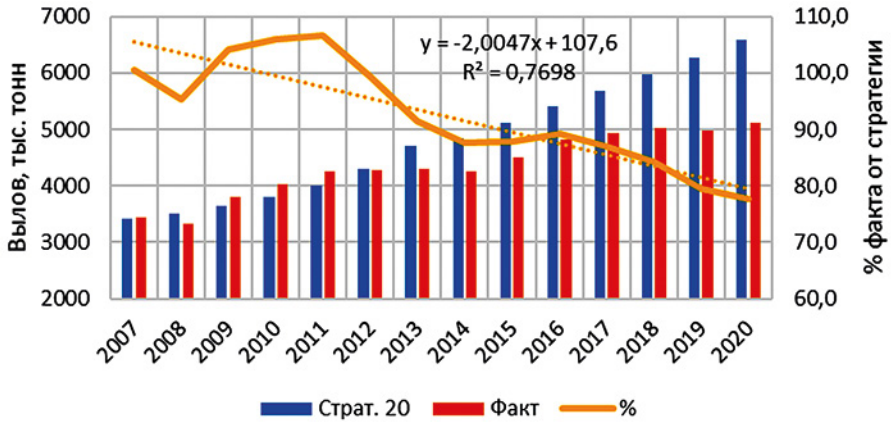
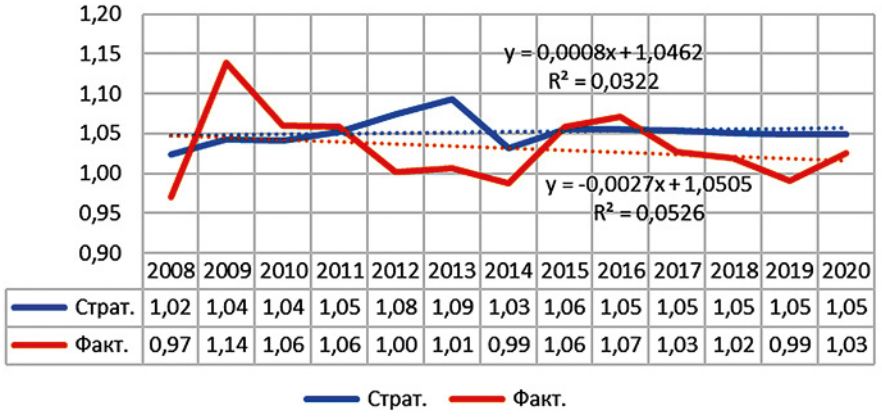


Рис. 2. Динамика и процент фактического выполнения назначений инновационного стратегического вылова ВБР за 2007–2020 гг.



	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Страт.	1,02	1,04	1,04	1,05	1,08	1,09	1,03	1,06	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05
Факт.	0,97	1,14	1,06	1,06	1,00	1,01	0,99	1,06	1,07	1,03	1,02	0,99	1,03

Рис. 3. Динамика прироста по отношению к прошедшему году вылова ВБР в рыбной отрасли за 2008–2020 гг. по стратегическому сценарию развития и по фактическим показателям

ты отрасли планировался в среднем с увеличением добычи по отношению к предыдущему году в размере 0,08 процента. Фактический ежегодный среднегодовой прирост вылова за 2008–2020 годы сокращался на 0,27 процента. Годовой прирост вылова как в условиях инновационной Стратегии 2020, так и на основе фактической деятельности предприятий РХК практически не зависит от годовой динамики (коэффициенты детерминации — связи прироста с анализируемым годом — имеют чрезвычайно низкое значение, соответственно, 0,0322 и 0,0526). Чрезвычайно ярко просматривается неравномерность годового изменения прироста или падения вылова ВБР в условиях фактического развития отрасли, которое подвержено значительному влиянию различных факторов, что затрудняет осуществление качественного планирования в целом динамического ряда данного показателя.

На рис. 4 представлена годовая динамика фактического и предусмотренного в инновационной Стратегии 2020 коэффициента обновления основных фондов предприятий РХК. Обновление основных фондов является важной задачей модернизации материальной базы рыбодобывающего флота, рыбоперерабатывающих заводов, портового хозяйства и другой инфраструктуры рыбной отрасли. Эта проблема особенно актуальна, так как основные фонды РХК имеют большую степень износа. Поэтому постоянное совершенствование орудий лова, добывающего флота, перерабатывающих мощностей, портового хозяйства являются залогом успешного решения стратегических инновационных задач развития РХК.

Как стратегическое развитие, так и фактическая деятельность отрасли показали в 2007–2020 годах в целом увеличение коэффициента обновления основных фондов отрасли. Но коэффициент обновления основных фондов за проанализированный период времени рос медленными темпами. По инновационным стратегическим назначениям 0,1413 процентных пункта в среднем за год, фактически — 0,1231 процентных пункта в среднем за год. Такая медленная динамика обновления основных фондов не способствовала необходимому росту модернизации основных фондов и повышению эффективности деятельности отрасли. При этом, в Стратегии 2020 (инновационный вариант) предусматривалась определённая постепенная регулярная слабая связь годового увеличения коэффициента обновления основных фондов по годам реализации мероприятий (коэффициент детерминации — 0,4817). Фактическая динамика коэффициента обновления основных фондов РХК практически не зависела от годовой динамики развития отрасли (коэффициент детерминации — 0,0361). Этот факт характеризует, на наш взгляд, нецелесообразность ежегодного установления долгосрочных точечных прогнозируемых параметров обновления основных фондов отрасли, так как их обновление и модернизация в основном обеспечиваются коммерческими структурами, которые формируют и реализуют свои индивидуальные инвестиционные программы. Эти индивидуальные инвестиционные программы рыбохозяйственных компаний сложно объединить в единую цельную инвестиционную комплексную программу развития всего РХК в масштабах всей страны.

Причиной медленного обновления основных фондов явилось недостаточное привлечение инвестиций в рыбохозяйственную деятельность.

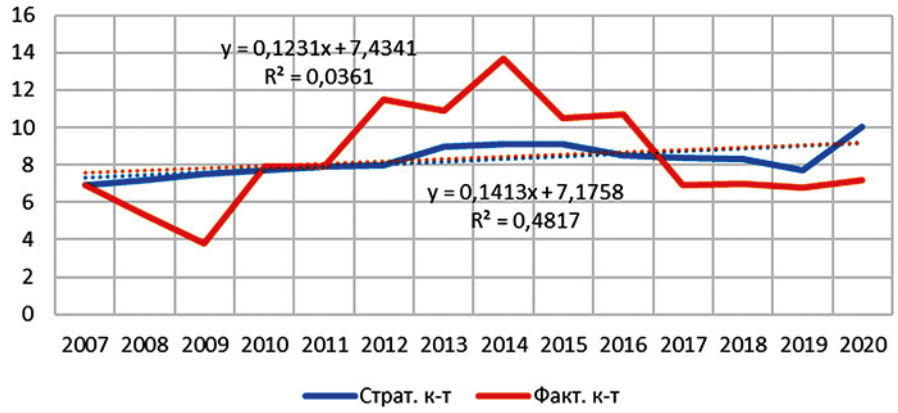


Рис. 4. Динамика фактического и предусмотренного в Стратегии 2020 коэффициента обновления основных фондов предприятий РХК (в процентах) за 2007–2020 гг.

Эти проблемы подчёркиваются учёными [Мнацаканян и др., 2014].

В Стратегии 2020 были утверждены по годам деятельности отрасли параметры объёма инвестиций в развитие рыбной отрасли (в ценах 2008 года). Нами пересчитаны эти годовые параметры инвестиций по прогнозным коэффициентам дефляторам на 2008–2020 годы (по материалам Минэкономразвития) для их сопоставления по годам с фактическими годовыми инвестициями (в действующих ценах) в основные фонды предприятий РХК. На рис. 5 представлена динамика инвестиций в рыбную отрасль страны за 2007–2020 годы на основе фактических статистических данных и установленных в инновационной Стратегии 2020 (с учётом пересчёта установленных стратегией цен в условиях 2008 года в действующие на конкретный год цены).

Коэффициент корреляции по годам за 2007–2020 годы величины инвестиций в рыбную отрасль по стратегическому инновационному сценарию развития и по фактическим данным составил 0,468. Такая слабая связь характеризует значительную непредсказуемость факторов инвестиционной деятельности в РХК и подчеркивает необходимость развития и совершенствования методической базы планирования финансовых вложений в отрасль.

Как показывает анализ, фактическое вложение инвестиций ежегодно было меньше запланированных стратегических назначений. Наибольшее отклонение фактического отклонения инвестиций от назначенных по стратегическому развитию наблюдалось в 2015 году, когда объём инвестиций составил от запланированного размера всего 19,3%. Фактический суммарный объём инвестиций в предприятия РХК за 2007–2020 годы составил 36,6% от запланированных в инновационной Стратегии 2020. При этом как в стратегическом, так и фактическом вариантах развития обеспечен в целом рост инвестиционных вложений, а также в среднем удовлетворительная связь инвестиций с ростом порядкового номера года (коэффициенты детерминации 0,867 по стратегии и 0,8356 фактически).

Но фактически каждый год приводил в среднем к росту инвестиций на 3,6079 млрд руб., а стратегическое развитие предполагало привлечение в среднем 6,1217 млрд руб. в год инвестиционных финансовых вложений в отрасль. Практически двукратное отклонение объёма суммарных годовых фактических инвестиций от запланированных в инновационной Стратегии 2020 за 2007–2020 годы в сторону уменьшения не позволили реализовать все мероприятия и достигнуть целевых показателей деятельности отрасли за проанализированный период деятельности. Следует отметить, что за данный период времени также практически в два раза в среднем за год фактический объём вылова был меньше установленного в инновационной Стратегии 2020, что говорит о взаимосвязи объёма вылова ВБР и инвестиций в РХК. Коэффициент корреляции инвестиций и объёма вылова ВБР по стратегическому сценарию развития составил 0,903 (сопоставление стратегических показателей инвестиций и добычи), а фактически — 0,847 (сопоставление фактических показателей добычи и инвестиций). Таким образом, инвестиции имеют тесную связь с результатами работы отрасли. При этом расчётная планируемая связь естественно выше, так как предусматривается в соответствующих методах

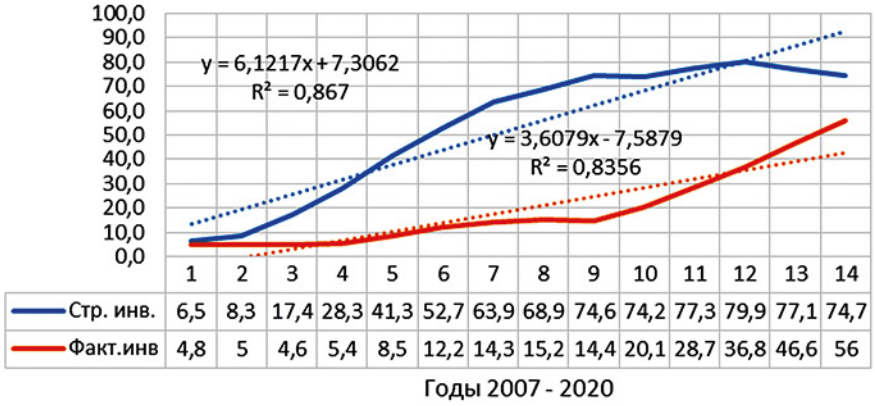


Рис. 5. Динамика инвестиций в рыбную отрасль страны за 2007–2020 гг на основе фактических статистических данных и установленных в Стратегии 2020 (с учётом пересчёта установленных Стратегией 2020 цен 2008 года в действующие цены), млрд руб.

определения планируемых показателей, а фактическая — ниже в силу естественного возможного и действительного отклонения фактических реальных параметров деятельности отрасли от запланированных по стратегическому инновационному развитию.

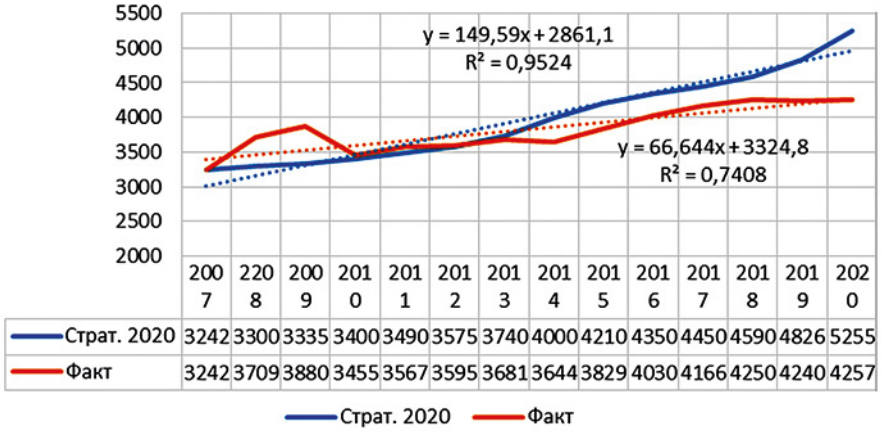
Итоговым результатом деятельности РХК является производство различной пищевой рыбной продукции, которая решает проблемы обеспечения продовольственной безопасности страны. Сравнение фактического выпуска пищевой рыбной продукции по годам (2007–2020) и установленных в соответствии с инновационной Стратегией 2020 параметров представлено на рис. 6.

Стратегические параметры производства пищевой рыбной продукции в среднем за год предусматривали увеличение выпуска на 149, 49 тыс. т. Фактическое среднегодовое увеличение выпуска рыбной продукции за 2007–2020 годы составило 66, 644 тыс. т, что в 2,2 раза меньше, чем устанавливалось стратегическими параметрами. Поэтому динамика роста фактического выпуска рыбной продукции была практически в два раза ниже, чем намечалось в Стратегии 2020. Стратегический инновационный рост продукции был тесно связан с увеличением планируемого годового временного горизонта (коэффициент детерминации — 0,9524), а фактический выпуск пищевой рыбной продукции имеет не такую высокую связь с годовым ростом как стратегические параметры (коэффициент детерминации — 0,7408).

Коэффициент корреляции фактического и стратегического производства пищевой рыбной продукции по годам за 2007–2020 годы составил 0,865, что говорит в целом об удовлетворительной взаимосвязи исследуемых показателей. Но в целом фактическая динамика производства рыбной продукции ниже показателей, установленных в инновационной Стратегии 2020, что характеризуется, на наш взгляд, в основном более низкими темпами фактического роста добычи ВБР, чем увеличения вылова в соответствии с параметрами стратегического развития. Значительное увеличение разрыва (отклонение фактического выпуска пищевой рыбной продукции от параметров стратегического развития в меньшую сторону) стало наблюдаться в конце анализируемого периода (с 2018 года).

II. Особенности развития РХК в условиях Стратегии 2030

Развитие рыбной отрасли в соответствии со Стратегией 2030 рассматривается в широком спектре отраслевой и подотраслевой деятельности, которые обеспечивают решение продовольственного обеспечения населения страны рыбной продукцией. Базовые целевые показатели Стратегии 2030 зиждятся на таких же отраслевых показателях деятельности, как и Стратегия 2020: объём добычи (вылова) водных биологических ресурсов, рост долгосрочных финансовых вложений, нарастающим итогом, потребление рыбы и рыбопродуктов в домашних хозяйствах Российской Федерации, темп роста производительности труда по видам экономической деятельности «Рыболовство, рыбоводство» и ряд других. Но кроме данных стратегических показателей, сделан упор на такие целевые параметры, как «валовая добавленная стоимость по направлению «рыболовство, рыбоводство и рыбоперера-



	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Страт. 2020	3242	3300	3335	3400	3490	3575	3740	4000	4210	4350	4450	4590	4826	5255
Факт	3242	3709	3880	3455	3567	3595	3681	3644	3829	4030	4166	4250	4240	4257

Рис. 6. Динамика выпуска пищевой рыбной продукции в соответствии с инновационной Стратегией 2020 и с фактическими данными Росрыболовства, тыс. тонн

ботка», «оборот организаций по направлению «рыболовство, рыбоводство и рыбопереработка», «объём производства продукции товарной аквакультуры, включая посадочный материал», «удельный вес отечественной рыбной продукции и иной продукции из водных биологических ресурсов в общем объёме её товарных ресурсов (с учётом переходящих запасов) внутреннего рынка рыбной продукции» и ряд других.

Однозначное сопоставление некоторых параметров развития отрасли в сравнении по содержанию параметров отдельно Стратегии 2030 и Стратегии 2020 затруднительно, так как вариант последней стратегии имеет более широкий охват подотраслевых видов деятельности. Но основные параметры стратегической деятельности могут быть проанализированы в сопоставлении двух стратегий и фактического развития отрасли до 2020 года. В табл. 3 представлены численные параметры вылова ВБР и накопленных инвестиций в основные фонды в действующих ценах в сравнении с фактическим выловом за 2007–2030 годы.

Следует отметить, что показатели в Стратегии 2030 не установлены по годам в промежутке между 2025 и 2030 годами. Поэтому нами пропущенные показатели для каждого из этих четырёх лет рассчитаны условно путём прибавления к каждому последующему году частного от деления разницы показателя 2030 года и 2025 года на пять.

Обобщая динамику годовых параметров вылова ВБР, можно констатировать завышенные ожидания добычи, которые были установлены

Таблица 3. Динамика планируемого стратегического и фактического вылова ВБР и накопленных инвестиций в действующих ценах за 2007–2030 годы

Годы	Вылов ВБР, тыс. т			Накопленные инвестиции в действующих ценах, млрд руб.		
	Стратегия 2020 (инновац.)	Стратегия 2030	Фактический	Стратегия 2020	Стратегия 2030	Фактические
2007	3418		3 215,0			
2008	3500		3 300,0	14,8		7,0
2009	3650		3 437,9	32,2		11,6
2010	3800		3 336,1	60,5		17,0
2011	4000		3 801,4	101,7		25,5
2012	4300		4 027,9	154,4		37,7
2013	4700		4 264,7	218,3		52,0
2014	4850		4 269,8	287,2		70,2
2015	5120		4 296,8	361,8		82,2
2016	5400	4 812	4 245,9	436,0		102,3
2017	5690	4 942	4 492,5	513,3	75	131,1
2018	5980	5 110	4812,0	593,3	159	167,9
2019	6270	4 983	4 942,0	670,3	247	204,7
2020	6580	4 975	5109,8	745,1	330	260,7
2021		5 201			372	
2022		5 208			422	
2023		5 215			453	
2024		5 322			480	
2025		5 329			517	
2026		5 342			536	
2027		5 356			555	
2028		5 369			574	
2029		5 383			593	
2030		5 396			612	

По материалам Росстата и Росрыболовства [Финансы России. 2016, 2018, 2020]..

в Стратегии 2020 (среднегодовой рост – 253,6 тыс. т), умеренные параметры роста в Стратегии 2030 (среднегодовой рост – 39,257 тыс. т) и реальные фактические в 2007–2020 годах объёмы добычи в среднем за год в размере 145,47 тыс. т. Такой значительный разброс в среднем по годам стратегических и фактических показателей добычи ВБР характеризует наличие проблем в методической базе расчёта и планирования основного показателя деятельности отрасли. Эти проблемы не позволяют обеспечивать приемлемую точность установления прогнозных стратегических целевых задач развития РХК.

На рис. 7 представлена инфографика динамики стратегического и фактического вылова ВБР за 2007–2030 годы. Как явствует из линейной аппроксимации, наиболее реальной динамикой добычи ВБР, на наш взгляд, являются показатели Стратегии 2030, которые в процессе реализации стратегии могут быть скорректированы при необходимости в направлении увеличения среднегодового вылова до уровня фактических параметров за 2007–2020 годы. Инновационные параметры вылова ВБР Стратегии 2020 были несостоятельными и должны были быть скорректированы в середине срока реализации этой стратегии, так как начинались ощущаться увеличивающиеся отклонения фактической добычи от заданной в Стратегии 2020. Как показала реальная фактическая динамика вылова ВБР за 2007–2020 годы изменение добычи было приближено к инерционному сценарию развития отрасли на эти годы.

Следует отметить, что наибольшая связь показателя добычи ВБР с ростом последовательной годовой динамики развития наблюдалась в Стратегии 2020 (коэффициент детерминации 0,9885, самый большой угол наклона к горизонтальной оси, аппроксимирующей прямой линии). Наименьшая связь величины добычи ВБР с ростом горизонта планирования по годам наблюдается в Стратегии 2030 (коэффициент детерминации 0,8639, самый маленький угол наклона к горизонтальной оси, аппроксимирующей прямой линии). Средняя связь объёма добычи ВБР с периодами времени роста по годам наблюдается по фактическим выловам (коэффициент детерминации 0,9546, средний по сравнению с двумя другими вариантами роста вылова (Стратегия 2020 и Стратегия 2030) угол наклона аппроксимирующей прямой линии к горизонтальной оси на графике).

Регрессионный анализ и фактическая динамика вылова ВБР в трёх рассмотренных случаях развития показывает в целом рост по годам объёмов добычи отрасли за 2007–2030 годы, но динамика увеличения в различных временных условиях и нормативных документах отличается. Это отличие кроется как в итоговом количественном отклонении годовых параметров добычи ВБР, так и в методическом обосновании расчёта показателей по годам в стратегических документах.

Коэффициент корреляции динамики вылова ВБР в Стратегии 2020 и Стратегии 2030 составляет 0,902. Коэффициент корреляции динамики годовых показателей добычи Стратегии 2020 и фактического вылова ВБР равен 0,976. Можно говорить о высокой динамической связи изменения (роста) параметров вылова ВБР относительно Стратегии 2020 и фактических параметров добычи за 2007–2020 годы. Связь динамических показателей вылова ВБР двух рассмотренных Стратегий значительно ниже, что говорит об изменении качественного роста прогнозируемой

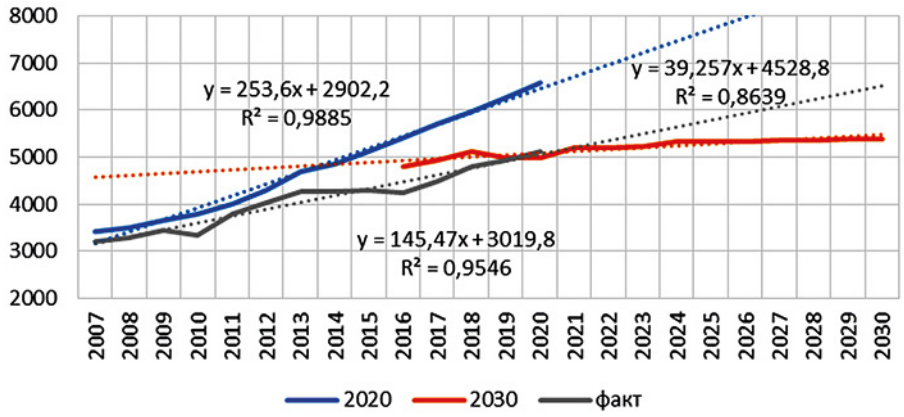


Рис. 7. Динамика планируемого стратегического и фактического вылова ВБР за 2007–2030 годы, тыс. т

добычи на протяжении двух разных периодов: 2007–2020 годов и 2016–2030 годов. Это, на наш взгляд, вполне естественно и закономерно, что характеризуется повышением производительности труда, модернизацией технических производственных процессов, автоматизацией деятельности в РХК и решением других установленных стратегических задач развития отрасли.

Важным фактором увеличения вылова ВБР является рост инвестиционных вложений в рыбную отрасль. Этому свидетельствует тесная связь накопленных инвестиций (в действующих ценах) с объёмом добычи ВБР. Коэффициент корреляции фактической добычи ВБР и накопленных инвестиций за 2007–2020 годы составил 0,929, что характеризует высокую зависимость вылова от вложения финансовых ресурсов в отрасль. На рис. 8 представлена динамика накопленных инвестиций в действующих ценах в соответствии с планируемыми стратегическими показателями и фактическими результатами деятельности отрасли за 2008–2020 годы.

Наименьшая связь динамики роста годовых накопленных инвестиций с увеличением временного периода наблюдается по фактическим параметрам вложений за 2008–2020 годы (коэффициент детерминации составляет 0,9039). Ежегодный среднегодовой прирост инвестиций составлял 19,602 млрд руб. Планируемый в Стратегии 2020 среднегодовой прирост инвестиций планировался на уровне 63,984 млрд руб. При этом связь с увеличением ежегодного временного периода была самой высокой из трёх вариантов анализа накопленных инвестиционных вложений — 0,9798. Планируемый в Стратегии 2020 ежегодный среднегодовой рост инвестиций оказался значительно выше фактического — в 3,3 раза, что говорит о большом расхождении прогнозируемых и фактических параметров привлечения финансовых средств в рыбохозяйственную деятельность в 2008–2020 годах.

В Стратегии 2030 предполагается осуществление среднегодового роста инвестиционных вложений на рыбохозяйственную деятельность в стране в размере 38,253 млрд руб. Данная величина в 1,95 раза выше, чем фактически достигнутая за 2008–2020 годы. Но, учитывая рост инвестиционной привлекательности отрасли в силу высокой рентабельности деятельности [Кузин, Харин, 2018], усиление внимания органов государственной власти к необходимости стимулирования рыбохозяйственного производства для обеспечения продовольственной безопасности, можно говорить о возможном достижении запланированного роста финансовых вложений до 2030 года. Определённую уверенность в реальности годовых показателей накопленных финансовых вложений в Стратегии 2030 придаёт также высокая связь динамики данных параметров с фактическими ежегодными увеличениями инвестиций за 2008–2020 годы (коэффициент корреляции составляет 0,843).

Рассматривая фактическую за 2008–2020 годы и стратегические связи накопленных привлечённых инвестиций по Стратегии 2020 и Стратегии 2030 с фактическими и планируемыми объёмами вылова ВБР, нами определены коэффициенты детерминации, которые составили:

— фактически за 2008–2020 годы — 0,8633;
— по Стратегии 2020 — 0,992;
— по Стратегии 2030 — 0,8373.

Корреляционные связи добычи и привлечения инвестиций были утверждены особенно существенными по параметрам развития отрасли в Стратегии 2020, которая, как подчеркивалось, была значительно амбициозной и в части наме-

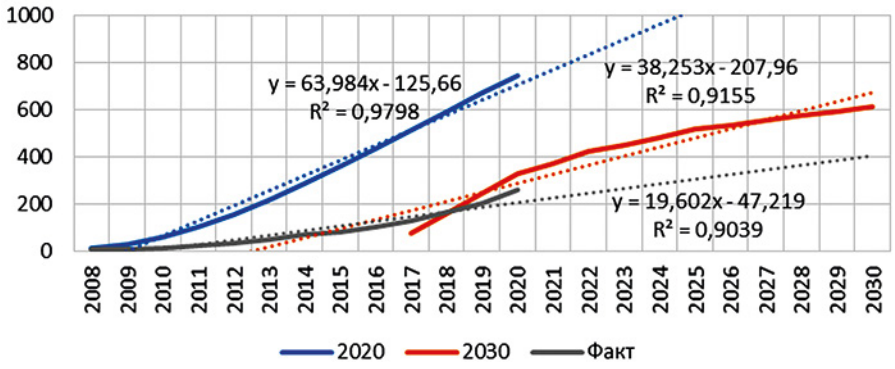


Рис. 8. Динамика накопленных инвестиций планируемого стратегического и фактического развития РХК за 2008–2030 годы, млрд руб.

ченных объёмов вылова ВБР не выполнена [Сергеев, 2021]. Стратегия 2030 и фактические результаты работы отрасли показывают высокую умеренную взаимосвязь параметров, которые показывают зависимость вылова ВБР от инвестиций в РХК. Фактически за период 2008–2020 год в среднем за год 1 млрд инвестиций в отрасль приводил к среднегодовому росту объёма вылова ВБР на 6,829 тыс. т. По параметрам Стратегии 2020 в среднем за год 1 млрд руб. увеличения инвестиций приводил к среднегодовому росту объёма вылова ВБР на 4,0755 тыс. т. По параметрам Стратегии 2030 этот рост составил только 0,8373 тыс. т на прирост инвестиций в 1 млрд руб. Данный факт говорит об опережении динамики роста фондовооруженности труда темпов роста объёмов вылова в РХК страны. Инвестиции в рыбодобывающие суда, рыбоперерабатывающие заводы, в портовое хозяйство, в рыбоводное хозяйство и другие сферы рыбной отрасли опережают рост объёмов добычи РХК. Это является следствием влияния множества факторов, включающих ценовую составляющую роста стоимости технологических процессов производства, оборудования, средств связи, строительства и других производственных объектов.

На рис. 9 представлена динамика вылова ВБР и накопленных инвестиций, установленных в Стратегии 2030.

Динамика накопленных инвестиций имеет более тесную связь с годовыми временными периодами, чем динамика вылова ВБР. Коэффициент детерминации в первом случае составляет 0,9156, а во втором случае 0,8579. Среднегодовой рост вылова ВБР составляет 35,219 тыс. т, а среднегодовой рост накопленных инвестиций — 41,661 млрд руб.

Развитие РХК как и всего народно-хозяйственного комплекса сопровождается изменениями натурально-стоимостных воспроизводственных пропорций. Темпы выпуска натуральной продукции зачастую уступают росту стоимостных параметров её производства. Наши расчёты в соответствии с параметрами Стратегии 2030 показали, что среднегодовой рост по отношению к предыдущему году объёма вылова ВБР за 2021–2030 годы запланирован в размере 0,8%, а среднегодовой рост валовой добавленной стоимости по отношению к предыдущему году — 4,1% в год. При этом за период с 2008 по 2020 годы фактический среднегодовой рост объёма добычи по отношению к предыдущему году был 2,8% в год, а среднегодовой рост валовой добавленной стоимости по отношению к предыдущему году был 13,0%. Прошедший проанализированный период с 2008 года по 2020 год показал, среднегодовой темп роста валовой добавленной стоимости по отношению к предыдущему году опережал среднегодовой рост объёма вылова ВБР по отношению к предыдущему году в 4,6 раза. В Стратегии 2030 принято опережение среднегодового роста валовой добавленной стоимости степени увеличения годового объёма добычи ВБР по отношению к предыдущему году в 5,1 раза.

В табл. 4 показана динамика объёма вылова ВБР и валовой добавленной стоимости (ВДС) отрасли «рыболовство и рыбоводство» по фактическим годовым данным с 2007 по 2020 годы и по утвержденным параметрам Стратегии 2030. Годовые значения 2026–2029 периодов рассчитаны нами путём вычитания от параметров 2030 года показателей 2025 года и прибавлени-

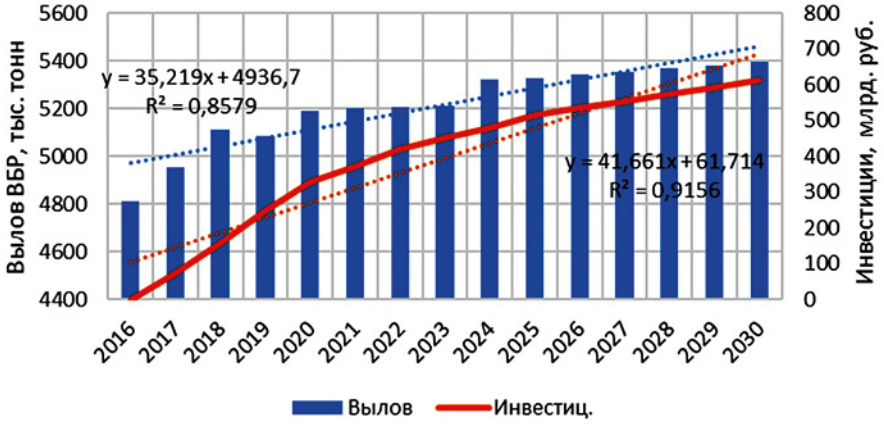


Рис. 9. Динамика вылова ВБР и накопленных инвестиций, установленных в Стратегии 2030 за 2016–2030 годы

Таблица 4. Динамика объёма добычи ВБР и валовой добавленной стоимости за 2007–2030 гг.

Годы	ВДС, млрд руб.	Вылов ВБР, тыс. т	Индекс	
			ВБР	ВДС
2007	62	3 438		
2008	63	3 336	0,970	1,018
2009	81	3 801	1,139	1,285
2010	97	4 028	1,060	1,203
2011	99	4 265	1,059	1,020
2012	109	4 270	1,001	1,102
2013	108	4 297	1,006	0,992
2014	139	4 246	0,988	1,283
2015	193	4 493	1,058	1,388
2016	225	4 812	1,071	1,169
2017	242	4 942	1,027	1,076
2018	244	5 110	1,034	1,008
2019	253	4 983	0,975	1,037
2020	281	4 975	0,998	1,111
2021*	313	5 201	1,045	1,114
2022*	337	5 208	1,001	1,077
2023*	341	5 215	1,001	1,012
2024*	349	5 322	1,021	1,023
2025*	358	5 329	1,001	1,026
2026*	370	5 342	1,003	1,034
2027*	382	5 356	1,003	1,032
2028*	394	5 369	1,003	1,031
2029*	406	5 383	1,003	1,030
2030*	418	5 396	1,002	1,030

По материалам Росстата и Росрыболовства [Финансы России. 2016, 2018, 2020]..

* Указана валовая добавленная стоимость по направлению «рыболовство, рыбоводство и рыбопереработка».

ем к последующим годам частного от деления полученной разницы на пять.

Динамика параметров показывает, что вылов ВБР в анализируемом периоде постоянно увеличивался по отношению к предыдущему году за исключением четырёх лет. Максимальный рост наблюдался в 2009 году (13,9%), максимальное уменьшение добычи по отношению к предыдущему году было в 2008 году (3,0%). В Стратегии 2030 годовой прирост вылова ВБР установлен от 0,1% (2025 год) до 4,5% (2021 год).

Валовая добавленная стоимость постоянно увеличивается по отношению к предыдущему году (за исключением 2013 года). При этом максимальное увеличение ВДС было в 2015 году (38,8%), минимальное увеличение — планируется в 2023 году (1,2%), а по фактическому прошедшему периоду было в 2018 году (0,8%).

На рис. 10 представлена графическая динамика вылова и валовой добавленной стоимости за 2007–2030 годы, которая наглядно показывает абсолютное изменение по годам вылова ВБР и валовой добавленной стоимости. Линейная аппроксимация показывает, что динамика ВДС имеет высокую связь с ростом как прошедших годов, так и с увеличением годового горизонта планирования (Стратегия 2030), коэффициент детерминации составляет 0,976. В среднем каждый год анализируемого периода увеличивает ВДС рыбохозяйственной отрасли на 17,199 млрд руб. Связь динамики вылова ВБР с проанализированной годовой динамикой ниже, чем связь увеличения

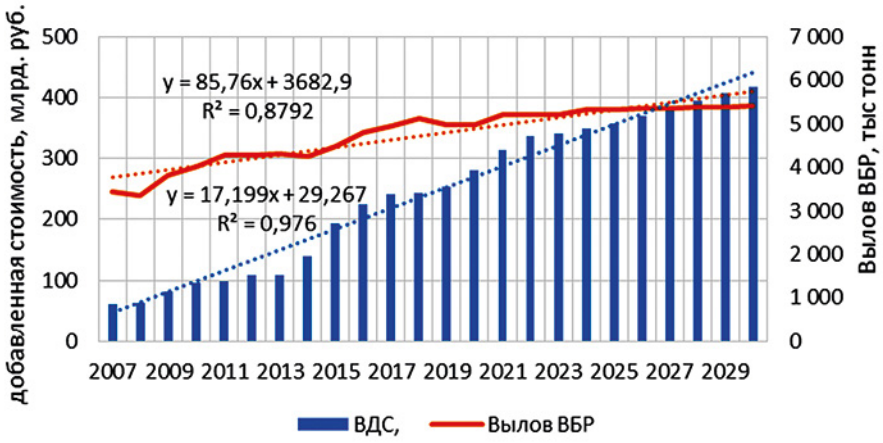


Рис. 10. Динамика вылова ВБР и добавленной стоимости РХК за 2007–2030 годы

ВДС с годовым ростом анализируемого годового периода, коэффициент детерминации составляет 0,8792. Каждый год рассматриваемого периода в среднем увеличивает объём вылова ВБР на 85,76 тыс. т.

Следует отметить, что плановые значения среднего ежегодного прироста вылова в Стратегии 2030 составляют 35,219 тыс. т, что меньше более чем в два раза средней величины фактического ежегодного прироста добычи за период 2007–2020 годов. Умеренный годовой прирост вылова ВБР в Стратегии 2030 характеризует, на наш взгляд, взвешенный подход разработчиков показателей к ожидаемой реальности выполнения запланированных параметров деятельности отрасли, чего было явно недостаточно при утверждении показателей вылова в Стратегии 2020, когда были установлены завышенные ожидания добычи ВБР в условиях инновационного развития отрасли.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Расчёт параметров стратегического развития РХК должен учитывать фактические статистические показатели деятельности отрасли и использование регрессионного аппарата экономико-математического моделирования, который позволяет анализировать динамические взаимозависимости макроэкономических результатов прогнозируемой работы.

Для более грамотного определения стратегических реальных целевых показателей развития РХК следует, кроме регрессионных линейных уравнений, использовать более сложный аппарат многофакторного анализа и построения имитационных статистических моделей типа Кобба–Дугласа и других, которые позволяют осуществлять многоитерационные вариантные расчёты планируемых стратегических параметров в зависимости от прогнозируемых изменений различных внешних и внутренних факторов.

ЛИТЕРАТУРА

Волкогон В.А., Сергеев Л.И. 2016. Обобщение балансовых пропорций формирования и использования ресурсов рыбохозяйственного комплекса страны // Рыбное хозяйство. № 5. С. 4–13.

Волкогон В.А., Сергеев Л.И. 2017. Обобщение динамики пропорций основных натурально-стоимостных параметров развития рыбной отрасли // Рыбное хозяйство. № 1. С. 3–10.

Волкогон В.А., Сергеев Л.И., Кузин В.И. 2018. Региональное программно-целевое развитие рыбной отрасли России. Калининград: Изд-во КГТУ. 206 с.

Волкогон В.А., Сергеев Л.И., Кузин В.И. 2019. Эффективность программно-целевого развития рыбной отрасли России. Калининград: Изд-во КГТУ. 226 с.

Кузин В.И. Харин А.Г. 2018. Исследование феномена высокой рентабельности в российском рыбном хозяйстве // Экономический анализ: теория и практика. Т. 17. Вып. 4. С. 652–670.

Кузин В.И. Харин А.Г., Мнацаканян А.Г. 2018. О некоторых современных тенденциях в развитии российского рыбного хозяйства // Балтийский экономический журнал. Ч. 2. Проблема модернизации производственного потенциала. № 2(22). С. 28–39.

Мнацаканян А.Г. Корякина А.В., Теплицкий В.А. 2014. Инвестиционные ресурсы рыбохозяйственного комплекса (на примере рыбохозяйственного комплекса Калининградской области). Калининград: Изд-во КГТУ. 98 с.

Приказ Федерального агентства по рыболовству от 30 марта 2009 г. N 246 «Стратегия развития рыбохозяйственного комплекса Российской Федерации на период до 2020 года». Доступно через: https://www.

garant.ru/products/ipo/prime/doc/2068101/ 15.03.2021.

Распоряжение Правительства РФ от 26 ноября 2019 г. № 2798-р «Об утверждении стратегии развития рыбохозяйственного комплекса РФ на период до 2030 г. и плана мероприятий по её реализации». Доступно через: http://government.ru/docs/38448/ 15.03.2021.

Рыбоводство и рыболовство. Аналитическая справка. 2019. ВНИИ Труда. 42 с. Доступно через: https://spravochnik.rosmintrud.ru/storage/app/media/Pebolovctvo_2019.pdf 17.03.2021.

Сергеев Л.И. 2016. Динамика параметров и эконометрическое моделирование показателей финансово-экономической деятельности рыбохозяйственного комплекса России // Известия КГТУ. № 40. С. 185–198.

Сергеев Л.И. 2017. Ценовая эластичность добычи рыбохозяйственной отрасли // Балтийский экономический журнал. № 1(17) март. С. 60–70.

Сергеев Л.И. 2018. Регрессионный анализ макроэкономических параметров развития рыбной отрасли // Известия КГТУ. № 49. С. 293–307.

Сергеев Л.И. 2021. Финансово-экономическое обобщение текущей и стратегической рыбохозяйственной деятельности // Вопросы рыболовства. Т. 22 № 1. С. 133–154.

Федеральная служба государственной статистики. Доступно через: http://www.gks.ru/. 15.03.2021.

Федеральное агентство по рыболовству. Доступно через: http://fish.gov.ru/. 13.03.2021.

Финансы России. 2016. Статистический сборник. 2016. М.: Росстат. 343 с.

Финансы России. 2018. Статистический сборник. 2018. М.: Росстат. 439 с.

Финансы России. 2020. Статистический сборник. 2020. М.: Росстат. 380 с.

Шпаченков Ю.А., Гоголина Л.В. 2010. Экономика отрасли (рыбная промышленность и хозяйство). Рыбное. 1047 с.

Поступила в редакцию 18.05.2021 г.
Принята после рецензии 02.06.2021 г.

DOI: 10.36038/2307-3497-2021-184-169-189

Generalization of the provisions and parameters of the strategic development of the fishing industry

L.I. Sergeev

Kaliningrad State Technical University («KSTY»), Kaliningrad, Russia

The general and specific provisions of the 2 Development Strategies of the Russian Agricultural Complex up to 2020 and up to 2030 are considered. The author analyzes the stages, targets, main tasks and the main distinctive content bases of the principles of the industry development in the context of the Strategy 2020 and the Strategy 2030. The features of financial support, the formed structuring of strategic development documents are emphasized. A summary of some of the results of the activities of the RCC in the process of implementing the Strategy 2020 is carried out, which analyze the dynamics of the volume of VBR catch, the production of food fish products, investments, and the renewal of fixed assets in accordance with the innovative task of the strategic innovative and actual development of the RCC. The corresponding linear macro-econometric models are constructed to evaluate and compare the dynamic parameters of strategic and actual development. The article highlights the features of the development of the RCC in the context of the Strategy 2030, analyzes the dynamics of the planned strategic and actual catch of the UBR, the dynamics of the accumulated investments of the planned strategic and actual development of the RCC for 2008–2030. The regression parameters of the catch of UBR and the added value of RCC for 2007–2030 are calculated. Conclusions are drawn about the need to use a regression econometric apparatus to establish reasonable parameters of the strategic development of the RCC.

Keywords: development strategy, regression, relationship of parameters, correlation, catch volume, dynamics of change.

REFERENCES

Volkogon V.A., Sergeev L.I. 2016. Obobshchenie balansovykh proportsij formirovaniya i ispol'zovaniya resursov rybokhozyajstvennogo kompleksa strany [Generalization of the balance proportions of the formation and use of the resources of the fisheries complex of the country] // Rybnoe khozyajstvo. № 5. S. 4–13.

Volkogon V.A., Sergeev L.I. 2017. Obobshchenie dinamiki proportsij osnovnykh natural'no-stoimostnykh parametrov razvitiya rybnoj otrasli [Generalization of the dynamics of the proportions of the main natural-cost parameters of the development of the fishing industry] // Rybnoe khozyajstvo. № 1. S. 3–10.

Volkogon V.A., Sergeev L.I., Kuzin V.I. 2018. Regional'noe programmno-tselevoe razvitie rybnoj otrasli Rossii [Regional program and target development of the Russian fishing industry]. Kaliningrad: Izd-vo KGTU. 206 s.

Volkogon V.A., Sergeev L.I., Kuzin V.I. 2019. Ehffektivnost' programmno-tselevogo razvitiya rybnoj otrasli Rossii [Efficiency of program-targeted development of the Russian fishing industry]. Kaliningrad: Izd-vo KGTU. 226 s.

Kuzin V.I. Kharin A.G. 2018. Issledovanie fenomena vysokoj rentabel'nosti v rossijskom rybnom khozyajstve [Study of the phenomenon of high profitability in the Russian fisheries] // Ehkonomicheskij analiz: teoriya i praktika. T. 17. Vyp. 4. S. 652–670.

Kuzin V.I. Kharin A.G., Mnatsakanyan A.G. 2018. O nekotorykh sovremennykh tendentsiyakh v razvitii rossijskogo rybnogo khozyajstva [On some modern trends in the development of Russian fisheries] // Baltijskij ehkonomicheskij zhurnal. CH. 2. Problema modernizatsii proizvodstvennogo potentsiala. № 2(22). S. 28–39.

Mnatsakanyan A.G. Koryakina A.V., Teplitskij V.A. 2014. Investitsionnye resursy rybokhozyajstvennogo kompleksa (na primere rybokhozyajstvennogo kompleksa Kaliningradskoj oblasti) [Investment resources of the fisheries complex (on the example of the fisheries complex of the Kaliningrad region)]. Kaliningrad: Izd-vo KGTU. 98 s.

Prikaz Federal'nogo agentstva po rybolovstvu ot 30 marta 2009 g. N 246 «Strategiya razvitiya rybohozyajstvennogo kompleksa Rossijskoj Federacii na period do 2020 goda». [Order of the Federal Agency for Fisheries of March 30, 2009 N 246 «Strategy for the development of the fisheries complex of the Russian Federation for the period up to 2020»]. Accessible via: https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/2068101/ 15.03.2021.

Rasporyazhenie Pravitel'stva RF ot 26 noyabrya 2019 g. № 2798-r «Ob utverzhdenii strategii razvitiya rybokhozyajstvennogo kompleksa RF na period do 2030 g. i plana meropriyatij po ee realizatsii» [Decree of the Government of the Russian Federation No. 2798-r of November 26, 2019 «On Approval of the Strategy for the

development of the Fisheries Complex of the Russian Federation for the period up to 2030 and the action Plan for its implementation»]. Accessible via: http://government.ru/docs/38448/ 15.03.2021.

Rybovodstvo i rybolovstvo. Analiticheskaya spravka [13. Fish farming and fishing. Analytical reference]. 2019. VNII Truda. 42 s. Accessible via: https://spravochnik.rosmintrud.ru/storage/app/media/Pebolovctvo_2019.pdf 17.03.2021.

Sergeev L.I. 2016. Dinamika parametrov i ehkonometricheskoe modelirovanie pokazatelej finansovo-ehkonomicheskoj deyatel'nosti rybokhozyajstvennogo kompleksa Rossii [Dynamics of parameters and econometric modeling of indicators of financial and economic activity of the fisheries complex of Russia] // Izvestiya KGTU. № 40. S. 185–198.

Sergeev L.I. 2017. Tsenovaya ehlastichnost' dobychi rybokhozyajstvennoj otrasli [Price elasticity of fishing industry production] // Baltijskij ehkonomicheskij zhurnal. № 1(17) mart. S. 60–70.

Sergeev L.I. 2018. Regressionnyj analiz makroehkonomicheskikh parametrov razvitiya rybnoj otrasli [Regression analysis of the macroeconomic parameters of the development of the fishing industry] // Izvestiya KGTU. № 49. S. 293–307.

Sergeev L.I. 2021. Finansovo-ehkonomicheskoe obobshchenie tekushchej i strategicheskoj rybokhozyajstvennoj deyatel'nosti [Financial and economic summary of current and strategic fisheries management activities] // Voprosy rybolovstva. T. 22 № 1. S.133–154

Federal'naya sluzhba gosudarstvennoj statistiki [Federal State Statistics Service]. Accessible via: http://www.gks.ru/ 15.03.2021.

Federal'noe agentstvo po rybolovstvu [Federal Agency for Fisheries]. Accessible via: http://fish.gov.ru/. 13.03.2021.

Finansy Rossii. 2016. Statisticheskij sbornik [Finance of Russia. 2016: Statistical Compendium]. 2016. M.: Rosstat. 343 c.

Finansy Rossii. 2018. Statisticheskij sbornik [Finance of Russia. 2018: Statistical Compendium]. 2018. M.: Rosstat. 439 c.

Finansy Rossii. 2020. Statisticheskij sbornik [Finance of Russia. 2020: Statistical Compendium]. 2020. M.: Rosstat. 380 c.

Shpachenkov Yu.A., Gogolina L.V. 2010. Ehkonomika otrasli (rybnaya promyshlennost' i khozyajstvo) [Economy of the industry (fishing industry and agriculture)]. Rybnoe. 1047 s.

TABLE CAPTIONS

Table 1. Comparison of inertial and strategic targets for the development of the Russian Agricultural Complex until 2020

Table 2. The dynamics of the catch of UBR and the coefficient of renewal of fixed assets of the Russian Agricultural Complex according to the data established by the Strategy 2020 (innovative development option), and according to the actual performance indicators of the industry for 2007–2020.

Table 3. Dynamics of planned strategic and actual catch of IBD and accumulated investments in current prices for 2007–2030

Table 4. Dynamics of UBR production and gross value added for 2007–2030

FIGURE CAPTIONS

Fig. 1. Dynamics of the actual and strategic (innovative) volume of catch of IBD for 2007–2020.

Fig. 2. Dynamics and percentage of actual implementation of the assignments of the innovative strategic catch of UBR for 2007–2020.

Fig. 3. Dynamics of growth in relation to the last year of the catch of IBD in the fishing industry for 2008–2020 according to the strategic development scenario and by actual indicators

Fig. 4. Dynamics of the actual and planned in the Strategy 2020 coefficient of renewal of fixed assets of enterprises of the Russian Agricultural Complex (in percent) for 2007–2020.

Fig. 5. Dynamics of investments in the country's fishing industry for 2007–2020 based on actual statistical data and established in the 2020 Strategy (taking into account the conversion of 2008 prices set by the 2020 Strategy into current prices).

Fig. 6. Dynamics of fish food production in accordance with the Innovation Strategy 2020 and with the actual data of the Federal Agency for Fisheries.

Fig. 7. Dynamics of the planned strategic and actual catch of UBR for 2007–2030, thousand tons

Fig. 8. Dynamics of accumulated investments of the planned strategic and actual development of the Russian Agricultural Complex for 2008–2030, billion rubles.

Fig. 9. Dynamics of the catch of IBD and accumulated investments established in the Strategy 2030 for 2016–2030.

Fig. 10. Dynamics of the catch of UBR and the added value of RCC for 2007–2030

УДК 339.9

DOI: 10.36038/2307-3497-2021-184-190-202

Тенденции производства рыбной продукции стран Северо-Восточной Азии в период с 2008 по 2018 гг., оценка факторов и прогноза развития до 2025 года

М.А. Салтыков

Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет (ФГАОУ ВО «Дальрыбвтуз»), Владивосток

Владивостокский филиал Российской таможенной академии (ГКОУ ВО «Российская таможенная академия»), Владивосток

E-mail: Saltykov_ma@mail.ru

Северо-Восточная Азия является динамично развивающимся рыбохозяйственным регионом, выступает в качестве мирового производителя и потребителя рыбной продукции. Рынки рыбной продукции Китая, Японии и Республики Корея высоко конкурентны и подвержены конъюнктурным изменениям. За последние тридцать лет изменились лидеры производства рыбной продукции в регионе, соотношение добываемой в естественной среде рыбы и искусственно разводимой. Возникает вопрос, как продолжит развиваться рыбная промышленность региона? Как будут развиваться рынки? Какие факторы будут оказывать наибольшее влияние на рост производства? Поэтому, целью данной работы является анализ сформировавшихся тенденций в экономике рыбной промышленности стран Северо-Восточной Азии и определение перспективы производства водных биологических ресурсов. В работе представлена сравнительная характеристика рыбных рынков КНР, Японии, Республики Корея, проводится анализ объёмов вылова и производства водных биологических ресурсов за 2008–2018 гг., анализируется изменение структуры производства в основных сегментах водных биологических ресурсов, рассчитывается прогноз и определяются основные факторы, влияющие на рост производства рыбной продукции в странах Северо-Восточной Азии.

Ключевые слова: водные биологические ресурсы, Северо-Восточная Азия, Китай, Япония, Республика Корея, тенденции и прогноз производства рыбной продукции, аквакультура, рыболовство.

ВВЕДЕНИЕ

Важным рынком для добываемой российскими компаниями рыбной продукции являются страны Северо-Восточной Азии. Основной объём добытой в Дальневосточном федеральном округе рыбы (около 50%) экспортируется в КНР, Республику Корея и Японию. Из выловленных 3,42 млн т в 2018 году было экспортировано 1,54 млн т на сумму 3,28 млрд долл. [Министерство РФ …, 2018]. Из этого объёма в Китай было экспортировано 969 065,8 т, в Корею — 309 555,6 т, в Японию — 44 614,8 т. При этом наблюдается ежегодное увеличение экспорта как в весовом, так и стоимостном выражении. Остальная рыбная продукция реализуется на российском рынке, незначительная доля направляется на экспорт в страны Запада, а также в страны СНГ — Беларусь, Казахстан, Украину. В 2018 году в СНГ было экспортировано всего — 501,8 т [Дальневосточное таможенное …, 2021].

Согласно информации Сельскохозяйственной и продовольственной организации ООН (ФАО) данные страны являются лидерами импорта рыбной продукции, в 2018 г. на Японию приходилось 10% мирового импорта водных биологических ресурсов, на Китай — 6,5%, Республику Корея — 3,4% [ФАО, 2018].

Хотя сфера торговых отношений рыбной продукцией России со странами СВА относительно стабильна, тем не менее, актуальным является мониторинг происходящих изменений в рыбной промышленности региона и рынках водных биологических ресурсов. Представляют интерес анализ перспективного развития рынка рыбной продукции Северо-Восточной Азии, оценка факторов, влияющих на дальнейший рост производства, а также структурных процессов, происходящих на рынке рыбной продукции региона. Поэтому в нашем исследовании предпримем попытку проанализировать основные процессы, происходящие в производстве рыбной продукции региона и построить прогноз производства водных биологических ресурсов в обозримой краткосрочной перспективе до 2025 года.

Данная публикация основывается на актуальных документах, определяющих приоритетные направления исследований в области экономики рыбной промышленности. Так, в Поручении Президента по вопросам развития рыбохозяйственного комплекса [Поручение Президента ..., 2013] для обеспечения торговых интересов России на внешнем рынке указываются такие мероприятия, как:

— создание на Дальнем Востоке рыбоперерабатывающего кластера с современной портовой инфраструктурой и холодильными мощностями;

— создание механизма мониторинга мировых цен на водные биоресурсы в целях определения достоверной таможенной стоимости при их экспорте;

— развитие мер стимулирования производства пищевой и иной продукции из водных биоресурсов с высокой степенью переработки и её экспорта.

Согласно Комплексной целевой программе научных исследований в интересах рыбного хозяйства Российской Федерации на 2019–2023 гг. [Федеральное агентство ..., 2019] актуальным является изучение факторов, влияющих на состояние и развитие рынка продукции из водных биологических ресурсов; оценка состояния и тенденций развития российского и мирового рынков продукции из водных биоресурсов; разработка прогноза основных производственно-экономических и рыночных показателей рыбохозяйственного комплекса в кратко-, средне- и долгосрочной перспективе.

Задача интеграции производств Дальнего Востока в рынки Азиатско-Тихоокеанского региона определяется в стратегических документах и региональных программах [Распоряжение Правительства РФ, 2009].

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Представленное исследование основывается на научных работах Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (ФАО) [ФАО, 2018], научных работах авторов, изучающих отдельные вопросы рыбного рынка стран Северо-Восточной Азии [Charles et al., 1997; Chern, 1997; Cen, Zhang, 1998; Zhao, Huihui, 2016; Kitano, Yamamoto, 2020; Kim, Seung, 2020]. В обозначенных исследованиях раскрываются экономические отношения между производителями и потребителями рыбной продукции в Азиатско-Тихоокеанском регионе.

Информационной базой исследования послужили статистические данные UNCTAD [Unctadstat, 2021], статистические базы вылова водных биологических ресурсов Сельскохозяйственной и продовольственной организации ООН (ФАО) [FAO. Statistics, 2020], в которых выделяются такие сегменты как: Capture production (Промышленное рыболовство (Вылов, производство); Aquaculture production (marine) Продукция аквакультуры (морская); Aquaculture production (freshwater) Продукция аквакультуры (пресноводная); Aquaculture production (brackishwater) Продукция аквакультуры (солоноватоводная).

На момент проведения исследования данные ФАО ограничивались статистической информацией до 2018 года, в связи с чем в работе предлагается рассмотреть период с 2008 по 2018 гг., отражающий актуальные изменения в производстве водных биологических ресурсов региона. В отдельных случаях использовались более актуальные данные или ретроспективный анализ. В ходе исследования оценивался совокупный вклад стран КНР, Японии и Республики Корея. Доля других стран (Гонконг, Тайвань, КНДР), входящих в Северо-Восточную Азию, не учитывалась по причине незначительного объёма производства рыбной продукции в этих странах. В исследовании применялись методы сегментирования, построения рядов динамики, относительные величины, трендовый анализ, регрессионный анализ.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Северо-Восточная Азия является одним из мировых лидеров по производству и потреблению рыбной продукции. Рынки региона являются привлекательными для производителей из большинства рыбопромышленных стран. Традиционно многочисленное население Китая, Японии и Республики Корея ориентированно на потребление большого объёма водных биологических ресурсов, что отражается в самых высоких показателях потребления рыбы на душу населения, импорте рыбной продукции и высоко развитом собственном производстве. Общая характеристика рынков и их потенциала представлена в табл. 1.

Динамика производства рыбной продукции странами СВА отражает рост, который сформировался с начала 1990-х гг. прошлого столетия, а также продолжается по настоящее время. На рис. 1 представлены данные ФАО, отражающие

Таблица 1. Характеристика рыбных рынков стран Северо-Восточной Азии в 2010–2019 гг.

Страна	Год	Численность населения, тыс. чел	Импорт рыбы, млн долл.	Собственное производство (аквакультура, вылов), т	Потребление рыбы, кг/чел.
Китай	2010	1 338,2	7,660	62 843,8	40,2
Р. Корея		49,55	3,833	3 112,2	54,8
Япония		128,1	17,433	5 339,5	55,6
Китай	2019	1 422,1	19,961	80 966,4	48
Р. Корея		51,4	5,431	3 623,7	59,9
Япония		125,9	13,807	4 239,8	48

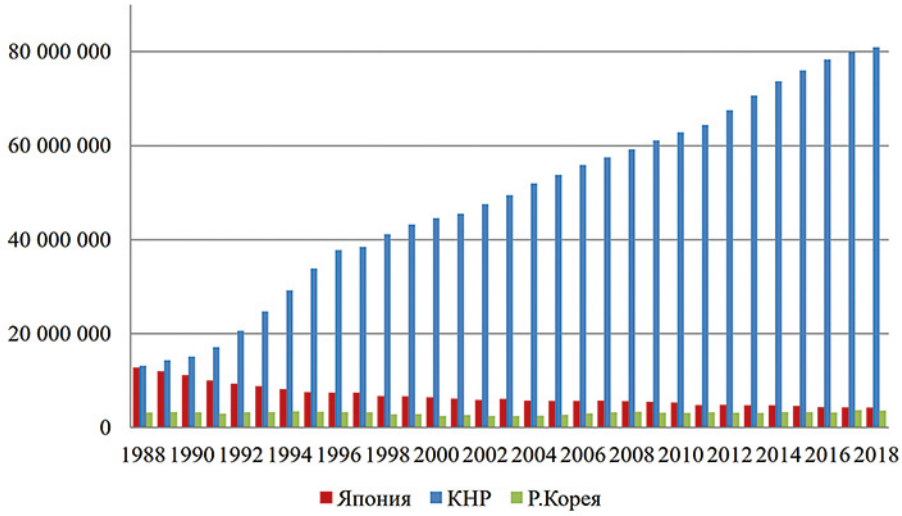


Рис. 1. Объем производства ВБР Китаем, Республикой Корея, Японией за 1988–2018 гг. (включая аквакультуру), т. Составлено по данным [FAO. Statistics, 2020]

динамику вылова и производства водных биологических ресурсов Китаем, Республикой Корея, Японией.

В конце 80-х и начале 90-х гг. объём производства ВБР трёх стран был сопоставим, но с начала 90-х произошёл резкий рост производства в КНР, и снизилось производство в Республике Корея и Японии.

С 1990-х гг. в развитии рыбохозяйственных комплексов Китая, Республики Корея и Японии наблюдается выраженная диспропорция. В 1988 году объём производства водных биологических ресурсов Японии оценивался в 12,7 млн т, и превышал объём производства Китая, который составлял 10,4 млн т. Республика Корея в тот период производила 3,66 млн т. В последующем в Китае производство водных биологических ресурсов резко возрастало, и к 2018 году объём производства оценивался уже на уровне 80,9 млн т, рост составил 7,7 раза. Увеличение произошло в основном за счёт экстенсивного развития аквакультуры, объём которой увеличился с 1,68 до 45,47 млн т. В Японии же за этот период производство водных биологических ресурсов ежегодно снижалось, и сократилось до 4,24 млн т, что составило 33% от производства 1988 года. В Республике Корея объём производства за аналогичный период практически не изменился, лишь незначительно снизился до 3,62 млн т [FAO. Statistics, 2020].

В Китае происходит наиболее динамичное развитие рыболовства и аквакультуры. Менее развито рыболовство в Республике Корея, что обуславливается объективными проблемами, дефицитом специалистов в рыболовстве, аквересурсов, территории для аквакультуры, меньшей численностью населения. В Японии в настоящее время рыболовство и аквакультура значительно отстают по развитию от рыболовства Китая и Республики Корея. Япония испытывает дефицит водных биологических ресурсов ввиду наличия ограниченных зон вылова, истощения запасов биологических ресурсов.

В настоящее время Китай создаёт основной объём производства водных ресурсов региона.

В совокупности на три страны Северо-Восточной Азии приходится 49,7% мирового производства (рис. 2).

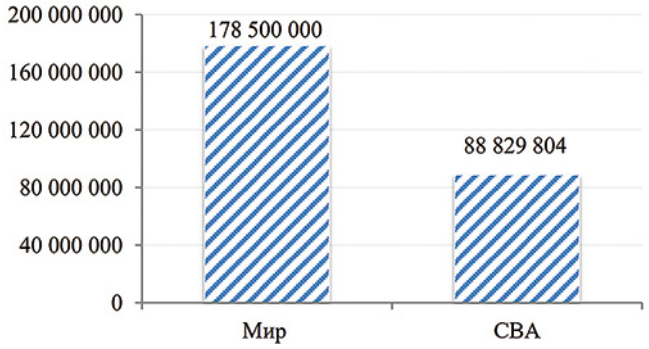


Рис. 2. Производство рыбной продукции в 2018 году, т. Составлено по данным [FAO. Statistics, 2020]

Потребление рыбы в Китае с 2008 по 2015 гг. увеличилось с 40,2 до 48,8 кг [Zhao, Huihui, 2016]. В Японии произошло снижение потребления с 55,6 до 48 кг [FAO. Consumption ..., 2021]. В Республике Корея потребление рыбы возросло с 54,8 до 59,9 кг за аналогичный период [Korea Seafood ..., 2021]

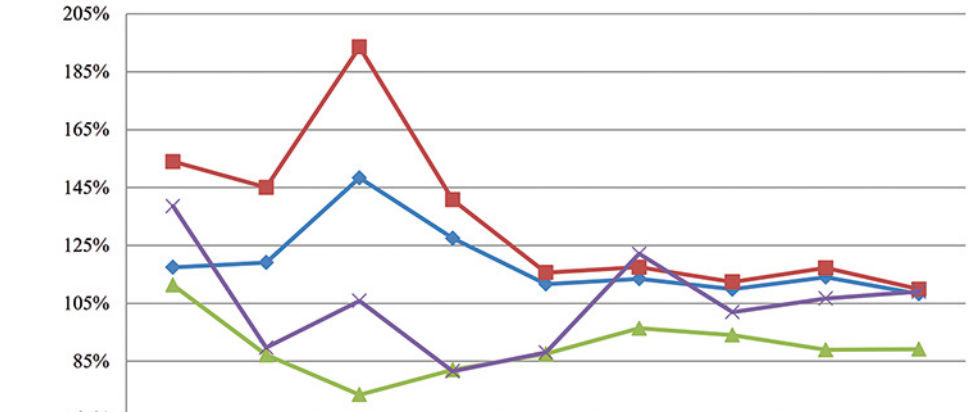
Совокупный объём производства водных биологических ресурсов Китая, Японии и Республики Корея вырос с 68,2 до 88,8 млн т за период с 2008 по 2018 гг., основной вклад в производство обеспечила КНР. Хотя в абсолютных значениях наблюдается рост производства, но темп роста имеет нисходящую тенденцию у всех стран. Снижение наблюдается с середины 80-х, за исключением 1994 года, когда темп роста производства в КНР составил 193%. Наибольшее снижение демонстрирует производство Японии (рис. 3).

В структуре производства рыбной продукции Северо-Восточной Азии происходят существенные изменения. С 2008 года наблюдается изменение соотношения основных сегментов. Удельный вес продукции морской аквакультуры увеличился с 37 до 43%, удельный вес пресноводной аквакультуры увеличился с 31 до 33%, доля солоноватоводной аквакультуры возросла с 1 до 2% (рис. 4).

Общее производство продукции аквакультуры в странах СВА (в том числе растительной аквакультуры) уже на протяжении ряда лет превышает объёмы промышленного лова (рис. 5) Естественно, что основной объём приходится на Китай.

В настоящее время на страны Серо-Восточной Азии приходится 25% мирового производства аквакультуры [FAO. Statistics, 2020]. Китай — единственная страна, у которой доля аквакультуры превысила показатели промышленного лова в морских водоёмах. В период с 2008 по 2018 гг. в Китае ежегодно увеличивался объём производства аквакультуры и возрастал разрыв между промышленным ловом и разведением аквакультуры (рис. 6).

Такой рост аквакультуры в регионе обусловлен масштабным рынком, а также внедрением технологий и реализацией специальной эконо-



	1986	1990	1994	1998	2002	2006	2010	2014	2018
СВА	117%	119%	148%	127%	112%	113%	110%	114%	108%
КНР	154%	145%	193%	141%	116%	117%	112%	117%	110%
Япония	111%	87%	73%	82%	88%	96%	94%	89%	89%
Р.Корея	139%	90%	106%	82%	88%	122%	102%	107%	109%

Рис. 3. Темп роста производства ВБР стран Северо-Восточной Азии за 1986–2018 гг.,%. Составлено по данным [FAO. Statistics, 2020]



Рис. 4. Структура производства ВБР в основных сегментах стран Северо-Восточной Азии, 2008 и 2018 гг., т. Составлено по данным [FAO. Statistics, 2020]

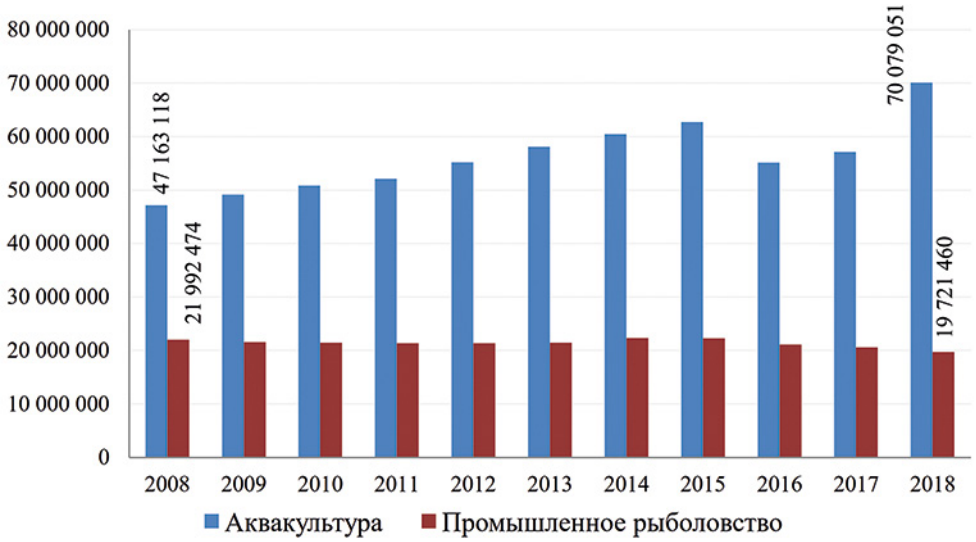


Рис. 5. Производство аквакультуры и продукции промышленного рыболовства в странах Северо-Восточной Азии, т. 2008–2018 гг. Составлено по данным [FAO. Statistics, 2020]

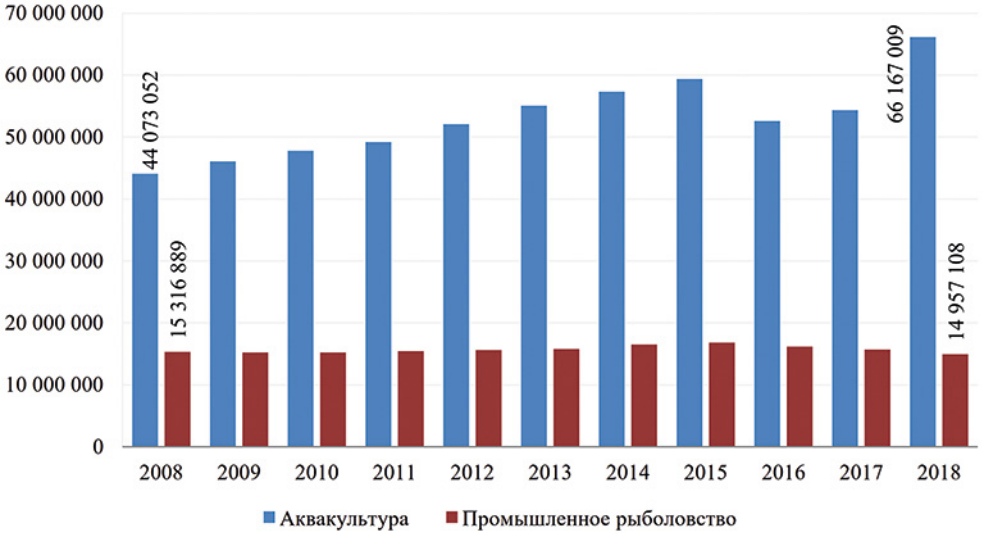


Рис. 6. Производство аквакультуры и промышленное рыболовство в Китае за 2008–2018 гг., т. Составлено по данным [FAO. Statistics, 2020]

мической политики, включающей административные реформы по распределению земли и акваторий, налоговые льготы, развитию инфраструктуры [Charles et al., 1997].

На фоне роста аквакультуры совокупная доля промышленного рыболовства снизилась с 31 до 22% в структуре производства водных биологических ресурсов региона. Если ещё

в 2008 году объём производства промышленного рыболовства был сопоставим с аквакультурой пресноводной и уступал производству аквакультуры морской, то к 2018 году разрыв в объёме производства этих сегментов увеличился (рис. 7).

В ассортименте производимой рыбной продукции аналогично происходят изменения. По данным ФАО в перечень видов, производимых в странах Северо-Восточной Азии, входит несколько тысяч наименований. На рис. 8 представлены данные только пятнадцати основных производимых водных биологических ресурсов в 2008 и 2018 гг. В 2018 году самой производимой являлась Японская ламинария (11 448 250 т). На второй позиции — травяной карп (5 504 953 т),

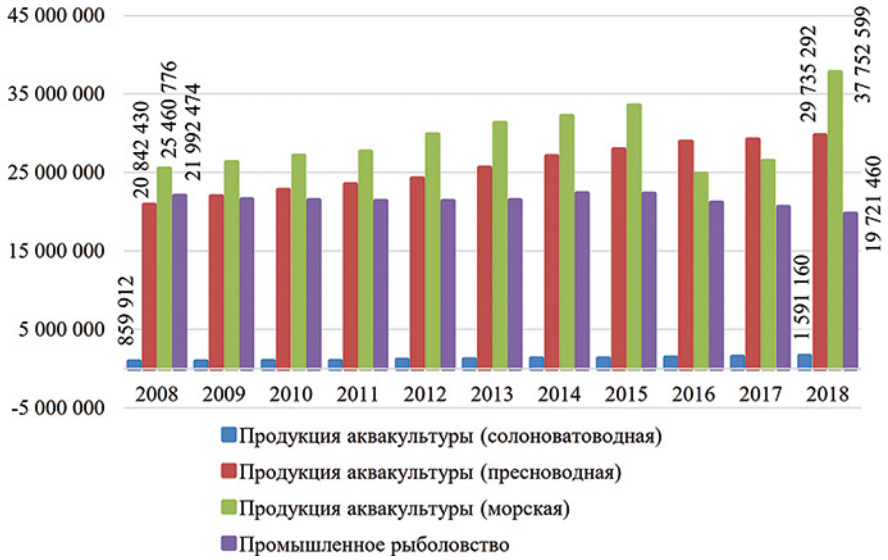


Рис. 7. Динамика производства основных сегментов за 2008–2018 годы в странах Северо-Восточной Азии, т. Составлено по данным [FAO. Statistics, 2020]

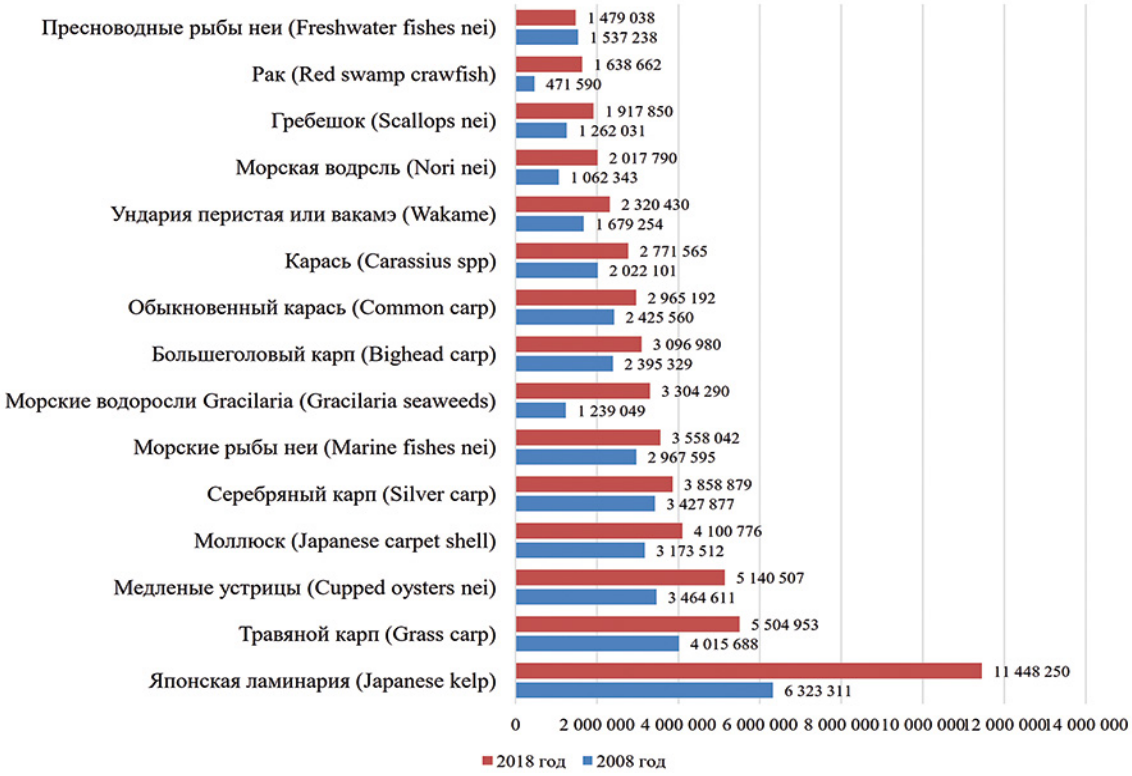


Рис. 8. Основные производимые ВБР в странах Северо-Восточной Азии за 2008 и 2018 годы, т. Составлено по данным [FAO. Statistics, 2020]

далее — устрицы (5 140 507 т) и моллюски (4 100 776 т).

С увеличением производства возрастала и международная торговля рыбной продукцией. В экспорте рыбной продукции преобладает КНР. В 2008 году экспорт рыбы свежей, охлаждённой или замороженной, оценивался в 3,8 млн долл., к 2019 году экспорт увеличился до 9,06 млн долл. Экспорт рыбной продукции Японии за аналогичный период увеличился незначительно, с 836 до 945 тыс. долл. В Республике Корея экспорт рыбной продукции увеличился с 814 тыс. долл. до 1,1 млн долл. [Unctadstat, 2020] (рис. 9).

Экспортируют страны СВА рыбную продукцию преимущественно в страны Азиатского региона. Внутригрупповой экспорт рыбной продукцией (свежая, живая или охлаждённая, замороженная) в Северо-Восточной Азии в 2019 году оценивался в 4995,8 млн долл. [Unctadstat. Merchandise trade …, 2020].

Импортируют рыбную продукцию страны СВА из разных государств мира. Например, корейский импорт водных биологических ресурсов в 2018 году оценивался в 5,8 млрд долл., что превысило значение 2017-го (4,98 млрд долл.) на 16%. Основными экспортёрами ВБР выступили КНР — 1,5 млрд долл., Россия — 910 млн долл., Вьетнам — 850 млн долл., Норвегия — 408 млн долларов, США — 141 млн долл., Таиланд — 261 млн долл., Канада — 119 млн долл. Семьдесят процентов корейского импорта водных биологических ресурсов приходится на обозначенные страны [Korea Seafood …, 2021]. Крупнейшим импортёром продовольствия, в том числе рыбной продукции, является Япония, большой объём рыбной продукции поставляется из стран Евразийского экономического союза (ЕАЭС) (рыба мороженая, лососёвые, субпродукты [Департамент агропромышленной …, 2019].

В настоящее время в конъюнктуре рынка стран Северо-Восточной Азии можно отметить следующие изменения:

— появляются новые поставщики, такие как Вьетнам, Ирландия, Индия. Присутствует на этом рынке и США. Ирландия постепенно занимает нишу поставщика рыбной продукции для КНР, в 2018 году из Ирландии в Китай было экспортировано морепродуктов на 53 млн долл. [ФАО, 2020];

— в качестве снижения зависимости от импорта, китайские производители увеличивают разведение лососёвых и другие исторически импортируемые виды ВБР [China fishery…, 2016], в производство все более внедряются новые технологии, применяется организация автоматизированных глубоководных аквафермов. В Китае были разработаны методы искусственного разведения и высокопродуктивной аквакультуры китайской креветки с высокой урожайностью;

— статус продавца рыбной продукции становится все более важным фактором, на который обращается внимание. Азиатский потребитель при покупке в крупных супермаркетах отдаёт предпочтения известным производителям, на этом фоне всё более занимает рынок продукция американских поставщиков (лососёвые, лобстер, краб, треска) [China fishery…, 2016];

— рост доходов населения, урбанизация приводит к значительному увеличению популярно-

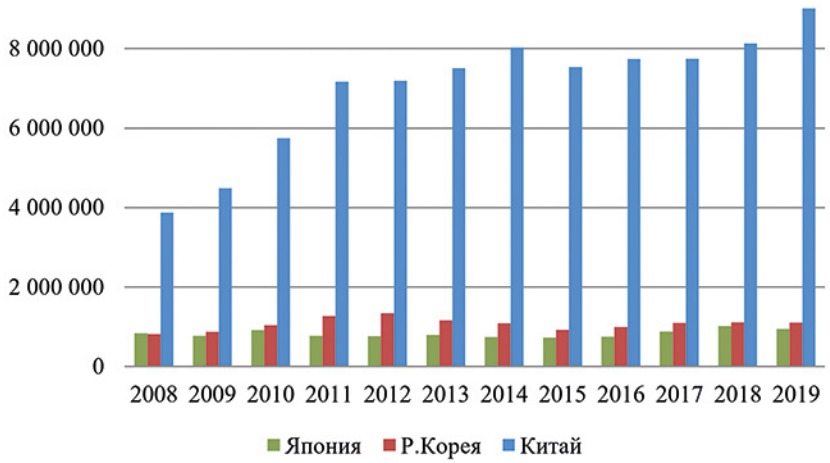


Рис. 9. Динамика экспорта рыбы (свежая, охлаждённая или замороженная), 2008–2019 гг. (тыс. долл.). Составлено по данным [Unctadstat. Merchandise trade …, 2020]

сти полуфабрикатов, фасованной продукции, продукции консервирования и переработки.

Интерес представляет оценка развития ситуации, определение сценариев производства. Продолжится ли рост производства водных биологических ресурсов в Китае? Что будет происходить с промышленностью Республики Корея и Японии. Для оценки перспективной динамики объёма производства ВБР в странах Северо-Восточной Азии построим прогноз, основанный на анализе сформировавшихся процессов. Для предварительной оценки роста объёма производства подходит модель линейного тренда, поскольку производственный процесс сформировался и имеет устойчивую стационарную тенденцию.

Для прогнозирования проведём ретроспективный анализ производства водных биологических ресурсов странами СВА, проанализируем динамику, ежегодный прирост. Хотя выражен ежегодный абсолютный рост производства (рис. 10), который к 2018 году достиг 89 млн т, но также наблюдается и снижение ежегодного прироста производства водных биологических ресурсов трёх стран. Снижение прироста наглядно представлено на рис. 11, с 2014 по 2018 гг. ежегодный прирост снижался с 3,2 млн т до 899 тыс. т.

Динамика производства описывается простой линейной функцией:

$$y = 2E + 0{,}6x + 7E + 0{,}7,$$

при величине $R^2 = 0{,}9869$.

Для прогнозирования используем данное уравнение. В результате расчётов получаем экспресс-прогноз производства ВБР стран Северо-Восточной Азии до 2025 года (рис. 12).

Таким образом, при сохраняющихся тенденциях к 2025 году рост совокупного производства

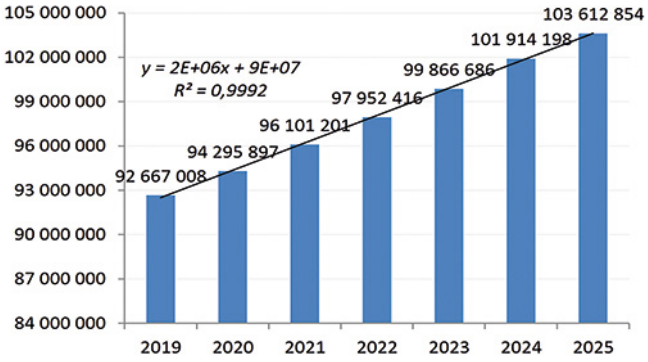


Рис. 12. Прогноз производства водных биологических ресурсов стран Северо-Восточной Азии до 2025 года, т

трех стран Северо-Восточной Азии может достигнуть уровня 103 млн т, среднее значение погрешности в прогнозе составляет 2,7 млн т. Построенный прогноз имеет достаточно приблизительное значение и основывается на сценарии влияния благоприятных факторов. При изменении макроэкономической конъюнктуры полученные значения прогноза будут существенно отклоняться от фактических данных.

Основными положительными факторами, влияющими на развитие рыбной промышленности и рынков рыбной продукции стран Северо-Восточной Азии, являются: рост численности населения, рост уровня дохода, спрос на рыбный белок в результате изменения культуры питания, развитие технологий аквакультуры, ценовая политика.

Рост производства рыбной продукции обуславливается спросом, возрастающим в корреляционной зависимости с ростом населения и урбанизацией стран Северо-Восточной Азии. В 2020 году численность населения мира превысила 7,5 млрд человек. Рост численности населения способствует росту производства и потре-

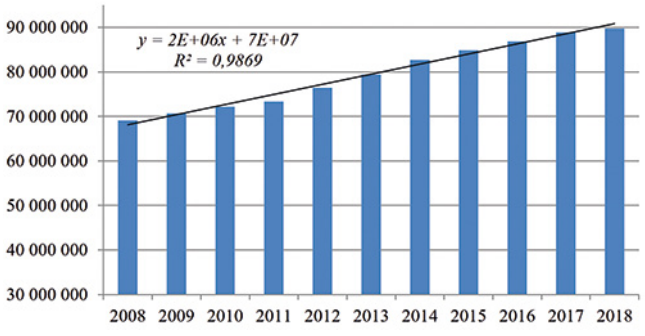


Рис. 10. Совокупный объем производства ВБР странами СВА за 2008–2018 гг., т

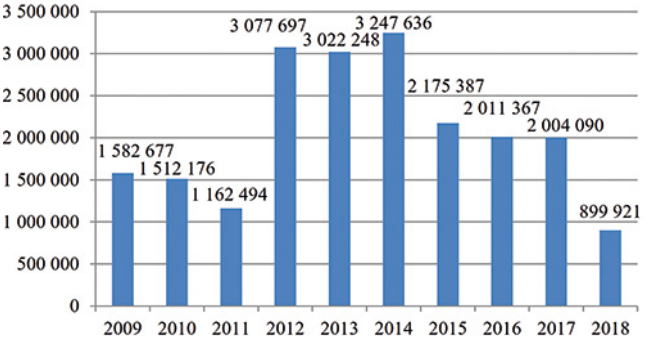


Рис. 11. Ежегодный прирост ВБР стран СВА за 2009–2018 гг., т

бления рыбной продукции как одного из питательных, доступных и полезных продуктов. В Китае численность населения с 2008 по 2019 гг. увеличилась с 1 338,2 до 1 422,1 тыс. чел., что, выступает положительным фактором, влияющим на увеличение спроса на рыбную продукцию. В Республике Корея численность населения составляет 51,4 млн чел., в Японии — 125,9 млн чел. [Unctadstat. Total …, 2021], и эти страны оказывают положительное влияние на рост потребления рыбной продукции региона в сегменте стабильного и платежеспособного спроса.

Рост среднего уровня дохода будет способствовать изменению рациона питания и увеличению потребления рыбы и продукции водных биологических ресурсов. Уровень ВВП на душу населения в странах Северо-Восточной Азии остается на высоком уровне. В Японии ВВП на душу населения в 2008 году составил 39 193,7 тыс. долл. и вырос до 40 144,1 тыс. долл. к 2019 году. В Республике Корея в 2008 году уровень ВВП на душу населения составил 21 294,9 тыс. долл., к 2019 году этот показатель вырос до 32 485,2 тыс. долл. В Китае с 2008 по 2019 г. ВВП на душу населения увеличился с 3 394,2 тыс. долл. до 9 923,4 тыс. долл. [Unctadstat. Gross domestic …, 2021] (рис. 13).

Важным фактором, стимулирующим производство рыбной продукции, является спрос на рыбный белок. Спрос, на который возрастает по мере развития культуры здорового питания и продвижения рыбы как продукта, положительно влияющего на здоровье.

Изменение потребительских предпочтений также является одним из факторов, оказывающих влияние на развитие производства рыбной продукции. Ввиду доступности все более становятся востребованными водные ресурсы пресноводной аквакультуры, такие как: карп, пресноводные креветки. Виды, выловленные в море, пользуются высоким спросом в Северном Китае.

Рост объёмов потребления морепродуктов в странах Северо-Восточной Азии в значительной степени обусловлен популярностью ракообразных. Ракообразные, и особенно омары, являются востребованным продуктом азиатских граждан, они стали обязательным блюдом в меню торжественных событий, особенно в большом количестве ракообразные употребляются в дорогих ресторанах, посетителями из группы высоко платёжеспособного спроса. Повышение такого спроса стимулирует разведение этих видов в искусственных водоёмах [Xu-Zhao Jian et al., 2014].

Развитие технологий аквакультуры способствует увеличению масштабов торговли рыбой. В настоящее время активно внедряются технологии искусственного разведения рыбы и различных гидробионтов в прудах, садках, искусственных и естественных водоёмах, что обеспечивает рост производства и поставку на рынок широкого ассортимента рыбной продукции. Появление новых разводимых видов формирует спрос населения на новые рыбные продукты. Ещё одним фактором является ценовая политика на рынке рыбной продукции, которая выраженно повлияла на рост производства водных биоресурсов. Изначально низкие затраты производства способствовали быстрому развитию аквакультуры. В последующем формирующийся рынок, растущие цены на продукцию аквакультуры стимулировали увеличение акваторий аквакультуры и ее производство [Jinkai Yu et al., 2020].

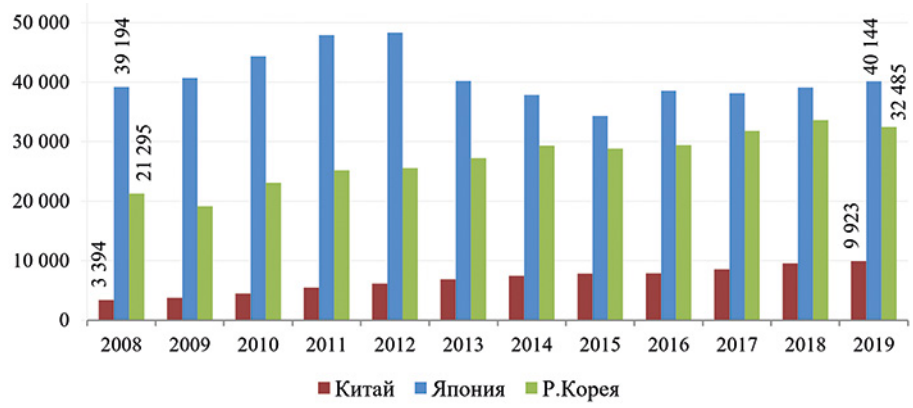


Рис. 13. ВВП на душу населения в странах Северо-Восточной Азии за 2008–2019 гг., тыс. долл.

ВЫВОДЫ

В заключении отметим основные происходящие процессы в производстве и потреблении рыбной продукции в Северо-Восточной Азии. В регионе наблюдается рост потребления рыбной продукции. Китай обеспечивает основную долю производства водных биологических ресурсов региона. Хотя происходит динамичный рост производства, в то же время наблюдается замедление темпов его роста. Объём производства рыбной продукции Республики Корея находится на относительно стабильном уровне, на этом фоне производство Японии снижается ежегодно при стабильном спросе. Поэтому страна испытывает потребности в импорте рыбной продукции, для Японии является актуальным развитие взаимодействия в области торгового сотрудничества и реализации совместных проектов в области добычи и переработки рыбной продукции.

Изменяются структурные пропорции основных сегментов производимой продукции, возрастает удельный вес всех видов продукции аквакультуры, в том числе морской аквакультуры, аквакультуры пресноводной, аквакультуры солоноводной. Снижается удельный вес продукции промышленного рыболовства.

Совокупный региональный экспорт возрастает, но основным региональным экспортёром выступает Китай на фоне незначительных объёмов экспорта Японии и Республики Корея.

Рынки рыбной продукции стран Северо-Восточной Азии завоёвывают производители стран запада, продукция которых соответствуют потребности конъюнктуры рынка.

В краткосрочной перспективе при сохранении сформировавшихся тенденций прогнозируется рост производства водных биологических ресурсов, чему будет способствовать ряд факторов, таких как: рост численности населения КНР; изменение потребительских предпочтений и популяризация здорового питания, основанного на рыбной продукции; возрастающие доходы населения стран СВА; внедрение новых технологий, повышающих производительность аквакультуры.

Перспективным, с нашей точки зрения, видится более глубокий анализ факторов, влияющих на развитие производства стран Северо-Восточной Азии, разработка методологии исследования рынков стран Азиатского региона, разработка качественного прогноза, основанного на широком видовом разнообразии, оценка перспектив участия российской рыбной промышленности в рынках рыбной продукции региона.

ЛИТЕРАТУРА

Дальневосточное таможенное управление. Справочные и аналитические материалы. Доступно через: http://dvtu.customs.ru/statistic. 26.04.2021.

Департамент агропромышленной политики ЕЭК. Анализ по доступу сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия государств — членов ЕАЭС на рынок Японии. Доступно через: http://www.eurasiancommission.org/ru/act/prom_i_agroprom/dep_agroprom/export/Documents/%D0%AF%D0%BF%D0%BE%D0%BD%D0%B8%D1%8F.pdf. 26.10.2019.

Министерство РФ по развитию Дальнего Востока и Арктики. На Дальнем Востоке увеличен вылов рыбы. 27.12.2018 Доступно через: https://minvr.ru/press-center/news/20616/?sphrase_id=1017712. 26.10.2019.

Поручения Президента по вопросам развития рыбохозяйственного комплекса. Пр-613 от 21 марта 2013 года. Доступно через: http://xn-90amfpgik0fc7a.xn — p1ai/?p=3802 10.11.2019.

Распоряжение Правительства РФ от 28 декабря 2009 года, N 2094-р. Об утверждении Стратегии социально-экономического развития Дальнего Востока и Байкальского региона на период до 2025 года. Доступно через: https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/6632462/. 14.05.2021.

ФАО. 2018. Состояние мирового рыболовства и аквакультуры. Достижение целей устойчивого развития. Рим. 2018. 226 с.

ФАО. 2020. Ежегодник ФАО. Статистика рыболовства и аквакультуры за 2018 год / ФАО, годовой отчёт. 2018. Рим. Доступно через: http://www.fao.org/3/ca9229ru/CA9229RU.pdf. 13.08.2020.

Федеральное агентство по рыболовству. Комплексная целевая программа научных исследований в интересах рыбного хозяйства Российской Федерации на 2019–2023 гг. Доступно через: http://vniro.ru/ru/novosti/arkhiv-za-2019-god/kompleksnaya-tselevaya-programma-nauchnykh-issledovanij-i-razrabotok-v-interesakh-rybnogo-khozyajstva-rossijskoj-federatsii-na-2019–2023-gg-utverzhdena. 10.11.2019.

Cen F., Zhang, D. 1998. Development and status of aquaculture in the People's Republic of China // World Aquaculture. June, 1998. P.52–56.

Charles, A.T., Agbayani, R.F., Agbayani, E.C., Agüero, M., Belleza, E.T., González, E., Stomal, B., Weigel, J-Y. 1997. Aquaculture Economics in Developing Countries: Regional Assessments and an Annotated Bibliography. FAO Fisheries Circular. No. 932. Rome, FAO. 401p.

Chern W.S. 1997. Changing food consumption and its impacts on agriculture in mainland China. // Dep. of Agricultural Marketing, National Chung Hsing University, Taiwan, R.O.C. Agriculture Marketing Review, 2 (March). P. 153–164.

Kim D.-H., Seung C.K. 2020. The Economic Contribution of Wild Fisheries and Aquaculture: A Social Accounting Matrix (SAM) Analysis for Gyeong Nam Province, Korea

// Ocean and coastal management. April 15. № 188. pp. 105072 https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2019.105072

FAO. Consumption of Fish and Fishery Products. Accessible via: http://www.fao.org/fishery/statistics/global-consumption/en, 14.05.2021.

FAO. Statistics. Accessible via: http://www.fao.org/fishery/statistics/en. 13.08.2020.

China fishery statistics Yearbooks 2016. China Agriculture Press, Beijing Accessible via: https://www.purpleculture.net/china-fishery-statistical-yearbook-2016-p-23930/ 12.05.2021.

Korea Seafood Market Brief Update 2019. Accessible via: https://www.fas.usda.gov/data/south-korea-korea-seafood-market-brief-update-2019. 14.05.2021.

Yu Jinkai, Wang Yin, Dahai Liu. The evolution of mariculture politics in China: experience and challenges // Marine Policy. 2020. № 119. P. 73–80. DOI:10.1016/j.marpol.2020.104062

Kitano S., Yamamoto N. 2020. The role of consumer knowledge, experience and heterogeneity in fish consumption: policy lessons from Japan // Retail and Consumer Services Magazine. № 56. DOI: 10.1016/j.jretconser.2020.102151

Unctadstat. Merchandise trade matrix – exports of individual economies in thousands United States dollars, annual. 2021. Accessible via: https://unctadstat.unctad.org/wds/TableViewer/tableView.aspx. 12.09.2021.

Unctadstat. Total and urban population, annual. Accessible via: https://unctadstat.unctad.org/wds/TableViewer/tableView.aspx? ReportId=97. 14.05.2021 a.

Unctadstat. Gross domestic product: Total and per capita, current and constant (2015) prices, annual Accessible via: https://unctadstat.unctad.org/wds/TableViewer/tableView.aspx? ReportId=96 14.05.2021 б.

Xu-Zhao Jian, Tie-In Liu, Chi Wei Su. 2014. China's marine economy and regional development // Marine Policy. № 50. P. 227–237.

Zhao W., Huihui S. Wenwu Zhaoa, Huihui Shen. 2016. A statistical analysis of China's fisheries in the 12th five-year period // Aquaculture and Fisheries. Vol 1. P. 41–49 doi.org/10.1016/j.aaf.2016.11.001

Поступила в редакцию 16.05.2021 г.
Принята после рецензии 02.06.2021 г.

TRUDY VNIRO. 2021. Vol. 184

DOI: 10.36038/2307-3497-2021-184-190-202

Trends in the production of fish products in the countries of North-East Asia from 2008 to 2018, assessment of factors and development forecast till 2025 year

M.A. Saltykov

Far Eastern State Technical Fisheries University («FEFU»), Vladivostok, Russia

Vladivostok branch of Russian Customs academy, Vladivostok, Russia

North-East Asia is a dynamically developing fishery region and it has taken on the role of a global manufacturer and consumer of fish products. Fish markets in China, Japan and the Republic of Korea are highly competitive and subject to dynamic fluctuations on the world market. During the last thirty years the leading manufacturers of fish production and the ratio between the production manufactured by a process of artificial breeding and its capture in the natural habitat have changed almost fundamentally in the region. There arises a number of questions. In what way will fishing industry continue to develop? What are the trends of the markets development? What factors will drive them? Therefore, the aim of this work is to analyze the established development trends of the fishing industry in the countries of North-East Asia, to give an outlook on the production and to determine the factors that affect the increase in the production of aquatic biological resources.

The paper provides the comparative analysis of North-East Asia fish markets (China, Japan, the Republic of Korea), the analysis of the catch and production volumes of water biological resources of China, the Republic of Korea, Japan for 2008–2018, the analysis of the alterations in the production structure of water biological resources in main segments in Northeast Asia countries; as well as the analysis of the export dynamics has been made, the outlook for water biological resources production has been given and the main factors that have an influence upon the increase both in the production and consumption of fish products in the countries of North-East Asia have been determined.

Keywords: water biological resources, North-East Asia, China, Japan, the Republic of Korea, fish production trends, outlook, fish markets.

REFERENCES

Dal'nevostochnoe tamozhennoe upravlenie. Spravochnye i analiticheskie materialy [Far Eastern Customs Administration. Reference and analytical materials]. Accessible via: http://dvtu.customs.ru/statistic. 26.04.2021.

Departament agropromyshlennoj politiki EEHK. Analiz po dostupu sel'skokhozyajstvennoj produktsii, syr'ya i prodovol'stviya gosudarstv – chlenov EAEHS na rynok Yaponii [The analysis of entry for agriculture, raw and food products from Eurasian Economic Union countries to Japan markets]. Accessible via: http://www.eurasiancommission.org/ru/act/prom_i_agroprom/dep_agroprom/export/Documents/%D0%AF%D0%BF%D0%BE%D0%BD%D0%B8%D1%8F.pdf. 26.10.2019.

Ministerstvo RF po razvitiyu Dal'nego Vostoka i Arktiki. Na Dal'nem Vostoke uvelichen vylov ryby [The capture of fish was increased in the Russian Far East]. 27.12.2018 Accessible via: https://minvr.ru/press-center/news/20616/?sphrase_id=1017712. 26.10.2019.

Porucheniya Prezidenta po voprosam razvitiya rybokhozyajstvennogo kompleksa [The President's instructions at the development of the fisheries complex]. Pr-613 ot 21 marta 2013 goda. Accessible via: http://xn-90amfpgik0fc7a.xn – p1ai/?p=3802 10.11.2019.

Rasporyazhenie Pravitel'stva RF ot 28 dekabrya 2009 goda, N 2094-r. Ob utverzhdenii Strategii sotsial'no-ehkonomicheskogo razvitiya Dal'nego Vostoka i Bajkal'skogo regiona na period do 2025 goda [The RF Government Executive Order dd. December 28, 2009 y., N 2094-p. On approval of strategies for socioeconomic development of the Russian Far East and the Baikal Region to 2025]. Accessible via: https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/6632462/. 14.05.2021.

FAO. 2018. Sostoyanie mirovogo rybolovstva i akvakul'tury. Dostizhenie tselej ustojchivogo razvitiya [The State world fisheries and aquaculture. Achieving sustainable development goals]. Rim. 226 s.

FAO. 2020. Ezhegodnik FAO. Statistika rybolovstva i akvakul'tury za 2018 god / FAO, godovoj otchet [FAO. Yearbook of fishery and aquaculture statistics]. 2018. Rim. Accessible via: http://www.fao.org/3/ca9229ru/CA9229RU.pdf. 13.08.2020.

Federal'noe agentstvo po rybolovstvu. Kompleksnaya tselevaya programma nauchnykh issledovanij v interesakh rybnogo khozyajstva Rossijskoj Federatsii na 2019–2023 gg. [The Federal integrated targeted

programme on scientific research for the RF Fisheries management for 2019–2023] Accessible via: http://vniro.ru/ru/novosti/arkhiv-za-2019-god/kompleksnaya-tselevaya-programma-nauchnykh-issledovanij-i-razrabotok-v-interesakh-rybnogo-khozyajstva-rossijskoj-federatsii-na-2019–2023-gg-utverzhdena. 10.11.2019.

Cen F., Zhang, D. 1998. Development and status of aquaculture in the People's Republic of China // World Aquaculture. June, 1998. P.52–56.

Charles, A.T., Agbayani, R.F., Agbayani, E.C., Agüero, M., Belleza, E.T., González, E., Stomal, B., Weigel, J-Y. 1997. Aquaculture Economics in Developing Countries: Regional Assessments and an Annotated Bibliography. FAO Fisheries Circular. No. 932. Rome, FAO. 401 p.

Chern W.S. 1997. Changing food consumption and its impacts on agriculture in mainland China. // Dep. of Agricultural Marketing, National Chung Hsing University, Taiwan, R.O.C. Agriculture Marketing Review, 2 (March). P. 153–164.

Kim D.-H., Seung C.K. 2020 The Economic Contribution of Wild Fisheries and Aquaculture: A Social Accounting Matrix (SAM) Analysis for Gyeong Nam Province, Korea // Ocean and coastal management. April 15. № 188. pp. 105072 https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2019.105072

FAO. Consumption of Fish and Fishery Products. Accessible via: http://www.fao.org/fishery/statistics/global-consumption/en, 14.05.2021.

FAO. Statistics. Accessible via: http://www.fao.org/fishery/statistics/en. 13.08.2020.

Korea Seafood Market Brief Update 2019. Accessible via: https://www.fas.usda.gov/data/south-korea-korea-seafood-market-brief-update-2019. 14.05.2021.

Yu Jinkai, Wang Yin, Dahai Liu. The evolution of mariculture politics in China: experience and challenges // Marine Policy. 2020. № 119. P. 73–80. DOI:10.1016/j.marpol.2020.104062

Kitano S., Yamamoto N. 2020. The role of consumer knowledge, experience and heterogeneity in fish consumption: policy lessons from Japan // Retail and Consumer Services Magazine. № 56. DOI: 10.1016/j.jretconser.2020.102151

Unctadstat. Merchandise trade matrix – exports of individual economies in thousands United States dollars, annual. 2021. Accessible via: https://unctadstat.unctad.org/wds/TableViewer/tableView.aspx. 12.09.2021.

Unctadstat. Total and urban population, annual. Accessible via: https://unctadstat.unctad.org/wds/TableViewer/tableView.aspx? ReportId=97. 14.05.2021.

Unctadstat. Gross domestic product: Total and per capita, current and constant (2015) prices, annual Accessible via: https://unctadstat.unctad.org/wds/TableViewer/tableView.aspx? ReportId=96 14.05.2021 б.

Xu-Zhao Jian, Tie-In Liu, Chi Wei Su. 2014. China's marine economy and regional development // Marine Policy. № 50. P. 227–237.

Zhao W., Huihui S. Wenwu Zhaoa, Huihui Shen. 2016. A statistical analysis of China's fisheries in the 12th five-year period // Aquaculture and Fisheries. Vol 1. P. 41–49 doi.org/10.1016/j.aaf.2016.11.001

TABLE HEADLINE

Table 1. Northeast Asian countries' fish markets characteristics for 2010–2019 years.

FIGURE CAPTIONS

Fig. 1. The catch and production volumes of aquatic biological resources of China, Republic of Korea, Japan for 1988–2018, (including aquaculture), tons. According to [FAO. Statistics, 2020].

Fig. 2. Production of fish products in 2018, tons. According to [FAO. Statistics, 020].

Fig. 3. The growth rate of aquatic biological resources production by the countries of North-East Asia over the 1986–2018 years,%. Compiled according to [FAO. Statistics, 2020].

Fig. 4. Production due to main segments in Northeast Asian countries, 2008 and 2018 yy. tons. According to [FAO. Statistics, 2020].

Fig. 5. Aquaculture and capture fisheries production in North-East Asia, tons. 2008–2018 yy. According to [FAO. Statistics, 2020].

Fig. 6. Aquaculture and capture fisheries production in China for 2008–2018, tons. According to [FAO. Statistics, 2020].

Fig. 7. The dynamics of production of the main segments for 2008–2018 in the countries of Northeast Asia, tons. According to [FAO. Statistics, 2020].

Fig. 8. The main aquatic biological resources produced in the Northeast Asia countries for 2008 and 2018, tons. According to [FAO. Statistics, 2020].

Fig. 9. Fish export dynamics (fresh, chilled or frozen), 2008–2019 (thousand dollars). According to [Unctadstat. Merchandise trade…, 2020].

Fig. 10. Total aquatic biological resources combined production of Northeast Asia countries for 2008–2018, tons.

Fig. 11. Annual increase of aquatic biological resources of Northeast Asia countries in 2009–2018, tons.

Fig. 12. Aquatic biological resource production outlook for 2025 in North-East Asia, tons.

Fig. 13. GDP per capita in Northeast Asia countries for 2008–2019, thousand dollars.

УДК 639.2.001.5:629.124.72 DOI: 10.36038/2307-3497-2021-184-203-217

Некоторые суда для рыбопромысловых исследований, построенные в 2019–2020 гг.

Д.Е. Левашов,
Н.П. Буланова

Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии» (ФГБНУ «ВНИРО»), г. Москва

E-mail: levashov@vniro.ru, nata@vniro.ru

На примере зарубежных судов, построенных в 2019–2020 гг. для рыбопромысловых исследовательских организаций Кувейта, Китая, Канады, Аргентины и Фарерских островов, рассмотрены конструктивные особенности рыболовных НИС нового поколения, в том числе с нестандартными решениями в схемах пропульсивных комплексов. Проанализирована выявленная информация по 5-ти проектам 7-ми специализированных судов максимальной длиной от 36 до 84 м, основные характеристики которых сведены в таблицу. Отдельное внимание уделено особенностям конструкций судовых пропульсивных комплексов, имеющих гибридную схему совмещения дизель-редукторной и дизель-электрической систем. Такая схема позволяет использовать экономичный дизельный ход на переходах и малошумное электродвижение при акустических съёмках в соответствии с Рекомендациями ИКЕС № 209. Рассмотрено оснащение ряда судов исследовательским оборудованием, в том числе гидроакустическим, представляющих особый интерес. В результатах анализа обращено внимание на особенности современных тенденций в создании научно-исследовательских рыболовных судов — НИРС.

Ключевые слова: научно-исследовательское судно (НИС), научно-исследовательское рыболовное судно (НИРС), судостроение, гидроакустическое оборудование, Рекомендации ИКЕС № 209.

ВВЕДЕНИЕ

Основным критерием отличия судов для рыбохозяйственных исследований от обычных океанографических НИС, как уже указывалось ранее, является наличие рыбопромыслового и гидроакустического оборудования для проведения тралово-акустических съёмок. Кроме того, учитывается соответствие Рекомендациям ИКЕС № 209, нормирующим максимальный уровень судовых шумов, излучаемых в воду [Левашов, 2016; 2010]. По степени использования в рыбопромысловых исследованиях научные суда можно подразделять на несколько групп, но в данной работе, в соответствии с Рекомендациями ИКЕС № 209 [Левашов и др., 2016], рассматриваются в основном специализированные суда для рыбопромысловых исследований. В последнее время такой тип судов в отечественной практике стал именоваться как НИРС (научно-исследовательские рыболовные суда), что связано с их специфической судовой архитектурой и эксплуатационными особенностями, близкими к промысловым судам в отличии от обычных НИС академического плана. Зарубежным вариантом аббревиатуры НИРС является FRV — Fishery Research Vessel.

Рассмотрены 5 проектов, на основе которых в 2019–2020 гг. построено семь зарубежных судов. Следует отметить, что за указанный период новых НИС за рубежом построено значительно больше (здесь рассматриваются, в основном, проекты, не выявленные нами ранее в предыдущих публикациях). Из них один проект, по которому построены 2 канадских судна, разработала известная международная компания RALion — КБ Robert Allan Ltd. в содружестве с консалтинговой компанией Alion Science and Technology. Два судна построено на испанских верфях — для Кувейта строила известная испанская верфь Astilleros Freire, а для Аргентины — не менее известная испанская верфь Astilleros Armon, причём, проектирование и надзор над строительством были поручены консалтинговой фирме Seaplace S.L. Китайские суда строились в основном с использованием национальных ресурсов. Необычное происхождение фарерского судна —

по национальному проекту оно строилось в Клайпеде (Литва), а технический проект был разработан российским КБ в Санкт-Петербурге.

НИС «Almostakshif» для Института научных исследований Кувейта

НИС «Almostakshif» [Buque científico..., 2019] построено для Института научных исследований Кувейта (Kuwait Institut for Scientific Research — KISR) и вошло в строй в сентябре 2019 года. Судно строила испанская верфь Astilleros Freire строительный номер № 719, Виго, контракт подписан был в 2014 году и составляет около 30 млн евро. Основные характеристики НИС представлены в табл., а на рис. 1 — внешний вид.

Классифицируется: DNV-GL □1A, Research vessel, DYNPOS-AUT. Это многоцелевое исследовательское судно способно проводить высококачественные исследования с тралением, зондированием и отбором проб в широком диапазоне географических зон, включая все морские районы в Персидском заливе, а также в Оманском и Аравийском морях.

Главная пропульсивная схема — дизель-редукторная, двухвальная с двумя двигателями Wärtsilä 9L20 мощностью по 1764 кВт при 1000 об./мин. в сочетании с редукторами Reintjes с дополнительным подводом мощности PTI, работающими на 5-лопастных малошумных гребных винтах переменного шага диаметром 2,5 м Schottel SCP, тип 065/5-XG. Встроенная в редукторы Reintjes — PTI гибридная система BV2400 имеет собственные вспомогательные электромоторы мощностью по 200 кВт. То есть, альтернативно, судно может использовать электродвижение — при отключении главных двигателей, судно может идти на электромоторах со скоростью от 0 до 8 уз. Кроме снижения шума, такое решение позволяет получить экономию топлива, которая составляет до 70% по сравнению с функцией малого хода у дизельных двигателей. Как вспомогательные, используются два дизель-генератора на основе двигателей Caterpillar, модель C-32, 650 кВт, Finanzauto S.A. Аварийный дизель-генератор — Volvo Penta D16MG, 414 кВт. В пропульсивный комплекс также входят подруливающие устройства тоннельного типа фирмы Brunvoll, кормовое — модель FU-37-LTC-1000, 250 кВт и носовое RDT 1000 мощностью 200 кВт с двигателем с постоянным магнитом.



Рис. 1. Внешний вид НИС «Almostakshif» по правому (вверху) и левому (внизу) борту

На судне размещаются семь лабораторий — химическая лаборатория (26 м^2), биофизическая лаборатория (25 м^2), «мокрый» ангар с лацпортом для работ с CTD-зондами (50 м^2), акустическая и CTD лаборатория (17 м^2), рыболовная лаборатория (18 м^2), зона обработки рыбы — рыбцех (64 м^2), помещение с оборудованием для дайвинга (7 м^2). Кроме того, на кормовой палубе имеются места, предназначенные для размещения двух лабораторий в двух 20-футовых контейнерах и одной в 10-футовом контейнере.

Палубное оборудование судна содержит восемь рыболовных и научных лебёдок, в основном, фирмы Ibercisa. Это две гидравлические траловые лебёдки MAI-H/40/1200–16, двойной барабан для сетей TR/H/65/2,5 с барабаном вместимостью 2,5 м^3. Для научного оборудования — океанографическая CTD- лебёдка, модель MO-H/50/2300 с барабаном для 1600 метров кабеля; вторая океанографическая лебёдка, модель MO-H/30/400–8 с барабаном на 400 метров коаксиального кабель-троса; третья лебёдка, модель MO-H/30/400–6 с барабаном для 400 метров кабеля в стальной оплётке; четвёртая лебёдка модели MO-H/ 2×50/2/3500–16 с барабаном для 3500 метров стального троса диаметром 16 мм; и пятая лебёдка, модель MAX-H/20/50–14/1 с барабаном из 50 метров стального троса.

Также на палубах установлены три крана и три гидравлические рамы для работ с забортным оборудованием. Краны изготовлены в Сормеке, а порталы изготовлены фирмой Industrias Ferri. В частности, эти три крана: один из моделей KN/3S грузоподъёмностью 6000 кг на расстоянии до 16800 метров и два типа FB/4S, способные перемещать 1000 кг на 12,20 метра.

Кроме того, имеются СТД-ангар с лацпортом, а также оборудование для работ с ТНПА Saab Seaeye Falcon, в комплектации с лебёдкой Mk8 Small Electric Tether, на барабане которой 1100 м с кабелем нейтральной плавучести. В акустический комплекс входит следующее оборудование: гидролокатор бокового обзора, многолучевой эхолот для топографической съёмки морского дна, многолучевой эхолот для промысла и система динамического позиционирования. Часть акустических антенн размещена на выдвижном киле.

Имеется научный склад объёмом 18 м^3, охлаждаемая камера для хранения креветки при +4 °С объёмом около 20 м^3, холодильная камера с температурой –5 °С / –10 °С объёмом 20 м^3, и морозильная камера около 16 м^3 для хранения замороженной рыбы при –20 °С. Туннельный морозильный агрегат имеет производительность до 500 кг за 7 часов при –20 °С.

НИРС для КНР

Lan Hai 101» и «LAN HAI 201» (в английском переводе «Blue Ocean 101 и 201») — это научно-исследовательские суда, предназначенные для комплексных рыбопромысловых исследований и которые строились по одному проекту [China offshore..., 2019]. Их строительство началось в сентябре 2017 года компанией Shanghai Hudong-Zhonghua Shipbuilding (Group) Co., Ltd. Спустя год после начала строительства, 7 сентября 2018 г. «LAN HAI 201», первым было спущено на воду, 12 сентября 2018 г. «LAN HAI 101» было также успешно спущено на воду. В этот же день обоим судам были присвоены имена, и они перешли в стадию достройки на плаву.

С 18 по 23 апреля 2019 года «LAN HAI 201» провело первые шестидневные ходовые испытания судового навигационного оборудования в Восточно-Китайском море в устье реки Янцзы. В морских испытаниях приняли участие около 200 человек из Hudong-Zhonghua Shipbuilding (Group) Co., Ltd., Shanghai Jiachuan Engineering Supervision Development Co., Ltd., Шанхайского отделения Китайского классификационного общества, Научно-исследовательского института Китайской судостроительной корпорации № 702 и Исследовательского института рыболовства Дунхай. Во время следующих ходовых испытаний судно выполнило в общей сложности 57 испытаний судового оборудования в соответствии с тремя частями программы испытаний корпуса, двигателя и электрической навигации. В процессе ходовых испытаний судно проявило гибкость в маневрировании и показало хорошие мореходные качества. Основные эксплуатационные параметры соответствовали техническому заданию.

В марте 2019 года у «LAN HAI 101» прошли аналогичные первые ходовые 7-суточные испытания в устье р. Янзы и Восточно-Китайском море. В мае прошли вторые ходовые испытания.

29 июня 2019 года компания East China Shipbuilding (Group) Co., Ltd. успешно завершила передачу обоих судов НИИ рыболовства Жёлтого моря («LAN HAI 101») и НИИ рыболовства Восточно-Китайского моря («LAN HAI 201») Китайской академии рыбных наук.

Суда классифицируется как суда неограниченного плавания вплоть до районов Арктики и Антарктики, за исключением плаваний во льдах. По имеющимся данным [A three-kiloton…, 2020] НИРС имеет общую длину 84,5 м, ширину 15 м, проектную осадку 5 м, полное водоизмещение 3297 т, максимальную скорость 15 уз, экономическая — 14 уз дальность плавания 10 000 морских миль, и автономность 60 суток. Вместимость 60 человек, в том числе 27 — экипаж и 33 научная группа.

На судах используется одновальная дизель-редукторная, пропульсивная установка — мощность главного двигателя WEICHAI MAN 8L27/38 китайского производства составляет 2720 кВт про 800 об/мин, мощность вспомогательных двигателей CAT C32 составляет 2×550 кВт. Гребной винт установлен в насадке. Суда имеет хорошую манёвренность благодаря наличию носового (1000 кВт) и кормового (280 кВт) тоннельных подруливающих устройств. Основные характеристики судов указаны в табл., а внешний вид представлен на рис. 2.

Компания LiYen оснастила корабль уникальной шведской интеллектуальной системой энергосбережения для оптимизации расхода топлива (FuelOpt System). После предварительной установки на панели управления требуемого расхода топлива или необходимой скорости система энергосбережения FuelOpt может адаптивно оптимизировать эффективность гребного винта и главного двигателя в различных рабочих условиях, таких как различная скорость, осадка, состояние моря и сопротивление в реальном времени. В результате могут значительно снизиться расход топлива и эксплуатационные расходы судна, а также, в некоторой степени, можно снизить вибрацию и шум, создаваемые главной силовой установкой. Испытания системы проведены в пробном рейсе «LAN HAI 101» в апреле 2019 г. Результаты испытаний показали: экономия топлива составляет более 20% при скорости 10 уз, более 11% при скорости 11 уз, а при скорости 12,5 уз — 7,6% [Lee Yi EN …, 2020].

Индекс шума в каютах экипажа не более 55 децибел, что эквивалентно уровню шума обычных населённых пунктов. Кроме наличия скуловых килей, для успокоения качки судно оснащено цистернами с водой, применение которых создаёт эффект успокоения порядка 40%, что обеспечивает нормальные условия для научных исследований и для отдыха исследователей на борту. Судно оснащено передовым на международном уровне и высокоавтоматизированным



Рис. 2. Внешний вид «LAN HAI 101» по правому борту (сверху) и «LAN HAI 201» по левому борту (внизу)

промысловым и научным оборудованием. Для размещения антенн научного акустического оборудования имеется выдвижной киль [China offshore..., 2019].

Основные функции, выполняемые судном, обеспечивают повышение статуса международного значения Китая в области рыболовства и включают в себя исследования промысловых ресурсов: донное траление и пелагическое кормовое траление, ярусный промысел, лов кальмаров и акустическую оценку промысловых ресурсов, а также функцию оценки параметров промысловой среды с первичной продуктивностью, планктоном, бентосными организмами и грунтом. Сюда входят исследования и анализ основных параметров водной среды в реальном времени, таких как температура, солёность, хлорофилл, причём, как при зондировании до нескольких тысяч метров, так и поверхностных на ходу судна совместно с получением метеорологических данных. Используются функции приёма и обработки информации со спутников дистанционного зондирования.

В экспедициях будут проводиться экспериментальные исследования новых орудий и методов лова, также могут решаться задачи полевых испытаний селективности и стандартизации орудий лова. В процессе экспедиций на судне будут внедрять новое оборудование океанских промысловых судов, новые орудия лова и методы лова, а также энергосберегающие и сокращающие потребление технологии рыболовства. Выполнению этих задач способствует оснащение судна 64-мя научными и технологическими комплексами инструментов и оборудования. Судно оснащено лабораторией рыбных ресурсов, лабораторией биологической среды, лабораторией физической и химической среды, лабораторией акустической оценки и дистанционного зондирования, лабораторией биологии рыболовства и т. д. [From the wooden..., 2020].

С помощью методов промыслово-акустической съёмки проводятся исследования пространственно-временного распределения рыбных ресурсов [Blue sea..., 2020]. Для этих целей используются:

– научный эхолот Kongsberg SIMRAD EK80 (частоты 38 кГц, 70 кГц, 120 кГц, 200 кГц) с антеннами, установленными на выдвижном киле;

– всенаправленный гидролокатор MAQ-22/90 кГц, у которого на цветном мониторе отображается распределение косяков рыб и условия морского дна по азимуту 360 градусов; максимальный диапазон обнаружения: 6000 м (22 кГц) и 1080 м (90 кГц), регулируемый диапазон наклона луча: –46° ~ +10°;

– гидролокатор бокового обзора с регулируемой частотой и высоким разрешением Kongsberg PulSAR, который используется для исследования топографии морского дна и наблюдения за рельефом в морском районе, а также возможно выполнение анализа местообитаний рыб в морских районах; рабочая частота — 600 кГц-1 МГц, режим работы — FM (модулированный импульс), CW (непрерывная волна), типичный угол луча: 50° × 0,5° –0,4°; горизонтальное разрешение — 1 см (по горизонтали), вертикальное разрешение — 7 см на 10 м, 35 см на 50 м, 69 см на 100 м, одностороннее покрытие: 100 м (режим 600 кГц CW), 150 м (режим 600 кГц FM), длина кабеля — 100 м, максимальная глубина погружения — 1000 м, скорость буксировки — до 12 уз.

Для изучения грунта, как мест расположения и типов среды обитания донных рыб и бентоса на глубинах 10–100 м используется буксируемый профилометр Kongsberg GEOPULSE PLUS с плавной регулировкой рабочей частоты в диапазоне 2–12 кГц на скорости буксировки до 12 уз.

Также используются учётные траления донным и пелагическим тралами на глубинах до 1500 метров. Траловый комплекс состоит из двух ваерных лебёдок с диаметром троса 28 мм и длиной по 3600 м, сетного барабана ёмкостью 10 м^3 и двух вытяжных лебёдок с тяговым усилием 100 кН и стальным тросом диаметром 26 мм и длиной по 100 метров. В палубное оборудование также входят электрогидравлические телескопические краны с выдвижением стрелы до 10 м: два грузоподъёмностью 3 т и один поворотный кран грузоподъёмностью 5 т.

Для тралений имеются автоматическая система управления тралом, тяговые лебёдки, лебёдки для кутка и др. оборудование для траловых сетей, в том числе траловые доски и беспроводный комплекс приборов контроля трала. Этот комплекс M5REC американской фирмы MARPORT даёт информацию о положении частей трала в воде, температуре и глубине рабочего слоя воды, а также возможна оценка формы трала и положения траловых досок. Комплекс работает на максимальном расстоянии от судна в 2500 м и до глубин в 1600 м.

Для ярусного лова тунца судно оснащено однобарабанной рыболовной машиной с талями,

рыболовными крючками, леской, насадками, электронным буем, пеленгатором и поплавком. Диаметр шпули однобарабанной рыболовной машины составляет 508 мм, на основе нейлоновой моноволоконной основной лески диаметром 3,6 мм. Скорость вращения основного барабана составляет 0–220 об/мин, скорость подъёма составляет 0–270 м/мин.

Для лова кальмаров на судне имеются 4 комплекта оборудования, включая японские джигерные машинки Mitsubishi, надводные и подводные светильники. Длина вала машинки составляет 1525 мм, диаметр — 28 мм, а максимальная подъёмная сила — 90 кг. Вращение барабана 100 об/мин.

Для исследований кормовой базы рыбных скоплений используется буксируемый пакетный планктонособиратель фирмы HYDRO BIOS модель 438130 с пятью последовательно открывающимися-закрывающимися сетями с входным отверстием 0,25 м^2 (тип Midi) из сита с ячеей 300 мкм.

Для вертикальных сборов планктона на станциях используется закрывающаяся сеть фирмы HYDRO BIOS модель 438515 общей длиной 3,5 м и весом 20 кг; диаметр входного отверстия 57 см, сито 200 мкм.

Для сбора химических, геохимических и биологических проб поверхностного слоя морского дна на толщину до 400 мм используется комплекс КС-74.000 (Дания) из 4-х поликарбонатных грунтовых трубок длиной 500 мм и внутренним диаметром 52 мм.

Для обнаружения и сбора радиоактивных нуклидов, органических веществ и следов металлов на фильтрах непосредственно в водной среде используются погружаемые устройства компании McLane серии WTS 6–1–142LV. Встроенные насосы всасывают воду через фильтры диаметром 47 мм со скоростью от 2 до 50 литров в минуту и могут прокачать более 40 тонн морской воды за один сеанс.

Для измерения течений используются акустические доплеровские профилографы (ADCP), стационарно установленные на днище НИС типа US TRDI-WHMARINER 600 кГц (мелководный 30~72 м) / OS-75 кГц (глубоководный520 ~ 650 м), погрешность измерения не хуже: 1% V ± 0,5 см/с, расходимость луча: 20° (мелководный) / 30° (глубоководный).

Для океанологических зондирований на станциях используется зондирующий комплекс на основе СТД-зонда SBE911PLUS (макс. глубина 6000 м, частота дискретизации 24 Гц) и кассеты с 12 батометрами по 10 л. СТД-зонд, кроме стандартных каналов измерения проводимости, температуры и давления, имеет дополнительные измерители растворённого кислорода, мутности, хлорофилла, трансмиссометр, измеритель CDOM и альтиметр.

Для исследования параметров поверхностного слоя морской воды на ходу судна на борту осуществляется прокачка забортной воды и установлена измерительная система типа 4H-JENA FerryBox с измерителями температуры, солёности, мутности, хлорофилла, pH, ОВП (окислительно-восстановительного потенциала), растворённого кислорода, фикоэритрина, фикоцианина, CO^2.

Имеется лабораторный проточный анализатор FLOWSYS получаемых проб с измерениями на общий фосфор, фосфат, общий азот, шестивалентный хром, нитрат/нитрит, сульфид, аммиак и кремниевый азот.

Также имеется возможность получать в реальном времени и непрерывно информацию о рыболовстве и среде обитания рыб с помощью спутникового дистанционного зондирования. Используется судовая спутниковая система дистанционного зондирования X-диапазона с получением информации о температуре поверхности моря, хлорофилле и метеорологических облаках промысловых участков. Установлены антенны и приёмник SAT2000/2100 (Сингапур) для приёма информации со спутников серии Fengyun 3, MODIS, NPP.

Для измерений освещённости и энергетической освещённости для применения в воде и в воздухе с целью оценки различных морских характеристик, включая растворённые органические вещества, взвешенные вещества и поверхностную фотосинтетическую активную радиацию (ФАР) используются радиометры типа SEABIRD SCIENTIFIC-HYPERSAS.

Для забортных работ с научным оборудованием на судне имеются:

— одна гидравлическая специальная лебёдка CTD с кабель-тросом длиной 3000 м, которая в основном используется для операций CTD-комплексом с кассетой батометров;

— одна гидравлическая гидрологическая лебёдка с тросом длиной 5000 м, в основном используемая для морских гидрологических исследований и отбора проб, с использованием П-об-

разной рамы грузоподъёмностью 5 т и высотой 3,5 м по левому борту;

— одна планктонная лебёдка с тросом 1000 м, в основном используемая для сбора планктона.

Для хранения биологических образцов имеется:

— низкотемпературный (–35 °C) холодильный склад 120 м^3

— холодильная камера со сверхнизкой температурой (–55 °C) 120 м^3.

На выдвижном киле располагаются акустические антенны EK80 (38/70/120/200 кГц), ADCP (75/600 кГц).

НИРС для канадской береговой охраны

CCGS «Capt. Jacques Cartier» и CCGS «John Cabot» — так называются второе и третье из трёх НИРС, строящихся на верфи Seaspan (Северный Ванкувер, Канада). Эти НИС являются практически полным аналогом головного НИС CCGS «Sir John Franklin» [Левашов, Буланова, 2018].

CCGS «Capt. Jacques Cartier» было окрещено и спущено на воду июня 2019 г. В декабре 2019 г. передано канадской береговой охране (Canadian Coast Guard), в ведение которой традиционно входят государственные исследовательские суда, и в 2020 г. принято в эксплуатацию. НИС будет базироваться в Дартмуте (Dartmouth, Nova Scotia) и, кроме промысловых исследований, будет оказывать поддержку поисково-спасательным операциям и оценивать антропогенное влияние на окружающую среду. Судно названо в честь капитана Жака Картье (1491–1557), который был французским штурманом и исследователем. В 1534 году ему было поручено исследовать Новый Свет по приказу короля Франсуа I. Жак Картье был признан первым европейцем, нанесшим на карту залив Святого Лаврентия и берега реки Святого Лаврентия. [Vessel review..., 2020]

Судно CCGS «John Cabot» 6 июля 2020 г. было спущено на воду, а 18 августа были начаты ходовые испытания [Future Canadian..., 2020]. Официально судно было передано канадской берего-



Рис. 3. Внешний вид CCGS «Capt. Jacques Cartier» по правому борту (сверху) и CCGS «John Cabot» по левому борту (внизу)

вой охране (Canadian Coast Guard) 9 октября и должно базироваться в Сент-Джонсе (Ньюфаундленд и Лабрадор) [Seaspan Shipyards..., 2020]. Судно было названо в честь итальянского торговца и исследователя, который является самым ранним известным европейцем со времён скандинавских викингов для исследования и выхода на берег на побережье Ньюфаундленда и Лабрадора в 1497 году.

Основные характеристики судов указаны в табл., а внешний вид представлен на рис. 3.

Оба судна классифицируются как: DP1, R1+, UMS, NIBS, Polar Class 7 с пониженными шумами в соответствии с Рекомендациями ИКЕС № 209 класс по динамическому позиционированию — DP-1.

На судне размещаются 36 чел., из них экипаж — 23 чел., научных сотрудников — 13 чел. Длина судна составляет 63,4 м, водоизмещение 2975 т, осадка 6,2 м, крейсерская скорость 8 уз, а максимальная — 13 уз. Автономность — 6400 морских миль [Vessel details: capt., 2020; Vessel details: John..., 2020].

Главная энергетическая установка — дизель-электрическая общей мощностью 4500 кВт. Использована одновальная пропульсивная схема с одним электромотором на общем валу с 5-лопастным малошумным гребным винтом постоянного шага. Электромотор питается от трёх дизель-генераторов на основе двигателей Caterpillar-3512. В пропульсивный комплекс также входит носовое подруливающее устройство тоннельного типа.

Траловые работы до глубин 2500 м обеспечивает траловый комплекс, в том числе включающий две ваерных лебёдки с сетным барабаном и выдвижной киль с научным и рыбопоисковым акустическим оборудованием.

НИС содержит четыре научных лаборатории: «мокрая» лаборатория, сухая лаборатория, океанологическая лаборатория и технологическая лаборатория для поддержки научных исследований. Для забортных работ имеются СТД-ангар с лацпортом и примыкающая открытая рабочая площадка по правому борту со складной П-рамой [Offshore Fisheries..., 2019].

НИРС для Аргентины

НИРС «Mar Argentino» построено для Национального института рыболовных исследований и развития Аргентины (Argentina's National Institute of Fisheries Research and Development — INIDEP). Судно строила испанская верфь Astilleros Armon, Виго, проектирование и надзор



Рис. 4. Внешний вид «Mar Argentino» по правому (сверху) и левому (внизу) борту

над строительством был поручен консалтинговой фирме Seaplace S.L. Основные характеристики НИРС представлены в табл., а на рис. 4 — внешний вид.

Судно было спущено на воду 3 октября 2019 г. Практически через год, в субботу, 17 октября 2020 г., перед тем, как судно «Mar Argentino» должно было отправиться к месту приписки в порт Мар-дель-Плата, где базируется INIDEP, Министр сельского хозяйства, животноводства и рыболовства Аргентины Луис Бастерра, посредством видеоконференции принял участие в церемонии сдачи судна, проведённой в испанском городе Виго властями верфи Astilleros Armón. В рамках мероприятия состоялось традиционное освящение судна с участием изображения Девы дель Кармен Стелла Марис, подаренным послом Аргентины в Испании Рикардо Альфонсином.

25 ноября 2020 г. судно прибыло в аргентинский порт Мар-дель-Плата, где Министр Луис Бастерра лично возглавил церемонию его встречи и приёмку. Новое НИС заменит старое судно «Capitán Cánepa», построенное в 1964 году как рыболовное судно, позднее переделанное для научной деятельности и списанное в 2019 году. Общий объём инвестиций в постройку корабля составил более 7 млн долларов за счёт средств, предоставленных государством, и за счёт кредита Межамериканского банка развития (IDB) [«Argentine sea»... 2020].

Судно имеет длину 36 метров и ширину 8,5 метра. Судно сконструировано с учётом Рекомендаций ИКЕС № 209 с использованием мер, снижающих судовые шумы, излучаемые в воду. Главная энергетическая установка — дизель-электрическая. Имеется убирающийся киль для гидроакустических антенн. Экипаж судна состоит из 11 человек команды и 8 научно-технических сотрудников (членов экспедиции).

Судно предназначено для работы в прибрежных водах, которые имеют небольшую глубину, и где знание происходящих биологических процессов имеет важное значение для правильного управления ресурсами и их стабильности. Судно будет заниматься многочисленными исследованиями в области рыболовства, а также физической, химической и биологической океанографией. На судне имеются три лаборатории, расположенные на главной палубе (мокрая, многоцелевая, контрольно-измерительная и гидроакустика); лебёдки для донного и пелагического траления; лебёдки для буксировки океанографических приборов и тралы для пелагического и донного траления; лебёдки для океанографических приборов и отбора проб планктона и бентоса на станциях; акустическое оборудование.

Официальное крещение судна было организовано 11 декабря 2020 г. при содействии представителей института, а также государственных органов нации, провинции и муниципалитета. После приветственных выступлений капеллан Военно-морской префектуры Аргентины отец Клаудио Минулла приступил к благословению НИС «Mar Argentino», после чего был проведён традиционный ритуал разбивания бутылки шампанского о борт судна. Однако, после четырёх безуспешных попыток бутылку пришлось просто откупорить и д-р Мария Берта Куссо, исследователь из Национального института исследований и развития рыболовства (Inidep), которая была назначена крестной матерью этого судна, просто облила борт судна шампанским [Se realizó..., 2020].

Новое НИРС для Фарерских островов

НИРС «Jákup Sverri» [Левашов, Буланова, 2020] заказало правительство Фарерских островов для своего Института морских исследований (Faroe Marine Research Institute — FAMRI**)** с целью замены 45-метрового НИС «MAGNUS HEINASON» 1978 г. постройки. В 2017 году заказ судна стоимостью 264,1 млн крон [New marine..., 2017] был сделан местной верфи «MEST shipyard», которая в свою очередь подписала в январе 2018 г. договор с литовской верфью в Клайпеде «Western Baltija Shipbuilding» (WBS) контракт на постройку корпуса судна. Корпус планировалось доставить на Фарерские острова летом 2019 года, где через год MEST Shipyard должно было завершить работы по размещению, оборудованию, трубопроводам, электрике и кабелю, палубному оборудованию и окончательной окраске.

Реально, с небольшой задержкой, в середине сентября 2019 г. ОАО «Западный Балтийский завод» (VBLS) завершил строительство и уже частично оборудованное, научно-исследовательское судно длиной 54 м, шириной 13,6 м, осадкой 6,4 м и водоизмещением 1900 т с помощью плавучего дока было спущено на воду. Все работы заняли почти полтора года: шесть месяцев на документацию и 11 месяцев на строительство [Klaipėdoje pastatytas... 2019]**.**

На рис. 5. представлен внешний вид судна, на котором бросается в глаза необычная форма но-



Рис. 5. Внешний вид НИС «Jákup Sverri» по правому (сверху) и левому (внизу) борту

совой оконечности — за рубежом такой тип носа называется «X-bow», а среди проектантов «попугайным». Такая конструкция форштевня была впервые применена норвежской компанией Ulstein Group, по мнению которой такой нос улучшает управление кораблём и снижает расход топлива за счёт меньшего гидродинамического сопротивления.

Судно предназначено не только для рыболовных исследований, но и для проведения гидрографических, сейсмических и акустических исследований, отбора проб воды и планктона, пелагического и донного траления. Оно спроектировано в соответствии с требованиями ИКЕС по снижению уровня судовых шумов, чтобы обеспечить оптимальную производительность в исследовательских работах по исследованию рыбных запасов в море вокруг Фарерских островов. Обладает чрезвычайно низким уровнем шума и классифицируется DNV как Silent R, для чего всё судовое оборудование установлено на антивибрационных опорах, а машинное отделение звукоизолировано. Судно соответствует критериям ледового класса С. Норвежским Регистром судно классифицируется на символ класса DNV-GL 1A1 Ice C DYNPOS AUT-S E0 CLEAN TMON SILENT-R. Имеет выдвижной киль, систему динамического позиционирования, крейсерскую скорость 11 уз, максимальную — 14 уз. Экипаж в количестве 13 человек размещается в одноместных каютах. Научная группа из 12 исследователей — в двухместных. Имеется комната отдыха. На судне предусмотрены коммуникационные возможности Inmarsat C, GSM, Internet через спутниковую связь. Основные характеристики НИС представлены в табл.

На судне применена одновальная пропульсивная установка с системой электродвижения. Судно оснащено двумя среднеоборотными дизель-генераторами на основе восьмицилиндровых двигателей Wärtsilä L20 мощностью по 1600 кВт каждый. Дизель-генераторы питают 2-якорный гребной электродвигатель производства фирмы INDAR, мощностью 2300 кВт при 163 об/мин, который работает на малошумный пятилопастной гребной винт производства фирмы Wärtsilä с фиксированным шагом и диаметром 3,6 м. Wärtsilä также поставит систему селективного каталитического восстановления (SCR) для очистки выхлопных газов двигателя от выбросов оксида азота (NOx) согласно новым требованиям МАРПОЛ. Частью пропульсивной установки также

является носовое азимутальное поворотно-выдвижное подруливающие устройство мощностью 800 кВт, которое может быть использовано как движитель малого хода.

В промысловый комплекс входят две главные траловые лебёдки мощностью 30 т (3000 м × 28 мм) каждая. Траловая палуба продлена тоннелем- коридором до бака, где установлены 4 вытяжные лебёдки. Тяговое усилие судна составляет 22 т на скорости 5 уз с пелагическим тралом модели MULPELT 832.

В корме, под траловой палубой размещается рыбцех с системой сортировкой, взвешивания и измерения длины рыб с автоматической регистрацией характеристик улова, а также установлены холодильные и рефрижераторные ёмкости.

К палубному научному оборудованию относятся: лебёдка с 3000 м кабель-тросом диаметром 8,2 мм для СТД-зондов, лебёдка с 200 м троса диаметром 8 мм для планктонной сети WP2, лебёдка с 3000 м кабель-троса диаметром 8,2 мм для подводной видеокамеры и планктонособирателя Gulf Multinet.

На судне размещаются 4 специализированных лаборатории: 2 «мокрых» и 2 «сухих», конференц-зал.

Научное оборудование на борту судна включает научный эхолот Simrad EK80 (антенны частот от 18, 38, 70, 120, 200 и 333 кГц смонтированы на выдвижном киле), научный многолучевой эхолот Simrad ME70, гидролокаторы Simrad SU90 (20–30 кГц) и SC90 (85 кГц). Судно также оснащено многолучевым эхолотом Kongsberg EM 712 и цифровым донным профилометром TOPAS PS18. Имеется доплеровский измеритель ADCP (75 кГц) течения. Также в состав научного оборудования входит акустическая система позиционирования Kongsberg HiPAP и 6-тонный подъёмник на корме для работ с ТПА (ROV).

Из научного оборудования, также можно упомянуть метеорологическую станцию, СТД-зонд Seabird с датчиком кислорода, с флюориметром и датчиками освещённости в комплексе с кассетой батометров Niskin по 1,7 и 5 литров. Имеется большой набор забортного оборудования для исследования планктона — Multinet, Bongo-net, MIK net and Gulf-net, WP2, оптический регистратор планктона, зондирующая система для флюоресцентной оценки первичной продукции «Chelsea FastOcean APD system», а также буксируемый ондулятор «Scanfish Rocio». В случае работы по сейсмическим и другим непрофильным программам, на траловой палубе предусмотрены места для установки 3-х 20-футовых контейнеров с лабораториями и оборудованием, для чего, кроме креплений, предусмотрен подвод питания мощностью порядка 400 кВт [Frederiksen, 2020].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Все пять рассмотренных проекта НИРС по конструкции имеют характерный архитектурный тип траулера кормового траления. Кроме общих архитектурных решений в конструкции корпуса и надстройки, присущих для судов этого типа, практически везде применён безбульбовый вариант носовой части судна. На трёх судах с почти вертикальным форштевнем в его части на протяжении плюс-минус примерно 2 м от ватерлинии. Развал в верхней части форштевня способствует мореходности и увеличивает полезную площадь на палубе бака, которая может быть полезной для запуска БПЛА. Для современных малошумных НИРС класса SILENT-R подобное решение является оптимальным, что подтверждено многочисленными испытаниями в опытовых бассейнах и результатами эксплуатации новых НИС. В канадском проекте используется консервативно-классический небольшой наклон форштевня. Форма носа типа «X-bow», применённая на НИС «Jákup Sverri», способствует экономичности хода в свежую погоду и снижению килевой качки. Однако по оценке положительного влияния такой формы на шумовые качества судна никаких данных найти не удалось.

На всех суда используется одновальная пропульсивная схема, причём, в трёх проектах применено малошумное электродвижение, и классифицируются они Правилами DNV по классу судна как исключительно малошумные — «Silent-R». Исключением на этом фоне является НИС «Almostakshif», у которого, в отличие от других судов, основной пропульсивной установкой выбрана дизель-редукторная, а для съёмок планируется использовать свойства редукторов Reintjes с дополнительным подводом мощности PTI, имеющих собственные встроенные электромоторы, с помощью которых при отключении ГД, возможно развить скорость хода до 8 уз, в связи с чем судно по шумности на скорости 11 уз не классифицируется. В китайском проекте также выбрана в качестве основной схемы — дизель-редукторная. Более подробное описание в китайских источниках найти не удалось, но по ряду косвенных данных, в том числе установке допол-

Таблица. Основные характеристики зарубежных судов, предназначенных для рыбопромысловых исследований (2019–2020 гг.)

№	Название судна, страна-судовладелец	Год ввода в строй	Соответствие Рекомендациям ИКЕС № 209*	Размеры (макс.), м: длина/ширина/ осадка	Мощность, кВт: СЭУ / электромоторов (мех. привода)	Скорость, уз: макс./крейсерская	Вместимость, чел. экипаж / науч. состав	Научные помещения. (контейнеры) число / площадь, м^2	Автономность, сут/ мили
1	Almostakshif, Кувейт	2019	н.д.	55,58/12/4,3	(2×1764)+2× 812,5/2x200	14/12,5	15/13	7/207 (3)	18
2	Lan Hai 101, КНР	2019	н.д.	84,50/15/5	(2720 + 2x550)	14,5/12	27/33	>5	60
3	Lan Hai 201, КНР	2019	н.д.	84,50/15/5	(2720 + 2x550)	14,5/12	27/33	>5	60
4	Capt. Jacques Cartier, Канада	2020	+	63,4/16	3x1500/2250	12,5/8,0	23/13	5(–)	31
5	John Cabot, Канада	2020	+	63,4/16	3x1500/2250	12,5/8,0	23/13	н.д.	31
6	Mar Argentino, Аргентина	2020	+	36/8,5	н.д.	н.д.	11/8	3	н.д.
7	Jákup Sverri, Дания (Фарерские острова)	2020	+	54/13,6/6	2x1570/2300	14/11	12/10	5 (3)	н.д.

нительных дизель-генераторов общей мощностью 1100 кВт на специальных амортизаторах, можно предположить, что тут используется решение, похожее на принятое на кувейтском судне.

Во всех пяти проектах используется современное научное и поисковое гидроакустическое оборудование Kongsberg, в том числе научный эхолот Kongsberg SIMRAD EK80, и выдвижные кили. Учитывая, что одной из основных задач отраслевых НИРС является проведение траловоакустических съёмок, оценены размеры траловой палубы и промысловое оборудование. Здесь несомненным лидером оказалось НИРС «Jákup Sverri» и, несмотря на его сомнительную форму носа, предлагается именно его взять в качестве прототипа для отраслевого проекта НИРС длиной 50–60 м.

ЛИТЕРАТУРА

Левашов Д.Е. 2010. Современные суда и судовое оборудование для рыбопромысловых исследований. М.: ВНИРО, 400 с.

Левашов Д.Е. 2016. Нормирование характеристик шумового поля рыбохозяйственных НИС с целью минимизации его влияния на поведение рыб при промыслово-акустической съёмке // Труды ВНИРО. Т. 159. С. 157–166.

Левашов Д.Е., Буланова Н.П. 2018. Развитие средних НИС нового поколения для рыбопромысловых исследований на примере зарубежных проектов (2017–2020 гг.) // Рыбное хозяйство. № 3. С. 80–89.

Левашов Д.Е., Буланова Н.П. 2020. Новые зарубежные суда для рыбопромысловых исследований, вошедшие в строй в 2019 году и находящиеся в постройке // Рыбное хозяйство. № 2. С. 88–97.

Левашов Д.Е., Тишкова Т.В., Буланова Н.П. 2016. Морские суда для рыбопромысловых исследований 2010–2015 гг. М.: ВНИРО, 232 с.

«Argentine sea» is the new research vessel fisheries of the INIDEP. Accessible via: https://www.elportuariodigital.com.ar/2020/11/26/mar-argentino-es-el-nuevo-buque-de-investigacion-pesquera-del-inidep/. 17.11.2020.

A three-kiloton Marine Fisheries investigation Ship «Blue Sea 101» in the Shanghai water / DAILY HEADLINES. Accessible via: https://kknews.cc/other/lqkr2gg.html. 18.09.2020.

Blue sea 201. Accessible via: https://ecsf.ac.cn/__local/A/A2/62/F407C022DD70B4F77BC68AB651C_22F0533A_1385D7.pdf. 04.11.2020.

Buque científico multipropósito de Freire. Accessible via: https://www.buquesyequipos.es/pdfs/num.09–2019.pdf. 23.08.2020.

China offshore fishing expedition: The wind and waves to the Deep Blue. Accessible via: http://news.sciencenet.cn/sbhtmlnews/2019/7/347586.shtm. 19.09.2020.

Frederiksen Olavur. MEST delivers new Faroese research vessel. Accessible via: https://mag.hookandnet.com/2020/11/10/2020–11mestjakupsverri/content.html. 15.06.2021.

From the wooden hull fishing vessel to «the fisheries of the aircraft carrier», to talk about the Yellow Sea Fisheries Research Institute research ship those things. Accessible via: https://k.sina.cn/article_6159410509_16f21254d00100hg8r.html. 20.09.2020.

Future Canadian Coast Guard Vessel CCGS John Cabot Starts Sea Trials. Accessible via: https://www.navalnews.com/naval-news/2020/08/future-canadian-coast-guard-vessel-ccgs-john-cabot-starts-sea-trials/. 19.10.2020.

Klaipėdoje pastatytas dar vienas mokslinių tyrimų laivas. Accessible via: https://www.atviraklaipeda.lt/2019/09/16/klaipedoje-pastatytas-dar-vienas-moksliniu-tyrimu-laivas/ 15.06.2021.

Lee Yi EN is a blue ocean 101 comes with intelligent fuel optimization energy-saving system. Accessible via: http://wap.eworldship.com/index.php/eworldship/news/article?id=148338. 19.09.2020.

New marine research ship to be built in the Faroe Islands. Accessible via: https://www.faroeislands.fo/the-big-picture/news/new-marine-research-ship-to-be-built-in-the-faroe-islands/ 15.06.2021.

Offshore Fisheries Science Vessels. Accessible via: https://www.canada.ca/en/canadian-coast-guard/news/2019/06/offshore-fisheries-science-vessels.html. 21.11.2020.

Seaspan Shipyards Delivers CCGS John Cabot, Completing First Class of Ships under Canada's National Shipbuilding Strategy. Accessible via: https://www.newswire.ca/news-releases/seaspan-shipyards-delivers-ccgs-john-cabot-completing-first-class-of-ships-under-canada-s-national-shipbuilding-strategy-855212341.html. 06.11.2020.

Se realizó el bautismo del buque Mar Argentino: "Es un acto de soberanía". Accessible via: https://www.lacapitalmdp.com/se-realizo-el-bautismo-del-buque-mar-argentino-es-un-acto-de-soberania/ 15.06.2021.

Technical demands hold up new research ship. Accessible via: https://www.maritimejournal.com/news101/vessel-build-and-maintenance/ship-and-boatbuilding/technical-demands-hold-up-new-research-ship. 13.09.2020.

The Norwegian Institute of Nature must have a new exploration ship. Accessible via: https://sermitsiaq.ag/node/211960. 17.11.2020.

Vessel details: capt. Jacques Cartier. Accessible via: https://inter-j01.dfo-mpo.gc.ca/fdat/vessels/2404. 23.11.2020.

Vessel details: John Cabot. Accessible via: https://inter-j01.dfo-mpo.gc.ca/fdat/vessels/2403 23.11.2020.

Vessel review capt. Jacques Cartier — second in class of three large coast guard ships built for fisheries research missions in canadian waters. Accessible via: https://www.bairdmaritime.com/work-boat-world/specialised-fields/marine-research-and-training/vessel-review-capt-jacques-cartier-second-in-class-of-three-large-coast-guard-ships-built-for-fisheries-research-missions-in-canadian-waters/. 23.11.2020.

Поступила в редакцию 19.12.2020 г.

DOI: 10.36038/2307-3497-2021-184-203-217

Some vessels for fishery surveys built in 2019–2020

D.E. Levashov,
N.P. Bulanova

Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (VNIRO), Moscow, Russia

The design features of fishery research vessels of a new generation with non-standard solutions in propulsion systems as well are considered as an example for foreign ships built in 2019–2020 for fisheries organizations of Kuwait, China, Argentina, Canada and the Faroe Islands. The information is analyzed for 7 special vessels with maximum length from 36 to 84 m on the base of 5 projects. The main characteristics are given in the table. Special attention is paid to the design features of ship propulsion systems with a hybrid scheme for combining diesel-gear and diesel-electric systems. Such scheme allows one to use a low-consumption diesel propulsion at crossings and low-noise electric one during acoustic surveys in accordance with ICES Recommendations 209. Different research equipment for a number of vessels including hydroacoustic one, which is of particular interest, is considered. The features of modern trends in the development of fishery scientific research vessels are analyzed.

Keywords: research vessel (RV), fisheries research vessel (FRV), shipbuilding, hydroacoustic equipment, ICES Recommendations № 209.

REFERENCES

Levashov D.E. 2010. Sovremennye suda i sudovoe oborudovanie dlya rybopromyslovykh issledovanij [Modern research vessels and their equipment for fishery investigations]. M.: VNIRO. 400 s.

Levashov D.E. 2016. Normirovanie kharakteristik shumovogo polya rybokhozyajstvennykh NIS s tsel'yu minimizatsii ego vliyaniya na povedenie ryb pri promyslovo-akusticheskoj s'emke [Characteristics rationing of fishing research vessels' noise field with the aim of minimization of its influence on fish behavior during fishery-acoustic survey] // Trudy VNIRO. T. 159. S. 157–166.

Levashov D.E., Bulanova N.P. 2018. Razvitie srednikh NIS novogo pokoleniya dlya rybopromyslovykh issledovanij na primere zarubezhnykh proektov (2017–2020) [Development of middle-sized research vessels of new generation for fishery investigations with foreign projects (2017–2020) as a case study] // Rybnoe khozyajstvo, № 3. S. 80–89.

Levashov D.E., Bulanova N.P. 2020. Novye zarubezhnye suda dlya rybopromyslovykh issledovanij, voshedshie v stroj v 2019 godu i nakhodyashchiesya v postrojke [New foreign fishing research vessels that started operation in 2019 or are under construction] // M.: Rybnoe khozyajstvo, № . 2, S. 88–97.

Levashov D.E., Tishkova T.V., Bulanova N.P. 2016. Morskie suda dlya rybopromyslovykh issledovanij (2010–2015) [Marine research vessels for fishery investigations (2010–2015)]. M.: VNIRO. 232 s.

«Argentine sea» is the new research vessel fisheries of the INIDEP. Accessible via: https://www.elportuariodigital.com.ar/2020/11/26/mar-argentino-es-el-nuevo-buque-de-investigacion-pesquera-del-inidep/. 17.11.2020.

A three-kiloton Marine Fisheries investigation Ship «Blue Sea 101» in the Shanghai water / DAILY HEADLINES. Accessible via: https://kknews.cc/other/lqkr2gg.html. 18.09.2020.

Blue sea 201. Accessible via: https://ecsf.ac.cn/__local/A/A2/62/F407C022DD70B4F77BC68AB651C_22F0533A_1385D7.pdf. 04.11.2020.

Buque científico multipropósito de Freire. Accessible via: https://www.buquesyequipos.es/pdfs/num.09–2019.pdf. 23.08.2020.

China offshore fishing expedition: The wind and waves to the Deep Blue. Accessible via: http://news.sciencenet.cn/sbhtmlnews/2019/7/347586.shtm. 19.09.2020.

Frederiksen Olavur. MEST delivers new Faroese research vessel. Accessible via: https://mag.hookandnet.com/2020/11/10/2020–11mestjakupsverri/content.html. 15.06.2021.

From the wooden hull fishing vessel to «the fisheries of the aircraft carrier», to talk about the Yellow Sea Fisheries Research Institute research ship those things. Accessible via: https://k.sina.cn/article_6159410509_16f21254d00100hg8r.html. 20.09.2020.

Future Canadian Coast Guard Vessel CCGS John Cabot Starts Sea Trials. Accessible via: https://www.navalnews.com/naval-news/2020/08/future-canadian-coast-guard-vessel-ccgs-john-cabot-starts-sea-trials/. 19.10.2020.

Klaipėdoje pastatytas dar vienas mokslinių tyrimų laivas. Accessible via: https://www.atviraklaipeda.lt/2019/09/16/klaipedoje-pastatytas-dar-vienas-moksliniu-tyrimu-laivas/ 15.06.2021.

Lee Yi EN is a blue ocean 101 comes with intelligent fuel optimization energy-saving system. Accessible via: http://wap.eworldship.com/index.php/eworldship/news/article?id=148338. 19.09.2020.

New marine research ship to be built in the Faroe Islands. Accessible via: https://www.faroeislands.fo/the-big-picture/news/new-marine-research-ship-to-be-built-in-the-faroe-islands/ 15.06.2021.

Offshore Fisheries Science Vessels. Accessible via: https://www.canada.ca/en/canadian-coast-guard/news/2019/06/offshore-fisheries-science-vessels.html. 21.11.2020.

Seaspan Shipyards Delivers CCGS John Cabot, Completing First Class of Ships under Canada's National Shipbuilding Strategy. Accessible via: https://www.newswire.ca/news-releases/seaspan-shipyards-delivers-ccgs-john-cabot-completing-first-class-of-ships-under-canada-s-national-shipbuilding-strategy-855212341.html. 06.11.2020.

Se realizó el bautismo del buque Mar Argentino: "Es un acto de soberanía". Accessible via: https://www.lacapitalmdp.com/se-realizo-el-bautismo-del-buque-mar-argentino-es-un-acto-de-soberania/ 15.06.2021.

Technical demands hold up new research ship. Accessible via: https://www.maritimejournal.com/news101/vessel-build-and-maintenance/ship-and-boatbuilding/technical-demands-hold-up-new-research-ship. 13.09.2020.

The Norwegian Institute of Nature must have a new exploration ship. Accessible via: https://sermitsiaq.ag/node/211960. 17.11.2020.

Vessel details: capt. Jacques Cartier. Accessible via: https://inter-j01.dfo-mpo.gc.ca/fdat/vessels/2404. 23.11.2020.

Vessel details: John Cabot. Accessible via: https://inter-j01.dfo-mpo.gc.ca/fdat/vessels/2403 23.11.2020.

Vessel review capt. Jacques Cartier — second in class of three large coast guard ships built for fisheries research missions in canadian waters. Accessible via: https://www.bairdmaritime.com/work-boat-world/specialised-fields/marine-research-and-training/vessel-review-capt-jacques-cartier-second-in-class-of-three-large-coast-guard-ships-built-for-fisheries-research-missions-in-canadian-waters/. 23.11.2020.

TABLE CAPTIONS

Table 1. Main characteristics of foreign vessels for fishery research (2019–2020)

FIGURE CAPTIONS

Fig. 1. R/V «Almostakshif» starboard top view and port-side bottom view.

Fig. 2. «LAN HAI 101» starboard top view and «LAN HAI 201» port-side bottom view.

Fig. 3. CCGS «Capt. Jacques Cartier» starboard top view and CCGS «John Cabot» port-side bottom view.

Fig. 4. «Mar Argentino» starboard top view and port-side bottom view.

Fig. 5. FRV «Jákup Sverri» starboard top view and port-side bottom view.