

RYBNOE HOZYAJSTVO (FISHERIES)

No 04/2022

Scientific and commercial
journal of the Federal Agency
for Fisheries

Founded in 1920.

Six issues per year.



**FOUNDER
OF THE JOURNAL:**
The Central Department
for Fisheries Regulation
and Norms

CHAIRMAN OF THE EDITORIAL BOARD

Shestakov I.V. – Candidate of Economic Sciences, Head of Rosrybolovstvo

DEPUTY CHAIRMAN OF THE EDITORIAL BOARD

Kolonchin K.V. – Candidate of Economic Sciences, Director of the All-Russian Scientific Research Institute of Fisheries and Oceanography (VNIRO)

SECRETARY OF THE EDITORIAL BOARD

Filippova S.G. – Editor-in-chief of the magazine "Fisheries"

MEMBERS OF THE EDITORIAL BOARD

Andreev M.P. – Doctor of Technical Sciences, KSTU, Professor of the Department of Food Technology

Bagrov A.M. – Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Biological Sciences, Professor

Bekyashev K.A. – Doctor of Law, Professor, Advisor to the Head of Rosrybolovstvo

Bubunets E.V. – Doctor of Agricultural Sciences, FSBI "TSUREN"

Grigoriev O.V. – Doctor of Technical Sciences, FSBI "Marine Rescue Service", First Deputy Head

Dvoryaninova O.P. – Doctor of Technical Sciences, Voronezh State University of Engineering Technologies, Dean of the Faculty of Continuous Education, Head of the Department of Quality Management and Technology of Aquatic Biological Resources

Zhigin A.V. – Doctor of Agricultural Sciences, VNIRO Federal State Budgetary Educational Institution, K.A. Timiryazev Russian State Agricultural Academy, Chief Researcher of the Department of Invertebrate Aquaculture; Professor of the Department of Aquaculture and Beekeeping

Zil'nikov V.K. – Candidate of Biological Sciences, full member of MANEB, Professor, Honorary Doctor of the Moscow State Technical University, Chairman of the Sevryba CC

Kokorev Yu.I. – Candidate of Economic Sciences, Dmitrov Fisheries Technological Institute of the Federal State Budgetary Educational Institution "AGTU" Professor of the Department of Humanities and Economics

Mezenova O.Ya. – Doctor of Technical Sciences, Professor, Honorary Worker of Fisheries, KSTU

Mercel Jorg-Thomas – Doctor of Technical Sciences, Professor at the Research Laboratory (UBF GmbH), Altdorferberg, Germany

Orlov A.M. – Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, P.P. Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences, Head of the Laboratory of Oceanic Ichthyofauna

Ostroumov S.A. – Doctor of Biological Sciences, Lomonosov Moscow State University, Faculty of Biology

Pavlov D.S. – Full member of the Russian Academy of Sciences; Doctor of Biological Sciences; Honored Professor of Lomonosov Moscow State University, - Scientific Director of the Severtsov Institute of Ecology and Evolution of the Russian Academy of Sciences, Head of the Laboratory, Chief Researcher; - Scientific Director of the Department of Ichthyology of the Faculty of Biology of Lomonosov Moscow State University

M.M. Rosenstein – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Laboratory of KSTU

Servetnik G.E. – Doctor of Agricultural Sciences, Senior Researcher at the Laboratory of Reproduction and Biosynthesis Problems, All-Russian Research Institute of Integrated Fish Farming – VNIIR – Branch of the L.K. Ernst FITZVIZH

Smirnov A.A. – Doctor of Biological Sciences, Chief Researcher of the Marine Fish Department of the Far East, All-Russian Scientific Research Institute of Fisheries and Oceanography (VNIRO); Professor of the North-Eastern State University (SVSU)

Kharenko E.N. – Doctor of Technical Sciences, Deputy Director for Scientific Work of VNIRO

Khatuntsov A.V. – Candidate of Economic Sciences, Head of TSUREN

Chernyshkov P.P. – Doctor of Geographical Sciences, Professor, Department of Ocean Geography

Institute of Living Systems of the Baltic Federal University named after Immanuel Kant

MARITIME POLICY

- 4 Cheban K.A., Khrustalev E.I., Vinokurov Yu.A.
Eel Management Plan
for Kaliningrad (Vistula) Lagoon

ECOLOGY

- 15 Perkov S.A., Trigub A.G., Medyankina M.V., Khairulina T.P., Popova E.O.
Influence of strontium content in water on phyto- and zooplankton

ECONOMICS AND BUSINESS

- 20 Gaidenok N.D. Nonlinear physics in fleet practice. Part 4

LEGAL ISSUES

- 29 Bekyashev D.K.
Political and legal challenges of international fisheries management in the context of sustainable development

BIOLOGICAL RESOURCES AND FISHERIES

- 35 Metelev E.A., Grigorov V.G., Smirnov A.A. Flat-nosed crab *Lithodes aequispinus* of the northern part of the Sea of Okhotsk: history of study and features of fishing

INTERNAL RESERVOIRS

- 40 Moiseev A.V., Kataev R.K., Smirnov A.A. Ecology, state of the reserve and prospects of fishing for one of the inhabitant species of the Cheboksary reservoir - the Black Sea-Caspian seal *Clupeonella cultriventris*

- 45 Ostroumov S.A., Sadchikov A.P. Consumption of organic matter by planktonic organisms in a mesotrophic ecosystem: radioactivity (on membrane filters) of plankton and detritus labeled by carbon (^{14}C)

AQUACULTURE

- 50 Novosadov A.G., Novosadova A.V., Zhigin A.V., Labenets A.V., Bubunets E.V.
Plastic and meristic features of the hybrid "lenbel" (F_2 *Acipenser baerii* × *Huso huso*) under cultivation

- 58 Ponomarev S.V., Fedorovskikh Yu.V., Akhmedzhanova A.B., Levina O.A., Nikiforov-Nikishin A.L., Klimov V.A.

The effectiveness of the use of some BAS in the composition of production feeds for sturgeon

- 65 Bugaev O.G., Leonov I.I., Klimov V.A., Khatuntsov D.S., Ponomarev A.K. Technology of production of protein feed mixtures for hydrobionts based on cultured worms *Eisenia fetida* and *Dendrobena Veneta* using freeze drying technology

- 71 Medyankina M.V., Kochetkov N.I., Nikiforov-Nikishin D.L., Golovacheva N.A.
Evaluation of the genotoxicity of diflubenzuron by micronuclear test on red blood cells *Danio rerio*

- 76 Botsun L.A., Markina Zh.V., Maslennikov S.I.
Method of express determination of the number of microalgae cultures of the genus *Tetraselmis*

MARICULTURE

- 81 Shibaev S.V., Shibaev L.V., Malinovsky V.G. Efficiency of artificial reproduction of whitefish (*Coregonus lavaretus* L.) of the Curonian Lagoon of the Baltic Sea

FLOT FISHING EQUIPMENT

- 86 Levashov D.E. Foreign vessels for fishing research built and those under construction in 2019-2021 (Part 1. Atlantic region)

- 93 Peleshenko V.A.
Automated active trawl complex

TECHNOLOGY

- 100 Vasyukova A.T., Krivoshonok K.V.
Hygienic criteria of quality and safety of fish culinary products

BRIGHT MEMORY

Mikhail Mikhailovich
Rosenstein 1935-2022

3-rd cover

№ 04/2022

**Научно-практический
и производственный журнал
Федерального агентства
по рыболовству**

Основан в 1920 году

Выходит 6 раз в год

Учредитель журнала:

**ФГБУ «ЦУРЭН»**

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Центральное управление по рыбохозяйственной экспертизе и нормативам по сохранению, воспроизводству водных биологических ресурсов и акклиматизации»

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ РЕДАКЦИОННОГО СОВЕТА
Шестаков И.В. – кандидат экономических наук,
руководитель Росрыболовства

**ЗАМЕСТИТЕЛЬ ПРЕДСЕДАТЕЛЯ
РЕДАКЦИОННОГО СОВЕТА**

Колончин К.В. – кандидат экономических наук, директор
Всероссийского научно-исследовательского института
рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО)

СЕКРЕТАРЬ РЕДАКЦИОННОГО СОВЕТА
Филиппова С. Г. – главный редактор журнала
«Рыбное хозяйство»

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОГО СОВЕТА

Андреев М.П. – доктор технических наук ФГБОУ ВО «КГТУ»,
Профессор кафедры технологии продуктов питания

Багров А.М. – член-корреспондент РАН, доктор

биологических наук, профессор

Бекяшев К.А. – доктор юридических наук, профессор,

советник руководителя Росрыболовства

Бубунец Э.В. – доктор сельскохозяйственных наук,

ФГБУ «ЦУРЭН»

Григорьев О.В. – доктор технических наук, ФГБУ «Морская

спасательная служба», первый заместитель руководителя

Дворянинова О.П. – доктор технических наук, ФГБОУ ВО

«Воронежский государственный университет инженерных

технологий», Декан факультета безотрывного образования,

заведующий кафедрой управления качеством и технологии

водных биоресурсов

Жигин А.В. – доктор сельскохозяйственных наук, ФГБНУ

«ВНИРО», ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева»

Главный научный сотрудник отдела аквакультуры

беспозвоночных; профессор кафедры аквакультуры

и пчеловодства

Зиланов В.К. – кандидат биологических наук,

действительный член МАНЭБ, профессор, почетный доктор

ФГБОУ ВО «МГТУ», председатель КС «Севрыба»

Кокорев Ю.И. – кандидат экономических наук,

Дмитровский рыбохозяйственный технологический

Институт ФГБОУ ВО «АГТУ» Профессор кафедры

гуманитарно-экономические дисциплины

Мезенова О.Я. – доктор технических наук, профессор,

почетный работник рыбного хозяйства, ФГБОУ ВО «КГТУ»

Мерсель Йорг-Томас – доктор технических наук, профессор

научно-исследовательской лаборатории (UBF GmbH),

Альтландсберг, Германия

Орлов А.М. – доктор биологических наук, доцент,

ФГБНУ «Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН»,

заведующий лабораторией океанической ихтиофауны

Остроумов С.А. – доктор биологических наук,

МГУ им. М.В. Ломоносова, биологический факультет

Павлов Д.С. – действительный член Российской академии

наук; доктор биологических наук; заслуженный профессор

МГУ имени М.В. Ломоносова, - научный руководитель

Института проблем экологии и эволюции

им. А. Н. Северцова РАН, заведующий лабораторией,

главный научный сотрудник; - научный руководитель

кафедры ихтиологии Биологического факультета

МГУ имени М.В. Ломоносова

Розенштейн М.М. – доктор технических наук, профессор,

заведующий лабораторией ФГБОУ ВО «КГТУ»

Серветник Г.Е. – доктор сельскохозяйственных наук,

старший научный сотрудник лаборатории проблем

воспроизводства и биосинергетики, Всероссийский

научно-исследовательский институт интегрированного

рыболовства – ВНИИР – филиал ФГБНУ ФИЦ ВИЖ

им. Л.К. Эрнста

Смирнов А.А. – доктор биологических наук, главный

научный сотрудник отдела морских рыб Дальнего

Востока, Всероссийского научно-исследовательского

института рыбного хозяйства и океанографии (ФГБНУ

«ВНИРО»); профессор Северо-Восточного государственного

университета (СВГУ)

Харенко Е.Н. – доктор технических наук, заместитель

директора по научной работе ФГБНУ «ВНИРО»

Хатунцов А.В. – кандидат экономических наук,

начальник ФГБУ «ЦУРЭН»

Чернышков П.П. – доктор географических наук,

профессор, кафедра географии океана

Института живых систем Балтийского федерального

университет им. Иммануила Канта

НАД ВЫПУСКОМ РАБОТАЛИ:

Главный редактор: Филиппова С.Г.

Научный консультант: Журалева О.Л.

Менеджер по рекламе: Маркова Д.Г.

Дизайн и верстка: Козина М.Д.

МОРСКАЯ ПОЛИТИКА

- 4** Чебан К.А., Хрусталева Е.И., Винокуров Ю.А. План по сохранению запасов европейского угря в Калининградском (Вислинском) заливе

**ЭКОЛОГИЯ**

- 15** Перков С.А., Тригуб А.Г., Медянкина М.В., Хайрулина Т.П., Попова Е.О. Влияние содержания стронция в воде на фито- и зоопланктон

ЭКОНОМИКА И БИЗНЕС

- 20** Гайденок Н.Д. Нелинейная физика в практике флота. Часть 4

ПРАВОВЫЕ ВОПРОСЫ

- 29** Бекяшев Д.К. Политико-правовые вызовы международного управления рыболовством в контексте устойчивого развития

БИОРЕСУРСЫ И ПРОМЫСЕЛ

- 35** Метелёв Е.А., Григоров В.Г., Смирнов А.А. Равношипый краб *Lithodes aequispinus* северной части Охотского моря: история изучения и особенности промысла

**АКВАКУЛЬТУРА И ВОСПРОИЗВОДСТВО**

- 40** Моисеев А.В., Катаев Р.К., Смирнов А.А. Экология, состояние запаса и перспективы промысла одного из видов - вселенцев Чебоксарского водохранилища – черноморско-каспийской тюльки *Clupeonella cultriventris*
- 45** Остроумов С.А., Садчиков А.П. Потребление органического вещества планктонными организмами в мезотрофной экосистеме: радиоактивность (на мембранных фильтрах) планктона и детрита, меченого по углероду (^{14}C)

АКВАКУЛЬТУРА И ВОСПРОИЗВОДСТВО

- 50** Новосадов А.Г., Новосадова А.В., Жигин А.В., Лабенец А.В., Бубунец Э.В. Пластические и меристические признаки гибрида «ленбел» (F_1 *Acipenser baerii* × *Huso huso*) в условиях культивирования
- 58** Пономарев С.В., Федоровых Ю.В., Ахмеджанова А.Б., Левина О.А., Никифоров-Никишин А.Л., Климов В.А. Эффективность применения некоторых БАВ в составе продукционных кормов для осетровых рыб
- 65** Бугаев О.Г., Леонов И.И., Климов В.А., Хатунцов Д.С., Пономарев А.К. Технология изготовления белковых кормовых смесей для гидробионтов на основе культивируемых червей *Eisenia fetida* и *Dendrobena Veneta* с применением технологии лиофильной сушки
- 71** Медянкина М.В., Кочетков Н.И., Никифоров-Никишин Д.Л., Головачева Н.А. Оценка генотоксичности дифлубензурина методом микроядерного теста на эритроцитах *Danio rerio*
- 76** Боцун Л.А., Маркина Ж.В., Масленников С.И. Методика экспресс определения численности культур микроводорослей рода *Tetraselmis*

МАРИКУЛЬТУРА

- 81** Шибаев С.В., Шибаев Л.В., Малиновский В.Г. Эффективность искусственного воспроизводства сига (*Coregonus lavaretus* L.) Куршского залива Балтийского моря



ТЕХНИКА РЫБОЛОВСТВА И ФЛОТ

- 86** Левашов Д.Е. Зарубежные суда для рыбопромысловых исследований, построенные в период 2019-2021 гг (Часть 1. Атлантический регион)
- 93** Пелешенко В.А. Автоматизированный активный траловый комплекс

ТЕХНОЛОГИЯ

- 100** Васюкова А.Т., Кривошонок К.В. Гигиенические критерии качества и безопасности рыбной кулинарной продукции

СВЕТЛАЯ ПАМЯТЬ

- 3-я обл.** Розенштейн Михаил Михайлович 1935 - 2022

Уважаемые авторы!

Все публикуемые статьи имеют DOI. Просьба при ссылках указывать идентификатор статьи и журнала. Это повышает рейтинг издания и автора.

Журнал «Рыбное хозяйство» выходит один раз в два месяца (6 выпусков в год) на русском языке с англоязычными рефератами и списком литературных источников.

Подписку на журнал можно оформить как через подписные агентства, так и через редакцию. При оформлении через редакцию, в любой временной период года, возможно получение всех вышедших номеров (№№1-6).

На сайте журнала fisheriesjournal.ru есть вся необходимая информация, там представлены номера за текущий год, а также – архив выпусков за предыдущие годы в полном объеме.

Все статьи, предоставленные для публикации, направляются на рецензирование. Не принятые к опубликованию статьи не возвращаются. При перепечатке ссылка на «Рыбное хозяйство» обязательна. Мнение редакции не всегда совпадает с позицией авторов публикаций.

Ответственность за достоверность изложенных в публикациях фактов и правильность цитат несут авторы. За достоверность информации в рекламных материалах отвечает рекламодатель. Редакция оставляет за собой право, в отдельных случаях, изменять периодичность выхода и объем издания.

Журнал «Рыбное хозяйство» зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор).

Свидетельство о регистрации:

ПИ № ФС77-48529 от 13.02.2012

Цена – свободная

Тираж – от 500 экз.

Подписной индекс журнала: 73343, 11116

Подписано в печать: 10.08.2022. Формат: 60х88 1/8

Адрес редакции: 125009, Москва, Большой Кисловский пер., д. 10, стр. 1.

Тел./факс: 495-699-99-00. Тел. 495-699-87-11

E-mail: filippova@fisheriesjournal.ru; rh-1920@mail.ru

Сайт: www.fisheriesjournal.ru

© ФГБУ «ЦУРЭН», 2016

The magazine «Rybnoe hoziaystvo» (“Fisheries”) is published once every two months (6 issues per year) in Russian with English-language abstracts and a list of literary sources. All articles, submitted for publishing, should undergo the reviewing procedure. We do not return the declined articles. The reference for «Rybnoe hoziaystvo» (“Fisheries”) journal is necessary when reproduced. The position of the Editorial Board may not coincide to the position of authors. Authors are responsible for recited facts and quotations correctness. The advertiser is responsible for the reliability of advertising material. The editorial Board reserves the right to change the periodicity of issues publishing. You can subscribe to the magazine either through subscription agencies or through the editorial office. When registering through the editorial office, in any time period of the year, you can get all published issues (#1-6). On the website of the magazine fisheriesjournal.ru you can get all the necessary information, there are numbers for the current year, as well as an archive of issues for previous years in full.

Отпечатано с готового оригинал-макета в ООО «Полиграфическая компания «ЭксПресс» Юр. адрес: 603104, Н.Новгород, ул. Медицинская, д.26, помещение 1, тел.: 8 (831) 278-61-61.

План по сохранению запасов европейского угря в Калининградском (Вислинском) заливе

DOI 10.37663/0131-6184-2022-4-4-14

Кандидат биологических наук

К.А. Чебан – начальник отдела планирования и оценочных процедур управления аналитической работы и планирования

Доктор биологических наук, доцент **Е.И. Хрусталеv** – профессор кафедры водных биоресурсов и аквакультуры – Калининградский государственный технический университет (ФГБОУ ВО «КГТУ») **Ю.А. Винокуров** – руководитель проекта

@ ksenia.elfimova@gmail.com;
chrustaqua@rambler.ru;
gudfish-prime@mail.ru

Ключевые слова:

европейский угорь (*Anguilla anguilla*), Калининградский (Вислинский) залив, зарыбление, восстановление численности, промысловый возврат, пополнение запасов

Keywords:

European eel (*Anguilla anguilla*), Kaliningrad (Vistula) Lagoon, stocking, population recovery, commercial return, replenishment of stocks

EEL MANAGEMENT PLAN FOR KALININGRAD (VISTULA) LAGOON

Candidate of Biological Sciences **K.A. Cheban** – Head of the Department of Planning and Evaluation Procedures of the Analytical Work and Planning Department
Doctor of Biological Sciences, Associate Professor **E.I. Khrustalev** – Professor of the Department of Aquatic Bio resources and Aquaculture – Kaliningrad State Technical University (KSTU)
Yu.A. Vinokurov – project manager

In 2007, the European Commission initiated the Eel Recovery Plan (Council Regulation No. 1100/2007) to try to bring the European eel stocks back to more sustainable adult levels and the return of the glass eel. Each EU Member State is required to develop a national eel management plan. These plans aim to achieve a return of silver eels to the spawning population equal to or greater than 40% of the potential biomass that could be obtained in the absence of anthropogenic disturbances related to fishing, water quality or barriers to migration. The advantage of this approach is that it offers a standard basis and allows for the integration of stock status data between EU and non-EU countries.

The purpose of this Plan was to determine for the Vistula Lagoon within the territory of the Kaliningrad region of the Russian Federation:

1. Management objectives based on an assessment of the potential stock of the silver eel in the absence of anthropogenic mortality and high (before 1980) recruitment levels.
2. The current level of the stock of silver eel in relation to the planned indicator (ie assessment of compliance with the planned indicator).
3. Control actions necessary to achieve or maintain this compliance.
4. A set of data needed to support the steps 1-3 above and to demonstrate whether compliance will be achieved in the future, i.e. that the actions defined in the management plan will lead to the recovery of the eel population.

ВВЕДЕНИЕ

Калининградский (Вислинский) залив является трансграничным водоемом России и Польши. Из 83,8 тыс. га на российскую часть залива приходится 47,3 тыс. га. Водоем солоноводный, поскольку связан с Балтийским морем проливом. По этому проливу попадает в залив молодь угря в возрасте годовиков-трехгодовиков, мигрирующая из Атлантического океана. По нему же скатывается половозрелый угорь (серебряный) по маршруту нерестовой миграции в Саргассово море [1].

Анализ данных по кормности экосистемы залива, с учетом специфики питания угря, позволяет оценивать потенциальную промысловую рыбопродуктивность по данному объекту от 4 до 5 кг/га [2-5]. В то же время наши расчеты приемной емкости российской части залива и оценка ожидаемого промыслового возврата позволяют на настоящем этапе оценивать ее около 2 кг/га [6]. При этом мы учитываем, что с одной стороны Польша в 2005 г. возобновила зарыбление своей части залива подращенной молодью угря, с другой, возможность ухода части, выпущенной нами, молоди в польскую часть водоема. Оценка более чем двадцатилетнего периода зарыбления Польшей Вислинского залива (1970-1994 гг.) стекловидным угрем показала, что в своей части водоема поляки вылавливали около 66,7% угря, россияне – около 33,3% [1; 7]. Прекращение зарыбления залива Польшей привело к снижению уловов, как в Польше, так и в Калининградской области до 4-5 т/год к началу второго десятилетия настоящего века. Результат возобновившегося зарыбления проявился в 2017 г., а в 2020 г. уловы угря в польской части залива достигли 55 т, в российской 17 тонн.

В период расцвета промысла угря в 50-70-е годы XX века по объему вылова он стоял III месте после леща и судака, но – на I месте по стоимости уловов. Поэтому логичным является обоснование целесообразности сохранения и увеличения запасов угря в Вислинском заливе в целом и в российской его части, обозначаемой Калининградским заливом [8].

Таким обоснованием является, разработанный нами, план по сохранению запасов угря в Калининградском заливе, на основе принятой Конвенции о международной торговле видами дикой фауны и флоры, находящимися под угрозой исчезновения [9] (CITES – Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora) и открывшим, начиная с 2022 г., канал завоза стекловидного угря на территорию Калининградской области для подращивания и последующего зарыбления им акватории залива в пределах российской территории.

ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

Для того, чтобы Российская Федерация могла внести свой вклад в Программу восстановления популяции угря, в 2014 г. в Международный Совет по исследованию моря (The International Council for the Exploration of the Sea, ICES) [10]

В 2007 году Европейская комиссия инициировала План восстановления угря (Постановление Совета № 1100/2007), чтобы попытаться вернуть запасы европейского угря на более устойчивые уровни численности взрослых особей и возврата стекловидного угря. Каждое государство – член ЕС – обязано разработать национальный план управления угрем. Эти планы направлены на достижение такого уровня возврата серебряного угря в нерестовую популяцию, который равен или превышает 40% от потенциальной биомассы, которая могла бы быть получена в условиях отсутствия антропогенных нарушений, связанных с рыболовством, качеством воды или препятствиями для миграции. Преимущество такого подхода заключается в том, что он предлагает стандартную основу и позволяет интегрировать данные о состоянии запасов между странами-членами ЕС и странами, не входящими в ЕС. Назначением данного Плана было определение для Вислинского залива в пределах территории Калининградской области Российской Федерации:

- целей управления, основанных на оценке потенциального запаса серебряного угря в условиях отсутствия антропогенной смертности и высокого (до 1980 г.) уровня пополнения;
- современного уровня запаса серебряного угря по отношению к плановому показателю (т.е. оценка соответствия плановому показателю);
- действий по управлению, необходимых для достижения или поддержания данного соответствия;
- комплекса данных, необходимых для поддержки выше обозначенных шагов 1-3 и для демонстрации того, будет ли достигнуто соответствие в будущем, т.е. что действия, определенные в плане управления, приведут к восстановлению популяции угря.

был представлен трансграничный план управления угрями совместно с Польшей. Проведенный обзор [11] показал, что План нуждается в пересмотре.

В настоящем Плане учтены эти замечания с целью разработки документа, отвечающего требованиям и целям Плана восстановления угря (Постановление Совета № 1100/2007) для Калининградской части бассейна.

Описание единицы управления. Водораздел Вислинского залива (23,9 тыс. км²) охватывает часть Калининградской области России (на севере) и Варминско-Мазурского и Поморского воеводств Польши (на юге) (рис. 1).

Река Преголя – главная река, впадающая в залив; площадь ее водосбора составляет 13,7 тыс. км². Нижняя часть (49%) водосбора р. Преголя находится в Калининградской области России, а верхняя (51%) – в Польше [12]. Особенностью основной части водосбора Вислинского залива, а именно водосбора р. Преголя, является то, что он частично разделен с Куршским заливом.

Вислинский залив расположен на границе с Польшей в восточной части побережья Балтийского моря, от которого он отделен узкой

песчаной косой (Балтийская коса) от Гданьского залива (рис. 2). Вислинский залив является крупнейшим солоноватоводным прибрежным бассейном в южной части Балтийского моря, расположенный вдоль балтийского берега и имеет вытянутую форму длиной 91 км. Ширина залива варьирует от 2 до 11 км. Средний объем и площадь водной поверхности залива составляют 2,3 км³ и 838 км², соответственно. Средняя



Единицы управления: Анграпа (AN); Синяя (GL); Истручь (IN); Калининградский морской канал (КРС); Лава (LV); Мамоновка (MM); Нельма (NL); Прохладная (PH); Приморская (PM); Преголя (PR); Писса (PS); Малые реки (VL1 и VL2); Полуостровная часть Вислинского разлива (VS1); Материковая часть Вислинского разлива (VS2).

Куршская управленческая единица: Дейма (DM); Данумбе (DN); Мордовка (MR); Неман (NM); Немонин (NN); Шешупе (SH); Тылжа (TL); Малые реки (CL1); Куршская коса (CL2).

Балтийское море: Речные бассейны на западном побережье полуострова Самбия (BS1); Речные бассейны на северном побережье полуострова Самбия (BS2).

Рисунок 1. Единицы управления угрем для Калининградской области, вместе со списком речных бассейнов

Figure 1. Eel management units for the Kaliningrad region, together with a list of river basins

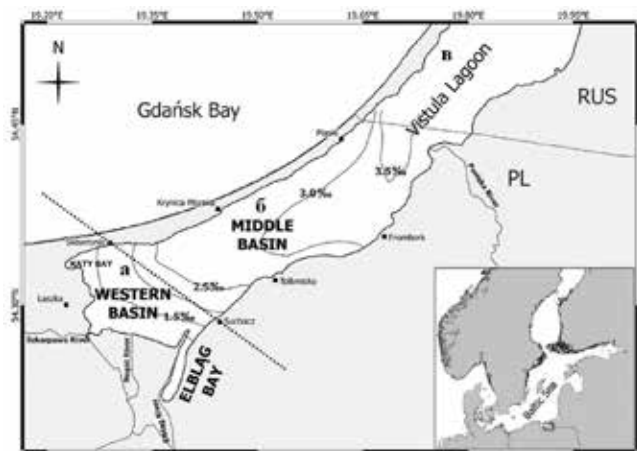


Рисунок 2. Схема расположения западной (а), средней (б) и северной (в) зон Вислинского залива

Figure 2. Layout of the western (a), middle (b) and northern (c) zones of the Vistula Lagoon

глубина залива равна 2,7 м, а максимальная, без учета искусственно углубленного судоходного канала, составляет 5,2 метр. Государственная граница между Россией (Калининградская область) и Польшей делит залив на две части, которые занимают 64% и 36% объема воды и 56% и 44% площади залива, соответственно. Длина береговой линии залива составляет около 270 км (111 км принадлежит Польше, 159 км – России) [13].

Постоянный водообмен между Вислинским заливом и Балтийским морем осуществляется через Балтийский пролив. Из залива в море поступает 20,5 км³ воды в год, а в залив – 17 км³. Разница в 3,5 км³ воды в год является речным компонентом водного баланса Вислинского залива [14]. Испарение и осадки уравнивают друг друга (оба составляют около 0,6 км³ в год).

Все основные притоки р. Преголя (реки Лына-Лава, Венгорапа-Анграпа и Писса) начинаются в Польше на возвышенностях, на высоте 150-300 м над уровнем моря. Небольшая часть водосбора (около 90 км²) находится в Литве вокруг озера Виштитис. Другими основными реками, впадающие непосредственно в Вислинский залив, являются реки Шкарпава (площадь водосбора 0,8 тыс. км²), Ногат (4 тыс. км²), Бауда (0,56 тыс. км²) и Пасленка (2,4 тыс. км²), все они берут начало с польской стороны; и реки Прохладная (1,1 тыс. км²), Бановка-Мамоновка (0,3 тыс. км²), Нельма (0,2 тыс. км²) и Приморская (0,1 тыс. км²) вытекают с российской стороны.

Собственно, р. Преголя приносит в Вислинский залив около 1,53 км³ воды в год (это 44% всего стока, поступающего из водосборного бассейна залива), в то время как все остальные реки приносят в залив 1,96 км³ воды в год (56%) [14].

Гидрохимический состав Вислинского залива. Ветровой режим – основной фактор, формирующий динамику вод Вислинского залива. Он определяет особенности льдообразования, тепло- и соле- обмена. Средняя соленость воды составляет 3,75-3,85‰ (диапазон 1,35-6,04‰), увеличивается с усилением западных и северных ветров и уменьшается в соответствии с силой южных и восточных ветров. В осенне-зимний период преобладают юго-западные ветры, а весной и летом – преимущественно с севера и запада на северо-запад, соответственно. В течение года преобладают ветры со скоростью 1-4 м/с, усиливающиеся зимой до 5-10 м/с. Частота возникновения ветров со скоростью 16-20 м/с весной и летом составляет около 1%, осенью – 2%, зимой – 5%.

Среднегодовая температура воздуха составляет 7-7,5°C. Самый холодный месяц – февраль, самый теплый – июль (или август). Максимальная температура воздуха составляет 35,4°C (июль-август), минимальная – 3,3°C (февраль). Максимальная температура воды находится в диапазоне 25,4 – 26,1°C, средние значения летом составляют 18,2-20,5°C. В зимний период залив покрывается льдом. В мягкие и умеренные зимы устойчивый ледяной покров не образуется.

Концентрация кислорода в воде залива зависит, прежде всего, от водных растений и водорослей в процессе фотосинтеза, газообмена между поверхностью воды и атмосферой, притока пресной воды из рек и морской воды из Балтики, теплового режима, а также – от воздействия промышленных сбросов и городских сточных вод. Уровень кислорода колеблется в пределах 9,8-14,5 мг/л. pH воды в заливе почти всегда щелочной (до 9,2), значения менее 7,3 встречаются исключительно зимой подо льдом.

Фауна Вислинского залива. В Вислинском заливе наблюдается два пика численности и биомассы зоопланктона – в мае и в августе. Средняя биомасса зоопланктона за вегетационный период составляет около 1 г/м³, средняя продукция за сезон – 5 г/м³ или 15,7 г/м², что составляет 13,160 т для всего залива, из которых 7,430 т производится в российской части. Продукция зоопланктона составляет 2,7% от первичной продукции [15-17].

Среднемесячная биомасса полихет составляет 3,3 г/м², варьируя от 0,05 г/м² до 10,8 г/м², с максимумом 60 г/м² [15; 16]. В 1980-х годах годовая продукция полихет в заливе составляла 30,6 кг/га, или 1450 т в российской части залива, в настоящее время она возросла примерно до 10 тыс. тонн. Олигохеты характеризуются равномерным распределением по всей акватории залива. Годовая продукция олигохет составляет 59,2 кг/га, или 2 800 т в русской части залива. Среднемесячная биомасса хирономид составляет 11,6 г/м³. Годовая продукция хирономид в российской части залива составляет 890,8 кг/га или 42135 тонн. Хирономиды – основа питания молоди угря, с 3-4 года преимущество в питании занимают полихеты [16; 18].

Моллюски распространены преимущественно в центральной и северо-западной части российской территории залива. Биомасса, наиболее подверженных засолению, моллюсков составляет более 90 г/м². Среднегодовая биомасса – 5,8-20 кг/м².

Общая продукция бентосных кормовых организмов в заливе зависит от термического режима и солености и оценивается в 989,2 кг/га или 46,8 тыс. т для российской части залива. Продукция зообентоса составляет 8,1% от первичной продукции [16; 19].

Ихтиофауна Вислинского залива представлена 50 видами и подвидами рыб. Общий улов (за исключением балтийской сельди) рыбы в заливе за последние 10-15 лет составляет около 700 т в год (российская часть). В польской части за последние 10-15 лет вылавливалось около 600 т рыбы (без сельди) в год. Промысловая рыбопродуктивность залива составляет 10-11 кг/га.

Историческая тенденция в уловах. Ретроспектива промысла угря показывает неравномерность в уловах (рис. 3).

Анализ объема вылова всего Вислинского залива, с 1888 по 2007 год, показывает, что вылов угря, только от естественного воспроизводства, снизился с начала двадцатого века (рис. 4).

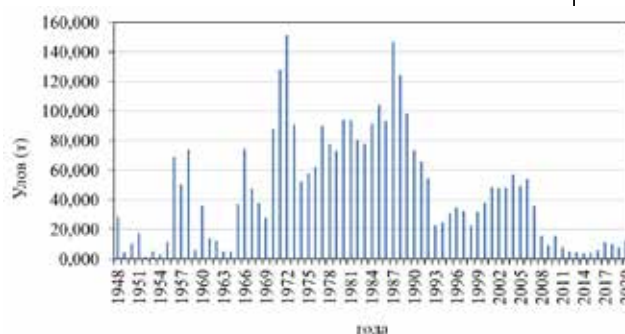
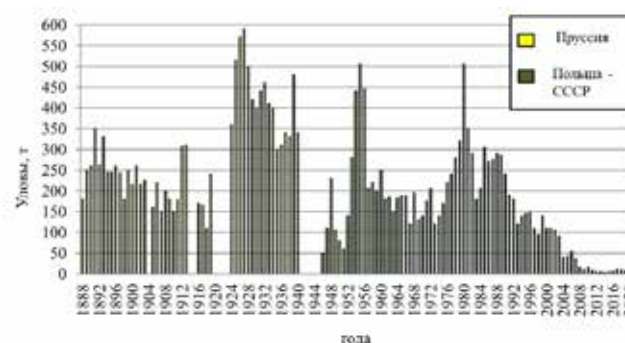


Рисунок 3. Вылов угря в российской части Вислинского залива в 1948-2020 годах

Figure 3. Eel fishing in the Russian part of the Vislinsky Bay in 1948-2020



Источник: довоенный период – DeutscherSeefischereiVerein (некоторые цифры были оценены по величине улова), послевоенный период – архивы DMFI Гдыня и данные, предоставленные Западно-Балтийским управлением по регулированию рыболовства и сохранению водных биологических ресурсов, Калининград)

Рисунок 4. Объемы вылова угря в бассейне Вислинского залива с 1888 по 2020 год

Figure 4. Eel catch volumes in the basin of the Vislinsky Bay from 1888 to 2020

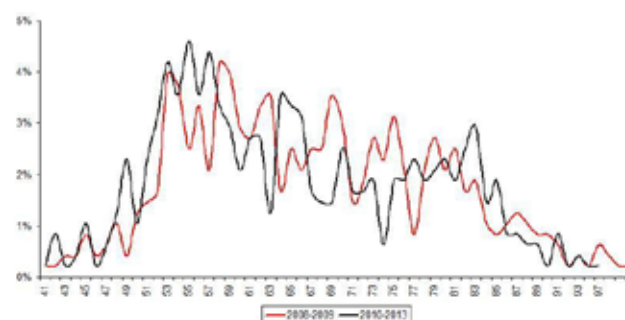


Рисунок 5. Частота встречаемости длин угря в Вислинском заливе (Польша)

Figure 5. Frequency of occurrence of eel lengths in the Vislinsky Bay (Poland)

В послевоенный период уловы угря постепенно сократились до 180 тонн. Рост вновь был отмечен с 1978 г., когда начала эксплуатироваться первая когорта из искусственного пополнения,

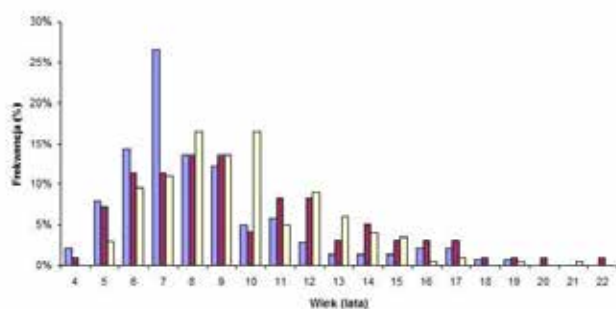


Рисунок 6. Возрастная структура угря Вислинского залива, выловленного в 2010-2012 гг. (Польша)

Figure 6. Age structure of the Vislinsky Bay eel caught in 2010-2012. (Poland)

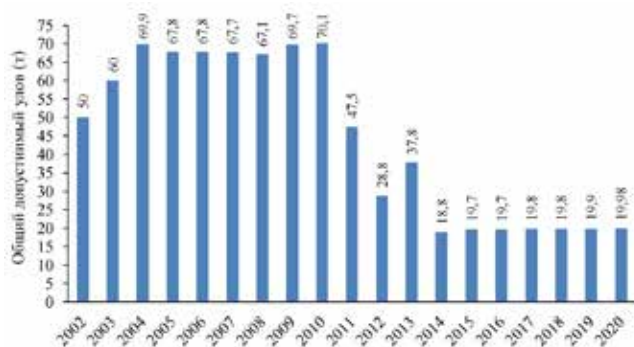


Рисунок 7. Общий допустимый улов (т) угря в российской части Вислинского залива в период 2002-2020 годов

Figure 7. Total allowable catch (t) of eel in the Russian part of the Vislinsky Bay in the period 2002-2020

проводимого с 1970 года. С середины 1990-х годов наметилась четкая тенденция к снижению вылова до менее 100 тонн.

После десятилетнего перерыва зарыбление залива Польшей возобновилось в 2005 году. В период 2012-2015 гг. в обеих частях залива уловы снизились до исторического минимума (4-5 т/год), в последующие годы они увеличились, соответственно, в польской части до 35-55 т, в российской – до 8-12 тонн. В 1960-х и 1980-х годах объем вылова в польской части залива достигал максимума 280 т/год, российской – 150 т/год. В среднем максимальные уловы угря на всей акватории залива были зафиксированы в конце 1920-х годов и составляли около 500-600 т/год.

Современное состояние популяции угря. Существуют разрозненные биологические данные по угрю из польской части залива, в частности, по возрастной структуре за периоды 1970-1975, 1984-1986 и 2006-2012 годы и некоторые данные по промышленному вылову из российской части залива за период 1969-2020 годов.

С 2008 по 2013 гг. в Вислинском заливе было измерено почти 1500 угрей длиной от 37 до 92 см (рис. 5, 6) [11]. Несмотря на отсутствие домини-

рующего класса длины, большинство пойманных рыб относились к классу длины 50-60 см, что может свидетельствовать о продолжающемся естественном пополнении популяции.

Добыча угря. Промысел угря в Вислинском заливе регулируется с помощью следующих мер:

1. **Закрытый сезон / районы:** ограничения на ловлю угря в июне и сентябре. Запрещено размещать орудия лова на промежутках между островами в Калининградском морском канале, пути, по которому серебряный угорь мигрирует в Балтийское море (должен быть обеспечен свободный проход из залива в Балтийское море). Площадь акватории, ограниченной линией, соединяющей мыс Заячий (54°35'36 "N, 19°51'06 "E) с точкой на дамбе №1 Калининградского морского канала с координатами 54°37'59 "N, 19°57'11 "E.

2. **Ограничение по размеру:** существует минимальный предел размера – 45 см с допущением, что до 10% выловленных угрей могут быть <45 см.

3. **Минимальный размер ячеи ловушки для угрей – 14 мм.**

4. **Рыболовное усилие:** Количество ловушек, устанавливаемых в день, определяется размером квоты и уловистостью (промысловым усилием) одной ловушки.

5. **Лимиты улова:** На заседании Ученого совета Атлантического научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (Атлантический филиал ФГБНУ «ВНИРО» («АтлантНИРО»)), ежегодно устанавливается общий допустимый улов (ОДУ) (рис. 7).

Промысел ведется с мая по сентябрь. Угревые ловушки (рис. 8), используемые в Вислинском заливе, представляют собой конусообразные орудия лова, изготовленные из сетного материала, подвешенного на обручах, диаметр и количество которых варьируют, но в Вислинском заливе используются сети с пятью обручами.

Максимальная длина набора рыболовных ловушек составляет 120 метров. Используются четыре модификации ловушек: два мешка с ячеей 14 мм; два мешка с ячеей 16 мм; один мешок с ячеей 14 мм; и один мешок с ячеей 16 мм.

Прошлый опыт восстановления запасов. Пополнение запасов угря началось в начале XX века и на протяжении всего рассматриваемого периода проводилось не равномерно (рис. 9) [11; 20; 23]. До 1994 г. зарыбление проводили стекловидными личинками угря, а с 2005 г. – подращенной молодью.

Расчетная эффективность зарыбления показала, что одна единица биомассы стеклянного угря возвращает 120 единиц товарного угря через девять лет [20; 21].

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Сбор данных. Оценка биомассы угрей будет проводиться на основе измерения биологических показателей – длины, массы, возраста и статуса зрелости угрей при повторном отлове.

Полученные данные будут учитывать место поимки меченых угрей и номера меток, а также – данные о длине и массе пойманных угрей.

Мониторинг будет проводиться с использованием хлорида стронция (Schroder et al., 1995) с последующим считыванием данных [22]. Мечение с помощью хлорида стронция основано на замещении кальция в костных образованиях, в том числе и отолитах, родственными химическими элементами. Молодь рыб выдерживают в 9%-ном растворе хлорида стронция SrCl в течение нескольких часов. Обнаружить метку можно только с помощью электронного микроскопа или плазменного спектрометра [22]. Метод одобрен органами здравоохранения Канады и США. Недостатком его являются большие расходы SrCl, при массовом мечении, а также необходимость применения дорогого оборудования для обнаружения метки. Положительным является то, что он позволяет метить кормящуюся молодь.

План мониторинга, в первую очередь, серебряного угря, как на польской, так и на российской стороне, особенно в период миграции серебряного угря, уже получил положительную поддержку, как российской, так и польской комиссии по рыболовству. В настоящее время план готовится к рассмотрению и принятию на следующем заседании смешанной российско-польской комиссии по рыболовству.

Биологические характеристики. Оценка возраста по полу и стадии зрелости будет проводиться на ежегодной основе. Пробы для определения возраста, пола, наличия паразитов и общей патологии, если требуется деструктивный отбор проб, то он будет основываться на 100 рыбах каждого пола, полученных от коммерческого рыболовства. Пробы будут стратифицированы, чтобы представлять распределение по размерам всего улова, а не эксплуатируемой популяции – той части улова, которая превышает предельный размер (45 см). В процессе мониторинга залива будет рассмотрен вопрос о научном мониторинге, выпадающих в него, рек.

Метод оценки выпуска серебряного угря. В отсутствие какого-либо прямого измерения генераций серебряного угря, принят метод, описанный в ICES (2010) [23], для оценки текущего выхода биомассы серебряного угря ($V_{current}$) и биомассы в отсутствие какой-либо антропогенной смертности (V_{best}).

Имеющиеся данные включают оценку общего объема выгрузки (вылова), оценка рыболовной или нерыболовной антропогенной смертности отсутствовала.

Оценки V_{best} и $V_{current}$ рассчитаны следующим образом:

$$V_{best} = ((\text{вылов желтого угря} \times F^{-1}) \times cF) + (\text{вылов серебряного угря} \times F^{-1}).$$

Где F (промысловая смертность) = 0,5

cF (коэффициент пересчета веса желтого угря в серебряного) = 1,5

Оценка $V_{current}$ для стран Балтии, с отсутствующими данными о длине и возрастной частоте, основывается на соотношении $V_{best}/V_{current}$, усредненном по другим странам Балтии (Дания, Швеция, Германия, Польша) следующим образом:

$$\Sigma A = V_{current}/V_{best} = 0,78$$

Таким образом: $V_{current} = V_{best}/0,78$

$V_{current}$ отражает биомассу серебряного угря, выловленного в условиях низкого пополнения и существующего антропогенного воздействия.

V_{best} – биомасса серебряного угря, выловленного при отсутствии антропогенного воздействия в текущих условиях, с учетом текущего низкого уровня естественного пополнения. Предполагается, что все антропогенные воздействия (барьеры, потеря среды обитания, гидроэнергетика, воздействие рыболовства и т.д.) отсутствуют в течение всего жизненного периода.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Первозданная (пополняемая естественная путем) биомасса и соответствие целесообразному плановому показателю пополнения. Расчёт первозданной биомассы (V_0) для Вислинского залива оценивался по методу, описанному в ICES (2010). За базовый период взят статус запаса в 1954-1978 годах. Оценка V_0 рассчитана следующим образом:



Рисунок 8. Угревые ловушки из Вислинского залива

Figure 8. Eel traps from the Vislinsky Bay

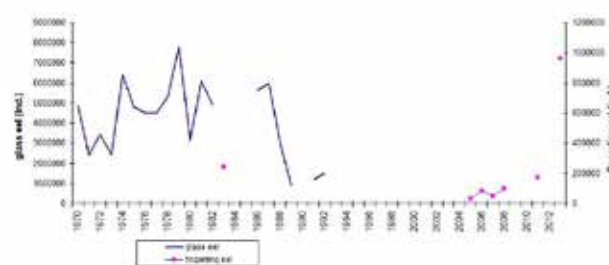


Рисунок 9. Количество молоди угря, зарыбленной в Вислинский залив (Польша)

Figure 9. The number of juvenile eels stocked in the Vislinsky Bay (Poland)



Рисунок 10. Молодь угря на кормушке в ожидании пищи (г. Калининград)

Figure 10. Juvenile eel on the feeder waiting for food (Kaliningrad)



Рисунок 11. Кормление угря икрой трески

Figure 11. Feeding eel with cod caviar

$B_0 = ((\text{вылов желтого угря} \times F^{-1}) \times cF) + (\text{вылов серебряного угря} \times F^{-1})$.

где:

Вылов желтых = средний улов 1954-1978 гг. (= 52,35 т) $\times$ доля желтого угря (= 0,75).

Вылов серебра = средний улов 1954-1978 гг. (= 52,35 т) $\times$ доля серебряного угря (= 0,25).

F (смертность при промысле) = 0,5.

cF (коэффициент пересчета веса желтого угря в серебряного) = 1,5.

Первозданная биомасса серебряного угря, которая могла бы уйти, если бы не было антропогенного воздействия и естественное пополнение оставалось на естественном высоком уровне (B_0), для Калининградского участка Вислинского залива составляет 143,97 тонн.

Целевой показатель 40%-ного возврата для российского сектора мог бы составить 57,6 т (=

$144 \times 0,4$). Таблица 1 показывает, что в настоящее время объем добычи составляет 13,1% от первоначального уровня ($B_{\text{current}} / B_0 = (18,9 / 144)$).

Имеющийся опыт подращивания молоди угря. Стекловидный угорь по доставке в г. Калининград (2022 г.) провёл месяц в карантине. Адаптацию проводили в бассейнах УЗВ при начальной температуре $8 \pm 3^\circ\text{C}$. Был предусмотрен короткий период адаптации в 24 часа, чтобы стекловидные угри могли восстановиться после транспортировки.

Перед отправкой из Великобритании проведена профилактическая обработка от паразитов. Дальнейшая профилактическая обработка угря проведена на 20-й день карантина с использованием раствора фуразолидона в концентрации 0,2 мг/л. В период адаптации температуру повысили до $23-25^\circ\text{C}$ в течение 48 часов. Стекловидных угрей приучали к сухому корму совместно с использованием икры трески (зрелые яйцеклетки (*Gadus morhua*) не более 1,0 мм) в качестве стартового корма. Ежедневное потребление нескольких кормов могло составлять от 5 до 10% биомассы. Как только стекловидные угри начали активно питаться икрой трески, в рацион вводили специализированные искусственные корма, размер крупки – 0,5 мм.

Икра выкладывалась на кормовые столы (рис. 11) с интервалом в 4 часа. Икра, не съеденная в течение получаса (замороженная в течение 1 часа), удалялась. Искусственный стартовый корм скармливался вручную в рамках процесса приручения.

Сортировку стекловидных угрей провели в июне: более крупную молодь отсадили от мелких, чтобы уменьшить каннибализм и конкуренцию. Мелких рыб вернули на стартовый режим кормления икрой трески и мелкими гранулами, а крупных – продолжили выращивать на сухом корме. Сортировку медленно растущих стеклянных угрей проводят 2-3 раза (каждые 40 дней), пока они не достигнут массы 2,5 граммов.

Вода в бассейнах обменивалась не реже одного раза в час. Освещение поддерживалось на низком уровне – 25-50 лк (рис. 12).

Первые 10 недель проводился мониторинг заболеваний. В течение первых четырех недель, дважды в неделю, проводилось микроскопическое исследование на наличие распространенных внешних паразитов. В частности, на *Trichodinasp.*, *Ichthyophthirius multifiliis*, *Pseudodactylogyrus anguillae*; *P. bini*. Любая гибель на этой стадии развития исследовалась без промедления.

Выращивание угря до массы 5-10 граммов.

При достижении угрем средней массы 2,5 г, рыбы высаживаются в УЗВ с плотностью посадки 10 тыс. шт./м³ (при смене воды один раз в час), 25 тыс. шт./м³ (при смене воды 3 раза/ч) и 50 тыс. шт./м³ (при смене воды 3 раза/ч). Температура воды на уровне $25-27^\circ\text{C}$. Содержание растворенного кислорода на уровне 100-150% насыщения. При 90-100-дневном периоде выращивания, через 40 дней после посадки в бас-

сейнах проводится первая сортировка, а затем – каждые шесть последующих недель. В заданном диапазоне температуры воды угорь, достигший массы 5 г и более, будет выпущен на нагул в залив. Допустимое количество зарыбляемой молодежи, не достигшей массы 5г, в зависимости от сроков завоза стекловидных угрей, до 30%.

Кормление осуществляется в дневное время при сумеречном освещении, доза корма составляет 2-3% от массы рыб в бассейне.

Контрольные обловы, для оценки роста рыбы и корректировки суточной нормы кормления, проводились каждые 15 дней.

Основные этапы выпуска угря в водоемы:

1) адаптация угря к температурным условиям в зарыбляемом водоеме. Для ускорения процесса охлаждения воды увеличивают подачу артезианской воды в установку, допуская снижение температуры воды до 2°C в сутки;

2) в период адаптации угря не кормят. При наличии установки, регулирующей температуру воды в УЗВ, процесс ее охлаждения ускоряют;

3) непосредственно перед выпуском проводятся контрольные взвешивания и устанавливается средняя масса угря в бассейнах;

4) взвешенного и подсчитанного угря весовым методом перемещают в живорыбные контейнеры. Плотность посадки в один стандартный контейнер объемом 2 м³ при транспортировке составляет 100 тыс. шт. угря массой 5-10 г при температуре 12-15°C;

5) контейнеры с угрем размещают на автотранспорт и доставляют к береговым базам, где находятся плавсредства;

6) контейнеры на плавсредствах доставляют к месту выпуска, характеризующемуся илистыми грунтами. Глубина воды в местах выпуска составляет 1,5-3 метра. Выпуск угря осуществляется во время движения судна через рукав, надеваемый

на сливной люк контейнера. На конце рукава имеется металлическое кольцо, которое прижимает его ко дну. Кольцо вшито в рукав под углом 45°, что обеспечивает свободный выход рыбы;

7) на 1 км прохода плавсредства выпускается до 50 тыс. шт., что позволяет угрю равномерно заселить акваторию.

Расчёты по зарыблению для достижения планового показателя Европейского регламента по угрю. Количество стеклянного угря, необходимое для зарыбления, чтобы соответствовать улову в естественных условиях (B_0), рассчитано на следующих предположениях (исходных данных):

- плотность зарыбления 400 шт/га обеспечивает промысловый улов 4-5 кг/га [1];

- 3,000 шт/кг (количество стекловидных личинок в кг);

- урожайность (кг) /га на кг шт/га зарыбления = $33,75 \text{ кг} = (4,5 \times 3\,000 / 400)$;

- количество стекловидного угря (кг), необходимое для получения 1 т угря для рыболовства = $29,6 \text{ кг} = (1\,000 / 33,75)$.

Далее приведён расчет необходимых показателей:

- средний улов в 1954-1978 гг. (справочный период по данным ICES, 2010) составил 52,35 т, он указывает на уровень эксплуатации в 36,4% = $(52,35 / 143,97)$ в этот период;

- количество стекловидного угря (кг), необходимое для получения улова в 52,35 т составит $52,35 \times 29,6 = 1\,551,2 \text{ кг}$;

- общая продукция (улов + отход) в естественных условиях в кг серебряного угря на кг стекловидного угря = $92,81 \text{ кг серебряного угря/кг, стекловидного угря} = (143,97 \times 1,000 / 1,551,2)$;

- целевой показатель вылова ($57,59 \text{ т} = 143,97 \times 0,4$) + средний улов (2009-2020) ($8,07 \text{ т}$) – B_{current} ($18,9 \text{ т}$) = 46,76 тонн;



Рисунок 12. Выращивание европейского угря (г. Калининград)

Figure 12. Cultivation of European eel (Kaliningrad)



Рисунок 13. ООО «Гудфиш» (г. Калининград), слева направо Е.И. Хрусталева, К.А. Чебан, Ю.А. Винокуров

Figure 13. "Goodfish". (Kaliningrad), from left to right E.I. Hrustaleva, K.A. Cheban, Y.A. Vinokourov

Таблица 1. Заявленный улов и оценки B_{best} и $B_{current}$ для российской части Вислинского залива в период 2009–2020 годов / **Table 1.** Declared catch and Best and Current estimates for the Russian part of the Vislinsky Gulf in the period 2009–2020

Год	Улов желтого угря (т)	B_{best} (т)	ΣA	$B_{current}$ (т)
2009	9.059	27.177	0.78	21.198
2010	15.479	46.437	0.78	36.221
2011	7.898	23.694	0.78	18.481
2012	4.839	14.517	0.78	11.323
2013	4.428	13.284	0.78	10.362
2014	3.854	11.562	0.78	9.018
2015	4.077	12.231	0.78	9.540
2016	5.685	17.055	0.78	13.303
2017	11.130	33.390	0.78	26.044
2018	10.275	30.825	0.78	24.044
2019	7.785	23.355	0.78	18.217
2020	12.322	36.966	0.78	28.833
Среднее $\pm$ 95% с.и.	8.07 $\pm$ 2.1	24.21 $\pm$ 6.3		18.88 $\pm$ 4.9

• потребность в зарыблении = 503,8 кг = (46,76 $\times$ 1000 / 92,81).

Текущий объем добычи оценивается в 18,9 т/год, что на 38,7 т ниже целевого показателя 40%-ного выхода 57,6 т, а при текущем промысле, изымающем 8 т/год, совокупный дефицит составляет 46,8 т/год. Для достижения этой цели, по оценкам, необходимо ежегодно зарыблять $\sim$ 0,5 т (1,5 млн) стекловидного угря, чтобы достичь целевого показателя выхода и поддержать промысел 8 т/год.

Зарыбление 1,35 т стеклянного угря, по оценкам, приведет к общему объему добычи серебряного угря в 144 т (B_0), что, при целевом показателе эскалации в 57,6 т оставит 86,4 т для рыболовства. Это зарыбление – дополнение к естественному пополнению, которое, по оцен-

кам, в настоящее время составляет, в пересчете на улов, 18,9 т/год.

Варианты: наиболее распространенными формами зарыбления являются стекловидный угорь (молодь длиной около 5,4–9,2 см, непигментированная, недавно выловленная для целей зарыбления) и подращиваемый угорь (массой 5–10 г, выращенный из стекловидного угря на предприятиях аквакультуры).

Расчетное эквивалентное количество выращенного угря можно определить на основе исследований Kullmann и Thiel [24], которые показали, что выращенный угорь массой 6–8 г (160–190 мм) имел в 3,9 раза более низкий уровень смертности и не имел существенной разницы в скорости роста до 2 лет, по сравнению со стекловидным угрем. Таким образом, потребность в 1,5 млн

стекловидных угрей эквивалентна 384615 шт., выращенным угрям массой 6-8 граммов.

Акватории, подлежащие зарыблению. В настоящий момент планируется зарыбление только Вислинского залива, зарыбление р. Преголи не планируется, что связано с высокой продуктивностью залива, по сравнению с реками. Кормовая база залива на порядок выше, чем в реках, впадающих в заливы [1]. Зарыбление заливов будет проводиться на мелководных участках с развитыми иловыми отложениями. Судно, имеющее на борту контейнер для живой рыбы с молодь, выпустит 50000 молоди угря на 1 км прохода.

Оценка выпуска серебряного угря из залива по маршруту нерестовой миграции. Средняя текущая добыча в российской части Вислинского залива оценивается в $18,88 \pm 4,91$ т в период 2009-2020 гг. (табл. 1).

Зарыбление стекловидным угрем или его эквивалентом. Задача состоит в том, чтобы достичь планового показателя вылова (57,6 т) и со временем позволить промыслу расширяться до 86,4 тонн. Этого можно достичь путем зарыбления 1038461 шт. выращенного угря массой 5-10 граммов.

Мониторинг улова и промыслового усилия. Управление промыслом угря осуществляется посредством квоты (общий допустимый улов), которая затем распределяется между теми, кто имеет лицензию на добычу этого ресурса. Ежедневные записи улова отправляются в КОСРК, АтлантНИРО и ЗБТУ, которые контролируют соблюдение квоты.

ОДУ будет основываться на: структуре и размере коммерческого улова; структуре и размере любительского (спортивного), несообщаемого и незаконного вылова; серии данных мониторинга, характеризующих состояние запаса, собранных независимо от промысла.

Меры управления для достижения целей по выпуску:

- закрытые зоны / защитная зона: ограничения на ловлю угря в июне и сентябре. Запрещено размещать орудия лова на промежутках между островами в судоходном канале, чтобы обеспечить беспрепятственный проход серебряного угря в Балтийское море;

- ограничение по размеру: не предлагается изменение существующего ограничения по размеру в 45 см;

- размер ячеи: минимальный размер ячеи 14 мм;

- лимиты улова: Общий допустимый улов (ОДУ) определяется как для польского, так и для российского промысла угря, а затем квоты распределяются между промысловиками;

- незаконный лов рыбы/занижение отчетности: правительство Калининградской области и таможенные органы продолжают совместную работу по снижению уровня незаконного вылова и сокращению разницы между законным и заявленным уловом угря. Целью будет также ограничение черного рынка в переработке и торговле угрем. Снижения этого показателя можно до-

биться путем внедрения системы отслеживания происхождения продукции из угря и ограничения субъектов, которым разрешено заниматься первыми продажами. Усиление контроля за оптовыми и розничными точками продажи угря должно снизить рыночный спрос на угря из нелегального улова.

Трансграничная координация. Деятельность по управлению запасами угря будет координироваться с Польшей на заседаниях смешанных комиссий по рыболовству и в ходе постоянных контактов научных организаций. Ежегодно в октябре российско-польские смешанные комиссии по рыболовству проводятся поочередно на территории Польши или в Калининграде. На заседаниях каждая сторона докладывает о результатах вылова угря (а также других промысловых видов рыб) в текущем году и о соответствии улова ОДУ и выделенным квотам. На основании анализа, проведенного польским (Ольштынский институт пресноводного рыболовства) и российским (Калининградский филиал ВНИРО – АтлантНИРО) научными институтами, они предлагают ОДУ на вылов угря в своей части Вислинского залива на следующий календарный год. ОДУ утверждается совместным решением. В дальнейшем каждая сторона доводит квоты на вылов угря в своей части залива до тех, кто ведет промысел угря.

Отчетность. Калининградская область будет:

- 1) запрашивать членство в рабочей группе МСИМ WGEEI;

- 2) выполнять требования к отчетности, изложенные в Регламенте ЕС по угрям (1100/2007), предоставлять данные о состоянии запасов и прогрессе в достижении целевого показателя ЕС по эскалации, по мере необходимости.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Следующими, после представления и утверждения данного плана в ИКЕС и СИТЕС, действиями были разработанные рыбоводно-биологические обоснования (РБО) по сохранению запасов угря в Калининградском заливе и инструкции по выращиванию посадочного материала европейского угря для дальнейшего зарыбления Калининградского (Вислинского) залива (авторы Е.И. Хрусталева, К.А. Чебан, Ю.А. Винокуров), рассмотренные на ученом совете АтлантНИРО, практические мероприятия по завозу в третьей декаде мая стекловидного угря из Англии в количестве 534 тыс. шт., проведение карантинизации и подращивание молоди в УЗВ ООО «Гудфиш» (рис. 13). Данное мероприятие рассматривается как первый в истории Калининградской области опыт зарыбления Калининградского залива подращенной молодь угря, от которой через четыре года после выпуска планируется начало освоения промвозврата и завершение его (от одной генерации молоди) через 6-8 последующих лет. С 2023 г. планируется увеличить объем завозимой стекловидной личинки угря и приблизиться к максимальной, по количеству выпускаемой ежегодно, молоди величине 1200 тыс. шт., а промвозврата – 93 т/год, что согласуется с со-

временной оценкой. Дальнейший мониторинг популяции угря в Калининградском заливе позволит оценить перспективу увеличения величины промыслового возврата.

ЛИТЕРАТУРА И ИСТОЧНИКИ:

- Хрусталев Е.И. Биологические и технологические основы угреводства. Издательство «Солярис Друк», 2013. – 305 с.
- Khrustalev E.I. Biological and technological foundations of eel breeding. Solaris Druk Publishing House, 2013. – 305 p.
- Луговая Е.С. Особенности биологии и динамика численности промысловых рыб Вислинского залива // Экологические рыбохозяйственные исследования в Вислинском заливе Балтийского моря: Сб. науч. тр. / АтлантНИИ рыб. хоз-ва и океанографии. – Калининград, 1992. – С. 84-122.
- Lugovaya E.S. Features of biology and dynamics of the number of commercial fish of the Vislinsky Bay // Ecological fisheries research in the Vislinsky Bay of the Baltic Sea: Collection of scientific tr. / AtlantNII ryb. khoz-va and oceanography. – Kaliningrad, 1992. – Pp. 84-122.
- Хлопников М.М. Питание угря (*Anguilla anguilla* L.) Вислинского залива Балтийского моря // Экологические рыбохозяйственные исследования в Атлантическом океане и Юго-Восточной части Тихого океана: Сб. науч. тр. / АтлантНИИ рыб. хоз-ва и океанографии. – Калининград, 1988. – С. 97-107.
- Khlopnikov M.M. Nutrition of the eel (*Anguilla* L.) of the Vislinsky Bay of the Baltic Sea // Ecological fisheries research in the Atlantic Ocean and the South-Eastern part of the Pacific Ocean: Collection of scientific tr. / AtlantNII ryb. khoz-va and oceanography. – Kaliningrad, 1988. – Pp. 97-107.
- Хлопников М.М. Пищевые отношения бентосоядных рыб Вислинского залива // Экологические рыбохозяйственные исследования в Вислинском заливе Балтийского моря: Сб. науч. тр. / АтлантНИИ рыб. хоз-ва и океанографии. – Калининград, 1992. – С. 165-188.
- Khlopnikov M.M. Food relations of benthic fish of the Vislinsky Bay // Ecological fisheries research in the Vislinsky Bay of the Baltic Sea: Collection of scientific tr. / AtlantNII ryb. khoz-va and oceanography. – Kaliningrad, 1992. – Pp. 165-188.
- Кохненко С.В. Эколого-физиологическая пластичность европейского угря *Anguilla anguilla* L. / С.В. Кохненко, В.А. Безденежных, С.М. Горюва. – Мн: Наука и техника, 1977. – 192 с.
- Kokhnenko S.V. Ecological and physiological plasticity of the European *Anguilla* eel L. / S.V. Kokhnenko, V.A. Bezdenezhnykh, S.M. Gorovaya. – Mn: Science and Technology, 1977. – 192 p.
- Хрусталев Е.И. Биологические основы пастбищной и индустриальной аквакультуры в Калининградской области: дис... д-ра биол. наук. Калининград: ФГБОУ ВО «КГТУ», 2021. – 533 с.
- Khrustalev E.I. Biological foundations of pasture and industrial aquaculture in the Kaliningrad region: dis... Doctor of Biological Sciences. Kaliningrad: FGBOU VO "KSTU", 2021. – 533 p.
- Хрусталев Е.И. Оценка приемной емкости экосистем Куршского и Вислинского заливов в зарыбляемой молоди угря (*Anguilla anguilla* L.) // Рыбное хозяйство. – 2009. – № 1. – С. 67-69.
- Khrustalev E.I. Assessment of the receiving capacity of the ecosystems of the Curonian and Vislin bays in the stocked juvenile eel (*Anguilla anguilla* L.) // Fisheries. – 2009. – No. 1. – Pp. 67-69.
- Хрусталев Е.И. Перспектива развития угреводства в Калининградской области / Е.И. Хрусталев, Т.М. Курапова, К.А. Молчанова // Рыбное хозяйство. – 2016. – № 4. – С. 71-75.
- Khrustalev E.I. Prospects for the development of eel breeding in the Kaliningrad region / E.I. Khrustalev, T.M. Kurapova, K.A. Molchanova // Fisheries. – 2016. – No. 4. – Pp. 71-75.
- Конвенция о международной торговле видами дикой фауны и флоры, находящимися под угрозой исчезновения. Организация Объединённых Наций. Дата обращения: 26 сентября 2014. Архивировано 26 сентября 2014 года. [Электронный ресурс]. URL.: https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/cites.shtml
- Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora. The United Nations. Accessed: September 26, 2014. Archived on September 26, 2014. [Electronic resource]. URL.: https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/cites.shtml
- Международный Совет по исследованию моря (ИКЕС – англ. The International Council for the Exploration of the Sea, ICES) [Электронный ресурс]. URL.: <https://www.ices.dk/Pages/default.aspx>
- International Council for the Exploration of the Sea (ICES – Eng. International Council for the Exploration of the Sea, ICES) [Electronic resource]. URL.: <https://www.ices.dk/Pages/default.aspx>
- Walker A., Dekker W., and Poole R. 2016. Review of the Trans-border management plan for European eel, *Anguilla anguilla*, in the Polish-Russian zone of the Pregola River basin and Vistula Lagoon. ICES CM 2016/ACOM:49. – 14 p.
- Chubarenko B., Margoński P. The Vistula Lagoon // Ecology of Baltic Coastal waters / Ed. U. Schiewer. – Ecological Studies, vol. 197. – Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2008. – Pp. 167-195.
- Гидрометеорологический режим Вислинского залива / Под ред. Н.Н. Лазаренко, А. Маевского. – Л.: Гидрометеиздат, 1971. – С. 57-67.
- Hydrometeorological regime of the Vislinsky Bay / Edited by N.N. Lazarenko, A. Mayevsky. – L.: Hydrometeoizdat, 1971. – Pp. 57-67.
- Silich M. Water balance of lagoon. In: Lazarenko N, Maevski A (eds) Hydrometeorological regime of Vistula Lagoon. Hydrometeoizdat, Leningrad, 1971. – Pp. 143-172.
- Киселев И.А. Планктон морей и континентальных водоемов. Вводные и общие вопросы планктологии. – Л.: Наука, 1969. – т. 1. – С. 1-658.
- Kiselev I.A. Plankton of seas and continental reservoirs. Introductory and general questions of planktonology. – L.: Nauka, 1969. – vol. 1. – Pp. 1-658.
- Науменко Е.Н. Многолетняя динамика и современное состояние зоопланктона Вислинского залива // Экологические рыбохозяйственные исследования в Вислинском заливе Балтийского моря: Сб. науч. тр. / АтлантНИИ рыб. хоз-ва и океанографии. – Калининград, 1992. – С. 33 – 52.
- Naumenko E.N. Long-term dynamics and current state of zooplankton of the Vislinsky Bay // Ecological fisheries research in the Vislinsky Bay of the Baltic Sea: Collection of scientific tr. / AtlantNII ryb. khoz-va and oceanography. – Kaliningrad, 1992. – Pp. 33 – 52.
- Хлопников М.М. Состояние запасов рыб и их динамика в Куршском и Вислинском заливах Балтийского моря в современных экологических условиях // Гидробиологические исследования в Атлантическом океане и бассейне Балтийского моря: Сб. науч. тр. / АтлантНИИ рыб. хоз-ва и океанографии. – Калининград, 1994. – С. 71-82.
- Khlopnikov M.M. The state of fish stocks and their dynamics in the Curonian and Vislin bays of the Baltic Sea in modern ecological conditions // Hydrobiological studies in the Atlantic Ocean and the Baltic Sea basin: Collection of scientific tr. / AtlantNII ryb. khoz-va and oceanography. – Kaliningrad, 1994. – Pp. 71-82.
- Алимов А.Ф., Иванова М.Б. (под ред.) Закономерности гидробиологического режима водоемов разного типа. – М.: Научный мир, 2004. – 294 с.
- Alimov A.F., Ivanova M.B. (ed.) Regularities of the hydrobiological regime of reservoirs of different types. – M.: Scientific world, 2004. – 294 p.
- Панасенко В.А. Характер питания леща в Куршском и Вислинском заливах / В.А. Панасенко: сб. науч.тр./ АтлантНИИ рыб. хоз-ва и океанографии. – Калининград, 1978. – Вып. 74. – С. 67-81.
- Panasenko V.A. The nature of bream nutrition in the Curonian and Vislinsky bays / V.A. Panasenko: collection of scientific tr./ AtlantNII ryb. household and oceanography. – Kaliningrad, 1978. – Issue 74. – Pp. 67-81.
- Filuk J., Draganik B. The estimation of effectiveness of glass eel stocking in the years 1970–1978. Studia i Materiały Morskiego Instytutu Rybackiego w Gdyni, 1980. 47B, 5-33
- Draganik B. Polish inshore waters, their properties and role in the coastal area economy. In: Proceedings of Polish-Swedish Symposium on Baltic Coastal Fisheries. Resources and management. Sea Fisheries Institute, Gdynia, October, 1996. – Pp. 51-70.
- Marking salmon fry with strontium chloride solutions / S.L. Schroder, C.M. Knudsen, E.C. Volk // Can. J. Fishes. Aquat. Sci., 1995. № 52. – Pp. 1141-1149
- ICES. Report of the Workshop on Baltic Eel (WKBALTEEL), 2–4 November 2010, Stockholm, Sweden. ICES CM 2010/ACOM:59, 2010. 97 p.
- Kullmann and Thiel R. (2018). Bigger is better in eel stocking measures? Comparison of growth performance, body condition, and benefit-cost ratio of simultaneously stocked glass and farmed eels in a brackish fjord. Fisheries Research, 205, 132-140. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2018.04.009>

ЭКОЛОГИЯ

Влияние содержания стронция в воде на фито- и зоопланктон

DOI 10.37663/0131-6184-2022-4-15-19

С.А. Перков – студент факультета биотехнологий и рыбного хозяйства, кафедра экологии и природопользования;
А.Г. Тригуб – ассистент преподавателя факультета биотехнологий и рыбного хозяйства, кафедра экологии и природопользования, менеджер по качеству лаборатории водной экотоксикологии ООО «ЭкоСервис-А»;
 кандидат биологических наук, доцент **М.В. Медянкина**; кандидат биологических наук, доцент **Т.П. Хайрулина** – факультет биотехнологий и рыбного хозяйства, кафедра экологии и природопользования Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского (МГУТУ им. К.Г. Разумовского)
Е.О. Попова – заместитель начальника отдела научно-методического обеспечения информационных ресурсов и баз данных Центрального управления по рыбохозяйственной экспертизе, воспроизводству водных биологических ресурсов и акклиматизации (ФГБУ «ЦУРЭН»)

@ 79263841762@yandex.ru

Ключевые слова: стронций, фитопланктон, зоопланктон, водные биологические ресурсы, биотестирование

Keywords: strontium, phytoplankton, zooplankton, aquatic biological resources, biotesting

IMPACT OF STRONTIUM CONCENTRATION IN WATER ON PHYTOPLANKTON AND ZOOPLANKTON

S.A. Perkov – Student of the Faculty of Biotechnology and Fisheries, Department of Ecology and Nature Management;
A.G. Trigub – Assistant Lecturer of the Faculty of Biotechnology and Fisheries, Department of Ecology and Nature Management, Quality Manager of the Laboratory of Aquatic Ecotoxicology LLC "Ecoservice-A";
 Candidate of Biological Sciences, Associate Professor **M.V. Medyankina**; Candidate of Biological Sciences, Associate Professor **T.P. Khairulina** – Faculty of Biotechnology and Fisheries, Department of Ecology and Nature Management, Moscow State University of Technology and Management named after K.G. Razumovsky (MGUTU named after K.G. Razumovsky)
E.O. Popova – Deputy Head of the Department of Scientific and Methodological Support of Information Resources and Databases of the Central Directorate for Fisheries Expertise, Reproduction of Aquatic Biological Resources and Acclimatization (FSBI "TSUREN")

The article presents the results of experimental studies to assess the impact of heavy metals on the functioning of phyto- and zooplankton (*Scenedesmus quadricauda*, *Daphnia magna*). Determination of inactive and threshold concentration of strontium, toxicity parameters and the degree of acute toxicity has been carried out. As a result of the studies the data on the effect of strontium on hydrobionts of different trophic links were obtained. For zooplankton in terms of survival rate the maximum allowable concentration of strontium was 4 mg/l, in terms of fecundity - 2 mg/l in terms of fecundity. According to the indicator of single-celled algae *Sc. quadricauda* viability (cell number) in the chronic experiment the maximum allowable concentration of strontium is 2 mg/l.

ВВЕДЕНИЕ

Стронций – постоянный компонент гидросферы Земли. Поведение стронция в водной среде зависит от многих факторов. Первостепенную роль играет его содержание в породах и почвах водосборного бассейна либо водовмещающих породах (для подземных и грунтовых вод) [6]. Исследование содержания стронция в почвенных и грунтовых водах показало, что содержание стронция в природных водах последовательно увеличивалось в ряду: атмосферные осадки («следовые» количества стронция), воды поверхностного стока (2,5 мг/дм³), почвенные воды (7 мг/дм³), озёрная вода (23 мг/дм³) [2]. В воде рек содержится менее 10⁻⁵% этого элемента (0,1 мг/дм³) [1]. Источниками стронция в при-

родных водах являются горные породы – наибольшие количества его содержат гипсоносные отложения. Низкая концентрация стронция в природных водах объясняется слабой растворимостью их сернокислых соединений (растворимость SrSO₄ при 18°C составляет 114 мг/дм³). В пресных водах концентрация стронция обычно намного ниже 1 мг/дм³ и выражается в микрограммах на литр. Встречаются районы с повышенной концентрацией этого иона в водах. Подземные воды основное количество стронция получают из почвенных горизонтов, в результате инфильтрации атмосферной влаги сквозь почвогрунты. В подземных водах биосферы содержание стронция в значительной мере контролируется

их сульфатностью, в связи с низкой растворимостью целестина им бедны сульфатные воды. Наоборот, в подземных хлоридных водах условия для миграции стронция благоприятны, в связи с отсутствием в них осадителя металла – сульфат-ионов SO_4^{2-} . Поэтому глубинные хлоридные пластовые воды артезианских бассейнов часто обогащены стронцием. При тектонических поднятиях подобные воды по разломам местами поступают в верхние структурные этажи земной коры и смешиваются с сульфатными водами, где формируется сульфатный барьер, на котором вместе с гипсом осажается целестин [7]. Будучи близок к кальцию по химическим свойствам, стронций резко отличается от него по своему биологическому действию. Избыточное содержание этого элемента в природных водах вызывает «уровскую болезнь» у человека и животных (по названию р. Уров в Восточном Забайкалье) – поражение и деформацию суставов, задержку роста и другие симптомы. Хроническое поступление стронция в водную среду вызывает накопление металлов в живых организмах и представляет для них серьезную опасность, из-за выраженной способности этого токсичного элемента к накоплению в тканях, особенно – костной. Стронций (Sr) представляет серьезную опасность для рыб из-за его структурного сходства с кальцием (Ca), которое обуславливает способность Sr замещать Ca в костной и других тканях. Следствием этого является нарушение обмена кальция в организме, а также его участия в кальций-зависимых метаболических процессах.

Цель настоящей работы – необходимость изучения влияния стронция на пресноводный фито- и зоопланктон. Для достижения цели были поставлены задачи: исследовать влияние стронция на качество воды, изучить влияние на основных представителей водной экосистемы –

В настоящей статье приведены результаты экспериментальных исследований оценки воздействия стронция на функционирование фито- и зоопланктона (*Scenedesmus quadricauda*, *Daphnia magna*). Проведено определение недействующей и пороговой концентрации стронция, параметров токсичности и степени острой токсичности. В результате проведенных исследований получены данные о влиянии стронция на гидробионты различных трофических звеньев. Для зоопланктона, по показателю выживаемости, максимально допустимая концентрация стронция составила 4 мг/л, по плодовитости – 2 мг/л. По показателю жизнедеятельности одноклеточных водорослей *Sc. quadricauda* (численность клеток), в хроническом эксперименте, максимально допустимая концентрация стронция составляет 2 мг/л.

на чувствительные тест-объекты, прежде всего – на фито- и зоопланктон, выявить лимитирующие звенья.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводили в соответствии с «Методическими указаниями по разработке нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов ПДК вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения», утвержденных Приказом Росрыболовства № 695 от 04.08.2009 года [5].

Для культивирования тест-организмов и проведения экспериментов использовали воду из р. Верхняя Ковдора (Мурманская область), отобранную в летний период 2020 г. (рис. 1).

Координаты отбора проб воды – N 67 33.485', E 30 22.828'.



Рисунок 1. Отбор проб воды из реки Верхняя Ковдора для исследований, лето 2020 года
Figure 1. Sampling of water from the Upper Kovdora River for research, summer 2020

Гидрохимический состав исследованной воды следующий: БПК_{полн} – менее 0,5 мг/О₂/дм³, взвешенные вещества – 0,5±0,1 мг/дм³, аммоний-ион <0,05 мг/дм³, нитраты – <0,1 мг/м³, нитриты – <0,002 мг/м³, фосфаты – 0,050 мг/дм³, фосфор общий в пересчете на PO₄ – 0,1 мг/дм³, хлорид-ионы – 0,90 ± 0,21 мг/дм³, стронций – 0,1 мг/дм³.

Исходные растворы вещества (в высокой концентрации) готовили на дистиллированной воде. Исследуемые концентрации вещества (хлорида стронция) готовили из исходного раствора на природной воде из р. Верхняя Ковдора. Концентрации хлорида стронция указаны в пересчете на атом стронция.

Оценка влияния вещества на фитопланктон – *Scenedesmus quadricauda*. Для оценки влияния вещества на фитопланктон использовали, в качестве тест-объекта, альгологически чистую культуру одноклеточных водорослей *Scenedesmus quadricauda*. Водоросли культивировали на среде Прата. Условия культивирования и проведения экспериментов: освещение искусственное – 3000 лк, продолжительность светового дня 12 часов; температура 20±2°C. В опыт брали культуру в экспоненциальной фазе роста (через 3 суток после пересева культуры). Для определения пригодности культуры водорослей для биотестирования предварительно оценивали чувствительность культуры водорослей к стандартному токсиканту K₂Cr₂O₇. Полученная

величина ЛК₅₀ (48 ч.) укладывается в нормативный диапазон реагирования для данного вида водорослей (1,3-2,5 мг/л). Опыты проводили в колбах объемом 100 см³, содержащих по 50 см³ контрольных и опытных растворов. Повторность в опыте и контроле трехкратная. Начальная плотность клеток в эксперименте – 25 тыс. кл./мл. Длительность опыта составляла 14 суток. Контролем служила среда Прата без добавления вещества. Влияние вещества на водоросли оценивали по изменению оптической плотности, измеренной на фотометре «Эксперт-003» (инв.№00000029) при длине волны 626 нм.

Оценка влияния вещества на зоопланктон – *Daphnia magna*. В качестве тест-объекта использовали пресноводных ракообразных *Daphnia magna*. Эксперименты проводили при искусственном освещении 3000 лк, продолжительности светового дня 12 часов и температуре 20±2°C. В опыт брали односуточных рачков. Для определения их пригодности для биотестирования предварительно оценивали их чувствительность к стандартному токсиканту K₂Cr₂O₇. Полученная величина ЛК₅₀ 24 укладывается в нормативный диапазон реагирования для данного тест-организма (0,9-2,0 мг/л). Для исследования действия вещества на плодовитость, в опытные стаканы заливали по 250 мл исследуемых растворов, в контрольные стаканы исследуемое вещество не добавляли. В каждый стакан помещали по 5 экз. одновозрастных даф-

Таблица 1. Динамика изменения оптической плотности водорослей *Scenedesmus quadricauda* при различных концентрациях стронция / **Table 1.** Dynamics of changes in the optical density of *Scenedesmus quadricauda* algae at different strontium concentrations

Концентрация мг/л	Сутки эксперимента				
	1	3	7	10	14
Оптическая плотность, М (m)*					
Контроль	0,055(0,005)	0,233(0,008)	0,856(0,040)	1,558(0,071)	1,706(0,066)
0,5	0,051(0,008)	0,223(0,021)	0,821(0,091)	1,514(0,092)	1,561(0,318)
Td	1,59	0,83	0,69	0,64	0,75
1,0	0,053(0,011)	0,232(0,018)	0,854(0,087)	1,523(0,061)	1,724(0,007)
Td	0,05	0,10	0,03	0,63	0,45
2,0	0,054(0,010)	0,222(0,014)	0,835(0,073)	1,460(0,098)	1,687(0,039)
Td	0,18	1,33	0,49	1,38	0,43
10,0	0,051(0,002)	0,211(0,011)	0,750(0,081)	1,338(0,126)	1,469(0,077)
Td	1,41	2,33	2,30	2,58	3,90
20,0	0,052(0,002)	0,170(0,009)	0,793(0,012)	1,222(0,008)	1,170(0,071)
Td	0,59	10,6	2,94	8,0	9,40
% от контроля					
Контроль	100	100	100	100	100
0,5	92,1	95,9	96,0	97,2	91,5
1,0	97,0	99,6	99,8	97,7	101,0
2,0	98,2	95,4	97,6	93,6	98,85
10,0	93,3	90,4	87,7	85,8	86,11
20,0	94,5	72,8	92,7	78,4	68,6

Примечание: жирным шрифтом выделены фактические значения критерия Стьюдента, которые выше статистических, что указывает на статистическую значимость выявленных различий между средними значениями показателя; М – среднее значение оптической плотности; m – стандартная ошибка среднего, Td при p≤0.05

Таблица 2. Результаты хронических опытов на *Daphnia magna* при различных концентрациях стронция / **Table 2.** Results of chronic experiments on *Daphnia magna* at different strontium concentrations

Р	С, мг/л	Выживаемость, %	Плодовитость на 1 самку		
			M±m	%	Td
F ₀	(контроль)	100	35,6(0,72)	100	-
	1,0	100	35,8(0,20)	100,4	0,10
	2,0	100	32,8(0,24)	92,0	1,50
	3,0	100	36,6(0,11)	102,8	0,55
	4,0	90,0	30,3(0,39)	85,1	2,63
	5,0	85,0 Td-3,0	26,5(0,26)	74,3	4,80
F ₁	(контроль)	100	37,0(0,08)	100	-
	1,0	100	37,4(0,24)	101,2	0,55
	2,0	100	36,5(0,58)	98,6	0,32
	3,0	100	34,5(0,35)	93,4	2,37
	4,0	95,0	27,2(0,51)	73,5	7,10
	5,0	90,0	24,8(0,24)	67,2	14,8
F ₂	(контроль)	100	35,0(0,30)	100	-
	1,0	100	36,3(0,32)	103,6	1,15
	2,0	100	37,0(0,46)	105,7	1,46
	3,0	100	35,4(0,27)	101,0	0,35
	4,0	95,0	31,8(0,42)	90,7	2,54
	5,0	90,0	26,8(0,25)	76,6	8,45
F ₃	(контроль)	100	37,1(0,26)	100	-
	1,0	100	37,3(0,25)	100,7	0,27
	2,0	100	33,1(0,77)	89,2	2,0
	3,0	100	32,0(0,43)	86,1	4,12
	4,0	100	27,0(0,25)	72,9	11,20
	5,0	95,0	25,0(0,49)	67,4	8,66

Примечание: жирным шрифтом выделены фактические значения критерия Стьюдента, которые выше статистических, что указывает на статистическую значимость выявленных различий между средними значениями показателя; Р – поколение, С – концентрация, М – среднее значение показателя, m – доверительный интервал, Td – значение критерия Стьюдента

ний, повторность каждой линии – 4-кратная. Рачков ежедневно кормили зелеными водорослями (*Chlorella vulgaris*). Продолжительность опытов на дафниях определяли временем появления четырех пометов у контрольных рачков, что составляло 21 день.

Продолжительность хронических экспериментов по выживаемости и плодовитости 3-х поколений рачков также составляла 21 сутки, суммарное количество суток хронического эксперимента по выживаемости и плодовитости от исходных самок до 3-го поколения включительно (F₀-F₃) составило около 90 суток. По окончании опыта подсчитывали средние значения выживаемости, плодовитости, в пересчете на одну самку за 4 помета, процент отклонений от величины реальной плодовитости по отношению к контролю.

Определение недействующей и пороговой концентраций. Для определения недействующей и пороговой концентраций по каждому показателю оценивали статистическую значимость различий величин показателя в контроле и в растворах веществ с помощью следующих

методов: для количественных показателей применяли критерий Стьюдента; для бинарных (альтернативных) показателей применяли точный критерий Фишера (односторонний). Уровень значимости принимали равным 0,05. Недействующими для каждой тест-функции считали концентрации, в которых величина показателя не отличалась статистически значимо от величины в контроле. За МДК для тест-функции и тест-объекта принимали наибольшую из недействующих концентраций. Следующую, более высокую из исследованных концентраций, принимали за пороговую.

Определение параметров токсичности (ЛК). Для расчета параметров токсичности применяли линейную регрессионную модель. Определяли следующие параметры токсичности: ЛК₅₀ для показателя гибели. Вычисления выполняли в статистической среде Excel.

Определение степени острой токсичности. Степень острой токсичности вещества оценивали на основании величины ЛК₅₀, вычисленной по результатам острого опыта (длительностью 72-96 ч. для разных тест-организмов),

в соответствии с ГОСТ Р 54496–2011 [3] и ГОСТ Р 56236-2014 [4].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Влияние вещества на фитопланктон – *Scenedesmus quadricauda*. Динамика изменений оптической плотности клеток водорослей *Scenedesmus quadricauda*, при различных концентрациях стронция, представлена в таблице 1.

По результатам воздействия стронция на оптическую плотность водорослей *Sc. quadricauda* можно заключить, что в диапазоне концентраций (0,5-2,0 мг/л) статистически значимых отклонений от контроля не наблюдалось на протяжении всего эксперимента, в концентрации 10,0 мг/л и выше наблюдались статистически значимые отклонения от контроля, начиная с 3 суток.

Таким образом, экспериментально установлено, что максимально допустимой концентрацией стронция для фитопланктона является концентрация 2,0 мг/л, пороговой является 10,0 мг/л.

Влияние вещества на зоопланктон – *Daphnia magna*. Влияние стронция на выживаемость и продукционные (плодовитость) характеристики дафний исследовали в хронических экспериментах, проведенных с тремя поколениями (табл. 2).

В растворах с исследованными концентрациями вещества достоверное снижение по показателю выживаемости рачков установлено в поколении F_0 – при концентрации стронция 5,0 мг/л выживаемость рачков снизилась на 25%.

Плодовитость (среднее суммарное количество молодежи на одну самку за время эксперимента) дафний в диапазоне концентраций 1,0-2,0 мг/л не выявила достоверных отличий относительно контроля, однако в концентрации 3,0 мг/л и выше установлены статистически значимые отклонения значений относительно контроля по плодовитости рачков.

Таким образом, максимально допустимая концентрация стронция для *Daphnia magna*, по показателю выживаемости, составляет 4,0 мг/л, пороговая – 5,0 мг/л. По показателю плодовитости максимально допустимая концентрация составляет 2,0 мг/л, пороговая – 3,0 мг/л.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований получены данные о влиянии стронция на гидробионты различных трофических звеньев. По показателю жизнедеятельности одноклеточных водорослей *Sc. quadricauda* (численность клеток) в хроническом эксперименте максимально допустимая концентрация стронция составляет 2 мг/л. Для зоопланктона (тест-объект *D. magna*) по показателю выживаемости максимально допустимая концентрация стронция составила 4 мг/л, по плодовитости – 2 мг/л.

Полученные результаты можно использовать в дальнейшем для обоснования регионального норматива ПДК для вод с природными особен-

ностями, для совершенствования методологии разработки региональных нормативов.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. изд. 2-ое, дополненное. – М.: АН СССР, 1957. – 238 с.
1. Vinogradov A.P. Geochemistry of rare and scattered chemical elements in soils. ed. 2nd, supplemented. – М.: USSR Academy of Sciences, 1957. – 238 p.
2. Власов М.А. и др. Бор и стронций в почвенных и грунтовых водах и минеральных озерах соленакопления Восточной Сибири // Микроэлементы в биосфере и их применение в сельском хозяйстве и медицине Сибири и Дальнего Востока. – Улан-Удэ, 1973. – С. 113-117.
2. Vlasov M.A. et al. Boron and strontium in soil and groundwater and mineral lakes of salt accumulation in Eastern Siberia // Trace elements in the biosphere and their application in agriculture and medicine of Siberia and the Far East. – Ulan-Ude, 1973. – pp. 113-117.
3. ГОСТ Р 54496-2011 (ИСО 8692:2004) Вода. Определение токсичности с использованием зеленых пресноводных одноклеточных водорослей: национальный стандарт Российской Федерации: дата введения 2011-11-14 / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. – Изд. Официальное. – Москва: Стандартинформ, 2012. – 58 с. – Текст (визуальный): непосредственный.
3. GOST R 54496-2011 (ISO 8692:2004) Water. Toxicity determination using green freshwater unicellular algae: National Standard of the Russian Federation: date of introduction 2011-11-14 / Federal Agency for Technical Regulation and Metrology. – Official edition. – Moscow: Standartinform, 2012. – 58 p. – Text (visual): direct.
4. ГОСТ Р 56236-2014 (ИСО 6341:2012) Вода. Определение токсичности по выживаемости пресноводных ракообразных *Daphnia magna* Straus: национальный стандарт Российской Федерации: дата введения 2016-01-01 / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. – Изд. Официальное. – Москва: Стандартинформ, 2016. – 43 с. – Текст (визуальный): непосредственный.
4. GOST R 56236-2014 (ISO 6341:2012) Water. Determination of toxicity by survival of freshwater crustaceans *Daphnia magna* Straus: national Standard of the Russian Federation: date of introduction 2016-01-01 / Federal Agency for Technical Regulation and Metrology. – Official edition. – Moscow: Standartinform, 2016. – 43 p. – Text (visual): direct.
5. Методические указания по разработке нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения», утв. приказом Росрыболовства № 695 от 04.08.2009 г.
5. Methodological guidelines for the development of water quality standards for water bodies of fishery significance, including standards for maximum permissible concentrations of harmful substances in the waters of water bodies of fishery significance", approved by Rosrybolovstvo Order No. 695 of 04.08.2009.
6. Мур Дж. В. Тяжелые металлы в природных водах // М.: Мир, 1987. – 488 с.
6. Moore J. V. Heavy metals in natural waters // Moscow: Mir, 1987. – 488 p.
7. Перельман А.И. Геохимия природных вод // М.: Наука, 1982. – 154 с.
7. Perelman A.I. Geochemistry of natural waters // Moscow: Nauka, 1982. – 154 p.

Keywords:

instability, single-product mathematical model of economic formation transformation in Russia, import substitution, scientific-technical and socio-political world progress, Kuznets and Kondratiev waves, nonlinear phenomena, separatrix, above separatrix trajectory, Lagrangian and Hamiltonian of scientific – technical and socio – political world progress, logistics chains, cultural evolution Humanity, phase portrait, separatrix, catastrophes in the economy, catastrophe of the fold, catastrophe of the collection, catastrophe of the multiple fold

Нелинейная физика в практике флота

Часть 4.

DOI 10.37663/0131-6184-2022-4-20-28

Доктор технических наук, профессор **Н.Д. Гайденок** – Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

@ ndgay@mail.ru

Ключевые слова:

неустойчивость, однопродуктовая математическая модель перестройки экономической формации в России, импортозамещение, научно-технический и социально-политический мировой прогресс, ритмы Кузнецца, волны Кондратьева, нелинейные явления, фазовый портрет, сепаратриса, надсепаратрисная траектория, лагранжиан и гамильтониан научно-технического и социально-политического мирового прогресса, логистические цепи, культурная эволюция Человечества, катастрофы в экономике, катастрофа складки, катастрофа сборки, катастрофа множественной складки

NONLINEAR PHYSICS IN THE NAVY. PART 4

Doctor of Technical Sciences, Professor N.D. Gaidenok – Siberian Federal University, Krasnoyarsk

The paper considers a nonlinear phenomenon borrowed from the works of one of the world founders of the theory of catastrophes, Academician V.I. Arnold, which relates to the economic aspects of the fleet, where the features of transformations during the restructuring of the economic formation in Russia are thoroughly described. The correspondence of the one-product model of the restructuring of the economic formation in Russia is shown, which is not only a special case of the scientific, technical and socio – political world progress occurring in the form of waves of Kuznets and Kondratiev, but also the general cultural evolution of Mankind, as well as Russia's modern policy of restructuring its economy for import substitution and logistics chains, catastrophe multiple folds extending beyond 7 elemental catastrophes

ВВЕДЕНИЕ И ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Данная работа является продолжением изучения нелинейных феноменологических явлений в различных сторонах функционирования флота и его окружения, ряд из которых был уже исследован ранее [8]. После анализа особенности работы, как технических устройств, так и социально-экономических процессов, перейдем к анализу другого феномена, иллюстрирующего факт непропорциональности затрат и отдачи, который, ввиду, с одной стороны «прозрачности к восприятию», а с другой – высокой

феноменологической сложности, можно назвать «за пределами семи элементарных катастроф – Код В.И. Арнольда». Данный феномен относится к приложению теории катастроф, к описанию динамики смены социально-экономической формации «СССР – Россия», и заимствован из результатов исследования советского-российского мирового основоположника теории катастроф академика В.И. Арнольда. Актуальность данным исследованиям придает современная политика России, избравшей курс по перестройке ее экономики на импортозамещение продукции и из-

менение логистических цепей. СССР уже проходил подобную ситуацию две Волны Кондратьева назад – между Великой октябрьской социалистической революцией и Великой отечественной войной, когда по словам И.В. Сталина «...тот путь, который преодолели ведущие страны за 100 лет, нам нужно пробежать за 10, иначе нас сомнут».

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве материалов послужили:

- результаты исследований одного из мировых основоположников теории катастроф академика В.И. Арнольда [2; 3; 4], где досконально описаны формальные особенности преобразований в период перестройки экономической формации в России на грани 1980-1990 гг., являющиеся базисом для изучения политики импортозамещения России и изменения логистических цепей;
- описание математических моделей экономической динамики [12];
- результаты исследований физических основ процессов эволюции [14].

Методами является аппарат математического моделирования [12], нелинейной физики и теории катастроф [3; 5; 11]

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Термин «Код» – «Код да Винчи», «Код Верченко», «Код Майя» и т.д. в настоящее время широко вошел в иллюстрационный процесс и является идентификатором интерпретации сложных символьных систем.

В работе рассмотрен нелинейный феномен, относящийся к экономическим аспектам флота, заимствованный из работ одного из мировых основоположников теории катастроф академика В.И. Арнольда, который досконально описывает особенности преобразований в период перестройки экономической формации в России. Показано соответствие однопродуктовой модели перестройки, являющейся, не только частным случаем научно-технического и социально-политического мирового прогресса, происходящего в виде ритмов Кузнеця и волн Кондратьева, но и современной политике России по перестройке ее экономики на импортозамещение и изменение логистических цепей, катастрофе множественной складки, выходящей за пределы 7 элементарных катастроф.

Переходя к адаптации результатов исследований В.И. Арнольда на современную ситуацию, необходимо отметить следующее свойство его работ – развернутая и доступная восприятию интерпретация формальных положений, что отчетливо проявляется на рисунках 1 и 2, где проводится сравнение формализма со стадиями смены социально-экономической формации в России.

Академик В.И. Арнольд еще за 2 года до Перестройки начала 1990-х годов [2], на базе теории катастроф, показывает и детально характеризует, как структуру фрейма или, как это будет ясно из дальнейшего ана-



Рисунок 1. Развертка структуры фрейма смены социально-экономической формации «СССР – Россия» [2]. Обозначения: номера рисунков соответствуют работам [1; 3; 4]

Figure 1. Unfolding of the frame structure of the change of the socio-economic form "USSR – Russia" [2]

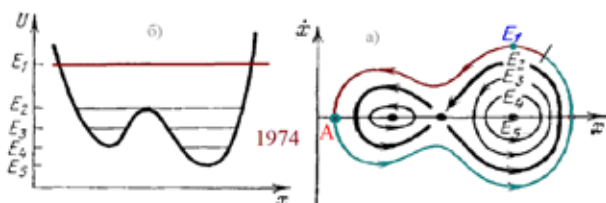


Рис. 10. Потенциальная энергия и фазовые кривые

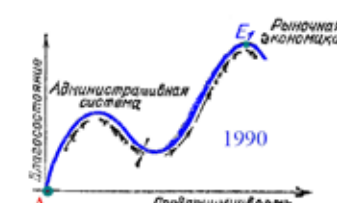


Рис. 87. Перестройка с точки зрения теории катастроф

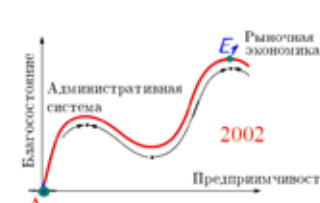


Рис. 11. Перестройка с точки зрения теории катастроф

Рисунок 2. Динамика смены социально – экономической формации «СССР – Россия»

Figure 2. Dynamics of the change of the socio-economic formation of the "USSR – Russia"

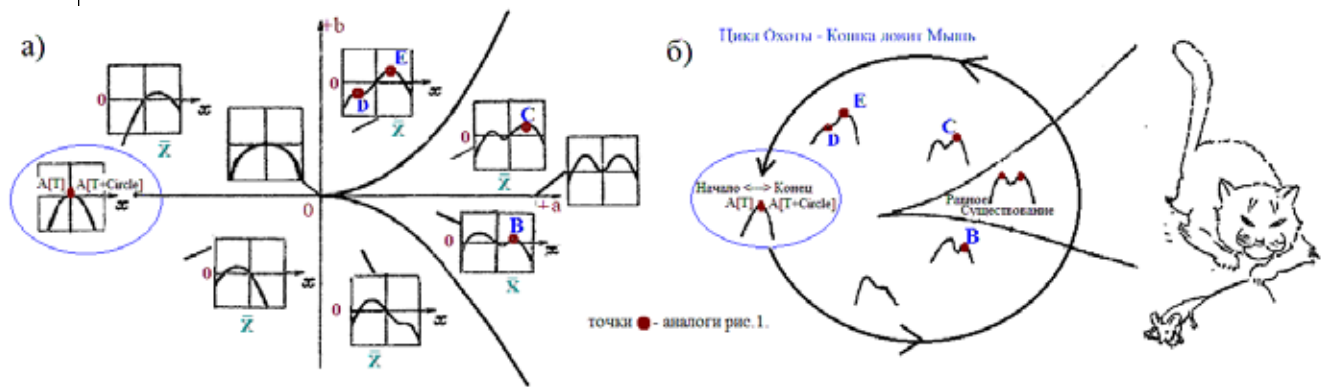


Рисунок 3. Карта катастрофы Сборки [5]

Figure 3. Map of the Assembly disaster [5]

лиза, «Потенциал Арнольда» (рис. 1), как основные этапы смены социально-экономической формации «СССР – Россия», так и его детализацию в виде (рис. 2 и 6) пунктов. Сопутствующий комментарий представлен в работе [2].

Основным выводом исследований [2; 4] служит обоснование непропорциональности затраченных усилий и полученного результата или феномена немотонности зависимости «усилия – результат» (рис. 2).

Иначе говоря, В.И. Арнольд формальным образом подтверждает необходимость классической рецессии в экономике 1990-х [12] (рис. 2) и классического минимума между двумя последовательными максимумами цикла в эволюционных исследованиях [14] (рис. 4.д).

Однако рисунок 1 фактически является, вытянутой в линию, циклической иллюстрацией карты катастрофы сборки (рис. 3.а) из [5], которая, в свою очередь, с рядом комментариев, заимствована из пионерской работы другого основоположника теории катастроф – Рене Тома (рис.3.б), где анализируется случай циклического поведения – Начало Цикла совпадает с Концом Цикла (обозначено кругами) и является свойством всего живого, включая Человека.

Прежде чем переходить к дальнейшим исследованиям, необходимо сделать следующее замечание относительно статуса вышеуказанной смены в общей динамике культурной эволюции человечества и ее биологического базиса, которое будет весьма полезным для понимания феноменологических основ формального анализа.

Согласно работе [14], эволюция представляет собой бесконечную последовательность следующих трех стадий – «Новый Элемент – Неустойчивость – Самоорганизация», развивающуюся по спирали (рис. 4.д). Общая схема эволюции такова:

1. В силу изменения внешних и внутренних условий появляется Новый Элемент;
2. Его появление вызывает Неустойчивость в системе;
3. Неустойчивость запускает Самоорганизацию;
4. Самоорганизация переводит систему из Состояния N в Состояние N+1.

В плане многообразия вариантов состояния системы, силы изменения внешних и внутренних условий, стоит отметить тот факт, что возможно не только возникновение Нового Элемента, но и исчезновение Старого. При этом, оставшиеся уже не в полной мере

восполняют его функцию и также начинается Самоорганизация.

Аналогичные процессы, как это будет показано ниже, происходят и в социально-экономической системе. Кроме того, согласно Л.Н. Гумилеву [10], культурная Эволюция Человечества происходит в виде последовательности, сменяющих друг друга, этносов, стадии которых выделяются, в том числе, как по числу изобретений, так и организационных методов хозяйствования.

На фрагментах рисунка 1 в 1990 [3] и 2002 гг. [4] представлен один и тот же процесс смены социально-экономической формации в России, за следующими различиями:

1. На фрагменте 1990 г. показано качество полиграфии в период Административно-командной системы, а 2002 г. – Рыночной экономики: что отражает уровни развития экономики в соответствующие периоды;

2. Отмеченное качество отражает также феноменологическое содержание – изящные формы линий на рисунке 2.2002 г. маскируют всю массу деталей социально-экономического развития. Действительно, иллюстрация на рисунке 2.1990 г. актуализирует в памяти участников динамики смены социально-экономической формации, ее исторические особенности.

Перейдем к анализу или, если угодно, то к расшифровке «Кода Арнольда». Это необходимо сделать безотлагательно, в силу того, что все иллюстрации на рисунках 1 и 3.б показаны без детерминации конкретного вида, как переменных и циклов обращения Circle, так и потенциалов, без чего анализ теряет формальную строгость и будет представлять собой вербальное повествование. С этой целью обратимся к фрагменту рис. 2.1974, где показана иллюстрация потенциальной энергии – «потенциала $U(x)$ » – фазовый портрет некой абстрактной физической системы с одной степенью свободы [1]. Его сравнение с рисунком 3.а показывает, с точностью до зеркального отражения, факт соответствия определенному фрагменту карты катастрофы Сборки. Далее, мысленно перевернем рисунок 2.1974 вокруг прямой E_1 и сравним полученное отражение с кривыми AE_1 на всех трех оставшихся фрагментах – фазовый портрет и Перестройка за 1990 и 2002 годы. Полученный результат сравнения – едва ли не количественное соответствие.

Продолжим анализ. Тяжесть положения дел здесь заключается в том, что, при сравнении рисунка 2.1974

с прочими фрагментами рисунка 2, возникают следующие проблемы:

- на рисунке 2.1974 по оси ОХ показан путь – экстенсивная переменная, а по оси ОУ – скорость, интенсивная переменная;

- на рисунке 2.1990 или рисунке 2.2002 – обратный статус переменных: по оси ОХ Предприимчивость ↔ интенсивная переменная, по оси ОУ – Благосостояние ↔ экстенсивная переменная;

- кроме того, совершенно неясно, «что же именно показано на оси ОХ – диапазон изменения интенсивной переменной «Предприимчивость» или ее предельная для двух точек корреляция с временем, т.е. просто динамика экстенсивной переменной «Благосостояние» для двух последовательных моментов времени, дополненная умозрительными соображениями для промежуточного положения или же под переменной «Благосостояние» понимается некая иная интенсивная переменная.

Однако, как покажет дальнейший анализ, все три рассматриваемых случая, описываемые тем или иным объектом теории катастроф, являются следствиями «скачковой динамики» экономики – производительности труда (рис. 4), вызываемыми соответствующими скачками в следующих сферах, как в отдельной, так и их комбинации:

- техники – совершенствование средств производства;
- новых форм организации производства – яркий пример «Мануфактура» и реализация продукции;
- новых форм деятельности в социально-политическом строении общества.

Далее, если теперь с рисунка 2.1990 проделать вышеупомянутое вращение, дополнив его зеркальным отражением относительно оси ОХ ↔ «О – Предприимчивость» – плоскости ХОУ ↔ «Предприимчивость – О – Благосостояние», то даже для двух состояний получим уже совершенно иной объект теории катастроф, выходящий за рамки первых семи элементарных, а именно – катастрофу множественной складки – «мульти-складки» (рис. 4.а.), одно из первых описаний которой содержится в работе [15], относящейся к исследованию нейродинамики мозга.

Далее, на рисунке 4.б. показана «мульти-складка» уже в переменных А(К) и К, а на рисунке 4.в. – ее пространственный образ, с учетом периода цикла увеличения А(К) – Circle, который аналогичен подобному на рисунке 3.б.

Здесь стоит отметить тот факт, что на протяжении исторического развития Человечества происходила «Счетная Бесконечность» изобретений, реорганизаций производства и перемены политического статуса

государств, а не две последовательные стадии, как на рисунке 2. Поэтому, для формального описания периодических изменений в первом приближении, целесообразно использовать либо функции по выделению целой/дробной частей чисел, либо непрерывные тригонометрические функции (рис. 4.7).

Детерминация данной катастрофы – «мульти-складка», в закономерностях экономических механизмов и соответствующих им терминах, представляет собой цель дальнейшего исследования данной работы. В этом плане обратимся к области математического моделирования. В работе [12] приводится модель динамики развития экономики в течение сравнительно продолжительного периода времени, с учетом комплекса научных, технических, организационных и, как в случае смены социально-экономической формации в России, социально-политических факторов (1).

$$\begin{aligned} Y(t) &= A(t)K^\alpha(t)L^\beta(t), \alpha \in (0, 1), \beta \in (0, 1), \\ \alpha + \beta &= 1, \\ I(t) &= s_1(t)Y(t), V(t) = s_2(t)Y(t), \\ s_1(t) &\in (0, 1), s_2(t) \in (0, 1), 0 < s_1(t) + s_2(t) < 1 \\ C(t) &= Y(t) - I(t) - V(t), N(t) = N_0 e^{rt}, \\ N_0 > 0 \quad K(t+1) &= K(t) + I(t), \\ A(t+1) &= A(t) + \delta(A(t), V(t)), \\ \delta(A(t), V(t)) &\in (0, 1), \\ L(t+1) &= d_0 N(t), d_0 \in (0, 1) \quad L(t+1) = d_0 N_0 e^{rt}, \\ K(0) &= K_0, A(0) = A_0 \end{aligned} \quad (1)$$

Где, согласно [12], для закрытой экономики (импорт = экспорт = вложения капитала = 0) отдельной экономической системы $Y(t)$, $I(t)$, $L(t)$, $V(t)$, $C(t)$, $N(t)$, $K(t)$, $A(t)$, $s_1(t)$, $s_2(t)$, d_0 , в году t – «национальный (народный) доход; чистые капиталовложения (средства на расширение производства); число трудящихся, занятых в производстве; затраты на научные исследования; потребление; общая численность населения; основные фонды; эффективность использования основных фондов или производительность труда (если вернуться к «коду Арнольда», то это будет Предприимчивость в самом широком понимании); норма накопления; норма отчислений на научные исследования; доля трудящихся от общей численности населения».

Однако в системе (1) особого внимания заслуживает детализация, как экономического смысла, так и структуры неизвестной функции $\delta(A(t), V(t))$ – (15), отражающей скорость эффективности использования основных фондов или производительности труда, или предприимчивости (надеюсь, что применительно к данному аналогу классического экономического показателя термин «скорость» не вызовет сомнений

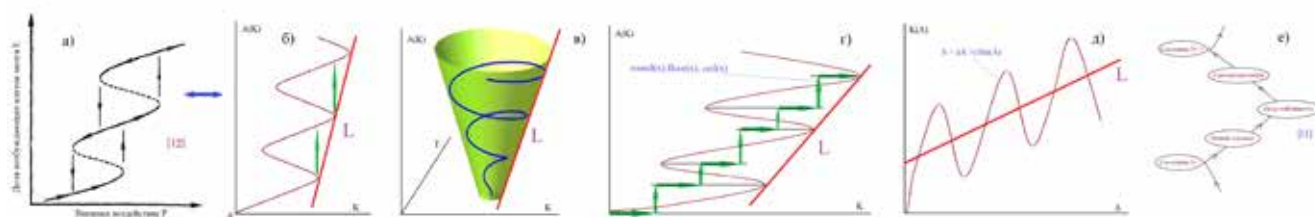


Рисунок 4. Катастрофа «Мульти-складка» [15] и схема эволюции [14]

Figure 4. The "Multi-fold" catastrophe [15] and the scheme of evolution [14]

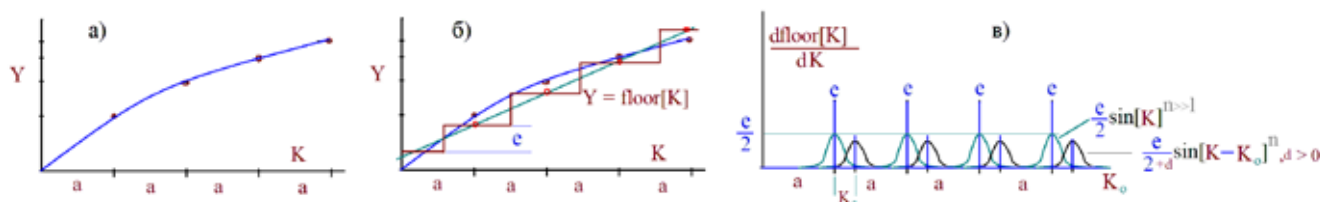


Рисунок 5. Детализация выражения (8.1)

Figure 5. Expression Granularity (8.1)

у экономистов), ибо в работе [12] имеются на этот счет лишь следующие указания: «... зависимость $\delta(A, V)$ задается в нашей модели графически».

Кроме того, продолжая детализацию, необходимо дать комментарии к природе самой переменной $A(t)$. Для периода 1970-х, когда вышла работа Ю.П. Иванилова, А.В. Лотова [12], обозначение переменной $A(t)$ ассоциируется с Автоматизацией. Однако, в рамках значительной перестройки экономики, одним научно-техническим прогрессом не обойтись, необходимо в контент $A(t)$ включить и вопросы логистики.

В рамках такого понимания $A(t)$ термин «закрытая экономика (импорт = экспорт = вложение капитала = 0) отдельной экономической системы» вовсе не сводится к отдельной стране – это может быть и отдельная страна + постоянные партнеры. Тонкость политики здесь в том, что степень взаимодействия с постоянными партнерами происходит в виде динамического усиления/ослабления с каждым из них – современная переориентация логистических потоков с Запада на Восток, что определяет тот или иной скачок $A(t)$ на рисунке 4, подобно изменениям в научно-техническом прогрессе.

Первым шагом на пути формально-феноменологической детализации $A(t)$ будет временное условие постоянства численности населения. Это вполне возможно по следующей причине: известна величина показателя годовой скорости роста населения $\gamma = 1,1\%$ или экспоненциальной $r = \gamma/100 = 0,01$ год – т.е., практически линейный рост 1,01, существенно не влияющий на скорость роста $Y(t)$. Тогда (1.1) предстанет в виде:

$$Y(t) = AL(t)K^a(t), AL(t) = A(t)\text{Mean}[L(t)]^{\beta};$$

$\text{Mean}[L(t)]$ - условное среднее

Таким образом, скорость роста $Y(t)$ по формуле Кобба-Дугласа (1.1) будет зависеть только от $K(t)$ – не считая $A(t)$, при $a < 1$, отражая закон убывающей полезности Госсена (рис. 5.а), – каждая вновь вложенная единица $K(t)$ а приносит все меньшую отдачу e , что и является брендом экономики.

Далее, чисто для удобства аналитического исследования, сделаем следующие преобразования $Y(t)$ – аналог национального дохода (рис. 5.б):

- заменим его линейным трендом $Y = aK + b$, для постоянства скорости роста равному a , который далее аппроксимируем ступенчатой функцией $\text{floor}[K]$ (рис. 4.з). При этом мы полностью отдаем себе отчет в том, что на протяжении истории человечества в разные периоды времени величины существенно разнятся и в настоящем анализе используются их среднелетние величины;

- производная от функции $Y = \text{floor}[K]$, по K dY/dK , будет представлять последовательность функций Дирака $\delta(K)$ или, в бытовом плане, – «последовательность столбов ЛЭП». Данная последовательность успешно аппроксимируется функцией $e/2\sin[K]^n$, $n \gg 1$. Причем, интеграл от $e/2\sin[K]^n$ естественным образом аппроксимирует $\text{floor}[K]$ (рис. 5.з), – что необходимо для повышения эффективности численного анализа.

Рассмотрим теперь политико-экономические особенности, с помощью которых В.И. Арнольд обосновывал непропорциональность затраченных усилий и полученного результата – рецессию или минимум между двумя последовательными максимумами цикла (рис. 2.1990), а точнее – принцип контринтуитивного поведения сложных систем В.Р. Эшби и особенности динамики эволюции [14] – задержка, вызванная необходимостью затраты средств на запуск в производство изобретений, на сооружения для этой инфраструктуры, на подготовку новых видов сырья – чем выше скорость выпуска продукции, тем необходимо более рафинированное сырье, более квалифицированные кадры и т.д.

Как легко заметить, содержание предшествующего абзаца полностью совпадает с, ранее упомянутыми, особенностями Эволюции «Новый Элемент – Неустойчивость – Самоорганизация», как экономической, так и общепсихологической [14].

По своей экономической природе – это функция $Z[K]$ аналогична, с точностью до множителя, особенностям описания функции $Y = \text{floor}[K]$ и dY/dK , с учетом некоторого лага – выражения (2.2) и (2.3) на рисунке 5.

Функция $Y[K]$, с учетом вышеупомянутых условий замкнутости системы, временно условной стабильности населения и особенностей описания динамики $A(t)$, далее представляется как производительность труда $p[t]$ – (2.2).

Использование периодических функций вида $e/2\sin[K]^n$, по сути дела, отражает условно постоянную с определенным периодом генерацию технических устройств, организационных мероприятий – Мануфактуры, социально-политических актов и т.д. Это находит свое выражение в средне- и длиннопериодных экономико-технологических циклах – ритмы Кузнецова – 15-20-25 лет и волны Кондратьева – 40-50-60 лет.

Причем, здесь необходимо отметить соразмерность продолжительности волн Кондратьева 40-60 лет и Китайского календарного цикла в 60 лет, где уменьшения периода за 1-2 тыс. лет может быть легко объяснено уже известным в экономике влиянием технического прогресса и подтверждается результатами численного эксперимента (рис. 6.а).

$$\begin{aligned} dk(t)/dt &= p(t) - az(t); \\ dp(t)/dt &= \frac{1}{2}e\sin(k(t))n; \end{aligned} \quad (2)$$

$$dz(t)/dt = \frac{1}{2}e\sin(k(t)-L)n; L = \pi/c$$

$$a = 0.8; c = 4.25; e = 1; n = 24$$

ВЫВОДЫ

После численной реализации системы (2), при величинах параметров (2.3), получена серия иллюстраций динамики ее переменных (рис. 6). Не будем анализировать все иллюстрации и остановимся только на сравнении «а) и б)», «г) и д)», где на рисунках 6.а, 6.г и 6.д показана динамика аналога национального дохода. На рисунке 6.а видна последовательность пиков $K(t)$, подобных тем, что анализировал В.И. Арнольд под наименованием «Благосостояние» на рисунке 2.1990, которое он трактовал в самом широком понимании и что вызвало проблемы при интерпретации. После моделирования динамики системы становится ясным, на рисунке 2.1990 показан пункт 3 из, представленных выше, возможных его интерпретаций – здесь на оси ОХ показана корреляция изменения интенсивной переменной «Предприимчивость», но не со временем, а с ростом $K(t)$ во времени, ибо на уровне работника предприимчивость естественным образом ассоциируется с энергией, смекалкой и прочими личными качествами. Уже на уровне предприятия и тем более государства на первый план выходят капиталовложения $K(t)$; на оси ОУ – интенсивная переменная, замаскированный аналог национального дохода $Y(t) \leftrightarrow K(t)$, величина которого у В.И. Арнольда вполне справедливо ассоциируется с переменной «Благосостояние» – если величина $Y(t)$ невысока, то и благосостояние будет на соответствующем уровне; т.е. динамика аналога национального дохода $Y(t)$.

Сравнение иллюстраций, показанных на рисунках 6.г и 6.д отражает зависимость количества изобретений от уровня инвестиций, при наличии затрат на внедрение в производство – рисунок 6.г и без оных – рисунок 6.д.

Система (2) позволяет представить описание ее динамики, т.е. динамику однопродуктовой экономики замкнутой (консервативной) экономической системы [12], в виде динамики консервативной системы, с помощью вариационных принципов на основе уравнений Лагранжа (3.1) или Гамильтона (3.2) [11]:

$$\begin{aligned} d/dt[\partial L/\partial(dk/dt)] &= \partial L/\partial k, L = T - V, \\ dp/dt &= -\partial H/\partial k, dq/dt = \partial H/\partial p = \\ &= \partial H/\partial(dk/dt), dk/dt = p, H = T + V \\ T &= \frac{1}{2}[dk/dt]^2 = \frac{1}{2}p^2; V = V(x) \end{aligned} \quad (3)$$

где L представляет собой разность кинетической T и потенциальной энергии $V \leftrightarrow$ «Потенциал Арнольда» (рис. 1); H является полной энергией системы и равен сумме T и V .

Теперь легко можно получить явный вид потенциала $V(x)$. Действительно, подстановка выражений (2.2) и (2.3) в продифференцированное выражение (2.1) при $a = 1$ дает следующее уравнение (4):

$$d^2k(t)/dt^2 = \frac{1}{2}e(\sin(k(t))^n - \sin(k(t)-L)^n) \quad (4)$$

Тогда производная dV/dk с точностью до постоянного множителя $\frac{1}{2}e$ будет иметь вид

$$dV/dk(t) = U = \sin(k(t))^n - \sin(k(t)-L)^n \quad (5)$$

и сам потенциал V – «Потенциал Арнольда» для случая $n = 4$ и $e = 1$ (сокращение длины выражения) имеет вид (6); его графическая иллюстрация $V(K, a, L)$ при различных величинах параметров a и L , которая гомеоморфна, как на рисунке 3.2002, так и соответствующем фрагменте рисунка 3.а, показана на рисунке 7, где величина запаздывания L демонстрирует зависимость влияния затрат – глубина минимума. Здесь видно, что, при росте величины параметра, a изменяется и характер зависимости V от K – от неубывающе-

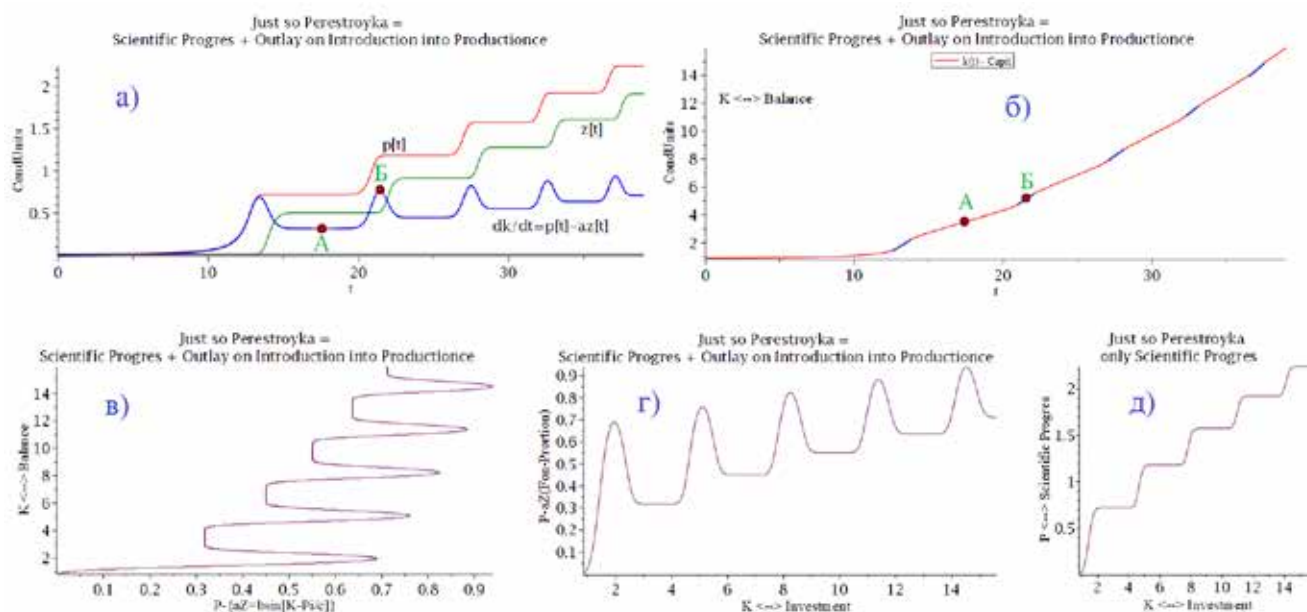


Рисунок 6. Численная реализация системы (2)

Figure 6. Numerical implementation of the system (2)

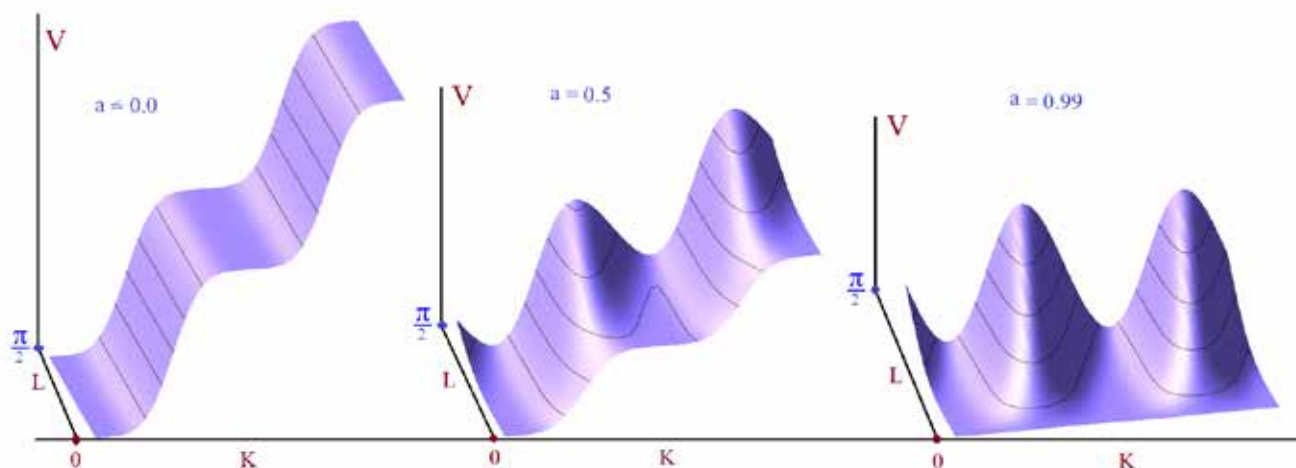


Рисунок 7. Графическая иллюстрация $V(K, a, L)$

Figure 7. Graphic illustration $V(K, a, L)$

го ($a \rightarrow 0$) до практически гармонических колебаний $a \rightarrow 1$.

Проанализируем правую часть (4). Здесь общей картиной является периодическая функция, подобная $A \cos[2K + \pi/4]$ (рис. 8). Далее различия в вариантах определяются глобально лишь уровнем затрат или ве-

$$U = \frac{\sin(K)^4}{2} - \frac{a \sin(K-L)^4}{2} \quad (6)$$

$$V = \int \left[\frac{\sin(K)^4}{2} - \frac{a \sin(K-L)^4}{2} \right] dK =$$

$$= -\left(\frac{\sin(K)^3}{8} + \frac{3 \sin(K)}{8} \right) \cos(K) + \frac{3K}{16} - a \left(\frac{-\sin(K-L)^3}{4} - \frac{3 \sin(K-L)}{8} \right) \cos(K-L) + \frac{3K}{8} - \frac{3L}{8}$$

личной отрицательной части кривой, что иллюстрируется для $a = 0,5$ и $a \rightarrow 1$.

Далее следует, выражение (5) представимо в следующем виде

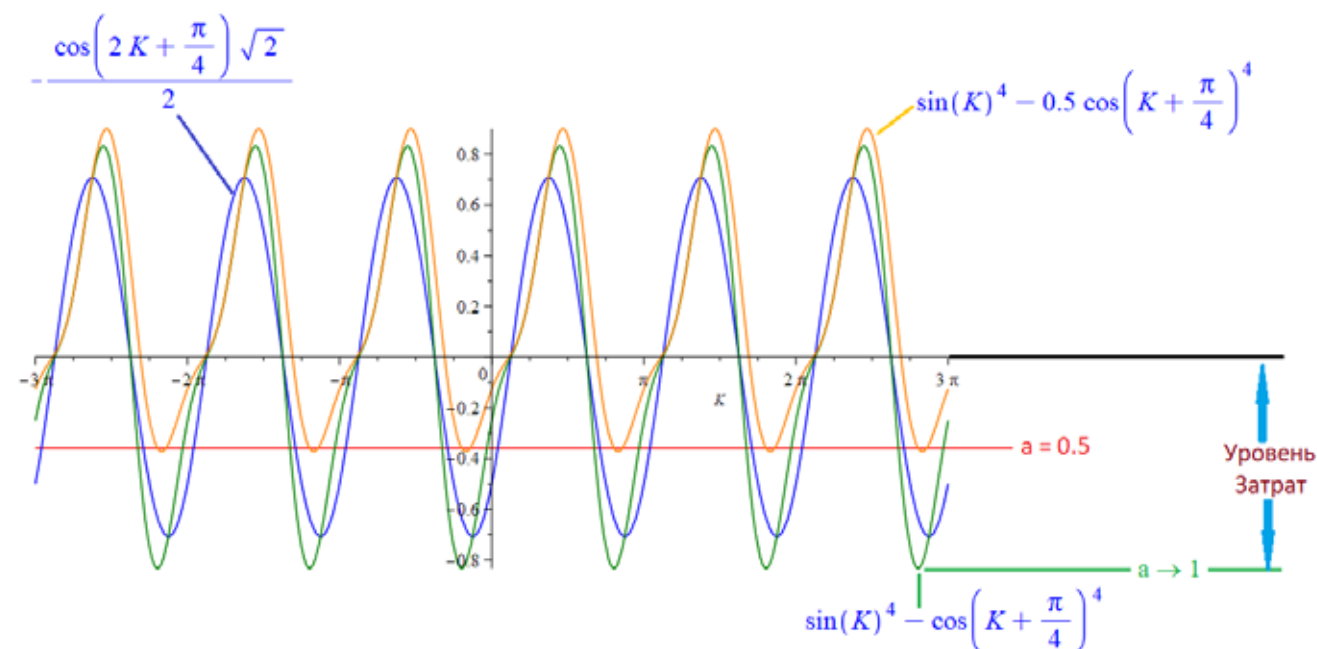


Рисунок 8. Иллюстрация главного периода колебаний правой части (7)

Figure 8. Illustration of the main oscillation period of the right side (7)

3. $a = 0,995$ – «затраты внутри только самой системы на перестройку съедают практически всю прибыль» – отчетливо видны все типы динамики, присущие математическому маятнику [11]:

- овалы колебаний, вместо прогресса идет «хождение по кругу» – всем известный «Застой» в СССР;

- устойчивые сепаратрисы – светло-фиолетовая в области до π и светло-зеленая в области от π до 2π , соответствующие солитонам – «выход на плато и стабилизация на века»;

- неустойчивые численные реализации сепаратрис – красная в области > 0 , зеленая и черная кривая – переходящие в надсепаратрисные траектории с пересечением в седле в точках $K = 0, \sim 3,6$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выше произведен анализ динамики смены социально-экономической формации «СССР – Россия» для изучения особенностей динамики импортозамещения в России, в виде примера – приложения теории катастроф «Код В.И. Арнольда», в рамках точечной (точечность условная – ею м.б. замкнутая трансконтинентальная корпорация) системы, являющейся типовым объектом для большинства задач экономико-математических методов.

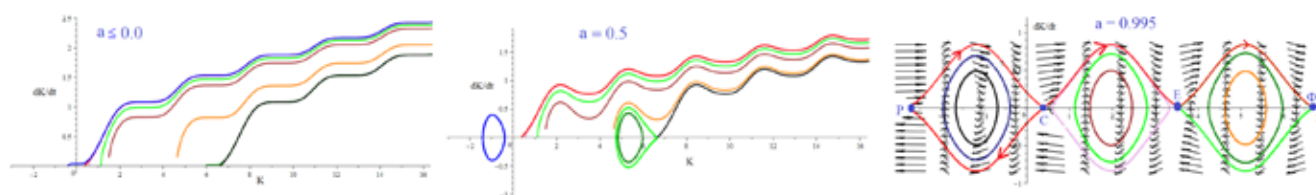


Рисунок 9. Фазовый портрет (4)

Figure 9. Phase portrait (4)

Однако вторая задача – необходимость изменения логистических цепей в современной ситуации вполне закономерна, хотя и невидимым, на первый взгляд, образом приводит к повышению статуса водного транспорта в экономике России, результаты исследований по ряду особенностей повышения эффективности которого, на основе аппарата нелинейной физики, приведены в работах [6; 7; 8; 9]

Для исследования изменения логистических цепей, в связи с принятием политических санкций, необходимо применять аппарат уравнений в частных производных, который, в отличие от транспортной задачи, маскирующей «деревьями лес», посредством весьма эффективного решения задач с конкретно заданным графом путей, позволяет исследовать базовые особенности фрейма изменений логистики. Что вполне закономерно, хотя и невидимым, на первый взгляд, образом, необходимость изменения логистических цепей в современной ситуации приводит к повышению статуса водного транспорта в экономике России.

Далее, для перехода от «даже от условной точки в геометрию более высоких измерений» – «0-й к 1-й и более размерностей», при планетарно-региональной логистике отсутствуют препятствия к тому, чтобы вернуться к аппарату «Бегущих волн», где реализо-

вано объединение времени t и расстояние x в одной переменной $\xi = x - \lambda t$, который был рассмотрен на примере пандемии COVID-19 [8] в плане перехода от «широкой» линии – транспортные пути – к точке размером с Планету, тогда и станут более конкретными контуры изменения логистических цепей.

Однако здесь встает проблема: «В каких единицах измеряется расстояние?». Сущность расстояния в политических аспектах логистики носит, в известной мере, конвекционный характер и расстояние уже измеряется даже не во времени транспортировки и представляет собой вовсе не длину прямой между 2-мя точками на плоскостной проекции Земного Геоида, а определенную сумму денежных единиц. И протяженность пути логистики будет иметь, если не отрицательную, то довольно невысокую корреляцию с формальными географическими показателями.

Еще большую ясность в конвенционный характер расстояния в логистике вносит пример транспортировки товаров в пространстве, где протяженность пути определяется числом межгосударственных таможен и соответствующей суммой пошлин. Shipping agent с уверенностью скажет, что экономичнее будет перевозка по пути в несколько тысяч км водным транспортом и 1-2 таможнях, чем по пути несколько сотен

км сухопутным транспортом и десяти и более таможнях. Пример, перевозка индийского риса в Казахстан водным транспортом через порт Новороссийск.

Таким образом, определением статуса расстояния здесь служит конвенция, но вовсе не дистанция на глобусе. Например, для последующего анализа, показанного на рисунках 9 и 10, расстояние измеряется в «периодах», выраженных в банальных для современности единицах – денежных – K , аналогичных таковым в системе (1).

Особенности перестройки логистики особенно ярко проявляются на рисунке 9.0.995, который отражает известные затраты на перестройку, в сравнении с соседними иллюстрациями, где затраты не столь значительны. Далее, пусть логистика в том или ином направлении идет от точки «С – центр». До периода импортозамещения и изменения логистических цепей вектор логистики был направлен влево – Запад, если смотреть на карту. Реализация импортозамещения и изменения логистических цепей произойдет во всех случаях в виде перемены знака скорости движения – до рассматриваемого периода она была отрицательна – нижняя часть рисунка 9.0.995, и движение влево от точки С к точке Р. Но с наступлением реализации скорость движения будет положительной – верхняя часть и движение уверенно пойдет вправо –

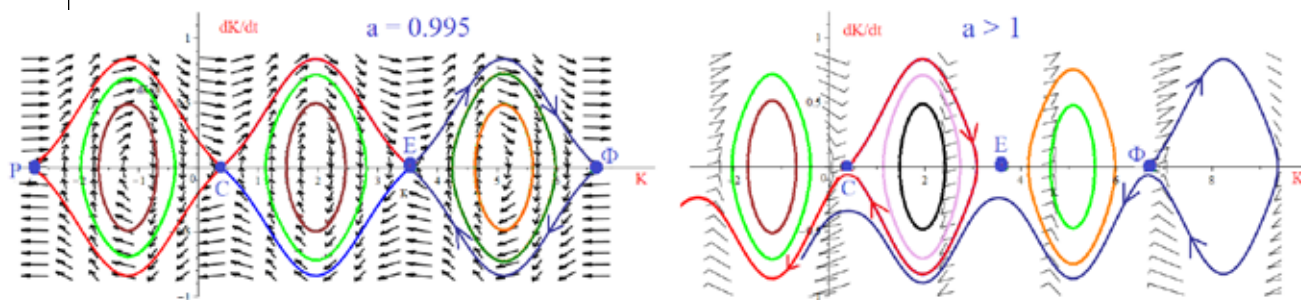


Рисунок 10. Фазовый портрет (4) при нулевой начальной скорости

Figure 10. Phase portrait (4) at zero initial velocity

от точки Р к точке С и далее, в соответствии с периодами от точки С к точке Е и от точки Е к точке Ф и т.д.

Однако, если начинать движение от точки С к точке Е вправо с нулевой начальной скоростью, то, в отличие от случая, рассмотренного выше (рис. 9, $a = 0.995$) получим уже движение по сепаратрисе – «Солитон» [8], а не в надсепаратрисной области – «Спутник на орбите» (рис. 10). В случае «Солитона» и динамика пути будет описываться логистической кривой и иметь всего одну «ступеньку» – один подъем на рисунке 7. $a \leq 0$, в отличие от рисунка 4 или рисунка 6, где отражен случай «Спутник на орбите» и бесконечная череда «ступенек». Что означает логистику на довольно близком, в смысле вышеизложенных замечаний к расстоянию, удалении в пределах 1 периода. На практике удаленность в пределах 1 периода, при нулевой начальной скорости, отражает случай: кто предложил участие в логистике, туда и пойдет транспортировка за счет покупателя.

Еще более интересен случай, когда в (4) параметр $a > 1$ – заведомый убыток логистики, подобие множества таможен. Тогда все сепаратрисы теряют устойчивость и все варианты К, соответствующие им, уходят влево в отрицательную область (рис. 10. $a > 1$).

Точки С, У, Ф представляют собой «седловые» точки, в которых переходит движение либо на следующий период – от точки С к точке Е, либо от положительной скорости к отрицательной – это видно в виде «петли» после точки Ф, на рисунке 10. $a > 1$ и отсутствующей на рисунке 10. $a = 0.995$. Эти точки являются аналогами феномена «Бабочка Брэдли», когда незначительное отклонение от траектории приводит к радикальным последствиям.

Кроме того, здесь надо отдавать себе отчет в ограниченности даже Планеты и, тем самым, в отсутствии «Счетной Бесконечности», изменений логистических дистанций, в сравнении со случаем изобретений (рис. 4). Поэтому применительно именно к логистической составляющей прогресса для характеристики числа периодов, в качестве потенциала V (б) будут использоваться его струи некоторой конечной размерности, представляющие собой потенциалы или их аналоги следующих катастроф, с весьма ограниченным числом максимумов, не превышающим 4-6: Сборки – 2 максимума; Бабочки – Омоним феномена «Бабочка Брэдли» – 3 максимума; и т.д.

ЛИТЕРАТУРА И ИСТОЧНИКИ:

1. Арнольд В.И. Математические методы классической механики. – М.: Наука, 1974. – 356 с.

1. Arnold V.I. Mathematical methods of classical mechanics. – M.: Nauka, 1974. – 356 p.
2. Арнольд В. И. Теория катастроф // Наука и жизнь. – 1989. – № 10. – С. 12-20
2. Arnold V. I. Theory of catastrophes // Science and life. – 1989. – No. 10. – Pp. 12-20
3. Арнольд В. И. Теория катастроф. 3-е изд., доп. – М.: Наука, 1990. – 128 с.
3. Arnold V. I. Theory of catastrophes. 3rd ed., supplement – M.: Nauka, 1990. – 128 p.
4. Арнольд В. И. Что такое математика? – М.: МЦНМО, 2002. – 104 с.
4. Arnold V. I. What is mathematics? – M.: ICNMO, 2002. – 104 p.
5. Бреккер Т. Дифференцируемые ростки и катастрофы / Т. Бреккер, Л. Ландер – М.: Мир, 1977. – 244 с
5. Breker T. Differentiable sprouts and catastrophes / T. Breker, L. Lander – M.: Mir, 1977. – 244 p.
6. Гайденок Н.Д. Определение коэффициента сопротивления тралов гидравлично - математическим методом // Рыбное хозяйство. – 2021а. – № 2. – С 70-76. DOI 10.37663/0131-6184-2021-2-90-98
6. Gaidenok N.D. Determination of the drag coefficient of trawls by the hydraulic - mathematical method // Fisheries. – 2021a. – No. 2. – From 70-76. DOI 10.37663/0131-6184-2021-2-90-98
7. Гайденок Н.Д. Об использовании геометрии и механических особенностей в алгоритме расчета упора гребных винтов корабельных двигателей // Рыбное хозяйство. – 2021б. – № 4. – С 70-76.
7. Gaidenok N.D. On the use of geometry and mechanical features in the algorithm for calculating the propellers of ship propellers // Fisheries. – 2021b. – No. 4. – Pp. 70-76.
8. Гайденок Н.Д. Нелинейная физика в практике флота – рекуперация энергии при остановке. Часть 2. // Рыбное хозяйство. – 2022а. – № 2. – С. 70-76.
8. Gaidenok N.D. Nonlinear physics in fleet practice – energy recovery at a standstill. Part 2. // Fisheries. – 2022a. – No. 2. – Pp. 70-76.
9. Гайденок Н.Д. Нелинейная физика в практике флота – рекуперация энергии при остановке. Часть 3. // Рыбное хозяйство. – 2022б. – № 3. – С 106-110.
9. Gaidenok N.D. Nonlinear physics in fleet practice – energy recovery at a standstill. Part 3. // Fisheries. – 2022b. – No. 3. – Pp. 106-110.
10. Гумилев Л.Н. Этногенез и биосфера Земли – М.: Наука, 1977. – 540 с.
10. Gumilev L.N. Ethnogenesis and the biosphere of the Earth – M.: Nauka, 1977. – 540 p.
11. Заславский Г.М. Введение в нелинейную физику: от маятника до турбулентности и хаоса / Г.М. Заславский, Сагдеев – М.: Наука, 1988 – 308 с.
11. Zaslavsky G.M. Introduction to nonlinear physics: from the pendulum to turbulence and chaos / G.M. Zaslavsky, Sagdeev. – M.: Nauka, 1988 – 308 p.
12. Иванюков Ю.П. Математические модели в экономике / Ю.П. Иванюков, А.В. Лотов – М.: Наука, 1979 – 304 с.
12. Ivanilov Yu.P. Mathematical models in economics / Yu.P. Ivanilov, A.V. Lotov – M.: Nauka, 1979 – 304 p.
13. Постон Г., Стюарт И. Теория катастроф и ее приложения // перс. с англ. / Г. Постон, И. Стюарт – М.: Мир, 1980 – 608 с.
13. Poston G., Stewart I. The theory of catastrophes and its applications // Persian from English / G. Poston, I. Stewart – M.: Mir, 1980 – 608 p.
14. Эбелинг В., Энгель А., Файстель Р. Физика процессов эволюции // пер. с нем. / В. Эбелинг, А. Энгель, Р. Файстель – М.: Эдиториал УРСС, 2001. – 328 с.
14. Ebeling V., Engel A., Feistel R. Physics of evolution processes // trans. from German / V. Ebeling, A. Engel, R. Feistel – M.: Editorial URSS, 2001. – 328 p.
15. Wilson H. R., Cowan J. D. Excitatory and inhibitory interactions in localized populations of model neurons. – Biophysical J., 1972. – 12. – p. 1.

Политико-правовые вызовы международного управления рыболовством в контексте устойчивого развития

DOI 10.37663/0131-6184-2022-4-29-34

Доктор юридических наук, профессор **Д.К. Бекашев** – Московский государственный институт международных отношений (университет) Министерства иностранных дел Российской Федерации (МГИМО МИД России)

@dambek@yandex.ru

Ключевые слова:

международное управление рыболовством, международное право, устойчивое развитие, устойчивое использование морских живых ресурсов, Цели устойчивого развития, вызовы, ФАО, ООН, Комитет по рыболовству ФАО

Keywords:

international fisheries management, international law, sustainable development, sustainable use of marine living resources, Sustainable Development Goals, challenges; FAO, UN, FAO Committee on fisheries

POLITICAL AND LEGAL CHALLENGES OF INTERNATIONAL FISHERIES MANAGEMENT IN THE CONTEXT OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT

Doctor of Juridical Sciences, Professor **D.K. Bekyashev** – Moscow State Institute of International Relations (MGIMO MFA Russia)

The current political and legal challenges of fisheries management at the present stage, taking into account the Sustainable Development Goals adopted by the UN in 2015 are considered in the article. Steps to improve the international legal management of fisheries, taken as part of the implementation of the goals set in Goal 14 "Conserve and sustainably use the oceans, seas and marine resources for sustainable development", were noted. Also considered are other political and legal problems of fisheries, which were identified within the framework of international organizations, closely related to the concept of sustainable development.

В настоящее время ООН, ФАО и региональными организациями по управлению рыболовством (РФМО) устойчивое использование морских живых ресурсов признается в качестве одного из основополагающих принципов при управлении рыболовством. Он нашел свое закрепление в международных договорах универсального, регионального, двустороннего характера, а также – в международных рекомендательных актах [1].

Включение принципа устойчивого использования морских живых ресурсов в международные договоры подразумевает четкие и конкретные международные обязательства госу-

дарств при управлении рыболовством. Его нормативное содержание заключается в том, что государства, при управлении рыболовством, должны принимать такие меры, которые обеспечивают долгосрочную устойчивость морских живых ресурсов, предотвращают или устраняют их чрезмерную эксплуатацию и истощение, сохраняют способность удовлетворять потребности в них нынешнего и будущих поколений [2].

На 70-й сессии Генеральной Ассамблеи ООН 25 сентября 2015 г. была принята Резолюция «Преобразование нашего мира: Повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030

года», которая включает в себя 17 целей, 169 целевых задач и 230 показателей.

Один из центральных разделов – Цель 14 «Сохранение и рациональное использование океанов, морей и морских ресурсов в интересах устойчивого развития» (ЦУР-14). Он состоит из 10 задач, которые считаются проблемными до 2030 года. В части устойчивого рыболовства ключевое значение имеют меры, касающиеся предотвращения ННН рыбного промысла. В частности, поставлена задача обеспечить эффективное регулирование добычи и положить конец перелову, ННН-промыслу и губительной рыбопромысловой практике, а также выполнить научно-обоснованные планы хозяйственной деятельности, для того чтобы восстановить рыбные запасы в возможно кратчайшие сроки, доведя их, по крайней мере, до таких уровней, которые способны обеспечивать максимальный экологически рациональный улов, с учетом биологических характеристик этих запасов.

Относительно предотвращения ННН рыбного промысла, как одной из задач ЦУР-14, отметим, что на последней 34-й сессии Комитета по рыболовству ФАО, состоявшейся в феврале 2021 г., все делегации поддержали инициативу по разработке добровольных руководящих принципов по регулированию, мониторингу и контролю перегрузки улова, как важного средства борьбы с ННН-промыслом, прежде всего, в открытом море.

Реагируя на это, Отдел рыболовства и аквакультуры ФАО созвал Техническое консультативное совещание по Добровольным руководящим принципам перегрузки, проходившее с 30 мая по 03 июня 2022 г. в гибридном формате (автор статьи был членом делегации Российской Федерации). В рамках этого мероприятия состоялось обсуждение проекта данного документа. Цели его разработки – создание новых или пересмотр действующих правил перегрузки и их интеграции в общую международно-правовую базу, а также обеспечение соблюдения действующих правил с помощью минимальных стандартов эффективного мониторинга, контроля и наблюдения. При этом проект документа предусматривает контроль со стороны государства за перегрузкой своих судов как в открытом море, так в исключительной экономической зоне, поскольку, по мнению большинства участников, он должен иметь максимально большой охват.

Разработка нового международно-правового документа необязательного характера была осуществлена ФАО с учетом всех имеющихся механизмов международного права, а также исходя из того, что основную ответственность за применение правил перегрузки несет государство флага.

Важно отметить, что проект Добровольных руководящих принципов расценивается государствами-членами ФАО как важное дополнение к иным международным документам по борьбе с ННН-промыслом, в частности к Соглашению ФАО о мерах государства порта 2009 г., а также Кодексу ведения ответственного рыболовства ФАО 1995 года.

Разработанный проект Добровольных руководящих принципов перегрузки будет представлен на 35-ю сессию Комитета по рыболовству ФАО

В статье рассмотрены актуальные политико-правовые вызовы управления рыболовством на современном этапе, с учетом принятых ООН в 2015 году Целей устойчивого развития. Отмечены шаги по совершенствованию международно-правового управления рыболовством, принятые в рамках реализации, поставленных в Цели 14 «Сохранение и рациональное использование океанов, морей и морских ресурсов в интересах устойчивого развития», задач. Также рассмотрены иные политико-правовые проблемы рыболовства, которые были обозначены в рамках международных организаций, тесно связанные с концепцией устойчивого развития.

(05-09 сентября 2022 г.) для одобрения. Как представляется, завершение работы по разработке этого документа следует считать важным шагом в предупреждении, сдерживании и ликвидации ННН-промысла. На основании этого документа, несмотря на его добровольность, целесообразно рассмотреть вопрос о необходимости разработки российских национальных нормативно-правовых актов по усилению мер, связанных с контролем за перегрузкой рыбы.

Безусловно, важное значение имеет также задача 14.6 ЦУР-14, которая призывает запретить некоторые формы субсидий для рыбного промысла, содействующие созданию чрезмерных мощностей и перелову, отменить субсидии, содействующие ННН рыбному промыслу, и воздерживаться от введения новых таких субсидий, признавая, что надлежащее и эффективное применение особого и дифференцированного режима, в отношении развивающихся и наименее развитых стран, должно быть неотъемлемой частью переговоров по вопросу о субсидировании рыбного промысла, которые ведутся в рамках Всемирной торговой организации (ВТО).

Отметим, что указанные переговоры в рамках ВТО завершились принятием 17 июня 2022 г. на Министерской конференции Соглашения о рыболовных субсидиях. Проект этого Соглашения разрабатывался в ВТО с 2005 г., когда была учреждена соответствующая переговорная группа. С начала переговоров проблемы устойчивого использования запасов были первостепенными, учитывая, что существующие правила субсидирования ВТО уже направлены на устранение потенциальных искажений в торговле, которые могут возникнуть в результате субсидирования. Особая активность переговоров происходила в период 2005-2011 гг., однако в 2016 г. они были приостановлены вплоть до утверждения, принятой в 2015 г., Повестки дня ООН в области устойчивого развития на период до 2030 года.

В целом принятое Соглашение ВТО о рыболовных субсидиях устанавливает правила, запрещающие именно те субсидии, которые угрожают устойчивости рыболовства: содействующие ННН рыбному промыслу, созданию чрезмерных мощностей и перелову. Применение этих правил должно обеспечить устойчивое использование и сохранение морских живых ресурсов.

Российская Федерация в переговорном процессе ВТО о рыболовных субсидиях неоднократно заявляла, что Россия нацелена на обеспечение устойчивости рыбных запасов и развитие рыбопромышленного комплекса в целом [3]. В связи с этим наша страна выступает с критикой подхода к теме субсидий, которые приводили бы к полной и безусловной отмене всех субсидий в отрасли. Применяемые в РФ меры по сохранению и управлению промыслом позволяют поддерживать рыбные запасы на устойчивом уровне и, как следствие, нивелировать возможный негативный эффект от предоставления субсидий.

Следует отметить, что субсидирование рыболовства в Российской Федерации осуществляется и имеет свое нормативное правовое закрепление. В частности, 26 июня 2021 г. было принято постановление Правительства РФ № 1023 «Об утверждении Правил предоставления субсидий из федерального бюджета организациям рыбохозяйственного комплекса, осуществляющим добычу (вылов) водных биологических ресурсов в удаленных районах промысла, в целях возмещения части прямых понесенных затрат на приобретение судового топлива». Согласно документу, субсидия предоставляется организации рыбохозяйственного комплекса в целях компенсации части прямых понесенных затрат на приобретение судового топлива, при осуществлении добычи (вылова) водных биологических ресурсов в удаленных районах промысла. При этом предусмотрены довольно жесткие требования к заявителям. Кроме того, в Российской Федерации предоставляются субсидии из федерального бюджета бюджетам субъектов страны в целях софинансирования расходных обязательств субъектов, связанных с возмещением части затрат на уплату процентов по кредитам, полученным в российских кредитных организациях на развитие аквакультуры (рыбоводство) и товарного осетроводства, в соответствии с Приложением № 6 к государственной программе «Развитие рыбохозяйственного комплекса», утвержденной постановлением Правительства Российской Федерации от 15 апреля 2014 г. № 314.

Однако чрезвычайно важно подчеркнуть, что указанные субсидии никоим образом не направлены и не ведут к продвижению ННН рыбного промысла, содействию созданию чрезмерных мощностей и перелову морских живых ресурсов. Они предоставляются исключительно для развития рыбохозяйственного комплекса Российской Федерации. Также важно отметить, что наша страна не осуществляет субсидирования рыболовства в иностранных государствах.

Одним из последних документов универсального характера по вопросам устойчивого использования морскими живыми ресурсами является, принятая в феврале 2021 г. на 34-й сессии Комитета по рыболовству ФАО, Декларация об устойчивом рыболовстве и аквакультуре, приуроченная к 25-летию Кодекса ведения ответственного рыболовства. Декларация соответствует современным усилиям государств по совершенствованию управления рыболовством, в нем отражены

основные современные проблемы рыболовства и представлены шаги по их устранению.

В документе подчеркивается приверженность делу укрепления режимов сохранения и управления региональных консультативных органов по вопросам рыболовства и региональных организаций по управлению рыболовством и повышению их эффективности в целях совершенствования управления рыболовством и более эффективного сохранения и восстановления морских экосистем и биоразнообразия. Важно, что в проекте отмечена ведущая роль Комитета по рыболовству ФАО в этих процессах, как единственного международного форума для обсуждений и принятия решений вопросов, связанных с рыболовством и аквакультурой.

Важно подчеркнуть, что Российская Федерация всегда выражала всестороннюю поддержку деятельности таких региональных органов и организаций, отмечая их важную роль в вопросах сохранения и рационального пользования морскими живыми ресурсами. В настоящее время управление рыболовством, посредством действующих региональных организаций и органов, эффективно справляется с поставленными задачами. Позиция РФ, озвученная неоднократно на глобальном, региональном и двустороннем уровнях, заключается в необходимости сохранения действующей системы региональных организаций и органов по управлению рыболовством и в планомерном ее развитии и укреплении.

Декларация об устойчивом рыболовстве и аквакультуре 2021 г. не имеет юридически обязательного характера для государств и является в большей мере программным, политическим документом. Тем не менее, она может оказать несомненное влияние не только на последующее международно-правовое регулирование рыболовства, но и на национальные нормативные правовые акты и рыболовную политику.

Примечательно, что на 34-й сессии Комитета по рыболовству ФАО подавляющее большинство делегаций государств отметили важнейшее значение ФАО и РФМО в управлении рыболовством. Было отмечено, что РФМО играют ключевую роль в поддержке и укреплении рыбохозяйственной науки, мониторинге, контроле и надзоре как на национальном, так и на региональном уровнях.

Как справедливо отмечает ФАО, эффективное и устойчивое управление морскими ресурсами на основе принципов, изложенных в ЦУР-14, внесет вклад в обеспечение продовольственной безопасности и питания для всего населения планеты [4]. В Российской Федерации нет программного документа о порядке реализации ЦУР и, в том числе, ЦУР-14. Однако многие российские нормативные правовые акты соответствуют ЦУР и будут способствовать их реализации на практике.

Вот уже многие годы наиболее острые международные политико-правовые проблемы управления рыболовством поднимаются и обсуждаются на сессиях Комитета по рыболовству ФАО.

Этот орган является главным международным глобальным форумом по управлению рыболовством. Решения Комитета могут быть начальным

этапом будущего нормотворчества в области международного морского рыболовного права, кроме того, он и сам обладает нормотворческой компетенцией, поскольку вправе разрабатывать и представлять государствам международные многосторонние договоры и иные акты [5].

Участники последней на данный момент 34-й сессии Комитета по рыболовству ФАО, состоявшейся в феврале 2021 г. (автор статьи был членом делегации Российской Федерации), выразили озабоченность рядом существующих проблем в рыболовстве, в частности, негативными последствиями для отрасли рыболовства и аквакультуры, вызванными пандемией COVID-19, продолжающимся ННН-промыслом, снижением запасов морских живых ресурсов, различными ограничительными барьерами при торговле рыбой и рыбопродукцией, отсутствием РФМО в некоторых регионах и другими.

Всеми государствами вновь была подчеркнута ключевая роль региональных организаций по управлению рыболовством (РФМО) и региональных консультативных органов по вопросам рыболовства в борьбе с ННН-промыслом. Комитет выразил признательность за предпринятые действия по расширению мер по сохранению и управлению рыболовством и призвал РФМО активизировать сотрудничество в целях дальнейшего укрепления таких мер.

На 34-й сессии Комитета по рыболовству ФАО многие делегации отметили важность, созданного в ФАО, Глобального реестра рыбопромысловых судов, рефрижераторных транспортных судов и судов снабжения в деле борьбы с ННН-промыслом. В то же время остро стоит проблема недостаточного обновления данных в нем, в связи с чем государства призывают активнее участвовать в этом процессе.

Напомним, что данный Глобальный реестр рассматривается ФАО как всеобщее хранилище данных и сопутствующей информации, предназначенных идентифицировать суда, имеющие право осуществлять рыбный промысел или производить вспомогательные операции. Существенным элементом Глобального реестра является предписание иметь идентификатор (UVI) для каждого судна. Он является неизменным, если даже суда меняют свои флаги или судовладельца. По мнению ФАО, Глобальный реестр судов значительно уменьшает риск ведения ННН-промысла [6].

34-я сессия Комитета по рыболовству ФАО также подтвердила исключительную важность обмена информацией для борьбы с ННН-промыслом и приветствовала продолжение работы ФАО по созданию Глобальной системы обмена информацией (ГСОИ) в рамках Соглашения о мерах государства-порта по предупреждению, сдерживанию и ликвидации ННН-промысла 2009 года.

На 34-й сессии КОФИ некоторые государства отмечали важность, проходящего в настоящее время в рамках ООН, процесса по разработке юридически обязательного документа по сохранению биоразнообразия в районах за пределами национальной юрисдикции.

Важно отметить, что этот процесс посвящен сохранению биоразнообразия, а не управлению ры-

боловством (это ключевой момент). Очевидно, что необходимо исходить из того, что новое соглашение должно полностью соответствовать Конвенции ООН по морскому праву 1982 года. Как представляется, ФАО следует активно продвигать позицию о том, что этот документ не должен подрывать статус и деятельность существующих региональных организаций по управлению рыболовством.

Помимо этого, на 34-й сессии КОФИ большинство государств высказались за необходимость действий, направленных на сохранение морского биоразнообразия. Основным средством достижения этого, по мнению выступавших, являются морские охраняемые районы (МОР).

Как известно, МОР могут создавать во всех акваториях Мирового океана: в районах действия национальной юрисдикции (в территориальном море, исключительной экономической зоне) и за пределами национальной юрисдикции (в открытом море).

В районах действия национальной юрисдикции МОР создаются по решению прибрежного государства. В открытом море – по решению международных организаций.

В настоящее время наиболее сложным и проблемным вопросом является создание МОР в открытом море. Думается, что в данном морском пространстве они могут быть учреждены лишь в исключительных случаях и только на основе достоверных научных данных и с учетом мнения соответствующей региональной организации по управлению рыболовством.

Как представляется, первоочередными международно-правовыми задачами в контексте установления МОР является разработка правового определения МОР в согласовании с такими заинтересованными в деятельности международными организациями, как ООН, ФАО, ИМО, РФМО. Особое внимание при согласовании этих вопросов следует обратить на режим свободы мореплавания и проведения ресурсных, океанографических, геофизических и гидрографических исследований на акваториях МОР, а также деятельности экспедиционных судов. Кроме того, существенным фактором для решения вопроса о создании МОР должно быть полное и всеобъемлющее научное обоснование необходимости такого шага со стороны РФМО [7].

Отметим, что МОР из регионального уровня переросли в глобальный. На конференции ООН по разработке соглашения о сохранении морского биоразнообразия в районах за пределами национальной юрисдикции ЕС, США и ряд других стран выступали с предложением включить в соглашение норму о том, что открытое море в целом или его районы могут быть объявлены МОР. Причем без согласования с РФМО. Эта концепция серьезно ущемит рыбохозяйственные интересы России.

В связи с этим, хотелось бы привести слова делегации Японии на 34-й сессии КОФИ, которая справедливо заявила, что при решении вопроса об учреждении МОР необходимо учитывать также и интересы рыбаков, поскольку в таком случае они лишаются работы и средств к существованию.

В связи с этим, по мнению официальных представителей этой страны, для создания МОР должны быть веские основания.

Весьма актуальной для управления рыболовством видится высказанная на 34-й сессии Комитета по рыболовству ФАО, просьба Саудовской Аравии, Египта и Судана о поддержке и помощи в создании организации по рыболовству и аквакультуре в Красном море и Аденском заливе. Эта акватория является одной из не покрытых сетью РФМО в Мировом океане, и обладает уникальной экосистемой. Переговорный процесс по созданию такой организации продолжается уже длительное время. В 2009 г. ФАО создала Целевую группу для продвижения этого вопроса, с привлечением Регионального бюро ФАО по Ближнему Востоку и Северной Африке и при сотрудничестве с Региональной организацией по охране окружающей среды Красного моря и Аденского залива (ПЕРСГА). Был проведен целый ряд региональных совещаний и иных мероприятий. В июне 2014 г. на региональном консультативном совещании в г. Каире (Египет) был согласован план предполагаемого регионального соглашения об управлении рыболовством в Красном море и Аденском заливе. Для реализации достигнутых договоренностей, ФАО совместно с созданной координационной группой (куда вошли Египет, Саудовская Аравия, Судан и ПЕРСГА) должны были разработать и представить проект соответствующего соглашения. Однако до сих пор такой международный договор не принят.

Еще одна, внезапно возникшая, проблема в рыболовной отрасли – это потеря рабочих мест и ухудшение условий труда рыбаков. Прежде всего, она приобрела остроту в связи с пандемией COVID-19. Эта проблема также пересекается с ЦУР, где Цель 8 определяет содействие достойному труду в качестве одной из главных движущих сил инклюзивного роста. Задачами этой Цели являются: содействие созданию достойных рабочих мест, обеспечение полной и производительной занятости и достойной работы для всех женщин и мужчин, защита трудовых прав и содействие обеспечению надежных и безопасных условий труда для всех работников.

Как отмечает Международная организация труда (МОТ), пандемия COVID-19 привела к резкому сокращению доходов и средств к существованию людей, занятых в рыболовном секторе. Кроме того, этот вирус также усугубил нестабильность в рыболовной отрасли, где теснота на борту судов, отсутствие средств индивидуальной защиты и ограниченный доступ к медицинской помощи повышают риск для рыбаков. Было выявлено, что работодатели не уделяют первостепенного внимания защите здоровья и безопасности работников, тогда как альтернативные решения по сокращению численности экипажа увеличивают переутомление на судах, усугубляя опасную ситуацию. По мнению МОТ, для решения этих проблем необходимы постоянные усилия по продвижению международных трудовых норм и инклюзивной государственной политики для устранения основных пробелов в защите работников [8].

Нет сомнений, что, говоря о продвижении международных трудовых норм, МОТ имеет в виду, принятую в 2007 г., Конвенцию №188 о труде в рыболовном секторе, которая устанавливает жесткие требования по обеспечению достойных условий труда для рыбаков на рыболовных судах и защите трудовых прав этой категории работников. Она вступила в силу 16 ноября 2017 г. и на данный момент ее ратифицировали всего 20 государств (Россия не является участницей). Такое ограниченное число участников всерьез беспокоит данную Организацию, поскольку по замыслу разработчиков Конвенции, она должна охватывать как можно большее количество стран и регионов. Для сравнения, принятая в 2006 г. Конвенция МОТ о труде в морском судоходстве, которая имеет схожие цели и задачи применительно к морякам, на данный момент ратифицирована 101 государ-



ством (в том числе Российской Федерацией). Она успешно и эффективно применяется (о чем было неоднократно заявлено, в частности, на сессиях Юридического комитета ИМО), кроме того, в нее уже были внесены изменения, направленные на прогрессивное развитие международно-правового регулирования труда моряков. Следует отметить, что рыболовный сектор официально обозначен МОТ как одна из опасных сфер деятельности, что необходимо отразить в положениях о безопасности и гигиене труда. Многие говорят также о том, что в этом секторе отмечается значительный дефицит достойного труда, как на мелких, так и на более крупных судах [9].

Завершая рассмотрение актуальных политических вызовов международного управления рыболовством в контексте устойчивого развития, следует подчеркнуть, что в данной статье были обозначены ключевые, на взгляд автора, проблемы. Они были выявлены в ходе его участия в мероприятиях, проводимых универсальными и региональными международными организациями по управлению рыболовством, а также – в результате изучения их официальных документов и



иных материалов. Обозначенные вызовы безусловно представляют объекты для дальнейшего совершенствования международно-правовой базы, направленной на регулирование рыболовства. Кроме того, они могут служить основой для формирования национальной политики в области рыболовства.

Так или иначе, устойчивое использование морских живых ресурсов – это одна из основ современного управления рыболовством. Как было сказано выше, нормативное содержание этого принципа заключается в том, что государства, при управлении рыболовством, должны принимать такие меры, которые обеспечивают долгосрочную устойчивость морских живых ресурсов, предотвращают или устраняют их чрезмерную эксплуатацию и истощение, сохраняют способность удовлетворять потребности в них нынешнего и будущих поколений. Настоящий анализ показал, что, с точки зрения международного нормотворчества, многие из поставленных в ЦУР-14 задач уже выполнены или должны быть выполнены в ближайшей перспективе. Теперь важно их эффективно реализовать на практике, прежде всего, на национальном уровне.

ЛИТЕРАТУРА И ИСТОЧНИКИ

1. Бекашев К.А. Международно-правовые вопросы Целей устойчивого развития по сохранению морских экосистем в контексте рыболовства (ЦУР-14) / К.А. Бекашев, Д.К. Бекашев // Рыбное хозяйство – 2020. – №5. – С. 51-57. DOI 10.37663/0131-6184-2020-5-51-57.
1. Bekyashev K.A. International legal issues of the Sustainable Development Goals for the conservation of marine ecosystems in the context of fisheries (SDG-14) / K.A. Bekyashev, D.K. Bekyashev // Fisheries – 2020. – No. 5. – Pp. 51-57. DOI 10.37663/0131-6184-2020-5-51-57.
2. Бекашев Д.К. Международно-правовые проблемы управления рыболовством: монография. – Москва: Проспект, 2017. – 512 с.
2. Bekyashev D.K. International legal problems of fisheries management: monograph. – Moscow: Prospekt, 2017. – 512 p.
3. Минэкономразвития выступило в ВТО за прагматичный подход к переговорам по рыболовным субсидиям – URL: https://www.economy.gov.ru/material/news/minekonomrazvitiya_vystupilo_v_vto_zh_pragmatichnyy_podhod_k_peregovoram_po_rybolovnym_subsidyam.html (дата обращения 04.07.2022).
3. The Ministry of Economic Development advocated a pragmatic approach to negotiations on fishing subsidies in the WTO – URL: https://www.economy.gov.ru/material/news/minekonomrazvitiya_vystupilo_v_vto_zh_pragmatichnyy_podhod_k_peregovoram_po_rybolovnym_subsidyam.html (accessed 04.07.2022).
4. Деятельность ФАО по достижению ЦУР 14 – URL: <https://www.fao.org/3/i7298r/i7298r.pdf> (дата обращения 25.06.2022).
4. FAO activities to achieve SDG 14 – URL: <https://www.fao.org/3/i7298r/i7298r.pdf> (accessed 25.06.2022).
5. Бекашев К.А. Актуальные проблемы правового статуса и деятельности Комитета по рыболовству ФАО / К.А. Бекашев, Д.К. Бекашев // Рыбное хозяйство – 2021. – №3. – С. 41-46. DOI 10.37663/0131-6184-2021-3-41-46.
5. Bekyashev K.A. Actual problems of the legal status and activities of the FAO Committee on Fisheries / K.A. Bekyashev, D.K. Bekyashev // Fisheries – 2021. – No. 3. – Pp. 41-46. DOI 10.37663/0131-6184-2021-3-41-46.
6. Бекашев К.А. О Глобальном реестре рыбопромысловых судов / К.А. Бекашев, Д.К. Бекашев // Рыбное хозяйство – 2014 – № 1. С. 32-38.
6. Bekyashev K.A. On the Global Register of Fishing Vessels / K.A. Bekyashev, D.K. Bekyashev // Fisheries – 2014 – No. 1. – Pp. 32-38.
7. Бекашев К.А. Международно-правовые проблемы установления морских охраняемых районов / К.А. Бекашев, Д.К. Бекашев // Lex Russica – 2016. – № 2 (111). – С. 62-80.
7. Bekyashev K.A. International legal problems of establishing marine protected areas / K.A. Bekyashev, D.K. Bekyashev // Lex Russica – 2016. – No. 2 (111). – Pp. 62-80.
8. Out of sight, out of mind' attitude hampering COVID recovery for fishers and seafood processors in South-East Asia – URL: https://www.ilo.org/asia/media-centre/news/WCMS_842577/lang-en/index.htm (accessed 06.07.2022).
9. Бекашев Д.К. Конвенция МОТ о труде в рыболовном секторе. Постатейный комментарий. Москва, 2008. – 188 с.
9. Bekyashev D.K. ILO Convention on Labor in the Fishing Sector. Article-by-article commentary. Moscow, 2008. – 188 p.

Равношипый краб *Lithodes aequispinus* северной части Охотского моря: история изучения и особенности промысла

DOI 10.37663/0131-6184-2022-4-35-39

Фотографии к статье: Е.А. Метелёв

Кандидат биологических наук

Е.А. Метелёв –

руководитель филиала;

В.Г. Григоров – заведующий лабораторией промысловых беспозвоночных –

Магаданский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («МагаданНИРО»)

доктор биологических наук,

доцент **А.А. Смирнов** –

главный научный сотрудник отдела морских рыб Дальнего

Востока, Всероссийского

научно-исследовательского

института рыбного хозяйства и океанографии» (ФГБНУ «ВНИРО»);

профессор Северо-Восточного

государственного университета (СВГУ)

@ evgeniy_metelyov@mail.ru;

lrb@magadanniro.ru;

andrsmir@mail.ru

Ключевые слова:

Охотское море, Северо-Охотоморская подзона, равношипый краб, промысел, вылов, освоение

Keywords:

Sea of Okhotsk, north Okhotsk Sea subzone of the Sea of Okhotsk, golden king crab, fishing, catching, development

GOLDEN KING CRAB *LITHODES AEQUISPINUS* OF THE NORTHERN PART OF THE SEA OF OKHOTSK: HISTORY OF THE STUDY AND FEATURES OF THE FISHING

Candidate of Biological Sciences **E.A. Metelev** – Head of Branch;

V.G. Grigorov – Head of the Laboratory of Commercial Invertebrates – Magadan Branch of VNIRO (MagadanNIRO)

Doctor of Biological Sciences, Associate Professor **A.A. Smirnov** – Chief Researcher of the Department of Marine Fishes of the Far East, All-Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography (VNIRO); Professor of Northeastern State University (SVSU)

The history of the study and fishing of the golden king crab, which lives in the northern part of the Sea of Okhotsk, is considered. Based on the materials collected in 2000-2020, the course of fishing and catching of this object is analyzed. It is shown that the prospects for the industrial development of this valuable object in the coming years do not cause concerns, although some reduction in the reserve is possible.

Продукция из крабов имеет деликатесный вкус, значительную пищевую ценность и, как следствие, высокие рыночные цены [1]. В связи с этим крабы – это важные объекты промыслового рыболовства [2; 3].

Одним из самых массовых крабов-литодид, обитающих в морях Дальнего Востока, является равношипый краб *Lithodes aequispinus* (Benedict, 1895). Этот вид встречается в Охотском и Беринговом морях, и в широтном направлении: от центральной Японии до Британской Колумбии (Канада) [4; 5; 6].

В северной части Охотского моря обитает самая многочисленная группировка равношипного краба, которая эксплуатируется промыслом уже более 50 лет. В Северо-Охотоморской рыбопромысловой подзоне (далее – СОМ) по объёмам вылова этот вид занимает второе место после краба-стригуна опилио [7; 8].

Равношипый краб обитает на материковом склоне, на глубинах от 120 до 990 м [1; 6].

Самки созревают и становятся плодовитыми при достижении размера по ширине кара-

пакса от 76-79 мм, в основном – от 99 мм, самцы – при ширине карапакса в 124,7 мм [6; 9].

Количество линек постепенно уменьшается с 11-12 раз на первом году жизни до одного раза в год, а у крабов крупных размеров продолжительность межлиночного периода, как установлено по результатам мечения, может достигать 33-34 месяцев и даже более [3; 6].

По ширине карапакса наибольший размер самцов в СОМ составляет 216 мм, масса – 4650 г; для самок эти показатели определены в 182 мм и 2150 г [3].

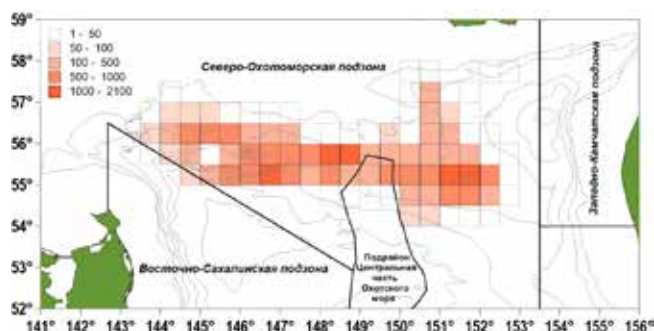


Рисунок 1. Районы основных скоплений равношипового краба в Северо-Охотоморской подзоне Охотского моря (суммарный вылов за 2004-2020 гг. по данным судовых суточных донесений (ССД))

Figure 1. Areas of the main aggregations of golden king crab in the North Okhotsk Sea subzone of the Sea of Okhotsk (total catch for 2004-2020 according to the ship's daily reports (SSD))

Рассматривается история изучения и промысла равношипового краба, обитающего в северной части Охотского моря. На основе материалов, собранных в 2000-2020 гг., анализируется ход промысла и вылов этого объекта в Северо-Охотоморской рыбопромысловой подзоне. Показано, что перспективы промышленного освоения равношипового краба в ближайшие годы опасений не вызывают, хотя возможно некоторое снижение промыслового запаса.

В северной части Охотского моря, включая всю акваторию СОМ, существует единая популяция равношипового краба (рис. 1).

Для этого вида, обитающего в СОМ, достаточно подробно были изучены особенности биологии и условий обитания, пространственное распределение, питание, паразитофауна и перспективы совместного промысла с другими видами крабов [11-19].

Освоение ресурсов равношипового краба в Охотском море было начато в 1968 г. японскими рыбаками в районе, расположенном юго-восточнее банки Кашеварова, с рекомендованной квотой в объёме около 1 тыс. тонн. Интенсивность иностранного вылова равношипового краба ежегодно возрастала и, в результате, уже к 1982 г. состояние его популяции стало оцениваться как напряжённое. Если в районе проведения японского лова доля самцов коммерческого размера в уловах в 1969 г. составляла 41% [20], то в период 1980-1982 гг. она снизилась до 10%. Своевременной реакцией на эту ситуацию стало предложение о введении с 1984 г. запрета на промысел равношипового краба [11].



Очередная волна интенсивного промысла была отмечена в 1992 г., когда южнее банки Кашеварова сотрудниками Камчатского отделения ТИНРО были обнаружены промысловые скопления равношипого краба со средними уловами до 95 кг на американскую ловушку. В период с 1994 по 1998 гг. наблюдалось снижение основных промысловых показателей, среднего размера промысловых самцов, а также увеличение доли самок. В 1999 г. специалистами МагаданНИРО было рекомендовано ограничить промысел равношипого краба на склонах банки Кашеварова (55°00'–56°00' с.ш., 144°30'–148°00' в.д.), которая является одним из основных центров воспроизводства и нагула молоди популяции. Запрет на промышленный лов в этом районе начал действовать с 2000 года.

После введения вышеуказанного ограничения, вылов равношипого краба не превышал 1 тыс. т в год. В период действия запрета основная часть выделяемых квот осваивалась на участках, расположенных к северу от района банки Кашеварова, а также в центральной части СОМ. Кроме того, активизировался промысел на участке акватории, расположенной в восточной части подзоны в пределах координат 54°20'–55°30' с.ш. и 150°30'–152°00' в.д. Именно этот район в весенний период раньше других акваторий освобождается от ледовых полей и пригоден для ведения промысла.

Исследования, выполненные в 2008–2010 гг., показали, что, введённый с 2000 г., запрет на промышленный лов равношипого краба на акватории банки Кашеварова дал положительный результат и запасы краба восстановились. Специалистами МагаданНИРО было подготовлено соответствующее обоснование и, со вступлением в силу новых «Правил рыболовства для Дальневосточного рыбохозяйственного бассейна» от 06.07.2011 г. № 671, запрет на промышленный лов равношипого краба в районе банки Кашеварова был снят. Несмотря на появившуюся возможность промысла, добыча краба в вышеуказанном районе во второй половине 2011 г. почти не проводилась. Активный промысел краба на этом участке был начат в 2012 году. В период с 2012 по 2018 гг. в районе банки Кашеварова добывалось от 0,5 до 1,6 тыс. тонн. Максимальный вылов краба в границах обозначенного участка пришёлся на 2017 год.

После проведения в 2014 г. сотрудниками МагаданНИРО масштабной учётно-ловушечной съёмки и увеличения, на основе полученных данных, коэффициента промыслового изъятия, максимальный объём ОДУ краба равношипого в СОМ был установлен в 2016 г. (рис. 2). В 2016 г. достигнут и максимальный вылов краба, который составил 2,876 тыс. тонн.

В связи с последующим недостатком качественных оценок состояния запаса, а также для минимизации рисков его эксплуатации, далее происходило снижение рекомендуемых объёмов вылова в рамках предельных значений уровня его ежегодного изменения, рассчитанного на основе суточных уловов. Освоение объёмов ОДУ краба

равношипого за последние десять лет было достаточно полным: в среднем рекомендуемые объёмы квот осваивались на 95%.

Промысел равношипого краба, как и краба-стригуна опилю, ведётся специализированными крабовыми ловушками различных модификаций [8]. На краболовных судах наиболее распространены такие орудия лова как ловушки японского и американского образцов. Конусовидные крабовые ловушки японской конструкции имеют диаметр нижнего основания усечённого конуса 1,35 м, верхнего – 0,75 м, высоту – 0,56 м, с одним входным отверстием на вершине ловушки. Прямоугольные ловушки американской конструкции имеют преимущественно такие размеры: 1,9 м × 1,8 м × 0,8 м, с двумя прямоугольными входными отверстиями на противоположных боковых сторонах [8].

В последние десятилетия МагаданНИРО регулярно изучает биологию, распределение, состояние запаса равношипого краба в СОМ Охотского моря, а также ежегодно готовит по этому объекту прогнозы ОДУ.

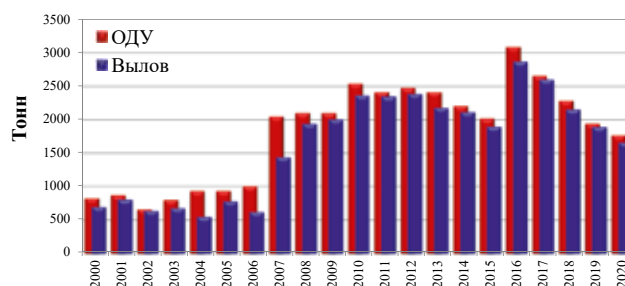


Рисунок 2. Динамика ОДУ и официального вылова равношипого краба в Северо-Охотоморской подзоне Охотского моря в 2000–2020 годах

Figure 2. Dynamics of the volume of allowable catch and official catch of the golden king crab in the North Okhotsk Sea subzone of the Sea of Okhotsk in 2000–2020

Промысел равношипого краба в СОМ традиционно начинается в начале календарного года, однако темпы освоения ресурса зависят от ледовой обстановки в Охотском море. Добыча краба в этот период часто осложняется наличием плотных ледовых полей в районах промысла. Наиболее активная добыча этого объекта в первой половине года приходится на весенний период. Одновременно в крабовом промысле могут участвовать до 10 добывающих судов. Поселения промысловых самцов высокой плотности в этот период позволяют осваивать к концу первого полугодия более половины рекомендуемых к вылову квот. Во втором полугодии удовлетворительные уловы наблюдаются с июля по декабрь.

Средние суточные уловы судов в 2020 г., по сравнению с предшествующими годами, заметно снизились (табл. 1).

Биологические показатели равношипого краба в Северо-Охотоморской подзоне в последние

Таблица 1. Среднесуточный улов (т) судов на промысле равношипного краба в 2010-2020 годы / **Table 1.** Average daily catch (t) of vessels in the golden king crab fishery in 2010-2020

Месяцы	Годы										
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
1	2,16	4,37	2,61	3,80	2,57	-	2,67	1,65	1,36	2,38	2,12
2	2,73	2,53	2,46	4,25	2,29	4,17	1,52	1,57	2,14	1,94	2,38
3	1,85	3,47	1,66	2,34	2,98	3,57	1,02	2,55	1,28	1,99	1,15
4	1,45	2,21	2,91	3,45	3,58	2,87	3,10	2,50	1,60	2,49	1,92
5	1,95	2,50	3,04	3,84	3,77	2,87	2,70	1,90	2,00	2,76	2,43
6	2,37	2,18	3,20	5,43	1,40	-	2,00	1,90	1,40	1,75	2,74
7	1,67	2,07	1,91	2,56	3,31	4,22	1,53	1,42	1,33	1,00	1,79
8	1,25	2,12	2,03	0,81	1,77	2,91	1,18	1,54	2,38	1,27	0,92
9	2,47	2,16	3,32	0,98	1,58	2,49	2,39	1,28	1,73	2,26	1,27
10	2,32	1,82	2,84	2,21	1,80	0,93	1,74	1,70	1,67	2,44	1,99
11	2,57	1,57	3,56	2,40	2,09	2,35	1,78	1,67	2,83	1,57	1,12
12	2,64	2,48	3,35	3,91	2,46	2,49	1,82	2,22	3,10	1,88	1,41
Среднее	2,15	2,38	2,77	3,16	2,91	3,02	2,09	1,95	1,80	2,18	1,56

Таблица 2. Биологические показатели равношипного краба в Северо-Охотоморской подзоне в 2009-2014, 2018 годы / **Table 2.** Biological indicators of the golden king crab in the North Okhotsk subzone in 2009-2014, 2018

Год	Средняя ширина карапакса ± ошибка, мм		Средняя масса промысловых самцов ± ошибка, г	Доля промысловых самцов, %	Доля самок, %
	самцов	промысловых самцов			
2009	134,7±0,3	150,7±0,3	1773±44	60	40
2010	125,4±0,3	152,9±0,2	1894±20	46	47
2011	143,7±0,3	156,9±0,2	2039±34	70	18
2012	139,5±0,4	156,7±0,3	2032±25	66	22
2013	126,7±0,6	150,6±0,5	1780±28	46	19
2014	127,2±0,4	150,7±0,3	1740±14	50	42
2018	117,0±0,7	145,8±0,8	1448±41	28	66

годы несколько ухудшились, снизилась доля промысловых самцов (табл. 2).

Необходимо отметить, что, согласно действующим «Правилам рыболовства для Дальневосточного рыбохозяйственного бассейна», утверждённым приказом Минсельхоза РФ от 23.05.2019 г. № 267, для равношипного краба Северо-Охотоморской подзоны установлен промысловый размер не менее 130 мм по ширине карапакса. Для сохранения и рационального использования запасов равношипного краба Приказом Минсельхоза РФ от 27.11.2013 г. № 438 (с изменениями и дополнениями согласно Приказам от 18.05.2017 г. № 244 и от 05.08.2019 г. № 458), введены его минимальные объёмы добычи (вылова) в сутки на одно судно. Для Северо-Охотоморской рыбопромысловой подзоны указанный объём составляет 0,95 тонн. Мы считаем, что дополнительных ограничений рыболовства равношипного краба в настоящее время не требуется.

По данным многолетних регулярных исследований МагаданНИРО, в настоящее время промысловый запас равношипного краба в СОМ Охотского моря стабилен, однако возможно его некоторое снижение, главным образом из-за неравномерной промысловой нагрузки по участкам промысла и некоторого ухудшения индикаторов, характеризующих состояние его запаса (плотности скоплений, среднего размера промыслового краба, доли промысловых самцов), а также уменьшения среднесуточных уловов.

ЛИТЕРАТУРА И ИСТОЧНИКИ

- Слизкин А.Г., Сафронов С.Г. Промысловые крабы прикамчатских вод. П-К.: Северная Пасифика, 2000. – 180 с.
- Slizkin A.G., Safronov S.G. Commercial crabs of the Kamchatka waters. P.K.: Northern Pacifica, 2000. – 180 p.
- Михайлов В.И. Промысловые беспозвоночные шельфа и континентального склона северной части Охотского моря. / В.И. Михайлов, К.В. Бандурин, А.В. Горничных, А.Н. Карасёв. – Магадан: МагаданНИРО, 2003. – 284 с.
- Mikhailov V.I. Commercial invertebrates of the shelf and the continental slope of the northern part of the Sea of Okhotsk. / V.I. Mikhailov, K.V. Bandurin, A.V. Gornichnykh, A.N. Karasev. – Magadan: MagadanNIRO, 2003. – 284 p.
- Мельник А.М. Крабы и крабиды северной части Охотского моря. / А.М. Мельник, А.Д. Абаев, А.Г. Васильев, С.В. Клинушкин, Е.А. Метелёв. – Магадан: МагаданНИРО, 2014. – 198 с.
- Melnik A.M. Crabs and craboids of the northern part of the Sea of Okhotsk. / A.M. Melnik, A.D. Abaev, A.G. Vasiliev, S.V. Klinushkin, E.A. Meteleev. – Magadan: MagadanNIRO, 2014. – 198 p.
- Низяев С.А. Распределение и численность глубоководных крабов Охотского моря // Промыслово-биологические исследования морских беспозвоночных. – М.: ВНИРО, 1992. – С. 26-37.
- Nizyaev S.A. Distribution and abundance of deep-sea crabs of the Sea of Okhotsk // Commercial and biological studies of marine invertebrates. – M.: VNIRO, 1992. – Pp. 26-37.
- Blau S.F., Pengilly D., Tracy D.A. 1996. Distribution of golden crabs by sex, size, and depth zones in the Eastern Aleutian Islands, Alaska // Proc. of the Intern. Symp. On Biology, Management, and Economics of Crabs from High Latitude Habitats., Oct. 11-13, 1995, Anchorage, Alaska, USA. Pp. 167-186.
- Метелёв Е.А. Равношипный краб (*Lithodes aequispinus*) северной части Охотского моря: автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 2021. – 24 с.
- Meteliev E.A. Ravnoshipy crab (*Lithodes aequispinus*) of the northern part of the Sea of Okhotsk: abstract. dis. ... cand. biol. nauk. M., 2021. – 24 p.
- Михайлов В.И. Равношипный краб *Lithodes aequispinus* северной части Охотского моря и влияние паразитарной кастрации на состояние

его популяции / В.И. Михайлов, Е.А. Метелев // Вопросы рыболовства. – 2009. – Т. 10. – № 2(38). – С. 304-314.

7. Mikhailov V.I. The flat-nosed crab *Lithodes aequispinus* of the northern part of the Sea of Okhotsk and the influence of parasitic castration on the state of its population / V.I. Mikhailov, E.A. Meteleev // Questions of fisheries. – 2009. – Vol. 10. – № 2(38). – Pp. 304-314.

8. Метелёв Е.А. История изучения и особенности промысла краба-стригуна опилио – *Chionoecetes opilio* в северной части Охотского моря / Е.А. Метелёв, В.Г. Григоров, С.М. Русяев, А.А. Смирнов // Рыбное хозяйство. – 2021. – № 5. – С. 56-60. DOI 10.37663/0131-6184-2021-5-56-60

8. Meteleev E.A. The history of studying and features of fishing for the opilio – *Chionoecetes opilio* crab in the northern part of the Sea of Okhotsk / E.A. Meteleev, V.G. Grigorov, S.M. Rusyaev, A.A. Smirnov // Fisheries. – 2021. – No. 5. – Pp. 56-60. DOI 10.37663/0131-6184-2021-5-56-60

9. Метелев Е.А. Размер половозрелости равношипого краба *Lithodes aequispinus* (Benedict) северной части Охотского моря // Отчетная сессия ФГУП «МагаданНИРО» по результатам научных исследований 2013 г.: материалы докладов. Магадан: МагаданНИРО, 2014. – С. 112-115.

9. Meteleev E.A. The size of puberty of the equiparous crab *Lithodes aequispinus* (Benedict) in the northern part of the Sea of Okhotsk // Reporting session of FSUE "MagadanNIRO" on the results of scientific research in 2013: materials of reports. Magadan: MagadanNIRO, 2014. – Pp. 112-115.

10. Живоглядова Л.А. Результаты мечения равношипого краба *Lithodes aequispinus* (Benedict) у островов Курильской гряды // Тез. докл. VII Всерос. конф. по промысловым беспозвоночным (памяти Б.Г. Иванова). Мурманск: ВНИРО, 2006. – С. 77-79.

10. Zhivoglyadova L.A. Results of tagging of the equiparous crab *Lithodes aequispinus* (Benedict) near the Kuril Islands // Tez. dokl. VII All-Russian Conf. on commercial invertebrates (in memory of B.G. Ivanov). Murmansk: VNIRO, 2006. – Pp. 77-79.

11. Михайлов А.И. Запасы равношипого краба Охотского моря / А.И. Михайлов, В.П. Овсянников // Рыбное хозяйство. – 1984. – № 11. – С. 24-25.

11. Mikhailov A.I. Stocks of the equiparous crab of the Sea of Okhotsk / A.I. Mikhailov, V.P. Ovsyannikov // Fisheries. – 1984. – No. 11. – Pp. 24-25.

12. Журавлев В.М., Крылов В.В. Материалы к биологии равношипого краба (*Lithodes aequispinus* Benedict) Охотского моря // Исследования биологии промысловых ракообразных и водорослей морей России: сб. науч. трудов. М.: ВНИРО, 2001. – С. 140-147.

12. Zhuravlev V.M., Krylov V.V. Materials for the biology of the equiparous crab (*Lithodes aequispinus* Benedict) Research of biology of commercial crustaceans and algae of the seas of Russia: collection of scientific works. M.: VNIRO, 2001. – Pp. 140-147.

13. Живоглядова Л.А. О состоянии запасов и влиянии промысла на группировку равношипого краба банки Кашеварова // Биология, состояние запасов и условия обитания гидробионтов Сахалино-Курильского региона и сопредельных акваторий. – Южно-Сахалинск: СахНИРО, 2004. – С. 227-238.

13. Zhivoglyadova L.A. On the state of stocks and the impact of fishing on the grouping of the equal-nosed crab of the Kashevarov bank // Biology, state of stocks and habitat conditions of hydrobionts of the Sakhalin-Kuril region and adjacent water areas. – Yuzhno-Sakhalinsk: SakhNIRO, 2004. – Pp. 227-238.

14. Живоглядова Л.А. Питание равношипого краба *Lithodes aequispinus*, Benedict северо-западной части Охотского моря // Известия ТИНРО. – 2005. – Т. 143. – С. 196-202.

14. Zhivoglyadova L.A. Nutrition of the equiparous crab *Lithodes aequispinus*, Benedict of the north-western part of the Sea of Okhotsk // Izvestiya TINRO. – 2005. – Vol. 143. – Pp. 196-202.

15. Михайлов В.И. Зараженность равношипого краба паразитом *Briarosaccus callosus*: пути решения этой проблемы / В.И. Михайлов, А.М. Посвятовская // Рыбное хозяйство. – 2004. – № 5. – С. 50-53.

15. Mikhailov V.I. Infestation of the ravnoshipy crab with the parasite *Briarosaccus callosus*: ways to solve this problem / V.I. Mikhailov, A.M. Posvyatovskaya // Fisheries. – 2004. – No. 5. – Pp. 50-53.

16. Метелев Е.А. Мечение равношипого краба *Lithodes aequispinus* (Benedict) в северной части Охотского моря: первые результаты // Вопросы рыболовства. – 2010. – Т. 11. – № 2(42). – С. 225-231.

16. Meteleev E.A. Tagging of the equiparous crab *Lithodes aequispinus* (Benedict) in the northern part of the Sea of Okhotsk: the first results // Questions of fisheries. – 2010. – T. 11. – № 2(42). – Pp. 225-231.

17. Метелев Е.А., Рязанова Т.В. Некоторые паразиты равношипого краба *Lithodes aequispinus* северной части Охотского моря // Отчет-



ная сессия ФГУП «МагаданНИРО» по результатам научных исследований 2012 г.: материалы докладов. Магадан: МагаданНИРО, 2013. – С. 97-100.

17. Meteleev E.A., Ryazanova T.V. Some parasites of the equiparous crab *Lithodes aequispinus* in the northern part of the Sea of Okhotsk // Reporting session of FSUE "MagadanNIRO" on the results of scientific research in 2012: materials of reports. Magadan: MagadanNIRO, 2013. – Pp. 97-100.

18. Метелев Е.А. Питание равношипого краба *Lithodes aequispinus* и синего *Paralithodes platypus* крабов, обитающих на шельфе и материковом склоне северной части Охотского моря / Е.А. Метелев, Ю.А. Щербакова // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. – 2018. – Вып. 49. – П.К. – С. 5-11.

18. Meteleev E.A. Nutrition of the flat-nosed crab *Lithodes aequispinus* and blue *Paralithodes platypus* crabs living on the shelf and the continental slope of the northern part of the Sea of Okhotsk / E.A. Meteleev, Yu.A. Shcherbakova // Studies of aquatic biological resources of Kamchatka and the north-western part of the Pacific Ocean. – 2018. – Issue 49. – P.K. – Pp. 5-11.

19. Мельник А.М. Современные проблемы и перспективы двувидового промысла краба-стригуна опилио и равношипого краба в северной части Охотского моря / А.М. Мельник, Е.А. Метелёв // Отчётная сессия ФГУП «МагаданНИРО» по результатам научных исследований 2011 г.: материалы докладов. – Магадан: МагаданНИРО, 2012. – С. 59-62.

19. Melnik A.M. Modern problems and prospects of two-species fishing of the opilio strigun crab and the equiparous crab in the northern part of the Sea of Okhotsk / A.M. Melnik, E.A. Meteleev // Reporting session of FSUE "MagadanNIRO" according to the results of scientific research in 2011: materials of reports. – Magadan: MagadanNIRO, 2012. – Pp. 59-62.

20. Родин В.Е. Новые данные о равношипом крабе // Рыбное хозяйство. – 1970. – № 6. – С. 11-13.

20. Rodin V.E. New data on the ravnoshipom crab // Fisheries. – 1970. – No. 6. – Pp. 11-13.

Экология, состояние запаса и перспективы промысла одного из видов-вселенцев Чебоксарского водохранилища – черноморско-каспийской тюльки *Clupeonella cultriventris*

DOI 10.37663/0131-6184-2022-4-40-44

А.В. Моисеев – специалист лаборатории водных биоресурсов

Р.К. Катаев – специалист лаборатории водных биоресурсов

Нижегородский филиал «ВНИРО» («НижегородНИРО»)

Д-р биол. наук, доцент

А.А. Смирнов – главный научный сотрудник отдела морских рыб Дальнего Востока, Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии» (ФГБНУ «ВНИРО»); профессор Северо-Восточного государственного университета (СВГУ)

@ andrsmir@mail.ru

Ключевые слова:

Чебоксарское водохранилище, черноморско-каспийская тюлька, длина тела, масса тела, возраст, запас, вылов

Keywords:

Cheboksary reservoir, Black Sea-Caspian sprat, body length, body weight, age, stock, catch

ECOLOGY, STOCK STATUS AND PROSPECTS OF FISHING FOR ONE OF THE SPECIES - THE SETTLERS OF THE CHEBOKSARY RESERVOIR – THE BLACK SEA-CASPIAN SPRAT *CLUPEONELLA CULTRIVENTRIS*

A.V. Moiseev – specialist of the Laboratory of Aquatic Bioresources

R.K. Kataev – specialist of the Laboratory of Aquatic Bioresources Nizhny Novgorod Branch of "VNIRO" ("Nizhegorodniro")

Doctor of Biology, Associate Professor **A.A. Smirnov** – Chief Researcher of the Department of Marine Fishes of the Far East, All-Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography" (VNIRO); Professor of the North-Eastern State University (SVSU)

Based on long-term materials, the ecology, the current state of the reserve and some features of the biology of the Black Sea-Caspian Sea sprat in the Cheboksary reservoir are considered. A brief biological characteristic of its age and size-weight indicators is given. The prospects of industrial development are shown.

Чебоксарское водохранилище – самое молодое в каскаде Волжских водохранилищ, строительство гидроузла у г. Новочебоксарск было завершено в 1980 году. Заполнение водохранилища до проектной отметки нормального подпорного уровня воды в верхнем бьефе гидроузла в 68 м до сих пор не завершено, промежуточная отметка в 63 м была достигнута в 1982 году. Эксплуатация водохранилища и гидроузла ведется в непроектом режиме, на транзите стока, регулирующая ёмкость практически отсутствует [1]. Водный режим значительно отличается от других водохранилищ Волж-

ско-Камского каскада, сочетая речные и озёрно-прудовые черты. Для Чебоксарского водохранилища характерен высокий коэффициент водообмена – от 19,8 до 32,2 раза [2]. Территориально водохранилище расположено в центральной климатической зоне равнинной части европейской территории России, на рубеже северной лесной и южной лесостепной зон, в административных границах трех субъектов Российской Федерации – Нижегородской области, Республик Чувашия и Марий Эл.

В продольном направлении по морфометрическим и ги-

дрологическим параметрам Чебоксарское водохранилище подразделяется на четыре отдела (сверху вниз по течению р. Волга): верхний речной, средний речной, озёрный и приплотинный. Согласно уточнённым данным [3], общая длина водохранилища до Нижегородского гидроузла 335 км, протяжённость зоны подпора 275 км, площадь 118 тыс. га и 109 тыс. га, соответственно.

Для водохранилищ Волжско-Камского каскада черноморско-каспийская тюлька *Clupeonella cultriventris* (Nordmann, 1840) признана одним из наиболее успешно натурализовавшихся понто-каспийских видов-вселенцев [4; 5]. Эта тюлька, жившая в морях Понто-Каспия, до второй половины 20-го века была распространена только в Нижней Волге и лишь после сооружения гидроузлов начала активно заселять вышележащие водохранилища [6].

В современный период тюлька отмечается вплоть до Ивановского водохранилища, активно осваивает водохранилища бассейна р. Шексна [7].

В Куйбышевском водохранилище этот вид был впервые отмечен в 1964 г., к 1967 г. он широко распространился [8], отсюда в 1966 г. произошло его проникновение вверх по течению на участок р. Волга, который с 1980 г. станет Чебоксарским водохранилищем [9]. До заполнения водохранилища *C. cultriventris* регулярно отмечалась в уловах в заливах р. Волга в период 1973-1974 годов. В районе г. Козьмодемьянск (в современных условиях – озерный отдел водохранилища) доля тюльки в видовом составе уловов мальковой волокушей составляла от 10 до 98%, в зависимости от времени суток [10].

После заполнения водохранилища был создан комплекс благоприятных условий для развития тюльки – обширная зона пелагиали с богатой кормовой базой, в отсутствии существенной конкуренции аборигенных планктофагов [5]. Об интенсивном нарастании численности тюльки в этот период свидетельствует увеличение ее роли в питании хищных рыб, в первую очередь – судака, для которого она стала излюбленным кормовым объектом [11; 12].

Встречаемость особей тюльки в составе пищи судака составляла в 1982 г. 1%, в 1983 г. – 18%, в 1984 г. – 17% [13].

По мнению ряда авторов, к настоящему времени тюлька стала супердоминантом пелагиали Чебоксарского водохранилища, что привело к снижению видового разнообразия этой зоны [14]. Ранее, в начальный период существования водохранилища, данный вид оценивался как перспективный для организации промысла [15].

По своей биологии тюлька – типичный пелагический короткоцикловый вид, облигатный планктофаг [16]. Она ведет стайный образ жизни, питается наиболее массовыми группами веслоногих и ветвистоусых рачков. Нерест происходит в толще воды в крупных заливах и, за-

На основе многолетних материалов рассматриваются экология, современное состояние запаса и некоторые черты биологии черноморско-каспийской тюльки в Чебоксарском водохранилище. Приведена краткая биологическая характеристика её возрастных и размерно-весовых показателей. Показаны перспективы промышленного освоения.

щищенных от ветра, плесах. Характер нереста порционный, растянутый, он начинается при температуре воды не менее 10°C. В условиях верхневолжских водохранилищ для этого вида отмечены резкие межгодовые колебания – многолетние циклы «вспышек» численности [17; 18].

В настоящее время тюлька освоила всю акваторию Чебоксарского водохранилища, отмечается даже в крупных озерах пойменной системы р. Волга, в которые попадает в период паводков. В связи с высокой численностью и широким распространением, тюлька присутствует в различных биотопах (прибрежье, русловая часть) и горизонтах (у поверхности, в придонном слое), однако максимальная плотность отмечена в пелагиали. В период с 2000 по 2018 гг. её доля в общих уловах пелагическим тралом составляла 83,6-99,4%, встречаемость – 80,0-93,8% [9].

Для вида характерно неравномерное, агрегированное распределение в сезонном и пространственном аспекте. Наиболее устойчивые и плотные скопления тюльки отмечаются в предзимний период непосредственно у гидросооружений: в верхнем речном отделе это нижний бьеф Нижегородского гидроузла, в приплотинном отделе – верхний бьеф Чебоксарского гидроузла. В летний период тюлька в большей степени тяготеет к озёрному расширению водохранилища, что согласуется с данными других авторов [14].

По результатам неводных и траловых (пелагический вариант) уловов в 2016-2020 гг., длина тела тюльки колебалась от 3 до 9 см, масса тела – от 0,3 до 8,5 граммов. В уловах встречались особи вплоть до 4-х летнего возраста (3+), более старших особей не отмечено (табл. 1).

Особь в возрасте 3+ наблюдались в уловах не всегда, что может быть связано с особенностями конкретного года, например, неблагоприятными условиями зимовки. Аналогичная возрастная структура популяции тюльки отмечена и в Рыбинском водохранилище [6; 17] – максимальный возраст особей составлял 3-4 года, при доминировании в уловах 2-летних особей. Таким образом, в условиях Чебоксарского водохранилища, как и в других Верхневолжских водохранилищах, предельный возраст жизни тюльки ниже, по сравнению с исходным ареалом обитания.

Таблица 1. Длина и масса тела по возрастам, состояние промыслового запаса тюльки Чебоксарского водохранилища, по данным 2016–2020 годов / **Table 1.** Body length and weight by age, the state of the fishing stock of the Cheboksary reservoir tulka, according to 2016–2020

Год	Показатель	Возраст				Промысловый запас	
		0+	1+	2+	3+	Численность, тыс. экз.	Биомасса, т
2016	Длина по АД, см	4,0	5,0	6,0	8,0		
	Полная масса тела, г	0,4	2,0	3,0	6,0	8139	20,0
	доля в улове, %	5,3	66,0	28,6	0,1		
2017	Длина по АД, см	3,8	5,2	7,4	9,0		
	Полная масса тела, г	0,5	1,3	4,4	8,5	4826,3	14,4
	доля в улове, %	30,5	44,7	24,1	0,6		
2018	Длина по АД, см	3,6	5,3	6,3			
	Полная масса тела, г	0,4	1,5	2,6		2322,0	14,0
	доля в улове, %	5,0	50,6	44,4			
2019	Длина по АД, см	3,6	5,3	6,3	7,0		
	Полная масса тела, г	0,4	1,5	2,6	3,7	3689,0	12,0
	доля в улове, %	4,1	64,5	28,3	3,1		
2020	Длина по АД, см	3,0	4,7	6,2	7,0		
	Полная масса тела, г	0,3	1,1	2,7	3,9	4175,0	17,0
	доля в улове, %	42,8	49,7	7,0	0,5		
Средние значения	Длина по АД, см	3,6	5,1	6,4	7,8		
	Полная масса тела, г	0,4	1,5	3,1	5,5	4630,3	15,5
	доля в улове, %	17,5	55,1	26,5	1,1		

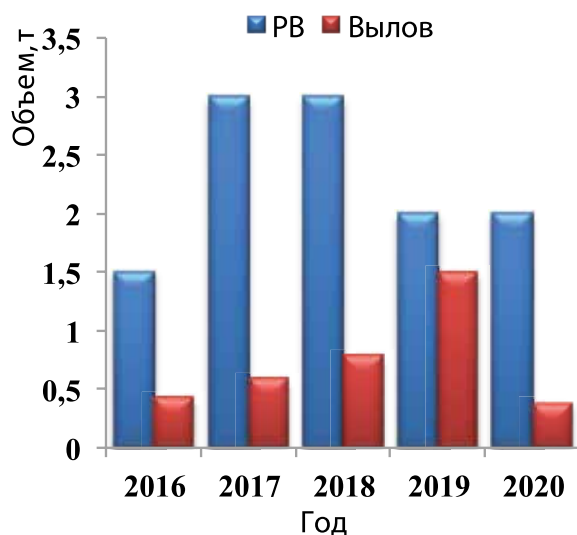


Рисунок 1. Динамика рекомендованного и фактического вылова тюльки в Чебоксарском водохранилище в 2016–2020 годах

Figure 1. Dynamics of the recommended and actual catch of the sprat in the Cheboksary reservoir in 2016–2020

Изменения возрастной структуры и, отмеченное в 2019–2020 гг., снижение длины по АД (промысловой) и полной массы тела старших возрастных групп (см. табл. 1), возможно, являются одним из проявлений циклических колебаний популяционных характеристик, присущих этому виду [7].

По данным специализированных исследований НижегородНИРО, целью которых была оценка численности именно видов-вселенцев в Чебоксарском водохранилище, с использованием мелкочаеистых орудий лова, в т.ч. нестандартных, общая средняя численность тюльки в период 2000–2009 гг. и 2010–2018 гг. была существенно выше: 55318 тыс. шт. и 157286 тыс. шт., соответственно.

По результатам эхолотной съемки в позднеосенний период в верхнем бьефе Чебоксарской ГЭС – конечного участка приплотинного отдела водохранилища, нами установлено, что в дневной период максимальная плотность распределения рыб в поверхностном горизонте достигается именно за счет скоплений тюльки, при этом от поверхности к дну плотность рыб значительно снижается.

По литературным данным [9], относительная численность тюльки, в зависимости от биотопа (прибрежье, придонный горизонт русловой части, открытая пелагиаль), может варьировать от 7 до 1777 экз/га.

По данным НижегородНИРО, доля тюльки в общей биомассе рыб Чебоксарского водохранилища в последние 15 лет находится на уровне 1%. Вид играет важную роль в сообществе как пищевой объект для хищных видов рыб. Однако, с точки зрения промысла, тюлька – один из второстепенных промысловых видов. Ввиду невысокого потребительского спроса, промыслом она осваивается слабо (рис. 1).

Доля освоения объёмов рекомендуемого вылова, за рассматриваемый период в целом по водохранилищу, составила 33,7%, максимальный вылов (1,5 т) был отмечен в 2019 году.

Основной промысел тюльки ведется в Республике Марий Эл, на долю которой приходится 97,3% добычи, незначительная часть (0,02-0,03 т) в отдельные годы вылавливается в Нижегородской области. Одной из основных целей добычи вида является реализация в качестве наживки для любительского и спортивного рыболовства в замороженном виде.

Кроме экономической составляющей, эффективным ограничением для увеличения интенсивности промысла тюльки в водохранилище также являются требования действующих «Правил рыболовства для Волжско-Каспийского рыбохозяйственного бассейна», утверждённых Приказом Минсельхоза России от 18.11.2014 № 453 [19], которые существенно сужают номенклатуру и параметры орудий лова для целенаправленного вылова тюльки.

На Чебоксарском водохранилище в промысловых целях запрещено использование разноглубинных тралов. Для лова тюльки потенциально возможно использование закидных неводов, однако п. 25.1.4 «Правил рыболовства для Волжско-Каспийского рыбохозяйственного бассейна» устанавливается размер ячеи в мотне не менее 16 мм, что не позволяет эффективно облавливать скопления тюльки. Для сравнения, тем же пунктом 25.1.4 для других водных объектов Северного рыбохозяйственного района Волжско-Каспийского рыбохозяйственного бассейна установлен существенно меньший шаг ячеи: Ивановском водохранилище – не менее 5 мм, Саратовском водохранилище – не менее 12 мм, для всех остальных водных объектов рыбохозяйственного значения – не менее 10 мм. Более крупный размер ячеи (не менее 18 мм) установлен лишь для водохранилищ бассейна р. Кама.

Современные тенденции распространения и динамика популяции тюльки свидетельствуют о возможности дальнейшего нарастания ее запаса, что повышает перспективность ее целенаправленного вылова. С учётом обеднения видового состава пелагиали Чебоксарского водохранилища, отмеченного рядом исследователей как следствия сверхдоминирования тюльки [14], в перспективе может возникнуть необходимость интенсивного мелиоративного отлова этого вида.

В связи с этим, считаем целесообразным внести изменение в пункт 25.1.4 «Правил рыболовства для Волжско-Каспийского рыбохозяйственного бассейна» в части снижения разрешенного размера ячеи в мотне закидных неводов в Чебоксарском водохранилище до 10 мм. Для определения степени селективности мелкочейных орудий лова и соблюдения норм прилова молоди непромыслового размера других видов рыб, оценки общей эффективности промысла и рациональности использования тюльки, а также дальнейшей корректировки

параметров орудий лова, после изменения допустимого размера ячеи, необходим мониторинг промысла научно-исследовательскими организациями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Минина Л.М. Оценка динамики площадей нерестовых участков Чебоксарского водохранилища в зависимости от водности года и уровня воды при помощи данных дистанционного зондирования / Л.М. Минина, А.Е. Минин, А.В. Моисеев // Труды ВНИРО. – 2021. – Т. 185. – С. 84-93.
1. Minina L.M. Assessment of the dynamics of the areas of spawning areas of the Cheboksary reservoir depending on the water content of the year and the water level using remote sensing data / L.M. Minina, A.E. Minin, A.V. Moiseev // Proceedings of VNIRO. – 2021. – Vol. 185. – Pp. 84-93.
2. Кочеткова М.Ю. Гидролого-гидрохимическая характеристика Чебоксарского водохранилища в XXI веке // Тез. докл. межд. конгресса «Великие реки 2005». – Нижний Новгород: ННГАСУ, 2005. – Т. 1. – С. 125-128.
2. Kochetkova M.Yu. Hydrolog-hydrochemical characteristics of the Cheboksary reservoir in the XXI century // Tez. dokl. mezhd. Congress "Great Rivers 2005". – Nizhny Novgorod: NNGASU, 2005. – Vol. 1. – Pp. 125-128.
3. Минин А.Е. Минина Л.М. Оценка рыбных запасов Чебоксарского водохранилища и их пространственного распределения с использованием ГИС-технологий // Бассейн Волги в XXI-м веке: структура и функционирование экосистем водохранилищ. Сб. материалов докл. Всероссийской конференции. Ин-т биологии внутр. вод им. И.Д. Папанина РАН, Борок, 22-26 октября 2012 г. Ижевск. С. 187-189.
3. Minin A.E. Minina L.M. Assessment of fish stocks of the Cheboksary reservoir and their spatial distribution using GIS technologies // Volga basin in the XXI century: structure and functioning of ecosystems of reservoirs. Collection of materials dokl. All-Russian Conference. In-t biology ext. I.D. Papanin Academy of Sciences, Borok, October 22-26, 2012 Izhevsk. pp. 187-189.
4. Карабанов Д.П. Генетические адаптации черноморско-каспийской тюльки *Clupeonella cultriventris* (Nordmann, 1840) (Actinopterygii: Clupeidae) – Воронеж: «Научная книга», 2013. 179 с.
4. Karabanov D.P. Genetic adaptations of the Black Sea-Caspian seal *Clupeonella cultriventris* (Nordmann, 1840) (Actinopterygii: Clupeidae) – Voronezh: "Scientific Book", 2013. 179 p.
5. Карабанов Д.П. Анализ видового состава, проблемы идентификации и путей расселения чужеродных видов рыб в бассейне реки Волги / Д.П. Карабанов, Д.Д. Павлов, Э.В. Никитин и др. // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. – 2020. – № 3. – С. 7-17. DOI: 10.24143/2073-5529-2020-3-7-17.
5. Karabanov D.P. Analysis of species composition, problems of identification and ways of settlement of alien fish species in the Volga River basin / D.P. Karabanov, D.D. Pavlov, E.V. Nikitin et al. // Bulletin of the Astrakhan State Technical University. Series: Fisheries. – 2020. – No. 3. – Pp. 7-17. DOI: 10.24143/2073-5529-2020-3-7-17.
6. Степанов М.В. Морфо-биологическая характеристика черноморско-каспийской тюльки *Clupeonella cultriventris* (Tordmann, 1840) в Рыбинском водохранилище: автореф... дис. кан. биол. наук. Борок, 2011. – 23 с.
6. Stepanov M.V. Morpho-biological characteristics of the Black Sea-Caspian seal *Culpeonella cultriventris* (Nordmann, 1840) in the Rybinsk reservoir: abstract... biol. sciences. Borok, 2011. – 23 p.
7. Кияшко В.И., Слынько Ю.В. 2012. Динамика структуры и состояния популяций черноморско-каспийской тюльки верхневолжских водохранилищ // Бассейн Волги в XXI-м веке: структура и функционирование экосистем водохранилищ. Сб. материалов докл. Всероссийской конференции. Ин-т биологии внутр. вод им. И.Д. Папанина РАН, Борок, 22-26 октября 2012 г. – Ижевск. – С. 117-119.

7. Kiyashko V.I., Slynko Yu.V. 2012. Dynamics of the structure and state of populations of the Black Sea-Caspian tyulka of the Upper Volga reservoirs // Volga basin in the XXI century: structure and functioning of ecosystems of reservoirs. Collection of materials dokl. All-Russian Conference. In-t biology ext. water named after I.D. Papanin of the Russian Academy of Sciences, Borok, October 22-26, 2012 – Izhevsk. – Pp. 117-119.
8. Шакирова Ф.М. Роль вселенцев в изменении видового состава ихтиофауны Куйбышевского и Нижнекамского водохранилищ // Бассейн Волги в XXI-м веке: структура и функционирование экосистем водохранилищ. Сб. материалов докл. Всероссийской конференции. Ин-т биологии внутр. вод им. И.Д. Папанова РАН, Борок, 22-26 октября 2012 г. Ижевск. – С. 242-345.
8. Shakirova F.M. The role of the settlers in changing the species composition of the ichthyofauna of the Kuibyshev and Nizhnekamsk reservoirs // Volga basin in the XXI century: the structure and functioning of reservoir ecosystems. Collection of materials dokl. All-Russian Conference. In-t biology ext. I.D. Papanin Academy of Sciences, Borok, October 22-26, 2012 Izhevsk. – Pp. 242-345.
9. Логинов В.В. Динамика численности и распределение чужеродных видов рыб Чебоксарского водохранилища по данным



- учета мелкочаеистыми орудиями лова / В.В. Логинов, А.А. Клевакин, А.В. Моисеев, А.В. Бугров, О.А. Морева // International independent scientific journal 2020. – №17. – С. 10-26.
9. Loginov V.V. Dynamics of the number and distribution of alien fish species of the Cheboksary reservoir according to the data of small-scale fishing gear accounting / V.V. Loginov, A.A. Klevakin, A.V. Moiseev, A.V. Bugrov, O.A. Moreva // International independent scientific journal 2020. – No. 17. – Pp. 10-26.
10. Попов А.А. Распределение молоди рыб до создания Чебоксарского водохранилища // Формирование кормовой базы и ихтиофауны во вновь созданных водохранилищах Волжско-Камского каскада. – Ленинград: ГосНИОРХ, 1985. – Вып. 240. – С. 86-89.
10. Popov A.A. Distribution of juvenile fish before the creation of the Cheboksary reservoir // Formation of the food base and ichthyofauna in the newly created reservoirs of the Volga-Kama cascade. – Leningrad: GosNIORH, 1985. – Issue 240. – Pp. 86-89.
11. Шакирова Ф.М. Питание судака (*Sander lucioperca* (L., 1758)) центральной части Куйбышевского водохранилища в разные сезоны года / Ф.М. Шакирова, Ю.А. Северов, С.А. Удачин, Г.Д. Валиева // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2017. – Т. 19. – № 5-2. – С. 346-354.
11. Shakirova F.M. Feeding of pike perch (*Sander lucioperca* (L., 1758)) in the central part of the Kuibyshev reservoir in different

- seasons / F.M. Shakirova, Yu.A. Severov, S.A. Udachin, G.D. Valieva // Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. – 2017. – Vol. 19. – No. 5-2. – Pp. 346-354.
12. Галанин И.Ф. Состояние популяционных показателей судака *Sander lucioperca* верхней части Волжского плеса Куйбышевского водохранилища / И.Ф. Галанин, Т.В. Андреева, А.П. Галанина, И.И. Зиганшин, А.А. Смирнов // Рыбное хозяйство. – 2019. – № 5. – С. 54-58.
12. Galanin I.F. The state of population indicators of the *Sander lucioperca* pike perch in the upper part of the Volga ples of the Kuibyshev reservoir / I.F. Galanin, T.V. Andreeva, A.P. Galanina, I.I. Ziganshin, A.A. Smirnov // Fisheries. – 2019. – No. 5. – Pp. 54-58.
13. Залозных Д.В. Питание хищных рыб Чебоксарского водохранилища в первые годы его существования // Биологические ресурсы Чебоксарского водохранилища. – Ленинград: ГосНИОРХ, 1987. – Вып. 267. – С. 118-128.
13. Zaloznykh D.V. Nutrition of predatory fish of the Cheboksary reservoir in the first years of its existence // Biological resources of the Cheboksary reservoir. – Leningrad: GosNIORH, 1987. – Issue 267. – Pp. 118-128.
14. Соломатин Ю.И. Рыбное население русловой части Чебоксарского водохранилища: Плотность и видовое разнообразие в 1980-е и 2010-е гг. / Ю.И. Соломатин, Ю.В. Герасимов, А.Е. Минин и др. // Труды ИБВВ РАН. – 2019. – Вып. 85(88). – С. 77-83.
14. Solomatin Yu.I. Fish population of the channel part of the Cheboksary reservoir: Density and species diversity in the 1980s and 2010s. / Yu.I. Solomatin, Yu.V. Gerasimov, A.E. Minin et al. // Proceedings of the IBVV RAS. – 2019. – Issue 85(88). – Pp. 77-83.
15. Лысенко Н.Ф. Особенности формирования ихтиофауны Чебоксарского водохранилища // Формирование кормовой базы и ихтиофауны во вновь созданных водохранилищах Волжско-Камского каскада. – Ленинград: ГосНИОРХ, 1985. – Вып. 240. – С. 3-13.
15. Lysenko N.F. Features of the formation of the ichthyofauna of the Cheboksary reservoir // Formation of the forage base and ichthyofauna in the newly created reservoirs of the Volga-Kama cascade. – Leningrad: GosNIORH, 1985. – Issue 240. – Pp. 3-13.
16. Атлас пресноводных рыб России. 2003. Т. 1 / Под ред. Ю.С. Решетникова. – М.: Наука. – 379 с.
16. Atlas of freshwater fishes of Russia. 2003. Vol. 1 / Edited by Yu.S. Reshetnikov. – M.: Nauka. – 379 p.
17. Кияшко В.И. Становление и развитие популяции черноморско-каспийской тюльки *Clupeonella cultriventris* (clupeidae) в Рыбинском водохранилище / В.И. Кияшко, Д.П. Карабанов, В.Н. Яковлев и др. // Вопросы Ихтиологии. – 2012. – Т. 52. – № 5. – С. 571-580.
17. Kiyashko V.I. Formation and development of the population of the Black Sea-Caspian seal *Clupeonella cultriventris* (clupeidae) in the Rybinsk reservoir / V.I. Kiyashko, D.P. Karabanov, V.N. Yakovlev et al. // Questions of Ichthyology. – 2012. – Vol. 52. – No. 5. – Pp. 571-580.
18. Карабанов Д.П. Чужеродные виды рыб в прибрежье водохранилищ Волги и Камы (по результатам комплексных экспедиций ИБВВ РАН 2005-2017 гг.) / Д.П. Карабанов, Д.Д. Павлов, М.И. Базаров и др. // Труды ИБВВ РАН. – 2018. – Вып. 82(85). – С. 67-80.
18. Karabanov D.P. Alien fish species in the coastal waters of the Volga and Kama reservoirs (based on the results of complex expeditions of the IBVV RAS 2005-2017) / D.P. Karabanov, D.D. Pavlov, M.I. Bazarov et al. // Proceedings of the IBVV RAS. – 2018. – Issue 82(85). – Pp. 67-80.
19. Приказ Минсельхоза России от 18.11.2014 № 453 «Об утверждении Правил рыболовства для Волжско-Каспийского рыбохозяйственного бассейна» (в ред. Приказов Минсельхоза России от 26.05.2015 № 214, .2016 № 153, от 27.07.2017 № 371, от 18.04.2018 № 164, от 06.11.2018 № 511, от 25.07.2019 № 438). Доступно через: <http://www.consultant.ru/>. 31.05.2022.
19. Order of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation No. 453 dated 18.11.2014 "On approval of Fishing Rules for the Volga-Caspian Fishery Basin" (as amended. Orders of the Ministry of Agriculture of Russia dated 26.05.2015 No. 214, .2016 No. 153, dated 27.07.2017 No. 371, dated 18.04.2018 No. 164, dated 06.11.2018 No. 511, dated 25.07.2019 No. 438). Available via: <http://www.consultant.ru/>. 31.05.2022.

ВНУТРЕННИЕ ВОДОЕМЫ

Потребление органического вещества планктонными организмами в мезотрофной экосистеме: радиоактивность (на мембранных фильтрах) планктона и детрита, меченого по углероду (^{14}C)

DOI 10.37663/0131-6184-2022-4-45-49

Доктор биологических наук
С.А. Остроумов – ведущий научный сотрудник лаборатории физико-химии биомембран Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова;
Доктор биологических наук, профессор
А.П. Садчиков – Международный биотехнологический центр, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

@ ostroumov@mail.bio.msu.ru

Ключевые слова:

качество воды, водоросли, бактерии, цианобактерии, растворенное органическое вещество (РОВ), гетеротрофная активность, взвешенное органическое вещество (ВОВ), детрит, пресноводная экосистема, мембранные фильтры, радиоуглеродный метод

Keywords:

water quality, algae, bacteria, cyanobacteria, dissolved organic matter (DOM), heterotrophic activity, particulate organic matter, detritus, freshwater ecosystem, membrane filters, radiocarbon method

ORGANIC MATTER CONSUMPTION BY PLANKTON ORGANISMS IN MESOTROPHIC ECOSYSTEM: RADIOACTIVITY (ON MEMBRANE FILTERS) OF PLANKTON AND DETRITUS LABELED WITH CARBON (^{14}C)

Doctor of Biological Sciences **S.A. Ostroumov** – leading researcher at the Laboratory of Physical Chemistry of Biomembranes, Lomonosov Moscow State University;
Doctor of Biological Sciences, Professor **A.P. Sadchikov** – International Biotechnology Center, Lomonosov Moscow State University

To understand the mechanisms of formation of water quality in an aquatic ecosystem, the processes of formation of funds of dissolved organic matter (DOM) and detritus are essential. When the algae die off, the bulk of their contents enter the aquatic environment within one week. Detritus settles at a rate of about one meter per day. In deep water bodies, the destruction of detritus occurs to a significant extent in the water column; in shallow water bodies, it occurs mainly at the bottom. DOM is consumed by bacteria and algae. This article presents the results of an experimental study of the quantitative aspects of DOM transformation and metabolism using natural water samples immediately after they were taken from a mesotrophic freshwater ecosystem. The total heterotrophic activity of various fractions of plankton in natural water was determined. The specific heterotrophic activity (per a unit of biomass) was also determined. It was found that the specific heterotrophic activity of bacteria (per a unit of biomass) in all cases is higher than the activity of phytoplankton. The new results provide a detailed understanding of chemical-biotic interactions in aquatic ecosystems, which is important for the analysis of water self-purification processes.

ВВЕДЕНИЕ

Для состояния и продуктивности популяций рыб и других водных организмов большое значение имеет качество воды в водоемах. Качество воды определяется многими параметрами, в том числе количеством и составом, растворенного в воде, органического вещества.

Основная масса природного органического вещества (ОВ) в водоемах формируется за счет прижизненных и посмертных выделений организмов, в первую очередь фитопланктона. Водоросли прижизненно выделяют в среду до 30-50% синтезированного органического вещества, временами значительно больше [1].

Водоросли, в том числе отмершие, вносят существенный вклад в формирование взвешенного

органического вещества (ВОВ) и растворенного органического вещества (РОВ). ВОВ и РОВ являются важными параметрами качества воды.

При отмирании фитопланктона его клетки лизируются, а их содержимое поступает в среду и утилизируется микроорганизмами. Скорость разрушения водорослей имеет большое значение для жизнедеятельности гидробионтов. С одной стороны, поступление в среду легкоусвояемого ОВ приводит к увеличению численности микроорганизмов, с другой, при низкой скорости лизиса, происходит захоронение отмерших клеток вместе с их содержимым в донных отложениях. Наиболее ярко это проявляется в неглубоких водоемах.

Показано, что скорость оседания детрита составляет около одного метра в сутки и зависит от размера частиц. За одну неделю он успевает опуститься до отметки 7-10 м [1].

Цель данной статьи – установить, в экспериментальных исследованиях, судьбу углерода из биогенных частиц детрита в пресноводной экосистеме на примере мезотрофного Можайского водохранилища (Московская область).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Работу проводили в мезотрофном Можайском водохранилище; пробы отбирали с глубины 0,5 м в склянки объемом по 250 мл. В них добавляли $\text{NaH}^{14}\text{CO}_3$ с таким расчетом, чтобы в 1 мл было около 100 тыс. имп./мин и экспонировали в люминостате в течение одних суток. Затем содержимое склянок фильтровали (по 50 мл) через мембранные фильтры (диаметр пор 1,5 мкм). То есть, отфильтровывали имеющиеся там водоросли (и иные частицы) и готовили из них меченый по углероду детрит (далее в данной статье его называли «экспериментальный детрит»).

Часть фильтров с мечеными водорослями помещали в сцинтилляционный счетчик «Rackbeta 1271» (Швеция) для определения исходной радиоактивности. Другую серию нагревали до 50°C (в течение 3 ч) и затем замораживали (6 ч). Получали, таким образом, убитые водоросли, которые условно называли «экспериментальным детритом» [2-5].

Затем к фильтру с меченым «экспериментальным детритом» приклеивали тонкую капроновую нить и подвешивали в склянке, заполненной стерильной водой из водоема. Опытные склянки осторожно помешивали на качалке в течение 30 минут, затем помещали в темный шкаф, где инкубировали их в течение всего эксперимента; склянки периодически осторожно перемешивали.

Отбор проб для дальнейших экспериментов проводили на 1-, 3-, 7- и 15-й день. Из серии склянок с меченым «экспериментальным детритом» отбирали аликвоту воды и фильтровали ее через мембранный фильтр (диаметр пор 0,2 мкм) для удаления взвеси. Фильтрацию проб осуществляли при разрежении 300 мм рт. столба [6; 7]. Полученный фильтрат подкисляли до величины pH 3, барботировали в течение 30 минут и определяли его радиоактивность на сцинтилляционном счетчике. Таким образом получали количество, выделившегося при разрушении «экспериментального детрита» (т.е. убитых водорослей), меченого РОВ. При расчетах учитывали сорбцию ^{14}C фильтром [8].

В других экспериментах на Можайском водохранилище в течение лета, с периодичностью три раза в месяц, определяли потребление низкомолекулярного органического вещества (гидролизата белка) бактериальным сообществом. Параллельно в водоеме регистрировали видовой состав фитопланктона.

Пробы воды отбирали в поверхностном слое водоема (на глубине около 0,5 м), разливали в темные склянки (в 6 повторностях), добавляли ^{14}C -гидролизат белка фирмы Amersham (США) из расчета, чтобы в склянке количество белка было

Для понимания механизмов формирования качества воды в водной экосистеме существенное значение имеют процессы формирования фондов растворенного органического вещества (РОВ) и детрита. При отмирании водорослей основная масса их содержимого поступает в среду в течение одной недели. Детрит оседает со скоростью около одного метра в сутки. В глубоких водоемах разрушение детрита происходит в существенной мере в толще воды, в мелких водоемах – преимущественно на дне. РОВ потребляется бактериями и водорослями. В данной статье излагаются результаты экспериментального изучения количественных аспектов трансформации и метаболизма РОВ с использованием образцов природной воды сразу после их взятия из мезотрофной пресноводной экосистемы. Определяли суммарную гетеротрофную активность различных фракций планктона природной воды. Определяли также удельную гетеротрофную активность (приведенную к единице биомассы). Выявлено, что удельная гетеротрофная активность бактерий (приведенная к единице биомассы) во всех случаях выше активности фитопланктона. Новые результаты детализируют понимание химико-биотических взаимодействий в водных экосистемах, что важно для анализа процессов самоочищения воды.

около 30 мкг С/л (рассчитывали, исходя из его концентрации, указанной в техническом паспорте препарата). Сосуды экспонировали на глубине отбора проб в течение 8 часов [3-5].

После экспозиции из склянок отделяли бактерии (фильтровали через сита разного размера и мембранные фильтры). Из освобожденного от водорослей фильтрата отфильтровывали бактерий (в 6 повторностях) через фильтры с порами 0,2 мкм и измеряли его радиоактивность. Подсчет радиоактивности образцов проводили на сцинтилляционном счетчике «Rackbeta 1217» (фирма LKB) [3-5, 9].

Интенсивность потребления меченого органического вещества сообществом водорослей и бактерий находили по разнице между количеством внесенного в экспериментальные сосуды меченого РОВ и потребленного фито- и бактериопланктоном. Для дальнейших расчетов использовали среднее значение радиоактивности шести фильтров фракций водорослей и бактерий. Потребление меченого РОВ пересчитывали на один час.

Концентрация меченого по ^{14}C -гидролизат белка составляла доли процента той, которая обычно наблюдается в водоемах, поэтому по интенсивности включения в клетки организмов меченого РОВ можно, с некоторыми допущениями, судить о процессах, протекающих в водоемах.

Как мы уже отмечали в наших предыдущих статьях по данной теме, используется следующая терминология. Размерная фракция планктона, обогащенная бактериями, для краткости называется фракцией бактерий. Размерная фракция планктона, обогащенная фитопланктонными водорослями, для краткости называется фракцией водорослей.

В статье используется термин «фито- и бактериопланктон». Этот термин обозначает суммарную фракцию, содержащую и фитопланктон, и бактериопланктон.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Поступление в среду содержимого водорослей («экспериментального детрита»), при их отмирании, осуществляется сразу же, начиная с первого дня опыта. Основная масса органического вещества терялась клетками в течение первой недели после начала опыта (табл. 1). В большинстве экспериментов наибольшие значения выделения РОВ приходились на 3-7-й день опыта. Выделение РОВ в среду в первую неделю было линейным; в течение второй недели поступление в среду органического вещества существенно замедлилось.

Каждое из чисел является средним значением, при усреднении результатов трех экспериментов в течение указанного месяца. Каждое измерение делали в шести повторностях. Таким образом, каждое число является средним значением для 18 измерений.

В первый день опыта экспериментальный детрит выделял в среду около 0,5 мкг С/л. В первую очередь разрушались водоросли с нежными стенками. В последующие дни в среду выделялось несколько больше органического вещества. В планктоне водохранилища преобладали динофитовые водоросли, которые имеют жесткую оболочку, из которых РОВ выделялось значительно медленнее. На 7-й день опыта в среду выделялось максимальное количество меченого РОВ – от 1,8 до 2,3 мкг С/л. Затем выделение РОВ в среду резко уменьшилось. Это, по-видимому, связано с тем, что в это время в водохранилище наблюдался пик в развитии фитопланктона. Плотный слой водорослей на фильтре затруднял лизис клеток и выделение их содержимого в среду.

Скорость потери РОВ клетками отмершего фитопланктона во многом зависит от его видового состава. В течение всего лета в планктоне преобладали динофитовая водоросль *Ceratium hirundinella* и цианобактерии (*Microcystis aeruginosa*, *Aphanizomenon flos-aquae*, *Anabaena* sp.). Зеленые и диатомовые водоросли были представлены незначительно.

Таким образом, разрушение отмерших водорослей и поступление их содержимого в среду происходит в основном в течение одной недели.

Исследования в Можайском водохранилище показали, что отмерший фитопланктон за одну неделю успевает опуститься до отметки 7-10 метров. В неглубоком водоеме, в частности, в пруду глубиной 3 метра (в нем также проводили иссле-

дования), детрит оседает на дно менее разложившимся, чем в водохранилище. Детрит пруда, собранный в ловушки, установленные у дна водоема, содержал в 3-5 раз больше азота и углерода, чем аналогичный детрит водохранилища (глубиной 10-12 м). Дальнейшее разложение детрита осуществляется на дне пруда, что приводило к заморным явлениям и резкому уменьшению содержания кислорода в воде [1].

Как уже отмечалось, в водохранилище в начале лета преобладали диатомовые водоросли, в июле и августе – цианобактерии и динофитовые. На долю динофитовых в августе приходилось до 90% биомассы фитопланктона. Прозрачность воды по диску Секки, в течение периода исследований, изменялась от 0,7 до 3,7 м, величины рН 8.0-9.9 [10].

Численность бактерий, в течение исследованного периода, достигала 3,7 млн кл./мл, из которых, в среднем, на долю одиночных клеток приходилось около 90% бактерий, остальное – на долю агрегированных (колониальные и детритно-бактериальные ассоциации). Наибольшее количество агрегированных бактерий – 15-20% наблюдали в середине августа во время отмирания фитопланктона. Количество частиц планктонного детрита достигало 20 тыс./мл воды. Размер частиц не превышал 50 мкм; скорость его оседания в толще воды составляла 0,8-1,0 м в сутки [11]. Детрит в водохранилище имеет, в основном, альгогенное происхождение, поэтому увеличение его количества наблюдалось в период отмирания фитопланктона.

Для изучения гетеротрофной активности микроорганизмов использовали меченый по ¹⁴C гидролизат белка, содержащий набор аминокислот.

Результаты количественной характеристики гетеротрофной активности планктонных микроорганизмов (бактерии, водоросли) показаны в таблице 2.

В колонке А за 100% принимается суммарное количество метки, внесенное в систему, в колонках Б и В за 100% принимается общее количество метки, поглощенной данной фракцией планктона. Каждое число является средним значением для трех экспериментов в течение данного месяца. Каждое измерение делали в шести повторностях. Таким образом, каждое число является средним значением для 18 измерений.

Наблюдения показали, что фито- и бактериопланктон Можайского водохранилища в течение вегетационного сезона потребляет 20-60% меченого гидролизата белка (от внесенного в экспериментальные сосуды) (табл. 2). Наибольшее количество РОВ потреблялось микроорганизмами в июле, когда численность бактерий достигала 3

Таблица 1. Выделение растворенного органического вещества (РОВ) экспериментальным детритом (мкг С/л) в мезотрофной экосистеме / **Table 1.** Isolation of dissolved organic matter (ROV) by experimental detritus (mcg/l) in a mesotrophic ecosystem

Месяц	Мезотрофная экосистема – выделение РОВ детритом (мкг С/л)	
	1 день	7 день
июнь	0,47	2,32
июль	0,55	1,78

Таблица 2. Трансформация гидролизата белка фито- и бактериопланктоном Можайского водохранилища (в процентах) / **Table 2.** Transformation of protein hydrolysate by phyto- and bacterioplankton of Mozhaik reservoir (in percent)

Месяцы	Трансформация утилизированного меченого органического вещества (%)				
	А Неисполь- зованное РОВ (%)	Б Минерали- зованное РОВ (минерализовано суммарно водорослями и бактериями)	В РОВ, пошедшее на конструктивный обмен водорослей и бактерий (т.е. вошло в состав биомассы водорослей и бактерий)	Включение метки в бактерии размером 0,85-4 мкм (из общего количества РОВ, указанного в предыдущей колонке В)	Включение метки во фракцию водорослей размером более 4 мкм (из общего количества РОВ, указанного в колонке В)
июль	40,7	66,2	33,8	17,1	82,9
август	52,0	52,3	47,7	18,3	81,7

млн кл/мл. Наименьшая гетеротрофная активность наблюдалась в сентябре, когда температура воды понизилась до 12° С.

Более 50-75% потребленного фито- и бактериопланктоном меченого гидролизата белка было минерализовано, а остальное использовалось на конструктивный обмен. Наибольшие показатели (около 48%) наблюдались в августе. В это время температура в толще воды была выше 20°С. Кроме того, наблюдалось отмирание водорослей и, соответственно, обогащение воды растворенным органическим веществом. Как известно, разнообразные продукты стимулируют рост бактерий и водорослей. Меченый по ¹⁴С гидролизат, в состав которого входили соединения разной молекулярной массы, потреблялся не только бактериями, но и водорослями. На их долю в среднем приходилось немногим более 80% потребленного РОВ. Однако, как показал дополнительный анализ, удельная гетеротрофная активность бактерий (приведенная к единице биомассы) во всех случаях была выше активности фито- и бактериопланктона.

Наиболее активно потребление меченого РОВ осуществлялось в середине лета, чему способствовало интенсивное развитие водорослей и бактерий в это время, поступление органического вещества в процессе жизнедеятельности водорослей (в том числе и при их отмирании) и прогрев водоема.

Полученные результаты имеют существенное значение для более полного и глубокого понимания процессов формирования качества воды. И ВОВ (в том числе частицы биогенного детрита), и РОВ являются важными параметрами качества воды. Удаление ВОВ и РОВ из воды [12; 13] входит в комплекс биологических процессов улучшения качества воды и ее самоочищения [14-23].

В течение периода исследований водоросли и бактерии потребляли легкоусвояемое органическое вещество, причем активными потребителями были как бактерии, так и водоросли. Водоросли не только потребляют органическое вещество, они выделяют в среду свои метаболиты (органическое вещество) и тем стимулируют развитие бактерий и потребление ими трудноусвояемого органического вещества [11; 12; 13].

Полученные результаты дополняют и детализируют понимание процессов формирования качества воды и ее самоочищения в природных

экосистемах [14-23]. Новые результаты детализируют понимание химико-биотических взаимодействий в водных экосистемах.

ВЫВОДЫ

1. Проведен большой объем измерений, характеризующих судьбу радиоактивного углерода частиц детрита, которые были инкубированы в образцах природной воды, содержащей бактерии, цианобактерии и водоросли. Получена новая количественная информация, характеризующая гетеротрофную активность бактерий и водорослей в воде изучавшейся мезотрофной экосистемы.

2. Полученная впервые информация вносит дополнительный вклад в понимание экологических взаимодействий водорослей и бактерий, химико-биотических взаимодействий в водных экосистемах, а также в понимание механизмов формирования качества воды в пресноводных экосистемах.

Благодарность. Авторы благодарят аспирантов и студентов, которые участвовали в работе на отдельных этапах ее проведения. Приносим благодарность Е.А. Криксунову и другим ученым МГУ и РАН за консультации и обсуждение.

ЛИТЕРАТУРА И ИСТОЧНИКИ:

1. Садчиков А.П. Продукция и трансформация органического вещества размерными группами фито- и бактериопланктона: На примере водоемов Подмоскovie: Автореферат дис. ... доктора биологических наук: 03.00.18 // МГУ им. М.В.Ломоносова. – Москва, 1997. – 53 с.
1. Sadchikov A.P. Production and transformation of organic matter by size groups of phyto- and bacterioplankton: On the example of reservoirs of the Moscow region: Abstract of the dissertation. ... Doctors of Biological Sciences: 03.00.18 // Lomonosov Moscow State University. – Moscow, 1997. – 53 p.
2. Cole J.J., Likens G.E., Hobbie J.E. Decomposition of planktonic algae in an oligotrophic lake. //Oikos, 1984. Vol 42. N 3. – Pp. 257-266.
3. Садчиков А.П., Остроумов С.А. Методические аспекты изучения продукционно-деструкционных процессов в водных экосистемах / А.П. Садчиков, С.А. Остроумов // Ecological Studies, Hazards, Solutions. 2018. Vol. 25. – Pp.139-146.
3. Sadchikov A.P., Ostroumov S.A. Methodological aspects of the study of productive and destructive processes in aquatic ecosystems / A.P. Sadchikov, S.A. Ostroumov // Environmental Studies, Hazards, Solutions. 2018. Volume 25. – Pp.139-146.

4. Садчиков А.П., Остроумов С.А. Потребление низкомолекулярного органического вещества водорослями и бактериями (на примере мезотрофной экосистемы) / А.П. Садчиков, С.А. Остроумов // *Ecological Studies, Hazards, Solutions*. 2018. Vol.25. – Pp.146-153.
4. Sadchikov A.P., Ostroumov S.A. Consumption of low-molecular organic matter by algae and bacteria (on the example of a mesotrophic ecosystem) / A.P. Sadchikov, S.A. Ostroumov // *Environmental Studies, Hazards, Solutions*. 2018. Volume 25. – Pp.146-153.
5. Садчиков А.П., Остроумов С.А. Совершенствование методологии при изучении гетеротрофной активности водорослей и бактерий / А.П. Садчиков, С.А. Остроумов // *Ecological Studies, Hazards, Solutions*. 2018. Vol.25. – Pp.153-160.
5. Sadchikov A.P., Ostroumov S.A. Improving methodology in the study of heterotrophic activity of algae and bacteria / A.P. Sadchikov, S.A. Ostroumov // *Environmental Studies, Hazards, Solutions*. 2018. Volume 25. – Pp.153-160.
6. Садчиков А.П., Куликов А.С. Трансформация прижизненно выделенного фитопланктоном органического вещества бактериальным сообществом. / А.П. Садчиков, А.С. Куликов // *Гидробиологический журнал*. – 1990. – т. 26. – № 6. – С. 13-16.
6. Sadchikov A.P., Kulikov A.S. Transformation of organic matter isolated by phytoplankton in vivo by bacterial community. / A.P. Sadchikov, A.S. Kulikov // *Hydrobiological Journal*. – 1990. – vol. 26. – No. 6. – Pp. 13-16.
7. Садчиков А.П., Куликов А.С. Утилизация посмертных выделений фитопланктона бактериальным сообществом. / А.П. Садчиков, А.С. Куликов // *Гидробиологический журнал*. – 1992. – т. 28. – № 5. – С. 16-21.
7. Sadchikov A.P., Kulikov A.S. Utilization of postmortem secretions by the bacterial community of phytoplankton. / A.P. Sadchikov, A.S. Kulikov // *Hydrobiological journal*. – 1992. – vol. 28. – No. 5. – Pp. 16-21.
8. Садчиков А.П., Френкель О.А. Сорбция меченых соединений мембранными фильтрами. / А.П. Садчиков, О.А. Френкель // *Информ. Бюлл. Биология внутренних вод АН СССР*. – 1990. – № 89. – С. 81-83.
8. Sadchikov A.P., Frenkel O.A. Sorption of labeled compounds by membrane filters. / A.P. Sadchikov, O.A. Frenkel // *Inform. Byull. Biology of Inland Waters of the USSR Academy of Sciences*. – 1990. – No. 89. – Pp. 81-83.
9. Садчиков А.П., А.А. Макаров Потребление и трансформация низкомолекулярного РОВ фито-и бактериопланктоном в двух водоемах разной трофности. / А.П. Садчиков, А.А. Макаров // *Водные ресурсы*. – 2000. – т.27. – № 1. – С. 72-75.
9. Sadchikov A.P., A.A. Makarov Consumption and transformation of low molecular weight MOAT by phyto-and bacterioplankton in two reservoirs of different trophic capacity. / A.P. Sadchikov, A.A. Makarov // *Water resources*. – 2000. – Issue 27. – No. 1. – Pp. 72-75.
10. Садчиков А.П., Каниковская А.А. Роль бактериопланктона в деструкции органического вещества Можайского водохранилища. / А.П. Садчиков, А.А. Каниковская // *Микробиологический журнал*. – 1984. – т. 46. – вып. 4. – С. 10-14.
10. Sadchikov A.P., Kanikovskaya A.A. The role of bacterioplankton in the destruction of organic matter of the Mozhaiksk reservoir. / A.P. Sadchikov, A.A. Kanikovskaya // *Microbiological Journal*. – 1984. – vol. 46. – issue 4. – Pp. 10-14.
11. Ostroumov S.A., Sadchikov A.P. Dynamics of the content of nitrogen, phosphorus, and carbon in the detrital particles suspended in water phase of ecosystems: consideration of water quality formation and exometabolism. // *Russian Journal of General Chemistry*, 2018. Vol. 88 (13), Pp. 2912-2917. <https://www.researchgate.net/publication/331099556> ;
12. Садчиков А.П., Остроумов С.А. Формирование качества воды в пресноводной экосистеме и потребление низкомолекулярного органического вещества водорослями и бактериями / А.П. Садчиков, С.А. Остроумов // *Рыбное хозяйство*. – 2019. – № 2. – С. 65-69.
12. Sadchikov A.P., Ostroumov S.A. Formation of water quality in a freshwater ecosystem and consumption of low-molecular organic matter by algae and bacteria / A.P. Sadchikov, S.A. Ostroumov // *Fisheries*. – 2019. – No. 2. – Pp. 65-69.
13. Садчиков А.П., Остроумов С.А. Выявление и количественная оценка существенного вклада водорослей и бактерий в формирование качества воды и удаление растворенного органического вещества из воды эвтрофной экосистемы. / А.П. Садчиков, С.А. Остроумов // *Рыбное хозяйство*. – 2019. – №5. – С. 60-65.
13. Sadchikov A.P., Ostroumov S.A. Identification and quantitative assessment of the significant contribution of algae and bacteria to the formation of water quality and removal of dissolved organic matter from the water of the eutrophic ecosystem. / A.P. Sadchikov, S.A. Ostroumov // *Fisheries*. – 2019. – No.5. – Pp. 60-65.
14. Остроумов С.А. Биологический механизм самоочищения в природных водоемах и водотоках: теория и практика // *Успехи современной биологии*. – 2004. – Т.124. – №5. С. – 429-442. <https://www.academia.edu/790429/>; <http://scipeople.ru/publication/67095/>; <http://www.scribd.com/doc/57695131/>.
14. Ostroumov S.A. Biological mechanism of self-purification in natural reservoirs and watercourses: theory and practice // *The successes of modern biology*. – 2004. – Vol.124. – No. 5. – Pp 429-442. <https://www.academia.edu/790429/> ; <http://scipeople.ru/publication/67095/> ; <http://www.scribd.com/doc/57695131/> .
15. Остроумов С.А. О некоторых вопросах поддержания качества воды и ее самоочищения // *Водные ресурсы*. – 2005. – т. 32. – № 3. – С. 337-347. <https://www.researchgate.net/publication/266736152>;
15. Ostroumov S.A. On some issues of maintaining water quality and its self-purification // *Water resources*. – 2005. – vol. 32. – No. 3. – Pp. 337-347. <https://www.researchgate.net/publication/266736152>;
16. Остроумов С.А. Гидробионты в самоочищении вод и биогенной миграции элементов. – М.: МАКС-Пресс, 2008. – 200 с. <https://www.researchgate.net/publication/266200066>.
16. Ostroumov S.A. Hydrobionts in water self-purification and biogenic migration of elements. – М.: MAKS-Press, 2008. – 200 p. <https://www.researchgate.net/publication/266200066>.
17. Остроумов С.А. Качество и кондиционирование воды в природных экосистемах разработка теории биологических механизмов самоочищения воды // *Экологическая химия*. – 2017. – т.26(4). – С. 175-182. <https://www.academia.edu/43223672/>; <https://www.researchgate.net/publication/319955185>.
17. Ostroumov S.A. Water quality and conditioning in natural ecosystems development of the theory of biological mechanisms of water self-purification // *Environmental chemistry*. – 2017. – vol.26(4). – Pp. 175-182. <https://www.academia.edu/43223672/> ; <https://www.researchgate.net/publication/319955185>
18. Ostroumov S.A. Ecological theory of improving water quality in healthy aquatic ecosystems: theory of water self-purification. // *Green Economy in the Era of Fourth Industrial Revolution*. (Editors: Jovanović L. et al.), 2021. – Pp. 69–92. <https://www.academia.edu/77972322/>.
19. Ostroumov S.A. On the biotic self-purification of aquatic ecosystems: elements of the theory // *Doklady Biological Sciences*. – 2004. – Vol.396. – Pp. 206-211; <https://www.academia.edu/40842047/> ; DOI:10.1023/B:DOBS.0000033278.12858.12.
20. Ostroumov S.A. Biomachinery for maintaining water quality and natural water self-purification in marine estuarine systems: elements of qualitative theory. // *Int. Journal of Oceans Oceanography*. – 2006. – Vol.1. – No.1. – Pp. 111-118. <https://www.academia.edu/44091281/>.
21. Ostroumov S.A. Basics of the molecular-ecological mechanism of water quality formation and water self-purification. // *Contemporary Problems of Ecology*. – 2008. – Vol.1. – Pp. 147–152. <https://www.academia.edu/1892721/>.
22. Ostroumov S.A. Biocontrol of water quality: Multifunctional role of biota in water self-purification // *Russian Journal of General Chemistry*. – 2010. – Vol. 80(13). – Pp. 2754-2761. <https://www.academia.edu/1892485/>. <https://www.researchgate.net/publication/227303635>.
23. Ostroumov S.A. Water quality and conditioning in natural ecosystems: biomachinery theory of self-purification of water. // *Russian Journal of General Chemistry*. – 2017. – Vol. 87. – No. 13. – Pp. 3199-3204. <https://www.academia.edu/44021682/>. <https://www.researchgate.net/publication/323122008>.

АКВАКУЛЬТУРА И ВОСПРОИЗВОДСТВО

Пластические и меристические признаки гибрида «ленбел» (F_1 *Acipenser baerii* × *Huso huso*) в условиях культивирования

DOI 10.37663/0131-6184-2022-4-50-57

Кандидат биологических наук

А.Г. Новосадов – ведущий научный сотрудник отдела регулирования рыболовства ФГБНУ «ВНИРО»

Кандидат биологических наук

А.В. Новосадова – старший научный сотрудник отдела технологического нормирования ФГБНУ «ВНИРО».

Доктор сельскохозяйственных наук, профессор

А.В. Жигин – главный научный сотрудник отдела аквакультуры беспозвоночных ФГБНУ «ВНИРО»;

профессор кафедры аквакультуры и пчеловодства ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева»;

Кандидат сельскохозяйственных наук **А.В. Лабенец** – старший научный сотрудник, ведущий специалист отдела рыбохозяйственной экспертизы сооружений и технологий, оказывающих воздействие на ВБР и среду их обитания ФГБУ «ЦУРЭН».

Доктор сельскохозяйственных наук **Э.В. Бубунец** – начальник

отдела рыбохозяйственной экспертизы сооружений и технологий, оказывающих воздействие на ВБР и среду их обитания ФГБУ «ЦУРЭН»;

доцент кафедры аквакультуры и пчеловодства

ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева»

@ nowosadoff@yandex.ru;
novosadova@vniro.ru

PLASTIC AND MERISTIC SIGNS OF THE HYBRID "LENBEL" (F_1 *ACIPENSER BAERII* × *HUSO HUSO*) UNDER CULTIVATION CONDITIONS

Candidate of Biological Sciences **A.G. Novosadov** – Leading Researcher of the Department of Fisheries Regulation of VNIRO

Candidate of Biological Sciences **A.V. Novosadova** – a senior researcher at the Technological Rationing Department of the VNIRO Federal State Budgetary Institution.

Doctor of Agricultural Sciences, Professor **A.V. Zhigin** – Chief Researcher of the Department of Invertebrate Aquaculture of VNIRO; Professor of the Department of Aquaculture and Beekeeping of K.A. Timiryazev Russian State Agricultural Academy;

Candidate of Agricultural Sciences **A.V. Labenets** – a senior researcher, a leading specialist of the Department of Fisheries Expertise of Structures and Technologies that affect the VBR and their habitat of FSBI "TSUREN".

Doctor of Agricultural Sciences **E.V. Bubunets** – Head of the Department of Fisheries Expertise of structures and Technologies that affect the VBR and their habitat of FSBI "TSUREN"; Associate Professor of the Department of Aquaculture and Beekeeping of FSUE HE "RGAU-MSHA named after K.A. Timiryazev"

The hybrid of sturgeon "lenbel" (F_1 ♀ *Acipenser baerii* × ♂ *Huso huso*) was studied by conventional methods for a complex of plastic and meristic signs. It was found that only the horizontal diameter of the eye (O), the greatest height of the head (HC), the distance from the end of the rostrum to the base of the middle antennae (r_m) and to the cartilaginous arch of the mouth (r_l), the width of the snout at the cartilaginous arch of the mouth (SRr), the width of the mouth (SO) and the width of the break of the lower lip (il) for hybrid and beluga, and the width of the lower lip break (il) and the width of the snout at the base of the middle antennae (SR_m) for hybrid and Siberian sturgeon have a transgression index of less than 67%, and can be used to identify the hybrid form. The beluga fingerlings were largely consolidated, and therefore united into a single cluster. Siberian sturgeon and hybrid also form two clearly differentiated clusters, but the intra-group divergence of the hybrid is slightly higher than that of the original forms. In hybrid fingerlings, relative plastic and meristic signs are not related to body size and remain constant during the growing period, that is, they may be specific to it. It is shown that some head measurements can be used for confident identification of the hybrid.

Ключевые слова:

гибриды осетровых, «ленбел» (F_1 ♀ *Acipenser baerii* × ♂ *Huso huso*), меристические и пластические признаки, трансгрессия, кластерный анализ, идентификация.

Keywords:

sturgeon hybrids, "lenbel" (F_1 ♀ *Acipenser baerii* × ♂ *Huso huso*), meristic and plastic signs, transgression, cluster analysis, identification

ВВЕДЕНИЕ

Описания естественных гибридов осетровых нетрудно найти во многих ихтиофаунистических работах, проведенных на протяжении полутора столетий [9; 10; 15]. Отечественные ихтиологи ещё в XIX в., на основании собственных исследований, пришли к выводу о том, что некоторая доля внутривидовой изменчивости

осетровых кроется в их частом скрещивании между собой.

Известно, что в естественных условиях у этих рыб встречаются гибриды почти всех возможных сочетаний симпатрических видов [1]. В частности, среди волжских осетровых, по разным данным, доля гибридов может составлять от 0,4-1,1 [16] до 9% [8]. При этом про-

центное соотношение гибридов не является постоянным и зависит от многих факторов [6].

В настоящее время, в качестве объектов товарного осетроводства, часто используются гибриды различных видов осетровых. Преимущества гибридизации очевидны: эффект гетерозиса приводит к получению жизнестойкого, быстрорастущего потомства, превосходящего родительские формы по рыбоводно-биологическим показателям, устойчивости к заболеваниям и т.п. [5; 13].

При создании нового гибрида возникает необходимость выявить такое сочетание родительских видов/пород, которое обеспечит максимальное проявление эффекта гетерозиса. Поскольку хозяйственно-полезные признаки обусловлены, как правило, большим количеством генов, предсказать с приемлемой точностью результат того или иного скрещивания невозможно, и определение комбинационной способности проводится экспериментальным путём.

Цель данного исследования – проведение сравнительного морфометрического анализа гибрида сибирского осетра и белуги «ленбел» (F_1 *Acipenser baerii* × *Huso huso*) с родительскими видами и выявление идентифицирующих его показателей. Для этого были изучены пластические и меристические признаки, рассчитаны показатели трансгрессии и проведен кластерный анализ морфометрических данных.

Существующий интерес к использованию гибридов осетровых для товарного выращивания подтверждается значительным количеством научных публикаций, описывающих результаты скрещивания различных видов.

Наиболее распространенным в культуре и, соответственно, полно описанным гибридом является бестер – гибрид белуги и стерляди (*A. ruthenus* × *H. huso*) [5; 13]. Кроме бестера, в осетроводстве используют и других гибридов, в том числе сибирского осетра со стерлядью (*A. baerii* × *A. ruthenus*) [2], сибирского осетра с сахалинским осетром (*A. baerii* × *A. mikadoi*), русского осетра с сибирским осетром (*A. guildenstadti* × *A. baerii*) [21], русского осетра и шипа (*A. guildenstadti* × *A. nudiventris*) [25], стерляди и сибирского осетра (*A. ruthenus* × *A. baerii*) [20], севрюги и ленского осетра (*A. stellatus* × *A. baerii*) [27], стерляди и калуги (*A. ruthenus* × *H. dauricus*) [19].

Практически все рассмотренные гибридные формы в той или иной степени проявляют сходство с материнским видом, т.е. имеет место эффект матроклинии. Использование при гибридизации крупных видов, таких как белуга, калуга, шип позволяет получать потомство с высокой скоростью роста. За счёт эффекта гетерозиса гибриды от таких скрещиваний превосходят по скорости массонакопления даже родительские виды, являющиеся самыми крупными видами осетровых. Использование при скрещиваниях видов с различной плоидностью обычно приводит к отклонению морфометри-

Гибрид осетровых «ленбел» (F_1 ♀ *Acipenser baerii* × ♂ *Huso huso*) исследован общепринятыми методами по комплексу пластических и меристических признаков.

Установлено, что только горизонтальный диаметр глаза (O), наибольшая высота головы (HC), расстояние от конца рострума до основания средних усиков (r_c) и до хрящевого свода рта (rr), ширина рыла у хрящевого свода рта (SR_c), ширина рта (SO) и ширина перерыва нижней губы (il) для гибрида и белуги, и ширина перерыва нижней губы (il) а также ширина рыла у основания средних усиков (SR_c) для гибрида и сибирского осетра имеют показатель трансгрессии менее 67%, и могут использоваться для идентификации гибридной формы. Сеголетки белуги были в значительной мере консолидированы, и поэтому объединены в единый кластер. Сибирский осётр и гибрид также образуют два чётко дифференцированных кластера, но внутригрупповая дивергенция гибрида несколько выше, чем у исходных форм. У сеголетков гибрида относительные пластические и меристические признаки не связаны с размерами тела и остаются постоянными в течение периода выращивания, то есть могут являться для него специфичными. Показано, что для уверенной идентификации гибрида могут использоваться некоторые промеры головы.

ческих признаков потомства в сторону родителей с большей плоидностью.

Характеристика основных морфометрических показателей является обязательной при описании новых видов рыб и при регистрации новых пород и кроссов. По данным морфометрического анализа можно установить, в какую сторону (материнскую или отцовскую) отклоняются значения учитываемых признаков; обозначить признаки, идентифицирующие гибрид; выявить новообразования, отсутствующие у исходных видов; определить степень наследования признаков, сделать предположения о его продукционных и биологических характеристиках.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Экспериментальной базой послужило рыбоводное хозяйство при Электрогорской ГРЭС-3 имени Р.Э. Классона. Для получения опытной (гибриды сибирского осетра и белуги) и контрольной (сибирский осётр) групп рыб использовались производители из репродуктивных стад, сформированных из рыб, выращенных в данном хозяйстве.

По биопсийным пробам [3] были отобраны три самки сибирского осетра с гонадами в IV – завершённой стадии зрелости. Для получения спермы было взято по три половозрелых самца сибирского осетра и белуги. Для стимуляции созревания гонад производителей применяли комбинированные инъекции карпового гипо-

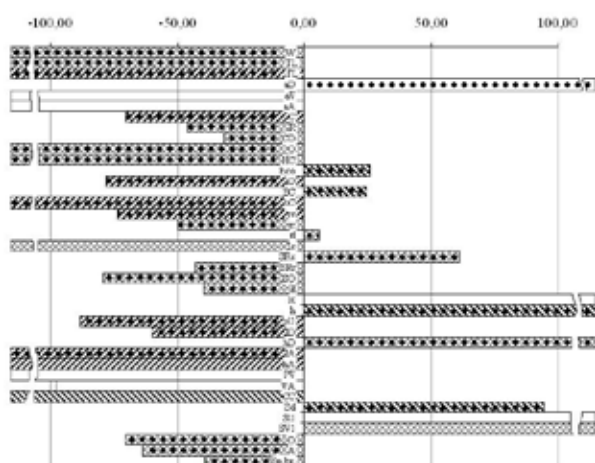


Рисунок 1. Гибридный индекс сеголетков гибрида «*A. baerii* × *H. huso*»:

□ – достоверно не отличается от родительских видов; ▨ – достоверно отличается от обоих родительских видов ($p > 95\%$); ▩ – достоверно отличается от отцовского вида ($p > 95\%$); ▪ – достоверно отличается от материнского вида ($p > 95\%$); ▣ – признаки, достоверно различающиеся у родительских видов ($p > 95\%$)

Figure 1. Hybrid index of fingerlings of hybrid "*A. baerii* × *H. huso*": □ – reliably does not differ from the parent species; ▨ – reliably differs from both parent species ($p > 95\%$); ▩ – reliably differs from the paternal species ($p > 95\%$); ▪ – reliably differs from the maternal species ($p > 95\%$); ▣ – signs significantly different in parent species ($p > 95\%$)

физа и синтетического аналога гонадотропин-рилизинг гормона «Сурфагон» [4].

Работа была выполнена в двух повторностях, при этом инкубация икры проводилась в аппаратах Вейса, а для выдерживания предличинки и подрашивания молоди до 3-5 г использовали стандартные рыбоводные бассейны ИЦА-2 с некоторым дополнительным оборудованием. В дальнейшем молодь массой ≥ 5 г переводили для последующего выращивания в расположенные на открытой площадке бетонные бассейны (4×2×1,5 м) с подачей воды

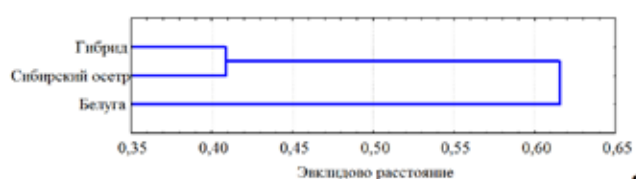


Рисунок 2. Дендрограмма сходства сибирского осетра, белуги и их гибрида

Figure 2. Dendrogram of similarity of Siberian sturgeon, beluga and their hybrid

через «флейты» и полным водообменом 2 раза в час.

При конкурсном выращивании рыб старших возрастов актуальность приобретает вопрос о методической корректности опыта. В классической постановке эксперимента (без учета многофакторного анализа) контрольная и опытная группы должны отличаться только тем показателем, влияние которого подвергается изучению [7]. В нашем случае такой показатель – вид рыб, поэтому стартовое начальное расхождение по размерно-весовым показателям исключается. Исходя из этого, было принято решение работать с выборкой, выровненной по массе. Для нивелирования недостатков этого метода сравнение показателей роста проводили по относительным показателям и эмпирическим формулам роста.

Сеголетков взвешивали на аналитических весах; линейные показатели определяли при помощи измерительных шкал с сеткой разного размера и мерной доски. Измерения проводили в конце вегетационного периода по схеме И.Ф. Правдина для рыб семейства *Acipenseridae* в модификации В.Д. Крыловой и Л.И. Соколова (1981): *W* – масса, г или кг; *L* – длина зоологическая, см; *L*₁ – длина тела до конца средних лучей *C*; *aD* – антедорсальное расстояние; *aV* – антевентральное расстояние; *aA* – антеанальное расстояние; *C* – длина головы; *R* – длина рыла; *CD* – заглазничный отдел; *O* – горизонтальный диаметр глаза; *HC* – наибольшая высота головы (у затылка); *hc*₀ – наименьшая высота головы (на уровне глаз); *iO* – межглазничное пространство (ширина лба); *BC* – наибольшая ширина головы; *bC* – ширина головы по верхним краям жаберных крышек; *rc* – расстояние от конца рыла до линии, проходящей через середину основания средней пары усиков; *r*_т – расстояние от конца рыла до хрящевого свода рта; *rl* – расстояние от основания средней пары усиков до хрящевого свода рта; *lc* – длина наибольшего усика; *SR*_с – ширина рыла у основания средних усиков; *SR*_т – ширина рыла у хрящевого свода рта; *SO* – ширина рта; *il* – ширина перерыва нижней губы; *H* – наибольшая высота тела; *h* – наименьшая высота тела; *pl*₁ – длина хвостового стебля; *lD* – длина основания *D*; *hD* – высота *D*; *lA* – длина основания *A*; *hA* – высота *A*; *PV* – пектоанальное расстояние; *VA* – вентроанальное расстояние; *CC* – наибольший обхват тела; *Sd* – число спинных жучек; *Sl*₁ – число боковых жучек слева; *SV*₁ – число брюшных жучек слева; *D* – число лучей в *D*; *A* – число лучей в *A*; *Sp.br.* – число тычинок на первой жаберной дуге. Все измерения выполнены на живых рыбах.

Полученные данные статистически обрабатывались с использованием общепринятых в биологии методов [24], при помощи программных пакетов STATISTICA 8.0 и Microsoft Excel. Определяли среднее значение с ошибкой ($M \pm m$), среднеквадратическое отклонение (σ), коэффициенты вариации (*Cv*), асимметрии (*A*)

и эксцесса (Е). Для расчета показателя трансгрессии использован Microsoft Excel и соответствующие алгоритмы [17]. Корреляционные связи между признаками представлены графически в виде «корреляционного кольца» [23].

Кластерный анализ морфометрических данных реализован в программе STATISTICA 8.0. Кластеризование осуществляли по иерархическому агломеративному алгоритму методом одиночной связи или «ближнего соседа»:

$$\begin{aligned} \rho_{\min}(S_i, S_m) &= \min \rho(x_i, x_j); \\ x_i &\in S_i; \\ x_j &\in S_m. \end{aligned}$$

Здесь расстояние между кластерами определяется расстоянием между двумя наиболее близкими объектами в разных кластерах. Этот метод позволяет выделять кластеры сколь угодно сложной формы, какими обычно и являются биологические группы.

В качестве меры сходства использовалось обычное евклидово расстояние:

$$\rho_E(x_i, x_j) = \sqrt{\sum_{l=1}^k (x_{il} - x_{jl})^2},$$

где x_i, x_j – величина l -й компоненты у i -го (j -го) объекта ($l=1, 2, 3, \dots, k$; $i, j=1, 2, 3, \dots, n$).

Так как многие учитываемые признаки имеют различную размерность, чтобы избежать доминирования одних показателей над другими, прибегли к нормированию каждого признака путём деления центрированной величины на среднее квадратическое отклонение для каждого признака, и перешли от матрицы X к нормированной матрице с элементами:

$$x_{il}^H = (x_{il} - \bar{x}_l) / S_l,$$

где: x_{il} – значение l -го признака i -го объекта;
 $\bar{x}_l$ – среднее значение l -го признака;
 S_l – среднее квадратическое отклонение l -го признака.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Морфометрические исследования сеголетков сибирского осетра и его гибрида с белугой были проведены одновременно. Так как на момент проведения работ получение сеголетков белуги было невозможным из-за отсутствия половозрелых самок, для сравнительного анализа использованы морфометрические характеристики сеголетков белуги, полученных от обитающих в состоянии естественной свободы производителей, которые были любезно предоставлены авторам лауреатом премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники, кандидатом биологических наук В.Д. Крыловой.

Для сравнения гибридов с родительскими формами удобным и объективным способом является вычисление гибридного индекса и его последующее графическое отображение [12]. Величина гибридного индекса у гибрида

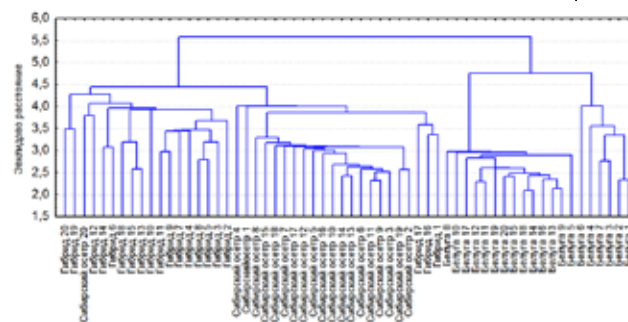


Рисунок 3. Дендрограмма внутри- и межгруппового сходства особей сибирского осетра ($n=20$), белуги ($n=20$) и их гибрида ($n=20$)

Figure 3. Dendrogram of intra- and intergroup similarity of Siberian sturgeon ($n=20$), beluga ($n=20$) and their hybrid ($n=20$)



Рисунок 4. Корреляция между основными показателями гибридов «*A. baerii* × *H. huso*»: синие линии – сильная корреляция, $r > 0,70$; красные линии – средняя корреляция, $0,50 < r < 0,70$

Figure 4. Correlation between the main indicators of hybrids “*A. baerii* × *H. huso*”: blue lines – strong correlation, $r > 0,70$; red lines – average correlation, $0,50 < r < 0,70$

A. baerii × *H. huso* из 39 проанализированных показателей достоверно различается по 33 (рис. 1). При этом его отрицательные значения свидетельствуют об отклонении признака в материнскую сторону, положительные – в отцовскую.

Статистический материал, представляемый в табличной форме, способен подробно охарактеризовать гибридную форму и её различия с исходными видами. Однако табличная форма презентации данных громоздка, не об-

ладает необходимой наглядностью и не позволяет проводить сравнение сразу по комплексу признаков. Поэтому всегда желательно иметь визуально более доступную информацию о степени сходства гибридов с исходными формами. Для этих целей весьма перспективным является использование методов многомерного анализа.

Существует множество алгоритмов кластерного анализа, в рассматриваемом случае для решения поставленных задач наиболее адекватен иерархический агломеративный анализ, который характеризуется последовательным объединением исходных элементов и соответствующим уменьшением числа кластеров.

Дендрограмма морфологического сходства (рис. 2), построенная по комплексу из 39 пластических и меристических признаков, весьма наглядно показывает, что сибирский осётр и его гибрид с белугой чётко объединяются в один кластер, что, как и другие данные, свидетельствует о большей степени сходства данного гибрида именно с сибирским осетром.

Более детальную информацию о сходстве можно получить, если подвергнуть кластеризации не средние показатели по видам, как на рисунке 3, а индивидуальные показатели каждой особи. Рисунок 4 представляет дендрограмму кластерного анализа для 20 особей каждой

группы (сибирского осетра, белуги и гибрида «ленбел»).

Корреляция между основными показателями для гибридов «сибирский осётр × белуга» отражена на рисунке 4.

ОБСУЖДЕНИЕ

Из-за высокой вариабельности гибрид «ленбел», по большинству признаков кроме упомянутых выше, трансгрессирует с обеими родительскими формами, что затрудняет дифференциацию гибрида с исходными видами. Вследствие аллометрии роста, относительные значения пластических признаков, как и меристические, либо не коррелируют, либо слабо коррелируют с длиной тела и длиной головы (рис. 4). Последнее указывает на то, что у сеголетков гибрида «сибирский осётр × белуга» относительные пластические и меристические признаки не связаны с размерами тела и остаются постоянными в течение периода выращивания. То есть, эти признаки могут являться специфичными для изучаемых форм. Средняя положительная и отрицательная корреляция некоторых признаков с длиной тела может вызывать определенные сомнения, например, корреляция относительной высоты спинного плавника с длиной тела и некоторые другие, и, скорее всего, является следствием недостаточного количества статистического материала.

По основным экстерьерным показателям гибрид сибирский осётр × белуга уклоняется в материнскую сторону, то есть имеет место эффект матроклинии. Форма головы и тела сходны с сибирским осетром. Окраска молодки варьирует от светло-серой до почти чёрной и неотличима от окраски сибирского осетра. Типичный окрас тела полностью проявляется к двухмесячному возрасту и сходен с окраской сибирского осетра (от светло-серого до тёмно-серого) с бронзовым «белужьим» оттенком. Основные отличия от сибирского осетра проявляются в признаках головы. Голова гибрида по форме сходна с головой сибирского осетра. Усики без бахромы; в поперечном сечении овальные; все одинаковой длины и не достигают края верхней губы. Рот по ширине занимает промежуточное положение между аналогичным показателем родительских видов, отклоняясь в сторону белуги. По форме рот «слабо полулунный», то есть больше похож на белужий, чем на рот сибирского осетра, хотя по ширине занимает промежуточное положение между размерами у родительских видов. Нижняя губа прервана, перерыв нижней губы составляет 23% от ширины рта, и занимает промежуточное положение между данными показателями у сибирского осетра и белуги (соответственно – 11% и 39%).

Если значение гибридного индекса при анализе составляет минус 100%, то признак гибрида полностью совпадает с признаком матери, если – плюс 100%, то с признаком отца. Рисунок 1 показывает, что рассматриваемый гибрид

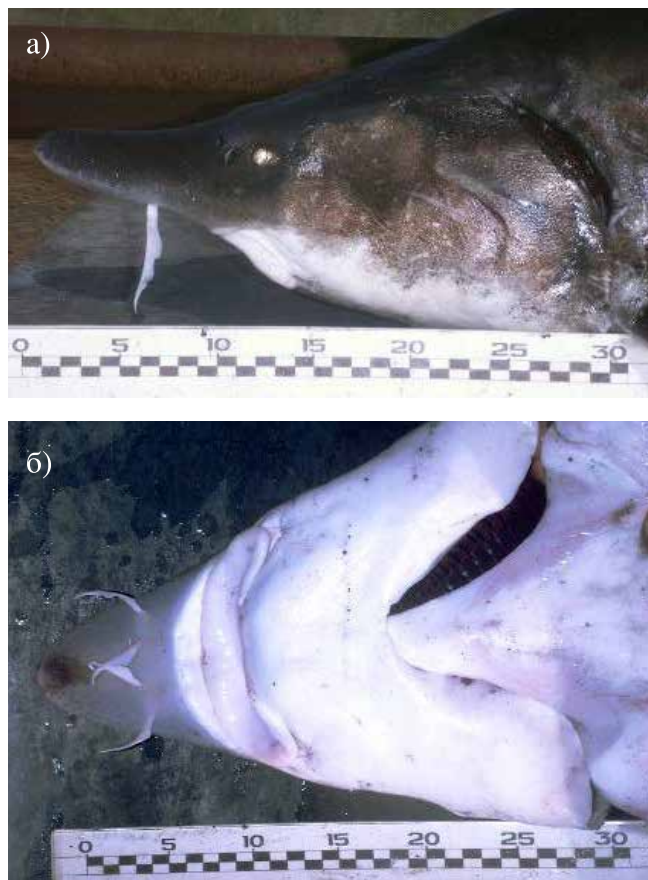


Рисунок 5. Белуга: А) голова вид сбоку; Б) голова вид снизу

Figure 5. Beluga: A) head side view; B) head bottom view

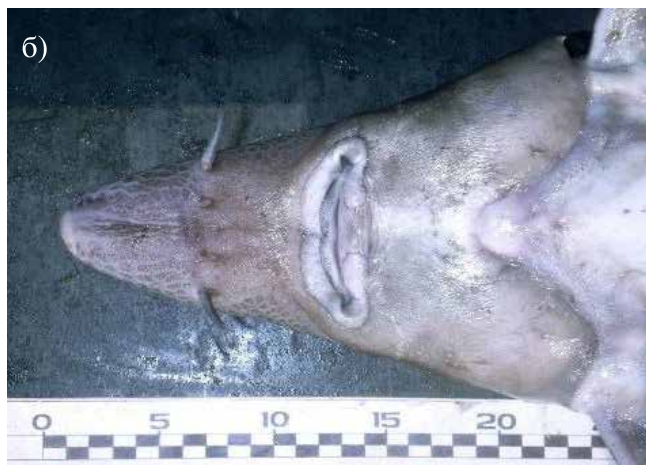
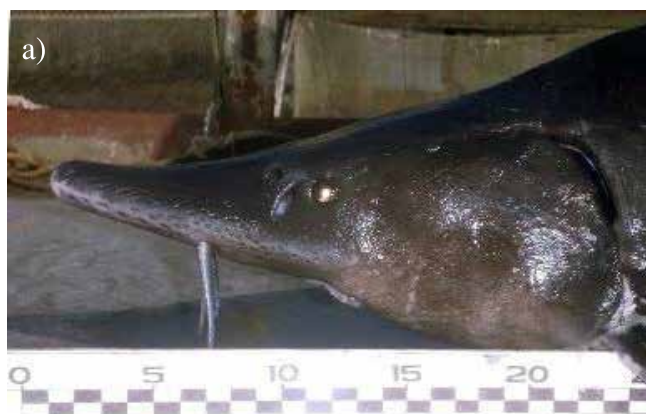


Рисунок 6. Гибрид сибирского осетра и белуги: А) голова вид сбоку; Б) голова вид снизу

Figure 6. Hybrid of Siberian sturgeon and beluga: A) head side view; B) head bottom view

по большинству показателей занимает промежуточное положение между сибирским осетром и белугой. При этом различие с родительскими видами статистически достоверно по большинству признаков (32). Гибрид достоверно отличается от белуги по 23 пластическим показателям из 30, и по 4 из 6 меристических показателей. Для сибирского осетра эти цифры равны, соответственно, 18 из 33 пластических признаков, и 5 из 6 меристических. Одновременно от обоих родителей гибрид отличается по 14 пластическим и 4 меристическим признакам.

Большинство показателей гибридов достоверно отличаются от показателей родительских видов, одновременно значительно трансгрессируя с ними. Кажущееся противоречие объясняется тем, что достоверность разности вычисляется для средних значений признаков, а показатель трансгрессии – для доверительного интервала 99,7%.

Данные о достоверности разности и показатели трансгрессии дают основания для выявления признаков, являющихся диагностическими при дифференциации гибридов и родительских видов. Из пластических признаков только горизонтальный диаметр глаза (O), наиболь-



Рисунок 7. Сибирский осетр:

А) голова вид сбоку; Б) голова вид снизу

Figure 7. Siberian sturgeon: A) head side view; B) head bottom view

шая высота головы (HC), расстояние от конца рострума до основания средних усиков (r_c) и до хрящевого свода рта (r_r), а также ширина рыла у хрящевого свода рта (SR_r), ширина рта (SO) и ширина перерыва нижней губы (il) для гибрида и белуги, ширина перерыва нижней губы (il) и ширина рыла у основания средних усиков (SR_c) для гибрида и сибирского осетра имеют показатель трансгрессии менее 67% и могут использоваться для идентификации гибридной формы [18; 26].

Из меристических признаков показатель трансгрессии ниже 67% выявлен только для числа лучей в спинном плавнике (D) и числа лучей в анальном плавнике (A) для гибридной формы и белуги. У исследованных гибридов проявляется значительный матроклиный эффект, показатель трансгрессии с сибирским осетром ниже 67% отмечен только для ширины рыла у основания средней пары усиков (29,22%) и для ширины перерыва нижней губы (21,18%). Тем не менее, при практической работе с гибридами становятся заметны другие признаки, не нашедшие отражения в методиках, но позволяющие достаточно точно отличить гибридную форму от исходных.

На рисунках 5-7 показаны родительские особи в возрасте 10 и 12 лет (сибирский осётр и белуга соответственно) и гибрид в возрасте 6 лет, видно, что такими признаками являются специфическая форма рта (похожая на белужью), форма головы, некоторые другие экстерьерные показатели.

Основные показатели признаков, отличающие гибрид «ленбел» от родительских видов и способные служить тест-признаками, сосредоточены в основном в промерах головы ($О$, HC , r_s , r_p , SR_s , SR_p) и рта (SO , il).

Поскольку гибрид имеет явно выраженное отклонение морфометрических показателей в сторону материнского вида – сибирского осётра – можно ожидать, что и его продукционные характеристики будут не ниже таковых у сибирского осётра. Это подтверждается результатами работы по товарному выращиванию «ленбела» в Электрогорском рыбноводном хозяйстве, которая показала, что гибрид по темпу роста превосходит сибирского осётра [14].

Рисунок 4, аналогично рисунку 3, содержит информацию о степени сходства объектов. Но, кроме этого, можно выделить ещё некоторые закономерности. Так, измеренные сеголетки белуги в значительной мере консолидированы, и поэтому объединены все в один кластер. Сибирский осётр и гибрид «*A. baerii* × *H. huso*» также образуют два чётко идентифицируемых кластера, но внутригрупповая дивергенция гибрида несколько выше, чем у исходных видов.

Также на дендрограмме видно, что отдельные особи (сибирский осётр 20, а также гибриды 1, 16 и 17) принадлежат чужим кластерам, то есть обладают большим сходством с другим видом, чем со своим. Из исходных данных становится понятно, что это сходство обусловлено в основном пластическими признаками (массой, длиной тела, высотой плавников и т.д.). Как известно, пластические признаки у осетровых рыб отличаются значительной вариабельностью, и поэтому не могут считаться основополагающими при идентификации видов [22].

Многомерный анализ, хотя и не несёт статистической информации, позволяет довольно точно судить о степени сходства гибридов и исходных видов, а также о степени внутригрупповой изменчивости гибридов и исходных видов. Данная информация о сходстве/различии живых объектов по комплексу признаков может быть полезна при организации селекционно-племенной работы по консолидации пород/кроссов, закреплению хозяйственно полезных признаков. Применима она и для проведения испытаний на отличимость, однородность и стабильность.

ВЫВОДЫ

1. Количественным тест-признаком, отличающим изученный гибрид от родительских видов, является ширина перерыва нижней губы (показатель трансгрессии с сибирским осетром 21,2%, с белугой – 41,1%), качественными –

форма рта и головы, окраска и экстерьер тела.

2. Анализ комплекса из 39 пластических и меристических признаков гибрида «ленбел» и родительских видов подтверждает его большее сходство с сибирским осетром на индивидуальном и групповом уровнях.

3. Применённые в работе методы сравнительной статистики могут быть использованы при организации селекционно-племенной работы в рыбноводстве.

ЛИТЕРАТУРА И ИСТОЧНИКИ:

1. Берг Л.С. Фауна России и сопредельных стран. Рыбы. Том 1 *Marsipo-branchii, Selachii, Chondrostei*. – СПб.: Изд-во Акад. Наук, 1911. – 337 с.
1. Berg L.S. Fauna of Russia and neighboring countries. Fish. Volume 1 *Marsipo-branchii, Selachii, Chondrostei*. – St. Petersburg: Publishing House of Akad. Sciences, 1911. – 337 p.
2. Богерук А.К. Справочник по племенным рыбноводным хозяйствам Российской Федерации. / А.К. Богерук, Н.Ю. Евтихьева, Н.С. Козловская и др. – М.: ГУП «Агропресс», 2001. – 166 с.
2. Bogeruk A.K. Handbook of breeding fish farms of the Russian Federation. / A.K. Bogeruk, N.Yu. Evthieva, N.S. Kozlovskaya et al. – M.: SUE "Agropress", 2001. – 166 p.
3. Бубунец Э.В. Совершенствование биопсийного метода определения стадии зрелости гонад у рыб при искусственном воспроизводстве / Э.В. Бубунец, А.Г. Новосадов, А.В. Жигин, А.В. Лабенец // Рыбное хозяйство. – 2020. – №3. – С.101-108. DOI 10.37663/0131-6184-2020-3-101-108
3. Bubunets E.V. Improvement of the biopsy method for determining the maturity stage of gonads in fish during artificial reproduction / E.V. Bubunets, A.G. Novosadov, A.V. Zhigin, A.V. Labenets // Fisheries. – 2020. – No.3. – Pp.101-108. DOI 10.37663/0131-6184-2020-3-101-108
4. Бубунец Э.В. Инновационная модель комбинированного стимулирования овуляции у осетровых рыб и цитометрические особенности продуцируемых ооцитов / Э.В. Бубунец, А.О. Ревякин, А.В. Лабенец // Биомедицина. – 2014. – № 4. – С. 65-69.
4. Bubunets E.V. Innovative model of combined ovulation stimulation in sturgeon fish and cytometric features of produced oocytes / E.V. Bubunets, A.O. Revyakin, A.V. Labenets // Biomedicine. - 2014. – No. 4. – Pp. 65-69.
5. Бурцев И.А. Биологические основы полноциклового культивирования осетровых рыб и создания новых пород методами гибридизации и селекции: Автореф. дис. докт. биол. наук. – М.: ВНИРО, 2013. – 47 с.
5. Burtsev I.A. Biological bases of full-cycle cultivation of sturgeon fish and creation of new breeds by methods of hybridization and selection: Abstract. dis. doct. biol. nauk. – M.: VNIRO, 2013. – 47 p.
6. Глухов А.Л. Встречаемость гибридов осетровых в естественных условиях в р. Волге / А.Л. Глухов, А.Ф. Скосырский // Осетровые на рубеже XXI века: тез. докл. Междунар. конф. – Астрахань, 2000. С 52-53.
6. Glukhov A.L. Occurrence of sturgeon hybrids in natural conditions in the Volga River // A.L. Glukhov, A.F. Skosyrsky // Tez. dokl. International conference: "Sturgeon at the turn of the XXI century". Astrakhan: Publishing House: KaspNIRKh, 2000. – Pp.52-53.
7. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. – М.: Колос, 1985. – 416 с.
7. Dospekhov B.A. Methodology of field experience. – M.: Kolos, 1985. – 416 p.
8. Дюжиков А.Т. О естественной гибридизации осетровых рыб на р. Волге // Докл. акад. наук СССР, 1959. – Т. 129. – № 1. – С. 194-197.

8. Dyuzhikov A.T. On the natural hybridization of sturgeon fish on the Volga River // Dokl. Academy of Sciences of the USSR, 1959. – Vol. 129. – No. 1. – Pp. 194-197.
9. Зограф Н.Ф. Материалы к познанию организации стерляди // Труды лаборатории при Зоологическом музее Московского университета. Вып. 1. – М., 1887. – 72 с.
9. Zograf N.F. Materials for the knowledge of the sterlet organization // Proceedings of the Laboratory at the Zoological Museum of Moscow University. Issue 1. – М., 1887. – 72 p.
10. Козлов В.И. Экологическое прогнозирование ихтиофауны пресных вод в связи с сохранением видового биоразнообразия и созданием устойчивых рыбных сообществ. Дисс. ... д-ра биол. наук в форме науч. докл. – СПб.: Гос-НИОРХ, 1995. – 48 с.
10. Kozlov V.I. Ecological forecasting of freshwater ichthyofauna in connection with the conservation of species biodiversity and the creation of sustainable fish communities. Diss. ... Doctor of Biological Sciences in the form of a scientific docl. - St. Petersburg: State Research Institute, 1995. – 48 p.
11. Крылова В.Д. Морфологические исследования осетровых рыб и их гибридов (методические рекомендации). / В.Д. Крылова, Л.И. Соколов. – М.: Отдел науч.-технич. информации ВНИРО, 1981. – 49 с.
11. Krylova V.D. Morphological studies of sturgeon fish and their hybrids (methodological recommendations). / V.D. Krylova, L.I. Sokolov. – М.: Department of Scientific and Technical information VNIRO, 1981. – 49 p.
12. Макеева А.П. Гибридизация карпа *Cyprinus carpio* L. с белым амуром *Ctenopharyngodon idella* (Val.) / А.П. Макеева, Б.В. Веригин // Вопросы ихтиологии. – 1974. – Т. 14. – Вып. 2 (85). – С. 171-194.
12. Makeeva A.P. Hybridization of carp *Cyprinus carpio* L. with the white cupid *Ctenopharyngodon idella* (Val.) / A.P. Makeeva, B.V. Verigin // Questions of ichthyology. - 1974. – Vol. 14. – Issue 2 (85). – Pp. 171-194.
13. Николукин Н.И. Отдалённая гибридизация осетровых и костистых рыб. Теория и практика. – М.: Пищевая промышленность, 1972. – 335 с.
13. Nikolyukin N.I. Distant hybridization of sturgeon and bony fish. Theory and practice. – М.: Food industry, 1972. – 335 p.
14. Новосадов А.Г. Морфофизиологическая и продукционная характеристики гибрида сибирского осетра *Acipenser baerii* и белуги *Huso huso*. Автореф. дис. канд. биол. наук. М.: ВНИРО, 2011. – 24 с.
14. Novosadov A.G. Morphophysiological and production characteristics of the hybrid of Siberian sturgeon *Acipenser baerii* and beluga *Huso huso*. Abstract of the dissertation of the candidate. biol. nauk. M.: VNIRO, 2011. – 24 p.
15. Овсянников Ф.В. Об искусственном разведении стерлядей // Труды Второго съезда русских естествоиспытателей по отделам зоологии, анатомии и физиологии. – М., 1871. – С. 191-200.
15. Ovsyannikov F.V. On artificial breeding of sterlets // Proceedings of the Second Congress of Russian naturalists in the departments of zoology, anatomy and physiology. – М., 1871. – Pp. 191-200.
16. Павлов А.В. Материалы по ходу и составу стада осетровых в р. Волге в 1958-1962 г. // Труды ВНИРО. – 1964. – Т. 54. – Вып. 2. – С. 137-156.
16. Pavlov P.A. Materials on the course and composition of the herd of sturgeon in the Volga River in 1958-1962 // Proceedings of VNIRO. – 1964. – Vol. 54. – Issue. 2. – Pp. 137-156.
17. Плохинский Н.А. Биометрия. – Новосибирск: Сибирское отделение АН СССР, 1961. – 361 с.
17. Plokhinsky A.V. Biometrics. – Novosibirsk: Siberian Branch of the USSR Academy of Sciences, 1961. – 361 p.
18. Потапова Т.Л. Внутривидовая изменчивость трёхиглой колюшки (*Gasterosteus aculeatus* L.) // Вопросы ихтиологии. – 1972. – Т. 12. – Вып. 1. – С. 25-40.
18. Potapova T.L. Intraspecific variability of the three-spined stickleback (*Gasterosteus aculeatus* L.) // Questions of ichthyology. – 1972. – Vol. 12. – Issue 1. – Pp. 25-40.
19. Рачек Е.И. Рыбоводно-биологическая характеристика прямых и возвратных гибридов стерляди с калугой при выращивании на тёплых водах приморья. // Материалы Всероссийской научно-практической конференции, приуроченной к 20-летию открытия в Кубанском государственном университете направления подготовки «Водные биоресурсы и аквакультура». – Краснодар, 2018. – С. 381-387
19. Rachek E.I. Fish-breeding and biological characteristics of direct and return hybrids of sterlet with kaluga when grown in warm waters of Primorye. // Materials of the All-Russian scientific and practical conference dedicated to the 20th anniversary of the opening of the training course "Aquatic bioresources and aquaculture" at the Kuban State University. – Krasnodar, 2018. – Pp. 381-387
20. Речинский В.В. Рыбоводно-биологическая характеристика гибридов стерляди с сибирским осетром: диссертация ... канд. биол. наук: 03.00.10. – Москва, 2003. – 125 с.
20. Rechinsky V.V. Fish-breeding and biological characteristics of sterlet hybrids with Siberian sturgeon: dissertation ... cand. biol. nauk: 03.00.10. – Moscow, 2003. – 125 p.
21. Сафронов А.С., Филиппова О.П. Опыт эксплуатации маточного стада осетровых рыб в тепловодном садковом хозяйстве "Каду́йрыбхоз" Вологодской области // Тез. докл. Межд. конф.: «Осетровые на рубеже XXI века». Астрахань: Изд-во: КаспНИРХ, 2000. – С. 319-320.
21. Safronov A.S., Filippova O.P. The experience of operating a brood stock of sturgeon fish in a warm-water cage farm "Kaduyrybkhaz" of the Vologda region // Tez. dokl. International conference: "Sturgeon at the turn of the XXI century". Astrakhan: Publishing House: KaspNIRKh, 2000. – Pp. 319-320.
22. Слущкий Е.С. Фенотипическая изменчивость рыб (селекционный аспект) // Л.: Известия ГосНИИ озёрного и речного рыбного хозяйства. – 1978. – Т. 134. – С.3-132.
22. Slutsky E.S. Phenotypic variability of fish (breeding aspect) // L.: Izvestiya GosNII ozernogo i rechnoy fish farming. – 1978. – Vol. 134. – Pp. 3-132.
23. Терентьев П.В. Дальнейшее развитие метода корреляционных плед // Применение математических методов в биологии. – Л., 1960. – С. 27-36.
23. Terentyev P.V. Further development of the method of correlation pleiades // Application of mathematical methods in biology. – L., 1960. – Pp. 27-36.
24. Урбах В.Ю. Биометрические методы. – М.: Наука, 1964. – 416 с.
24. Urbach V.Yu. Biometric methods. – М.: Nauka, 1964. – 416 p.
25. Федосеева Е.А. Рыбоводно-биологическая и морфофизиологическая характеристика гибридов русского осетра.: Автореф. дис. канд. биол. наук. – М., 2004. – 24 с.
25. Fedoseeva E.A. Fish-breeding-biological and morphophysiological characteristics of Russian sturgeon hybrids.: Abstract of the dissertation of the candidate. biol. nauk. – М., 2004. – 24 p.
26. Филипченко Ю.А. Изменчивость и методы её изучения. – Петроград: Государственное издательство, 1923. – 237 с.
26. Filipchenko Yu.A. Variability and methods of its study. – Petrograd: State Publishing House, 1923. – 237 p.
27. Шишанова Е.И., Бубунец Э.В. Использование межвидовой гибридизации осетровых для повышения экономической эффективности содержания нетехнологичных видов осетровых рыб в товарных рыбных хозяйствах // Тез. докл. Междунар. науч. конф.: «Инновационные технологии аквакультуры». – Ростов-на Дону: ЮНЦ РАН, 2009. – С. 147-150.
27. Shishanova E.I., Bubunets E.V. The use of interspecific hybridization of sturgeon to increase the economic efficiency of keeping non-technological species of sturgeon in commercial fisheries // Tez. dokl. International Scientific conference: "Innovative technologies of aquaculture". – Rostov-on-Don: YUNTS RAS, 2009. – Pp. 147-150.

АКВАКУЛЬТУРА И ВОСПРОИЗВОДСТВО

Эффективность применения некоторых БАВ в составе продукционных кормов для осетровых рыб

DOI 10.37663/0131-6184-2022-4-58-64

Доктор биологических наук **С.В. Пономарев** – профессор кафедры «Аквакультура и рыболовство», заведующий научно-исследовательской лаборатории «Осетроводство и перспективные объекты аквакультуры» Астраханского государственного технического университета; главный научный сотрудник центра «Аквакультуры» Московского государственного университета технологий и управления имени К.Г. Разумовского (ПКУ); кандидат сельскохозяйственных наук **Ю.В. Федоровых** – доцент кафедры «Аквакультура и рыболовство»; Кандидат биологических наук **А.Б. Ахмеджанова** – ведущий инженер научно-исследовательской лаборатории «Осетроводство и перспективные объекты аквакультуры»; Кандидат сельскохозяйственных наук **О.А. Левина** – доцент кафедры «Аквакультура и рыболовство» – Астраханский государственный технический университет (ФГБОУ ВО «АГТУ»); Доктор биологических наук, профессор **А.Л. Никифоров-Никишин** – декан факультета «Биотехнологии и рыбного хозяйства»; **В.А. Климов** – старший преподаватель кафедры «Экологии и природопользования» – Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского (ПКУ)

@ aliyaakhmed14@gmail.com

THE EFFECTIVENESS OF THE USE OF SOME BAS IN THE COMPOSITION OF PRODUCTION FEEDS FOR STURGEON FISH

Doctor of Biological Sciences **S.V. Ponomarev** – Professor of the Department of "Aquaculture and Fisheries", Head of the Research Laboratory "Sturgeon Breeding and Promising Aquaculture Facilities" of Astrakhan State Technical University; Chief Researcher at "Aquaculture" Center of the Moscow State University of Technology and Management named after K.G. Razumovsky (PKU); Candidate of Agricultural Sciences **Yu.V. Fedorovykh** – Associate Professor of the Department of "Aquaculture and Fisheries"; Candidate of Biological Sciences **A.B. Akhmedzhanova** – Leading Engineer of the Scientific Research Laboratory "Sturgeon breeding and promising aquaculture facilities"; Candidate of Agricultural Sciences **O.A. Levina** – Associate Professor of the Department of Aquaculture and Fisheries – Astrakhan State Technical University (FGBOU VO "AGTU"); Doctor of Biological Sciences, Professor **A.L. Nikiforov-Nikishin** – Dean of the Faculty of "Biotechnology and Fisheries"; **V.A. Klimov** – Senior Lecturer of the Department of Ecology and Nature Management – Moscow State University of Technology and Management named after K.G. Razumovsky (PKU)

Bioflavonoids, also known as flavonoids, are substances with low molecular weight that are found in vascular plants. They are found in all parts of plants, but especially in photosynthetic cells and have a wide spectrum of action as antioxidants, enzymatic inhibitors, precursors of toxic substances, protection against ultraviolet radiation, and also participate in energy conversion. The article discusses the experience of using a new generation antioxidant – dihydroquercetin and an immunostimulator – arabinogalactan in feeding sturgeon fish. The objects of research in the work were: two-year-olds of Russian sturgeon, as well as dihydroquercetin, arabinogalactan and feed formulations for sturgeon fish species. In the process of work, the formulation of a full-fledged compound feed for sturgeon fish species was adjusted using the bioflavonoid dihydroquercetin, an arabinogalactan immunostimulator, and the productive effect of feed on fish was evaluated according to fish-biological and physiological indicators. The obtained results complement the existing ideas about the fields of application of antioxidants, and also prove the prospects of using herbal remedies as antioxidant feed additives. The results obtained in the course of research can serve as a basis for improving technologies for the production of compound feeds when growing fish on an intensive basis.

Ключевые слова:

дигидрокверцетин, арабиногалактан, антиоксидант, иммуностимулятор, осетровые, аквакультура, кормление, прирост

Keywords:

dihydroquercetin, arabinogalactan, antioxidant, immunostimulator, sturgeon, aquaculture, feeding, growth

ВВЕДЕНИЕ

В связи с тем, что важным критерием выбора кормовой добавки является безопасность в экологическом отношении, интерес представляют природные биоантиоксиданты флавоноидной природы, в частности, дигидрокверцетин, выделяемый из древесины лиственницы. Биофлавоноиды – вещества с низкой молекулярной массой, которые обнаруживаются в сосудистых растениях. Они встречаются во всех частях растений, но особенно в фотосинтезирующих клетках, и обладают широким спектром действия, как антиоксиданты, ферментативные ингибиторы, прекурсоры токсических веществ, защита против ультрафиолетового излучения, а также участвуют в преобразовании энергии [1].

Свое антиоксидантное действие флавоноиды также проявляют через сберегающий эффект других антиоксидантов, могут оказывать влияние на пищеварительный тракт, защищая молекулы во время пищеварения от окислительного повреждения и защищая кишечный эпителий [2].

Известно, что дигидрокверцетин обладает капилляропротекторными, лимфокинетическими и другими свойствами, однако имеет низкую растворимость в воде (около 1 г/л), что, вероятно, ограничивает его фармакологическую активность [3]. В опытах использовался и арабиногалактан – это полисахарид, входящий в состав камедей покрытосеменных и некоторых голосеменных растений. Арабиногалактаны являются иммуномодуляторами. Установлено, что это увеличивает почти в 2 раза эффективность образования макрофагов, по сравнению с эхинацеей, стимулирует иммуногенез; обеспечивает укрепление иммунной системы у рыб при приеме.

Цель работы – испытание эффективности в составе продукционных комбикормов для осетровых рыб биофлавоноида дигидрокверцетина и арабиногалактанта, как источников антиоксидантов, иммуностимуляторов и пребиотиков.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Эксперименты выполняли на базе Инновационного центра «Биоаквапарк – научно-технический центр аквакультуры» ФГБОУ ВО «АГТУ». Объектами исследований послужили двухгодовики русского осетра (*Acipenser gueldenstaedtii*, Brandt).

Для содержания рыб использовали квадратные стеклопластиковые бассейны с закругленными углами размером 1×1 м и глубиной 0,8 м, с постоянной проточностью и аэрацией. Использовали дополнительный нагрев воды с помощью терморегуляторов. Таким образом, температура

Биофлавоноиды, также известные как флавоноиды – вещества с низкой молекулярной массой, которые обнаруживаются в сосудистых растениях. Они встречаются во всех частях растений, но особенно в фотосинтезирующих клетках, и обладают широким спектром действия, как антиоксиданты, ферментативные ингибиторы, прекурсоры токсических веществ, защита против ультрафиолетового излучения, а также участвуют в преобразовании энергии. В статье рассматривается опыт применения антиоксиданта нового поколения – дигидрокверцетина и иммуностимулятора – арабиногалактана в кормлении осетровых рыб. Объектами исследования в работе послужили: двухгодовики русского осетра, а также дигидрокверцетин, арабиногалактан и рецептуры кормов для осетровых видов рыб. В процессе работы скорректирована рецептура полнорационного комбикорма для осетровых видов рыб с применением биофлавоноида дигидрокверцетина, иммуностимулятора арабиногалактанта, оценено продуктивное действие кормов на рыбу по рыбоводно-биологическим и физиологическим показателям. Полученные результаты дополняют существующие представления об областях применения антиоксидантов, а также доказывают перспективность применения средств растительного происхождения в качестве антиоксидантных кормовых добавок. Результаты, полученные в ходе исследований, могут служить основой для совершенствования технологий производства комбикормов при выращивании рыб на интенсивной основе.

в бассейнах с русским осетром поддерживалась на уровне 22-24°C. Содержание растворенного кислорода в воде ежедневно определяли с помощью термооксиметра – за время эксперимента падений кислорода ниже 6 мг/л не зарегистрировано.

Основным рационом для опытных рыб служили комбикорма фирмы «CoppensSupreme-15» (Нидерланды), средне-энергетичный продукционный комбикорм с содержанием белка – 46%, жира – 15%, клетчатки – 1,9%, общей энергии – 21,1 МДж/кг. При этом применяли рекомендации по кормлению для оптимального роста – 1,12% от биомассы в день [4].

Исследование проводили на трех экспериментальных группах. Первая группа (контроль) получала продукционный корм, сбалансированный по всем элементам питания, согласно физиологическим потребностям. Вторая группа (вариант

Таблица 1. Схема проведения экспериментов / **Table 1.** Scheme of experiments

Группы	Характеристика кормления	Количество, экз.
1.	Полнорационный комбикорм (контроль корм «CoppensSupreme-15»)	22
2.	Полнорационный комбикорм с дигидрокверцетином (50 мг на 1 кг корма «CoppensSupreme-15») (вариант 1)	22
3.	Полнорационный комбикорм с добавлением (дигидрокверцетин 25 мг и арабиногалактан 50 мг на 1 кг корма «CoppensSupreme-15») (вариант 2)	22

Таблица 2. Гидрохимические показатели в условиях эксперимента /
Table 2. Hydrochemical parameters under experimental conditions

Показатель	Норма	ПК	ПК 50	ПК 25/50
Водородный показатель (pH), ед.	6–8	7,28±0,08	7,62±0,14*	7,52±0,17
Аммонийный азот, мг/л	2–4	0,87±0,12	0,94±0,21	0,84±0,14
Нитриты (NO ₂) мг/л	до 0,1–0,2	0,063±0,03	0,059±0,07	0,047±0,04
Нитраты (NO ₃) мг/л	до 60	24,71±1,54	27,64±1,37	25,71±1,47
Фосфаты мг/л	0,2–0,5	0,114±0,15	0,128±0,16	0,117±0,12

Примечание: * p≤0,01

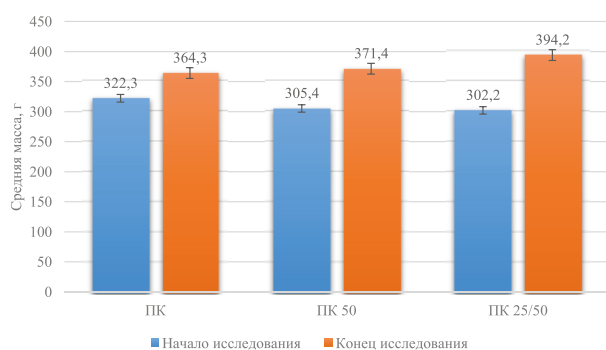


Рисунок 1. Изменение массы русского осетра при обогащении рациона БАВ
Figure 1. Change in the mass of Russian sturgeon when enriching the BAS diet

1) получала рацион 1-й группы с добавлением антиоксиданта дигидрокверцетина в количестве 50 мг/кг. Третья группа (вариант 2) получала рацион 2-й группы с добавлением антиоксиданта дигидрокверцетин (25 мг/кг) в сочетании с иммуностимулятором арабиногалактан (50 мг/кг) (табл. 1). Опытные корма изготавливали в лабораторных условиях с использованием кормовых компонентов отечественного производства методом влажного прессования. Суточную норму кормления определяли в зависимости от массы тела рыб и температуры воды, в соответствии с общепринятой технологией выращивания [5].

На протяжении всего периода исследования проводили постоянный контроль гидрохимических условий с помощью экспресс-методов фирмы Tetra (табл. 2).

В целом данные гидрохимические показатели удовлетворяют нормам, установленным для рыбободных хозяйств.

Состояние и развитие рыб определяли по комплексу показателей, анализируя скорость увеличения размеров тела и наращивания мышечной массы. Взвешивание и измерение рыб проводили согласно разработанным рекомендациям [6].

Среднесуточную скорость роста вычисляли по формуле сложных процентов [7], согласно уравнению 1:

$$A = [(M_k / M_o)^{1/t} - 1] \times 100 (\%), \quad (1)$$

где A – среднесуточная скорость роста, %; M_k и M_o – масса рыбы в конце и в начале опыта; t – продолжительность опыта, сут.

Оценку абсолютного прироста проводили согласно формуле 2:

$$P_{аб} = M_k - M_o, \quad (2)$$

где M_k – конечная масса молоди, г; M_o – начальная масса молоди, г.

Коэффициент массонакопления определяли по формуле 3 [8]:

$$K_M = ((M_k^{1/3} / M_o^{1/3}) \times 3) / t, \quad (3)$$

где K_M – коэффициент массонакопления, ед.; M_k и M_o – конечная и начальная масса рыбы, г; t – период выращивания, сут.

Среднесуточный прирост определяли по формуле 4:

$$P = (M_k - M_o) / t, \quad (4)$$

где P – среднесуточный прирост, г; M_k и M_o – конечная и начальная масса рыбы, г; t – период выращивания, сут.

Коэффициент упитанности по Фультону определяли по формуле:

$$F = (M \times 100) / L^3, \quad (5)$$

где M – масса рыбы, г; L – длина рыбы, см

Фармакологическое действие препаратов и физиологическое состояние исследуемой молоди оценивали по биохимическим показателям белкового, липидного и углеводного обменов, согласно разработанным методикам.

Кровь отбирали прижизненно из хвостовой вены в пробирки Эппендорфа. Для гематологического анализа (концентрация гемоглобина, скорость оседания эритроцитов, лейкоцитарная формула) в качестве антикоагулянта использовали гепарин.

Концентрацию гемоглобина в крови определяли фотометрически с помощью набора реактивов фирмы Агат-Мед [9], СОЭ определяли по методу Панченкова. Мазки крови готовили с применением фиксатора-красителя по Май-Грюнвальду фирмы «Ольвекс-Диагностикум» [10].

Содержание сывороточного белка определяли с помощью наборов реагентов фирмы «Агат-мед» [11], уровень холестерина в крови определяли энзиматическим методом [12; 13]. Концентрацию глюкозы в сыворотке крови определяли энзиматическим колориметрическим методом без депротеинизации (реакция Триндера). Для измерения оптической плотности полученных проб использовали спектрофотометр Unico 2100.

Результаты экспериментов анализировали методами биологической статистики с помощью компьютерных программ [14; 15]. Уровень различий оценивали с помощью критерия достоверности Стьюдента.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Оценка эффективности применения дигидрокверцетина и арабиногалактана в продукционных комбикормах показал, что наилучшие показатели роста были характерны для группы рыб, потреблявшей корма с добавлением двух компонентов дигидрокверцетина (25 мг) и арабиногалактана (50 мг) (табл. 3).

В данной группе (ПК 25/50) наблюдался самый высокий абсолютный прирост, среднесуточный прирост, среднесуточная скорость роста и коэффициент массонакопления. Среднесуточная скорость роста в данном варианте составила 0,78%, что достоверно выше контрольной группы на 0,42% ($p < 0,05$). Полученные данные свидетельствуют, в соответствии с рисунками 1 и 2, что наилучшие показатели роста были характерны для группы рыб, потреблявшей корма с добавлением двух компонентов – дигидрокверцетина и арабиногалактана.

В варианте ПК 50, рыбы потреблявшие корма с добавлением БАВ (дигидрокверцетина 50 мг/кг), среднесуточная скорость роста оказалась выше контрольной на 0,21%. При добавлении биологически активных веществ прирост живой массы у рыб первой группы составил 66,0 г против 92,0 г во второй группе, что на 36,4% и 54,3% выше, чем у рыб контрольной группы. Коэффициент массонакопления у рыб в первом варианте составил 0,044 ед. и во втором – 0,061 ед., что на 0,02 и 0,03 ед., соответственно, выше контрольной. Среднесуточный прирост в вариантах ПК 50 и ПК 25/50 составил: 2,2 г и 3,1 г, что 1,6 и 2,2 раза, соответственно, выше контрольной группы. Выживаемость в опытных вариантах и контроле была 100%.

Установлено, что наилучшие показатели роста были характерны для варианта ПК 25/50. Это рыбы, потреблявшие корма с добавлением двух компонентов биофлавоноида дигидрокверцетина (25 мг) + иммуностимулятора арабиногалактана (50 мг), что вполне объяснимо, по литературным данным, антиоксидант нового поколения – дигидрокверцетин разрушает радикалы перекисных соединений жиров кормов и увеличивает эффективность использования рациона. Корма для рыб отличаются высоким содержанием жиров в их составе. Включение дополнительно в состав кормов

иммуностимулятора арабиногалактана способствует резкому повышению продуктивности на 20% и высокой выживаемости рыб, по сравнению с зарубежными кормами на 15,9%, рыбы отличаются лучшим коэффициентом упитанности [16]. Проведенные исследования показали эффективность совместного применения дигидрокверцетина и арабиногалактана в комбикормах для рыб, способствующее увеличению прироста массы рыбы. Таким образом, включение в комбикорма антиоксиданта нового поколения дигидрокверцетина и иммуностимулятора арабиногалактана способствовало достоверному разрушению перекисных соединений жиров и более эффективному использованию питательных веществ рациона.

Объективно оцениваем состояние организма по физиолого-биохимическим показателям крови, которые выступают в качестве специфических индикаторов физиологических или патологических изменений организма. Кровь, как наиболее лабильная ткань, быстро реагирует на влияние внешней среды и качество потребляемого корма, поэтому исследование показателей крови дает объективные оценки физиологического состояния рыб. Исследование гематологических показателей рыб имеет большое значение для обоснования адаптационных возможностей организма и оценки условий выращивания и корм-

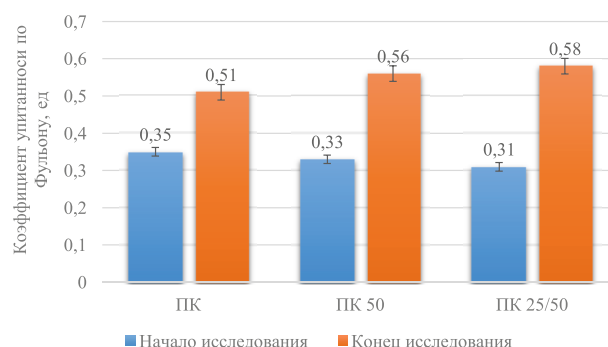


Рисунок 2. Коэффициент упитанности (по Фультону) русского осетра при обогащении рациона БАВ

Figure 2. Fatness coefficient (according to Fulton) of Russian sturgeon when enriching the BAS diet

Таблица 3. Рыбоводно-биологические показатели выращивания двухгодовиков русского осетра на опытных комбикормах / **Table 3.** Fish-breeding and biological indicators of growing two-year-old Russian sturgeon on experimental compound feeds

Показатели	Варианты опыта		
	ПК	ПК 50	ПК 25/50
Абсолютный прирост, г	42,0	66,0	92,0*
Среднесуточный прирост, г	1,4	2,2	3,1*
Среднесуточная скорость роста, %	0,36	0,57	0,78*
Коэффициент массонакопления, ед.	0,028	0,044	0,061*
Выживаемость, %	100	100	100
Продолжительность эксперимента, сут.	30	30	30

Примечание: * различия достоверны при $p < 0,05$

Таблица 4. Физиолого-биохимические показатели крови двухгодовиков русского осетра /
Table 4. Physiological and biochemical blood parameters of the two-year-old Russian sturgeon

Показатель	ПК	ПК 50	ПК 25/50
	ПК 50	ПК 25/50	7,62±0,14*
Холестерин, ммоль/л	3,13±0,57	3,27±0,35	3,42±0,52
Глюкоза, ммоль/л	4,87±0,18	6,01±0,16	6,21±0,42*
СОЭ, мм/ч	1,83±0,28	1,92±0,33	1,90±0,24

Примечание: * $p \leq 0,01$

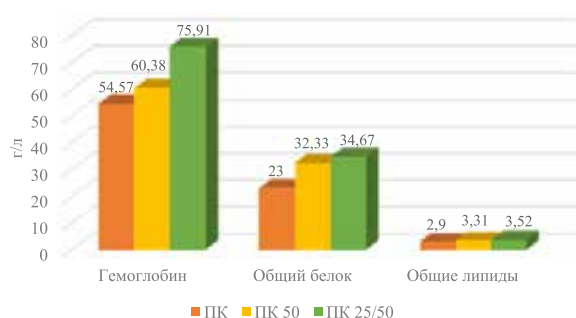


Рисунок 3. Физиолого-биохимические показатели крови двухгодовиков русского осетра

Figure 3. Physiological and biochemical blood parameters of the two-year-old Russian sturgeon

ления. Гематологические показатели объективно отражают физиологическое состояние рыб. Кровь рыб составляет в среднем 4% от массы тела, имеет маслянистую на ощупь консистенцию, ярко красный цвет, специфический запах рыбьего жира, pH 7,2-7,5. Исследования в области кормления рыб показали, что даже кратковременное полноценное кормление обуславливает значительные изменения в показателях крови рыб [10; 17]. Рыбоводные показатели, как правило, коррелируют с физиологическим состоянием рыб, что подтверждается гематологическими показателями (табл. 4).

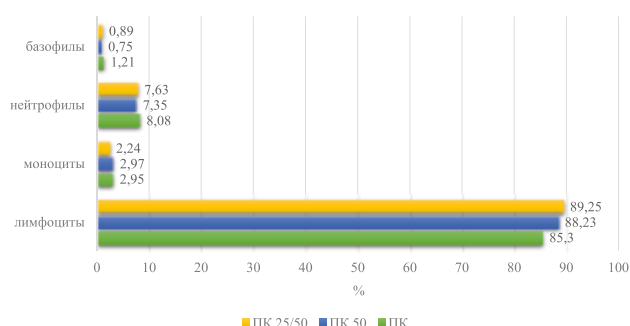


Рисунок 4. Соотношение форменных элементов крови (%) у двухгодовиков русского осетра

Figure 4. Ratio of blood elements (%) in the two-year-olds of the Russian sturgeon

Полученные результаты гематологических и биохимических показателей согласуются с данными других авторов [3; 18]. Скорость оседания эритроцитов и холестерина, во всех вариантах эксперимента, оставалась в пределах нормативных значений, что свидетельствует о постоянном белковом составе плазмы крови.

Как видно из приведенных результатов, в соответствии с рисунком 3, прослеживается положительная динамика в применении двух препаратов дигидроквертецина и арабиногалактана, что сказывается на повышении уровня гемоглобина, поддержании уровня холестерина и СОЭ на уровне нормативных значений.

Концентрация гемоглобина варьировала в пределах от 50,0 до 80,0 г/л. При добавлении в рацион комплекса БАВ в ПК 25/50, уровень гемоглобина составил $75,91 \pm 11,01$ г/л, что на 25,0-35,0% выше, в сравнении с другими экспериментальными группами и свидетельствует о положительном влиянии кормовой добавки на обмен веществ исследуемых рыб.

Аналогичная динамика прослеживается в изменении уровня глюкозы ($p \leq 0,01$), а поддержание его в пределах 5,0-6,0 г/л является результатом нормальной работы ферментативной системы, катализирующей трансформацию глюкозы.

В условиях эксперимента незначительно изменялся уровень общих сывороточных липидов. Его важной составной частью является холестерин, который стимулирует иммунную систему организма и играет роль в защите от стресса. Динамика липидного обмена способствовала нормальному процессу накопления энергетических ресурсов.

Высокое содержание гемоглобина в опытных группах (в пределах референсных значений), возможно, связано с более интенсивным обменом веществ в организме рыб, так как в корме использовался биофлавоноид дигидроквертецин, который увеличивает циркуляцию крови в организме у рыб. Сложно недооценить это свойство флавоноидов. От циркуляции крови зависит – насколько хорошо органы снабжаются питательными веществами и кислородом. Холестерин в крови рыб, как и других животных, является одним из ключевых факторов состояния липидного обмена в организме, данный показатель в вариантах ПК 50 и ПК 25/50 был схож с контролем, выявлены незначительные расхождения ($p > 0,05$).

Достаточно информативным показателем, при оценке общего физиологического состояния орга-



низма, является лейкоцитарная формула крови, которая отражает не только физиологическое состояние рыб, но и некоторые стороны клеточного иммунитета. Изменения в лейкограмме могут обнаруживать нарушения обменных процессов и ухудшение состояния исследуемого объекта задолго до появления клинических признаков возникающих патологий [17]. Лейкоцитарная формула крови исследуемой рыбы представлена в соответствии с рисунком 4.

Для рыб характерен лимфоцитарный профиль – основу белой крови составляют лимфоциты, доля которых в общем пуле лейкоцитов не опускается ниже 70% и может превышать 90%. Лимфоциты отвечают за иммунный надзор, формирование и регуляцию клеточного и гуморального иммунного ответа, синтезируя защитные антитела, лизируя чужеродные клетки, обеспечивая уничтожение собственных мутантных клеток. Как видно из рисунка, повышенный процент лимфоцитов был в группе, потреблявшей корм ПК 25/50 и составил 89,25%. Однако этот показатель соответствует норме для рыб и достоверно не отличался от остальных экспериментальных групп.

В норме большинство нейтрофилов пребывает в инертном, покоем состоянии. Подобно другим лейкоцитам, их функциональные возможности раскрываются только на фоне стимулирую-

ющих воздействий, осуществляя «первую линию защиты» от инфекции. В наших экспериментах незначительное повышение было характерно для рыб из группы, потреблявшей контрольный корм – 8,08%. Для этой же группы было зарегистрировано увеличение количества базофилов в лейкограмме – 1,21%, в то время как наименьший процент встречался у рыб из варианта ПК 50. Базофилы при этом принимают участие в реакции гиперчувствительности немедленного и замедленного типа (иммунные реакции) через лимфоциты, в воспалительных и аллергических реакциях. Для контрольной группы также было отмечено повышение числа моноцитов – 2,95%, однако такое же значение было зарегистрировано и в группе ПК 50 – 2,97%.

Таким образом, включение в комбикорма антиоксиданта нового поколения дигидрокверцетина и иммуностимулятора арабиногалактана способствовало достоверному разрушению перекисных соединений жиров и более эффективному использованию питательных веществ рациона.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования свидетельствуют об эффективности использования биофлавоноидов и арабиногалактана в кормлении осетровых рыб. Установлено положительное влияние, тести-

руемых БАВ, на рост и развитие культивируемой молодежи.

Полученные результаты дополняют существующие представления об областях применения антиоксидантов, а также доказывают перспективность применения средств растительного происхождения в качестве антиоксидантных кормовых добавок.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда, проект № 22-26-00008 «Научно-методические основы применения высокоэффективной технологии кормления для предотвращения оксидативного стресса и сохранения перекисного гомеостаза организма в условиях интенсивной аквакультуры».

FINANCING

The investigations were carried out within the framework of the research work 22-26-00008 "Scientific and methodological foundations of the use of highly effective feeding technology to prevent oxidative stress and maintain peroxide homeostasis of the fish body in conditions of intensive aquaculture" with the support of the Russian Scientific Fond.

ЛИТЕРАТУРА И ИСТОЧНИКИ:

1. Russo A. Bioflavonoids as antiradicals, antioxidants and DNA cleavage protectors / A. Russo, R. Acquaviva, A. Campisi, V. Sorrenti, C. Di Giacomo, G. Barcellona, A. Vanella // Cell biology and toxicology – 2000. – Vol. 16. – Pp. 91-98.
2. Goni I. Effect of dietary grape pomace and vitamin E on growth performance, nutrient digestibility, and susceptibility to meat lipid oxidation in chickens / I. Goni, A. Bernes, C. Centeno, A. Viveros, F. Saura-Calixto, A. Rebole, I. Arija, R. Estevez // Poultry science – 2007. – Vol. 86. – Pp. 508-516.
3. Шаманаев А.Ю. Лимфокинетическая активность композиции дигидрокверцетина и арабиногалактана / А.Ю. Шаманаев, И.С. Иванов, А.В. Сидехменова, М.Б. Плотников // Бюллетень сибирской медицины – 2014. – Том. 13. – № 3. – С. 80-83.
3. Shamanaev A.Yu. Lymphokinetic activity of the composition of dihydroquercetin and arabinogalactan / A.Yu. Shamanaev, I.S. Ivanov, A.V. Sidekhmenova, M.B. Plotnikov // Bulletin of Siberian Medicine – 2014. – Vol. 13. – No. 3. – Pp. 80-83.
4. Официальный сайт компании Alltech Coppens – каталог продукции рыбных кормов для осетровых рыб [Электронный ресурс]. – 2019. – URL: <https://www.alltechcoppens.com/ru/промышленное-применение/осетр> – Текст: электронный (дата обращения 22.06.2022).
4. The official website of the Alltech Coppens company is a catalog of fish feed products for sturgeon fish [Electronic resource]. – 2019. – URL: <https://www.alltechcoppens.com/ru/industrial-application/sturgeon> – Text: electronic (accessed 22.06.2022).
5. Пономарев С.В. Технологии выращивания и кормления объектов аквакультуры юга России. / С.В. Пономарев, Е.А. Гамыгин, С.И. Никоноров, Е.Н. Пономарева и другие. – Астрахань: Nova plus, 2002. – 264 с.
5. Ponomarev S.V. Technologies of cultivation and feeding of aquaculture objects in the south of Russia. / S.V. Ponomarev, E.A. Gamygin, S.I. Nikonorov, E.N. Ponomareva and others. – Astrakhan: Nova Plus, 2002. – 264 p.
6. Правдин И.Ф. Руководство по изучению рыб. – Москва: Пищевая промышленность, 1966. – 376 с.
6. Pravdin I.F. Guide to the study of fish. – Moscow: Food Industry, 1966. – 376 p.
7. Castell J.D., Tiews K. Report of the EIFAC, IUNS and ICES Working Group on the standardization of methodology in fish nutrition research. – Текст: непосредственный // EIFAC Technical Paper – 1979. – Рр. 1-24.
8. Купинский С.В. Радужная форель – предварительные параметры стандартной модели массонакопления / С.В. Купинский, С.А. Баранов, В.Ф. Резников // Сборник научных трудов: Индустриальное рыбоводство в замкнутых системах. – 1985. – Вып. 46. – С.109 – 115.
8. Kupinsky S.V. Rainbow trout – preliminary parameters of the standard model of mass accumulation / S.V. Kupinsky, S.A. Baranov, V.F. Reznikov // Collection of scientific papers: Industrial fish farming in closed systems. – 1985. – Issue 46. – Pp.109-115.
9. Van Kampen E.J., Zijlstra W.G. Clinic Chemistry Acta. – 1961. – 538 p.
10. Абрамов М.Г. Гематологический атлас. – Москва: Медицина, 1985. – 344 с.
10. Abramov M.G. Hematological atlas. – Moscow: Medicine, 1985. – 344 p.
11. Филиппович Ю.Б. Практикум по общей биохимии / Ю.Б. Филиппович, Т.А. Егорова, Г.А. Севастьянова. – М.: Просвещение, 1975. – 318 с.
11. Filippovich Yu.B. Practicum on general biochemistry / Yu.B. Filippovich, T.A. Egorova, G.A. Sevastyanova. – M.: Enlightenment, 1975. – 318 p.
12. Fish bach F. A manual of laboratory diagnostic tests. 7th ed / F. Fish bach, M. Dunning. – Lppincott Williams & Wilkins, 2004. – 1291 p.
13. Trinder P. Determination of glucose in blood using glucose oxidase with an alternative oxygen acceptor / P. Trinder // Ann ClinBiochem. – 1969. – P. 24 - 25.
14. Катмаков П.С. Биометрия: учеб. пособие для вузов / П.С. Катмаков, В.П. Гавриленко, А.В. Бушов – М.: Юрайт, 2019. – 177 с.
14. Katmakov P.S. Biometrics: studies. manual for universities / P.S. Katmakov, V.P. Gavrilenko, A.V. Bushov – M.: Yurayt, 2019. – 177 p.
15. Лакин Г.Ф. Биометрия. – М.: Высшая школа, 1990. – 293 с.
15. Lakin G.F. Biometrics. – M.: Higher School, 1990. – 293 p.
16. Омаров М.О. Изучить влияние дигидрокверцетина и арабиногалактана на рост, развитие и сохранность мальков в стартерных кормах для осетровых рыб / Омаров М.О., Слесарева О.А. // Сборник научных трудов Северо-Кавказского научно-исследовательского института животноводства. – 2016. – Т. 1. – № 5. – С. 86.
16. Omarov M.O. To study the effect of dihydroquercetin and arabinogalactan on the growth, development and safety of fry in starter feeds for sturgeon fish / Omarov M.O., Slesareva O.A. // Collection of scientific papers of the North Caucasus Scientific Institute of Animal Husbandry. - 2016. – Vol. 1. – No. 5. – p. 86.
17. Пронина Г.И. Методология физиолого-иммунологической оценки гидробионтов / Г.И. Пронина, Н.Ю. Корягина. – СПб.: Изд-во «Лань», 2017. – 96 с.
17. Pronina G.I. Methodology of physiological and immunological assessment of hydrobionts / G.I. Pronina, N.Yu. Koryagina. – St. Petersburg: Publishing house "Lan", 2017. – 96 p.
18. Накусов Т.Т. Изучение влияния дигидрокверцетина на систему перекисного окисления липидов (антиоксидантная защита при острой экспериментальной гипоксии) / Т.Т. Накусов, Н.И. Шортанова, Н.М. Самойлик, Т.Х. Шилина // Вопросы детской диетологии – 2005. – Т. 3. – № 6. – С. 9-11.
18. Nakusov T.T. Study of the effect of dihydroquercetin on the lipid peroxidation system (antioxidant protection in acute experimental hypoxia) / T.T. Nakusov, N.I. Shortanova, N.M. Samoylik, T.H. Shilina // Questions of children's dietetics – 2005. – Vol. 3. – No. 6. – Pp. 9-11.

Технология изготовления белковых кормовых смесей для гидробионтов на основе культивируемых червей *Eisenia fetida* и *Dendrobaena Veneta* с применением технологии лиофильной сушки

DOI 10.37663/0131-6184-2022-4-65-70

Магистрант **О.Г. Бугаев**;
Магистрант **И.И. Леонов**;
Магистрант **Д.С. Хатунцов**;
В.А. Климов – научный
сотрудник;
Кандидат биологических наук,
доцент **А.К. Пономарев** –
Факультет биотехнологий
и рыбного хозяйства
ФГБОУ ВО «МГУТУ
им. Разумовского (ПКУ)»

@ bugaevog@gmail.com;
LeonovIvanIgorovich@yandex.ru;
v.klimov@mgutn.ru;
d.khatuntsov@gmail.com;
ponomarev777@inbox.ru

Ключевые слова:

УЗВ, Калифорнийский червь, *Eisenia fetida*, *Dendrobaena Veneta*, сушка

Keywords:

UZV, California worm, *Eisenia fetida*, *Dendrobaena Veneta*, drying

TECHNOLOGY OF PRODUCTION OF PROTEIN FEED MIXTURES FOR HYDROBIONTS BASED ON CULTURED WORMS *EISENIA FETIDA* AND *DENDROBENA VENETA* USING FREEZE DRYING TECHNOLOGY

Master's student **O.G. Bugaev**;
Master's student **I.I. Leonov**;
V.A. Klimov – Researcher;
Master's student **D.S. Khatuntsov**;
Candidate of Biological Sciences, Associate Professor **A.K. Ponomarev** –
Faculty of Biotechnology and Fisheries, Moscow State Technical University. Razumovsky (PKU)"

The technology being developed for the production of a feed mixture based on the biomass of a cultivated worm is aimed at improving factory feeds by adding an additional volume of protein, thereby increasing the nutritional value of the feed, eliminating the need to buy a specific feed of greater nutritional value, providing the opportunity to supplement feeds less saturated with protein components. Also, the technology being developed is aimed at partial or complete replacement of currently known protein feed components (such as soy meal, meat and bone meal and fish meal).

In the course of the study, a trial production of a protein feed component was carried out, according to the methodologies described in the work, in order to test the proposed technology in practice.

ВВЕДЕНИЕ

В современном мире индустриальная аквакультура обладает рядом значительных преимуществ и уникальных перспектив над традиционными методами аквакультуры в озерных и садковых хозяйствах, позволяя воссоздавать конкретные и стабильные условия для содержания гидробионтов на предприятии, вне зависимости от его географического расположения, климатических условий и воз-

можности гидробиоценоза той области. Однако индустриальная аквакультура также имеет ряд специфических требований и сложностей к практической реализации, среди которых точный режим кормления [20], обусловленный полным контролем круговорота биогенных и абиогенных веществ в рамках данных систем.

Данное ограничение в значительной мере влияет на обменные процессы в теле рыбы,

однако оно может быть компенсировано разработкой специальных кормов и кормовых добавок, предназначенных для использования в условиях индустриальной аквакультуры, что позволит восполнить баланс недостающих веществ. Одним из решений сложившейся проблемы является разработка кормовых добавок направленного действия для дополнения уже имеющихся на рынке готовых кормовых рецептур, доступных для предприятий [22].

АКТУАЛЬНОСТЬ

Разрабатываемая технология изготовления кормовой смеси на основе биомассы червя *Eisenia fetida* и *Dendrobena Veneta* направлена на насыщение покупных кормовых смесей белковой массой для повышения их питательной ценности, в соответствии с нуждами потребителя, тем самым устраняя необходимость покупки специфического корма большей питательности, параллельно дополняя имеющийся на предприятии [26-28].

Кроме предложенного варианта белковая масса калифорнийского червя (*Eisenia fetida*) и червя *Dendrobena Veneta* может быть использована в перспективе для замены каких-либо, ныне существующих компонентов кормов, открывая перспективы использования наработки в производстве готовых кормовых смесей [21; 25].

Цель. Разработка технологии изготовления белкового кормового компонента на основе технологического червя, как дополнения кормовой базы для гидробионтов.

Задачи:

- описать процесс приготовления кормового компонента на основе лиофильной сушки и привести схему лиофильной сушки;
- описать процесс первичной заготовки сырья для кормового компонента;
- описать преимущества технологии лиофильной сушки.

Проблематика. К проблематике данной работы можно отнести сложность обработки сырьевого материала на этапах его очистки и приготовления готовой кормовой добавки, так как имеется риск привнесения нежелательных бактериальных форм и/или порчи сырья.



Рисунок 1. Емкость для выращивания червей
Figure 1. A container for growing worms

Разрабатываемая технология изготовления кормовой смеси, на основе биомассы культивируемого червя, направлена на усовершенствование фабричных кормов, путем добавления дополнительного объема белка, тем самым увеличивая питательность корма, устраняя необходимость покупки специфического корма большей питательности, предоставляя возможность дополнения кормов, менее насыщенных белковыми компонентами. Также разрабатываемая технология направлена на частичное или полное замещение известных на данный момент белковых кормовых компонентов (таких как соевый шрот, мясокостная мука и рыбная мука).

В ходе исследования производилось пробное изготовление белкового кормового компонента, согласно описанному в работе методологиям с целью проверки выдвигаемой технологии на практике.

Научная новизна. Использование альтернативного белкового сырья для изготовления кормовых смесей для нужд аквакультуры имеет высокую ценность в условиях дефицитности рыночных компонентов. Использование технологии лиофильной сушки позволяет сохранить до 95% исходных питательных веществ по сравнению с традиционными принципами сушки (термостатная сушка), а также повысить срок хранения продукта. Также данная работа привносит вклад в модернизацию технологии вермикультивирования и подготовки биогумуса.

КУЛЬТИВАЦИЯ ЧЕРВЯ

Разрабатываемая технология изготовления кормового компонента для гидробионтов, на основе культивируемых червей видов *Eisenia fetida* и *Dendrobena Veneta*, представляет собой кормление гидробионтов специальными гранулами из биомассы червя. Предполагается, что оптимальный объем содержания разрабатываемого компонента по отношению к основному корму будет 8-12% в качестве замены рыбной муки.

Первичная заготовка кормовой смеси заключается в выращивании сырьевого червя в специализированных емкостях (вермикомпостерах) (рис. 1) и их дальнейшей подготовке к последующим этапам изготовления корма на его основе.

В помещении, где будет производиться выращивание червей, устанавливается постоянная температура на уровне +15°C. Влажность устанавливается в пределах 80%. При этом вермиконтейнер должен располагаться вне ярко освещенных местностей. Данное требование связано с губительным воздействием ультрафиолетовых лучей на культивируемых червей.

Вторым этапом данной методики является выращивание культивируемых червей как отдельного объекта биосферы. Данный этап подразумевает выращивание червей до определенного размера, необходимого для изготовления на его основе кормовой смеси. На момент изъятия размер червей составляет 8-12 см. В процессе выращивания проводятся еженедельные замеры червей при по-

мощи измерительных приборов (например, линейкой) (рис. 2).

Первоначально производится заселение червей с размещением первичного пищевого субстрата. Данный субстрат чаще всего представляет собой пищевые отходы, а также навоз. В процессе может проводиться «докормка».

Размножение червей проводится в период около 1 месяца (3-4 недели) с увлажнением почвы, для обеспечения влагой червей, с частотой не менее 1 раза в неделю. Температура воды, которой увлажняют вермикомпостер, должна быть равна температуре окружающей среды.

ПРИГОТОВЛЕНИЕ БЕЛКОВОГО ПОЛУФАБРИКАТА

Удаление слизевых выделений червя перед этапом лиофильной сушки представляет собой настаивание заготовленного сырья в дистиллированной воде на протяжении 3 час. (приблизительно 180 минут), в процессе которого обрабатываемые черви избавляются от почвенного субстрата и нежелательной бактериальной фауны, заключенной в слизевых выделениях (рис. 3).

Объем дистиллированной воды должен соответствовать пяти-восьмикратному объему заготавливаемого червя. Целесообразным будет разделить всю массу на несколько меньших порций и обрабатывать каждую в отдельной таре.

Важно отметить, что данный процесс предполагает строгое наблюдение за временем нахождения и настаивания заготовленной биомассы червя в дистиллированной воде, ввиду возможной необратимой порчи сырья в случае хранения червей больше отведенного времени.

Допускается предварительная промывка червя в проточной воде для избавления от внешних загрязнителей, время промывки червя следует вычитать из времени настаивания в дистиллированной воде, приравняв общий период пребывания червя в воде к трем часам. В случае выявления больших объемов слизи, удаление которых повлечет за собой увеличение времени настаивания червя в дистиллированной воде и предварительной промывке, имеет смысл предварительно обработать его в 5% перманганате калия (марганцовка), приготовленном на дистиллированной воде, но не более 3-5 минут, аккуратно помешивая раствор. В случае применения данного метода стоит уделить повышенное внимание очистке червя от раствора марганцовки ввиду того, что его ткани способны всасывать перманганат калия. Отдельно стоит упомянуть, что для подготовки сырья применение спирта и растворителей не допускается, так как данные вещества легко всасываются в мягкие ткани червя, что в конечном итоге приводит к изменению состава сырья и его порче, несмотря на кажущуюся эффективность очистки червя от слизи. Также, по возможности, имеет смысл сменять дистиллированную воду на свежую, но не чаще чем 1 раз за 1 час. Данный пункт носит более рекомендательный характер, так как начальный объем дистиллированной воды позволяет не проводить ее замену.

Все представленные растворы следует применять строго единоразово.



Рисунок 2. Измерение размера червей
Figure 2. Measuring the size of worms



Рисунок 3. Обработка биомассы в дистиллированной воде
Figure 3. Processing of biomass in distilled water



Рисунок 4. Очищенное первичное сырье
Figure 4. Purified primary raw materials

Рассмотренные выше комплексы мер позволяют безопасно для сырья удалить слизевые выделения с червя, ликвидируя проблему высокого бактериального загрязнения сырья и, вследствие чего, его попадания в рацион гидробионтов.

Таблица 1. Содержание аминокислот в кормовых продуктах животного происхождения, рассчитанное от массы воздушно-сухого вещества, % / **Table 1.** The content of amino acids in animal feed products, calculated from the mass of air-dry matter, %

Наименования аминокислот	Мясокостная мука	Кормовая смесь (мука) из культивируемых червей (<i>Eisenia fetida</i> , <i>Dendrobena Veneta</i>)	Рыбная мука
Незаменимые:			
Изолейцин	1,518	2,484	3,349
Изолейцин	1,115	2,179	2,719
Лейцин	2,123	4,169	4,936
Лизин	1,411	3,724	5,552
Метионин	0,539	1,250	2,368
Треонин	1,287	2,731	3,061
Заменимые:			
Аланин	1,705	2,949	3,855
Аргинин	2,122	3,777	4,292
Аспарагиновая кислота	2,862	5,281	7,072
Гистидин	1,308	1,903	2,541
Глицин	2,054	2,713	3,415
Глутаминовая кислота	3,864	8,043	8,983
Пролин	2,142	2,177	3,228
Серин	1,4852	2,670	2,702
Тирозин	0,680	1,886	2,000
Цистин	0,469	0,899	0,841
Фениланин	1,346	2,164	2,587

Таблица 2. Качественные показатели кормовой муки из биомассы червя *Eisenia fetida* [18] / **Table 2.** Qualitative indicators of feed meal from the biomass of the worm *Eisenia fetida* [18]

Ноп/п	Наименование показателя	Мука сразу после производства
1	Внешний вид	Продукт сыпучий без плотных, не рассыпающихся при надавливании
2	Запах	Специфический, но не гнилостный и не затхлый
3	Крупность помола - остаток насыпи диаметром 5мм, %	Не имеет
4	Массовая доля влаги, %	7,6
5	Массовая доля протеина, %	59,8
6	Массовая доля жира, %	5,9
7	Наличие патогенных микроорганизмов	Не выделено

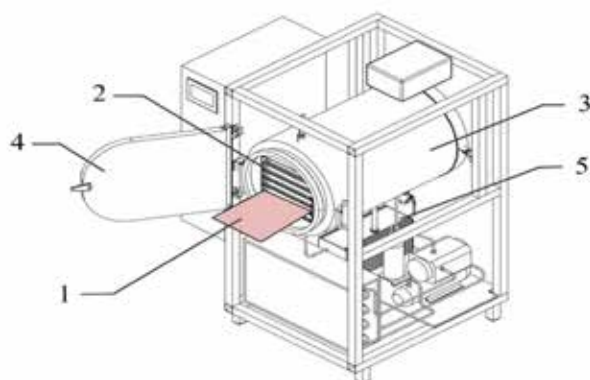


Рисунок 5. Принципиальная схема лиофильной сушки

Figure 5. Schematic diagram of freeze drying

Основными требованиями, к получаемому в ходе обработки белковому полуфабрикату, являются его микробная чистота (не более 60-100 КОЕ/г) [29; 30], однородность, отсутствие инородных включений и свежесть. Приготовленный белковый полуфабрикат должен быть немедленно заморожен, в соответствии с положениями, определяемыми в главе «Процесс сублимации белкового полуфабриката». Предполагается хранение замороженного полуфабриката при температуре ниже -10°C сроком до трех месяцев (90 суток).

ПРОЦЕСС СУБЛИМАЦИИ БЕЛКОВОГО ПОЛУФАБРИКАТА

Первым шагом сублимации является заморозка контейнера с обработанной биомассой червя при температуре от -10°C и ниже. Связана данная консервация с необходимостью предоставления первичной заготовки в замороженном виде для

применения лиофильной сушки. Конечный результат консервации должен представлять собой замороженную, твердую на ощупь массу с рельефным верхом и плоским низом, желательно минимизировать, содержащуюся в заготовке, влагу для оптимизации процесса сублимации [32; 33].

Следующим этапом изготовления корма является обработка заготовленной и замороженной биомассы путем применения лиофильной сушки. На рисунке 5 представлена принципиальная схема устройства сублимационной сушки. Заранее подготовленные и замороженные черви помещаются в лоток (1), после чего задвигаются в барабанную сортировку (2), которая находится внутри сублимационной камеры (3). Дверь камеры (рис. 5) герметично закрывается и включается процесс вакуумирования с помощью насоса низкого давления (4). Давление в камере в течение 8-15 мин снижается до стабильных 50 Па. Одновременно с вакуумированием включаются термоэлементы, ответственные за нагрев лотков заготовленным материалом.

Через определенный промежуток времени, который зависит от массы заготовленного червя и мощности термоэлемента, давление в камере начинает понижаться примерно до 30 Па, это позволяет определить, что сублимация свободной влаги закончилась. Удаление остаточной влаги в продукте осуществляется вакуумным насосом. Разгерметизация камеры происходит путем заполнения её воздухом. При достижении давления в камере равному атмосферному, дверь открывается и лоток с сублимированным продуктом можно извлечь из камеры.

Подобный способ позволяет получить корм из культивируемых червей с высокой пищевой ценностью, представленной, в сравнении с известными аналогами, в таблице 1 [12-16; 18; 19]. Также технология лиофильной сушки позволяет сохранять продукт по составу, наиболее приближенному к исходному.

Параллельно рассматривается вариант с измельченной кормовой смесью на основе технологических червей. В таблице 2 представлено содержание аминокислот по разным видам кормовых смесей животного происхождения. Также в процентном соотношении содержание сырого протеина в мясокостной муке составляет 31,75%, в муке из червей – 57,68%, а в рыбной муке – 65,63% [12; 14; 16-18].

В муке не найдено патогенных микроорганизмов, содержание белков, жиров, и углеводов, не менялось [12; 14-16].

На основании чего, исходя из данных таблиц 1 и 2, можно прийти к выводу, что мука из технологических червей очень близка по составу к рыбной [22-24] и может с успехом ее вытеснить при разработке технологий приготовления корма на основе культивируемых червей [16-19].

ВЫВОД

1. В рамках данной работы была разработана технология изготовления кормового компонента на основе культивируемого Калифорнийского червя и червя породы Дендробена (*Eisenia fetida*, *Dendrobena Veneta*).

2. Приведены требования к изготовлению кормовых смесей на основе культивируемых червей.

3. Описан процесс лиофилизации сырья.

4. В ходе работы было выявлено, что кормовые смеси на основе культивируемых червей обладают конкурентоспособной питательностью в сравнении с известными аналогами [22-24].

5. Представлена методическая рекомендация обработки сырья и заготовления конечного продукта.

ЛИТЕРАТУРА И ИСТОЧНИКИ:

1. Патент №2058737 - Способ получения технологических (специализированных) пород компостного дождевого червя *eisenia foetida* Дата подачи заявки: 29.10.1991, Дата публикации патента: 27.04.1996
1. Patent No. 2058737 - Method for obtaining technological (specialized) breeds of compost earthworm *eisenia foetida* Application date: 29.10.1991, Patent publication date: 27.04.1996
2. Кодолова О.П. Сравнительное исследование репродукционного потенциала локальных поселений компостного червя *Eisenia fetida* (Oligochaeta, Lumbricidae) / О.П. Кодолова, Б.Р. Стриганова, Т.Н. Сидорова // Известия АН СССР. 1993. № 4. С. 558—568. (Сер. биол.).
2. Kodolova O.P. Comparative study of the reproductive potential of local settlements of the compost worm *Eisenia fetida* (Oligochaeta, Lumbricidae) / O.P. Kodolova, B.R. Striganova, T.N. Sidorova // Izvestia of the USSR Academy of Sciences. 1993. No. 4. pp. 558-568. (Ser. biol.).
3. Игонин А.М. Дождевые черви: как повысить плодородие почв в десятки раз, используя дождевого червя-«Старателя». – Ковров: «Маштекс», 2002. – 192 с.
3. Igonin A.M. Earthworms: how to increase soil fertility tenfold by using an earthworm-"Prospector". – Kovrov: Mashtex, 2002. – 192 p.
4. Buchkova, L. I., Ponomarev, A. K., Bugaev, O. G., & Horeva, T. I. (2022). Analysis of The Microflora Of Mucus Secretions Of The Worm (*Eisenia Fetida*). In S. V. Beketov, & I. A. Nikitin (Eds.), *Biotechnology, Ecology, Nature Management*, vol 1. European Proceedings of Life Sciences (pp. 51-58). European Publisher. (Q1)
5. Evaluating the UV radiation effectiveness in industrial aquaculture / L. I. Bychkova, D. L. Nikiforov-Nikishin, A. K. Ponomarev, O. G. Bugaev // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: III International Scientific Conference: AGRITECH-III-2020: Agribusiness, Environmental Engineering and Biotechnologies, Volgograd, Krasnoyarsk, 18–20 июня 2020 года / Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. – Volgograd, Krasnoyarsk: Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2020. – P. 42046. – DOI 10.1088/1755-1315/548/4/042046. – EDN WOLVXL. (Q2)
6. Temperature differentiation of aquatic microflora of a closed water supply system by the example of incubation of microbiological crops at 21 and 37 °C / D. L. Nikiforov-Nikishin, A. L. Nikiforov-Nikishin, O. G. Bugaev, N. I. Kochetkov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Smolensk, 25 января 2021 года. – Smolensk, 2021. – P. 042049. – DOI 10.1088/1755-1315/723/4/042049. – EDN CDNIZM.
7. Хатунцов, Д.С. Аквакультура как наиболее эффективное средство восстановления популяции осетровых / Д.С. Хатунцов, А. Д. Ларкин // Дельта науки. – 2019. – № 2. – С. 135-139. – EDN GHLIVI.
7. Khatuntsov, D.S. Aquaculture as the most effective means of restoring the sturgeon population / D.S. Khatuntsov, A.D. Larkin // Delta Science. – 2019. – No. 2. – Pp. 135-139. – EDN GHLIVI.
8. Технология увеличения срока хранения мяса кролика в переохлажденно-подмороженном состоянии / А.В. Антипов, О. А. Пранцуз, В. А. Климов, Д. С. Хатунцов // Вопросы кролиководства. – 2020. – № 2. – С. 20-23. – EDN GQVBOD.
8. Technology of increasing the shelf life of rabbit meat in a supercooled-frozen state / A.V. Antipov, O. A. Prantsuz, V. A. Klimov, D. S. Khatuntsov // Questions of rabbit breeding. – 2020. – No. 2. – PP. 20-23. – EDN GQVBOD.

9. Светлов Ю.В. Оптимизация геометрических характеристик и междуслойная неравномерность распределения потоков в трехпоточном теплообменнике витой конструкции / Ю. В. Светлов, О. С. Пранцуз, Д. Р. Лескевич и др. // Дельта науки. – 2020. – № 1. – С. 53-58. – EDN RWLURP.
9. Svetlov Yu.V. Optimization of geometric characteristics and inter-layer unevenness of flow distribution in a three-flow heat exchanger of twisted construction / Yu. V. Svetlov, O. S. Prantsuz, D. R. Leskevich et al. // Delta nauki. – 2020. – No. 1. – Pp. 53-58. – EDN RWLURP.
10. Pauly D. et al. China's distant-water fisheries in the 21st century // Fish and Fisheries. – 2014. – T. 15. – №. 3. – С. 474-488.
11. Bianchi M. C.G. et al. FAO: The State of World Fisheries and Aquaculture // Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome, Italy. – 2014.
12. Молчанова К.А. Возможности раскрытия ростовой потенции у радужной форели в УЗВ и открытых рыбоводных системах / К.А. Молчанова, Е.И. Хрусталева, Т.М. Курапова // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК–продукты здорового питания. – 2016. – №. 5 (13).
12. Molchanova K.A. Possibilities of disclosure of growth potency in rainbow trout in ultrasonic and open fish breeding systems / K.A. Molchanova, E.I. Khrustalev, T.M. Kurapova // Technologies of the food and processing industry of the agro-industrial complex-healthy food products. – 2016. – №. 5 (13).
13. Заболотных М. В. и др. Хелаты кремния как фактор повышения эффективности мясного птицеводства // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2018. – №. 3 (31).
13. Zabolotnykh M. V. et al. Silicon chelates as a factor in increasing the efficiency of poultry meat // Bulletin of Omsk State Agrarian University. – 2018. – №. 3 (31).
14. Дегтярик С. М. и др. Возбудители бактериальных инфекций форели в рыбоводческих хозяйствах Беларуси и Армении. // Вопросы рыбного хозяйства Беларуси. – 2016. – №. 32. – С. 262-274.
14. Degtyarik S. M. et al. Pathogens of bacterial infections of trout in fish farms in Belarus and Armenia. // Issues of fisheries in Belarus. – 2016. – No. 32. – Pp. 262-274.
15. Маловастый К.С. Диагностика болезней и ветсанэкспертиза рыбы. – 2011.
15. Malovasty K.S. Diagnostics of diseases and veterinary examination of fish. – 2011.
16. Молчанова К.А. Сравнение морфометрических показателей у производителей радужной форели, культивируемых в УЗВ / К.А. Молчанова, Е.И. Хрусталева // Рыбное хозяйство. – 2017. – №. 3. – С. 91-94.
16. Molchanova K.A. Comparison of morphometric indicators in producers of rainbow trout cultivated in the UZV / K.A. Molchanova, E.I. Khrustalev // Fisheries. – 2017. – №. 3. – Pp. 91-94.
17. Лапина О.В. Повышение эффективности производства рыбного хозяйства за счет применения УЗВ-технологий // Научные исследования: проблемы и перспективы. – 2019. – С. 21-25.
17. Lapina O.V. Improving the efficiency of fisheries production through the use of ultrasonic technologies // Scientific research: problems and prospects. – 2019. – Pp. 21-25.
18. Исмагилов Ф. А. Особенности жизни молоди форели в условиях УЗВ // Тинчуринские чтения. – 2018. – С. 67-69.
18. Ismagilov F. A. Features of the life of juvenile trout in the conditions of ultrasound // Tinchurin readings. – 2018. – Pp. 67-69.
19. Антонов А.И. Результаты экспериментов по выращиванию радужной форели в Тюменской области индустриальным способом (УЗВ) // Интернаука. – 2016. – №. 3-2. – С. 54-57.
19. Antonov A.I. Results of experiments on the cultivation of rainbow trout in the Tyumen region by industrial method (UZV) // Internauka. – 2016. – No. 3-2. – Pp. 54-57.
20. Молчанова К.А. Морфофизиологическая характеристика радужной форели, выращиваемой в УЗВ / К.А. Молчанова, Е.И. Хрусталева, Т.М. Курапова // Рыбное хозяйство. – 2017. – №. 5. – С. 89-92.
20. Molchanova K.A. Morphophysiological characteristics of rainbow trout grown in the UZV / K.A. Molchanova, E.I. Khrustalev, T.M. Kurapova // Fisheries. – 2017. – №. 5. – Pp. 89-92.
21. Воробьев В.И. и др. Альтернативные источники получения аналогов рыбной муки // Известия КГТУ. – 2015. – Т. 38. – С. 74-82.
21. Vorobyev V.I. et al. Alternative sources of fish meal analogues // Izvestiya KSTU. – 2015. – Vol. 38. – Pp. 74-82.
22. Донник И.М. Показатели питательности рыбной муки и способы ее фальсификации / И.М. Донник, А.Ю. Лошманова, Н.Н. Беспамятных // Аграрный вестник Урала. – 2012. – №. 9 (101)
22. Donnik I.M. Indicators of the nutritional value of fish meal and methods of its falsification / I.M. Donnik, A.Y. Loshmanova, N.N. Bespamyatnykh // Agrarian Bulletin of the Urals. – 2012. – №. 9 (101)
23. Бекетов С.В. Качественная оценка протеина рыбной муки, используемой в аквакультуре / С.В. Бекетов, А.В. Козлов, М.Н. Прадед, В.А. Климов // Рыбное хозяйство. – 2019. – №. 6. – С. 58-61.
23. Beketov S.V. Qualitative assessment of fish meal protein used in aquaculture / S.V. Beketov, A.V. Kozlov, M.N. Great-grandfather, V.A. Klimov // Fisheries. – 2019. – №. 6. – Pp. 58-61.
24. Сергиенко Е. Нормирование показателей качества и безопасности рыбной муки / Е. Сергиенко, Н. Боева, М. Дяченко // Комбикорма. – 2012. – №. 1. – С. 81-83.
24. Sergienko E. Rationing of quality and safety indicators of fish meal / E. Sergienko, N. Boeva, M. Dyachenko // Compound feed. – 2012. – No. 1. – Pp. 81-83.
25. Измайлович И.Б. Импортзамещение рыбной муки новой кормовой добавкой / Измайлович И.Б., Н.Н. Якимович // Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства. – 2018. – №. 21 (1).
25. Izmailovich I.B. Import substitution of fish meal with a new feed additive / Izmailovich I.B., N.N. Yakimovich // Actual problems of intensive development of animal husbandry. – 2018. – №. 21 (1).
26. Титов И.Н. Вермикультура как возобновляемый источник животного белка из органических отходов / И.Н. Титов, В.М. Усоев // Вестник Томского государственного университета. Биология. – 2012. – №. 2 (18).
26. Titov I.N. Vermiculture as a renewable source of animal protein from organic waste / I.N. Titov, V.M. Usoev // Bulletin of Tomsk State University. Biology. – 2012. – №. 2 (18).
27. Титов И.Н. Дождевые черви как возобновляемый источник полноценного животного белка // Редакционная коллегия. – 2013. – С. 173.
27. Titov I.N. Earthworms as a renewable source of high-grade animal protein // Editorial Board. – 2013. – p. 173.
28. Смешков В. В., Дашкевич Н. С., Короткевич А. А. Качество калифорнийских червей : дис. – МГУП, 2014.
28. Smeshkov V. V., Dashkevich N. S., Korotkevich A. A. The quality of California worms: dis. – MGUP, 2014.
29. Бурлаченко И.В. и др. Влияние бактериальной обсемененности кормов на рост и физиологическое состояние молоди стерляди // Труды ВНИРО. – 2002. – Т. 141. – С. 194-207.
29. Burlachenko I.V. et al. The effect of bacterial contamination of feed on the growth and physiological state of juvenile sterlet // Proceedings of VNIRO. – 2002. – Vol. 141. – Pp. 194-207.
30. Гранкина А.С., Голякевич З.С. Бактериальная обсемененность кормов животного и растительного происхождения, используемых в животноводстве // Биотика. – 2015. – №. 6. – С. 135.
30. Grankina A.S., Golyakevich Z.S. Bacterial contamination of animal and vegetable feed used in animal husbandry // Biotics. – 2015. – No. 6. – p. 135.
31. Валентина Просапио, Иэн Нортон, Иоланда Де Марко. Оптимизация сублимационной сушки с использованием подхода оценки жизненного цикла: тематическое исследование клубники // Труды University of Birmingham, 2017. С. – 15-22.
31. Valentina Prosapio, Ian Norton, Yolanda De Marco. Freeze drying optimization using a life cycle assessment approach: a case study of strawberries // Proceedings of the University of Birmingham, 2017. – Pp. 15-22.
32. Лаго Л. А. Обоснование параметров и режима инфракрасной сушки сельскохозяйственного сырья в многоярусном устройстве. // Труды Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. – С. 20-88.
32. Lago L. A. Substantiation of parameters and modes of infrared drying of agricultural raw materials in a multi-tiered device. // Proceedings of the V.I. Vernadsky Crimean Federal University. – Pp. 20-88.



Оценка генотоксичности дифлубензурана методом микроядерного теста на эритроцитах *Danio rerio*

DOI 10.37663/0131-6184-2022-4-71-75

Кандидат биологических наук, доцент **М.В. Медянкина**; **Н.И. Кочетков** – младший научный сотрудник; Кандидат биологических наук, доцент **Д.Л. Никифоров-Никишин** – ведущий научный сотрудник; Кандидат ветеринарных наук **Головачева Н.А.** – доцент кафедры биологии и ихтиологии – Факультет биотехнологий и рыбного хозяйства ФГБОУ ВО «МГУТУ им. Разумовского (ПКУ)»

@ 79263841762@yandex.ru

Ключевые слова:

дифлубензуран (DFB), пестициды, генотоксичность, микроядерный тест, *Danio rerio*, эритроциты, генотоксическое действие продуктов распада DFB, метод комет, опыты на клеточных культурах

Keywords:

diflubenzuron (DFB), pesticides, genotoxicity, micronuclear test, *Danio rerio*, erythrocytes, genotoxic effect of DFB decay products, comet method, experiments on cell cultures

EVALUATION OF THE GENOTOXICITY OF DIFLUBENZURON BY MICRONUCLEUS TEST ON RED BLOOD CELLS DANIO RERIO

Candidate of Biological Sciences, Associate Professor **M.V. Medyankina**; **N.I. Kochetkov** – Junior researcher; Candidate of Biological Sciences, Associate Professor **D.L. Nikiforov-Nikishin** – Leading Researcher; Candidate of Veterinary Sciences **N.A. Golovacheva** – Associate Professor of the Department of Biology and Ichthyology – Faculty of Biotechnology and Fisheries FGBOU VO "MGUTU im. Razumovsky (PKU)"

In this paper, the genotoxicity of (1-(4-chlorophenyl)-3-(2,6-difluoro-benzoyl) urea) is investigated by a micronuclear test on *Danio rerio*, as a standard test object, at concentrations of 0.5, 1 and 2 mg/l. As a result of the work, a significant increase in the frequency of occurrence of micronuclei (0.73%) was found, while other nuclear anomalies in the maximum concentrations of erythrocytes were also significant. It was found that the frequency of micronuclei in concentrations of 0.5 and 1 mg/l on the fifth day of the experiment was the maximum, while at the maximum concentration (2 mg/l) the level of micronuclei was lower, which is probably due to toxic effects. An increase in the level of micronuclei may be associated with the genotoxic effect of DFB decay products. The genotoxicity results obtained using the micronucleus test method were contradictory. For this reason, it is necessary to conduct additional studies using the comet method or experiments on cell cultures.

ВВЕДЕНИЕ

Дифлубензуран (1-(4-chlorophenyl)-3-(2,6-difluoro-benzoyl) urea) является широко распространенным пестицидом, используемым для борьбы с вредителями сельскохозяйственных культур [2], в частности, для контроля популяции *A. aegypti* [3]. Низкая селективность его действия позволяет добиться ги-

бели широкого спектра насекомых-вредителей. В аквакультуре дифлубензуран (DFB) (CAS № 35367-38-5) широко используется как средство для борьбы с эктопаразитами [3].

Механизм действия на насекомых связан с ингибированием синтеза хитина и считается нетоксичным для позвоночных животных [4]. Данные свойства

препарата способствуют его широкому применению и, со стоком поверхностных вод, дифлубензурон может попадать в воды естественных водоемов [5]. Период деструкции в почве составляет около 3 дней. В то же время, в водной среде при pH 2-8 и температуре выше 30°C DFB сохраняется на более длительный срок [6]. Данное вещество является высокотоксичным для ракообразных и личинок насекомых [5].

Рыбы, находящиеся на вершине трофической цепи, скорее всего, слабо чувствительны к действию низких концентраций данного препарата, что отмечено в ряде работ [7; 15]. При этом большинство исследователей указывает на отсутствие мутагенных и тератогенных свойств для позвоночных животных [8; 28]. Можно предположить, что, при условии накопления в водной среде естественных водоемов, DFB и продукты его распада могут обладать генотоксическим действием [9].

Danio rerio является стандартным объектом для проведения токсикологических исследований, фармакологических препаратов и других загрязнителей природной среды [13]. *D. rerio* также широко применяется при оценке генотоксично-

В данной работе исследуется генотоксичность (1-(4-chlorophenyl)-3-(2,6-difluoro-benzoyl)urea) методом микроядерного теста на *Danio rerio*, как стандартном тест-объекте, при концентрациях 0,5; 1 и 2 мг/л. В результате работы было установлено достоверное увеличение частоты встречаемости микроядер (0,73%), при этом другие ядерные аномалии, в максимальных концентрациях эритроцитов, также носили достоверный характер. Было выявлено, что частота микроядер в концентрациях вещества 0,5 и 1 мг/л на пятые сутки опыта была максимальной, при этом в максимальной концентрации (2 мг/л) уровень микроядер был ниже, что, вероятно, связано с токсическим действием. Повышение уровня микроядер, возможно, связано с генотоксическим действием продуктов распада DFB. Полученные результаты генотоксичности, полученные с использованием метода микроядерного теста, имели противоречивый характер. По этой причине необходимо проведение дополнительных исследований с использованием метода комет или опытов на клеточных культурах.

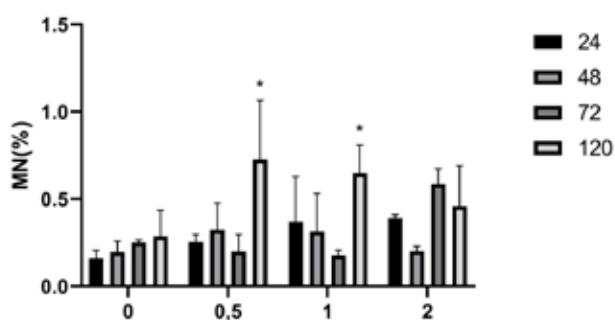


Рисунок 1. Частота встречаемости микроядер на протяжении 5 дней опыта. Значения достоверности от контроля получены с помощью двунаправленного теста ANOVA с пост-хок тестом Тьюки: * - $P < 0,05$; ** - $P < 0,001$

Figure 1. Frequency of occurrence of micronuclei during 5 days of the experiment. The confidence values from the control were obtained using a bidirectional ANOVA test with a post-hoc Tukey test: * - $P < 0.05$; ** - $P < 0.001$

сти различных химических соединений в лабораторных условиях.

Образование микроядер в эритроцитах крови позвоночных животных связано с нарушениями митоза эритроцитов в процессе эритропоэза [10]. В отличие от млекопитающих, эритроциты рыб содержат дифференцированное ядро, и нарушение его морфологии и появление микроядер хорошо различимо при изучении препаратов крови методами микроскопии. Даже при отсутствии токсического воздействия наблюдается определенный процент спонтанного образования микроядер и других ядерных аномалий в эритроцитах [11]. При токси-

ческом воздействии процент нарушений генетического аппарата эритроцитов многократно возрастает в период от нескольких суток до двух недель, в зависимости от вида рыб и их физиологического состояния [12]. Однако мутагенное воздействие токсикантов может привести к снижению количества митозов при эритропоэзе, и частота встречаемости микроядер в эритроцитах снизится.

Таким образом, в данной работе рассмотрено действие дифлубензурана на частоту встречаемости микроядер в эритроцитах периферической крови *Danio rerio*. Статистически достоверное увеличение нарушений ядерного аппарата эритроцитов, проведенное по стандартным методикам [11], показывает наличие достоверной разницы между контролем и опытом, что позволяет предположить наличие генотоксического эффекта.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объект исследования

В эксперименте использовались *Danio rerio* возрастом 3 месяца, которые содержались в аквариумах объемом 50 л при температуре 20-24°C и pH 7,2-7,4 с соблюдением естественных условий освещенности, по 20 особей одного пола в каждом.

Эксперимент проводился в трехкратной повторности ($n = 3$) в течение 5 дней (120 ч), так как за это время большинство эритроцитов, созревающих в органах кроветворения (селезёнка, головная почка), выбрасываются в кровяное русло.

Для кормления рыб использовали коммерческий гранулированный корм (Сорpens vital 0,5-0,8 мм), кормление осуществлялось два раза в сутки, согласно стандартным протоколам содержания [14].

Исследуемое вещество

DFB был получен из коммерческого инсектицидного препарата с содержанием действующего

вещества 240 г/л. Маточные растворы вещества получали путем растворения в дистиллированной воде и последовательных разбавлений в отстойной водопроводной воде для получения необходимых концентраций вещества.

Дизайн эксперимента

Для опыта отбирались особи без видимых повреждений размером $3 \pm 0,32$ см и возрастом 3 месяца. Исследуемое вещество добавляли в следующих концентрациях: 0,5; 1, и 2 мг/л. Концентрации были определены исходя из других работ, которые проводились на других видах рыб и оказывали воздействие [15; 29]. Контроль количества микроядер проводился каждые 24 часа. Контрольные рыбы содержались при тех же условиях в чистой отстойной воде.

Микроядерный тест

У особей из каждой исследуемой группы отбиралась кровь, путем отрезания хвостового плавника после анестезии в растворе MS-222 (10 мг/л). Каплю крови наносили на предметное стекло и просушивали на воздухе в течение 5 минут. Фиксация препарата проводилась в эфирно-спиртовой смеси, в соотношении 1:1. Далее препарат окрашивали по Романовскому-Гимзе, согласно стандартной методике [11].

После изготовления, препараты просматривались под световым микроскопом Olympus BX53 («Olympus Corporation», Япония) с окулярной приставкой Carl Zeiss ERc 5s («Zeiss», Германия) и с помощью программного обеспечения ZEN lite («Zeiss», Германия).

Частота встречаемости микроядер и ядерных аномалий в эритроцитах данио определялась согласно методике [16]. Учитывались следующие аномалии ядер: notched nuclei (деформированное ядро [NN]), lobbed nuclei (разрезанное ядро [LN]) и blebed nuclei (прикрепленное ядро [BN]). Подсчет осуществлялся при помощи программного обеспечения ImageJ (National Institutes of Health, USA). На препаратах крови из каждой исследуемой группы просматривалось по 2000 клеток и подсчитывался процент клеток с микроядрами. Микроядерный тест производился согласно методике [14].

Статистическая обработка

Определение нормальности распределения численных данных осуществлялось при помощи критерия Шапиро-Уилка. Сравнение численных данных между разными группами производилось с использованием двустороннего теста ANOVA с пост-хок тестом Тьюки. Уровень достоверности был выбран $P \leq 0,05$, и результаты представлены в виде среднее $\pm$ SD (standard deviation).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В результате проведения микроядерного теста было установлено, что в низких концентрациях и в контроле в первые сутки опыта количество микроядер статистически не отличалось и находилось на уровне от 0,16 до 0,25%, что является

нормальным уровнем частоты встречаемости микроядер в эритроцитах *D. rerio* [17].

При экспозиции 48 часов количество микроядер статистически не изменялось во всех исследуемых концентрациях. Это указывает на отсутствие острого генотоксического эффекта. Через 72 ч отмечается некоторое снижение частоты встречаемости микроядер в периферической крови в концентрациях 0,5 и 1 мг/л до 0,17 и 0,19%, соответственно.

На 4 день отмечалось достоверное ($p \leq 0,05$) проявление генотоксического эффекта в концентрациях 0,5 и 1 мг/л. Число микроядер повышалось до 0,72% от общего числа эритроцитов, что может считаться генотоксическим действием исследуемого вещества. Микроядра, при действии различных концентраций DFB, представлены на рисунке 2.

Оценка других аномалий ядра эритроцитов *Danio rerio* показала достоверное увеличение нарушений морфологии ядер. Так, достоверное увеличение ($p < 0,05$) notched nuclei (NN) и lobbed nuclei (LN) отмечалось в концентрациях 1 и 2 мг/л (рис. 3). Значительный рост данных аномалий происходит уже через 24 ч после начала эксперимента. Blebed nuclei не показывает четкой зависимости от концентраций исследуемого вещества, только на 4 сут опыта, при концентрациях 1 и 2 мг/л, частота встречаемости достоверно отличалась от контроля ($p < 0,05$).

ОБСУЖДЕНИЕ

Ряд авторов указывает на отсутствие генотоксичности у DFB, особенно на высших позвоночных животных [8; 29]. Работы, проведенные на рыбах, показывают незначительную возможность возникновения генетических аномалий, которые связывают не столько с исходным веществом, сколько с продуктами его разложения [18; 3].

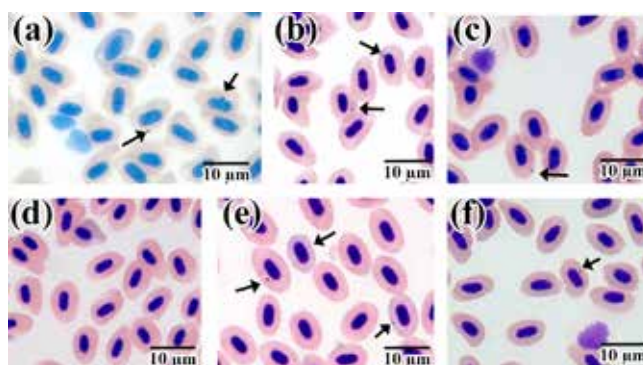


Рисунок 2. Микрофотографии эритроцитов подопытных рыб в различных опытных концентрациях: (a) – 0,5 мг/л; (b) – 1 мг/л; (c) – 1 мг/л; (d) – контроль; (e) – 2 мг/л; (f) – 2 мг/л; Шкала масштаба 10 мкм

Figure 2. Micrographs of erythrocytes of experimental fish in various experimental concentrations: (a) – 0.5 mg/L; (b) – 1 mg/L; (c) – 1 mg/L; (d) – control; (e) – 2 mg/L; (f) – 2 mg/L; Scale scale 10 microns

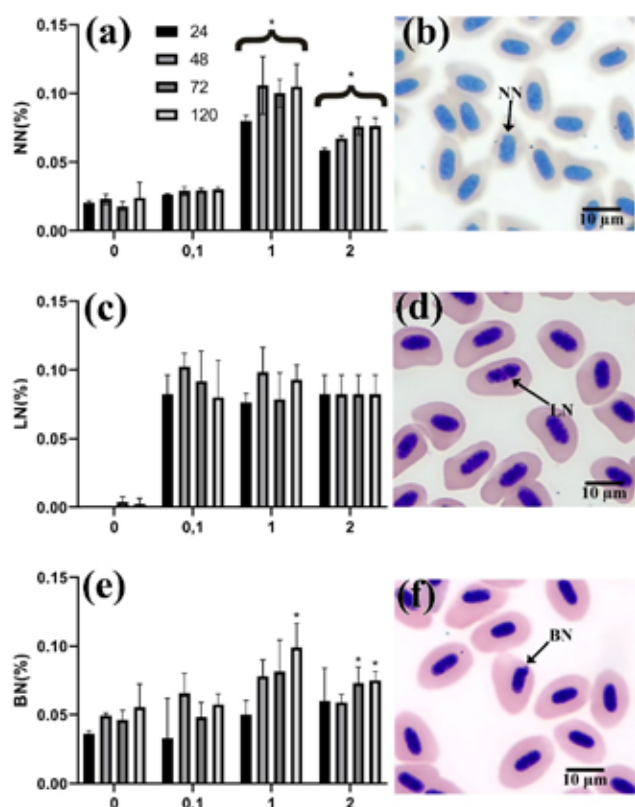


Рисунок 3. Частота встречаемости аномалий ядра эритроцитов: (a) – Notched nuclei, достоверно отличаются концентрации 1 и 2 мг/л; (b) – NN в группе 1 мг/л; (c) – lobbed nuclei, достоверно отличаются все опытные группы; (d) – LN в группе 0.1 мг/л; (e) – blebed nuclei; (f) – BN в группе 2 мг/л; NN – notched nuclei; LN – lobbed nuclei; BN – blebed nuclei; Значения достоверности от контроля получены с помощью двустороннего теста ANOVA с пост-хок тестом Тьюки: * – $P < 0.05$; ** – $P < 0.001$

Figure 3. Frequency of occurrence of erythrocyte nucleus anomalies: (a) – Notched nuclei, concentrations of 1 and 2 mg/L significantly differ; (b) – NN in the 1 mg/L group; (c) – lobbed nuclei, all experimental groups significantly differ; (d) – LN in the 0.1 mg/L group; (e) – blebed nuclei; (f) – BN in the 2 mg/L group; NN – notched nuclei; LN – lobbed nuclei; BN – blebed nuclei; Confidence values from the control were obtained using a bidirectional ANOVA test with a post-hoc Tukey test: * – $P < 0.05$; ** – $P < 0.001$

В части работ по исследованию генотоксических свойств пестицидов исследователи ограничивают срок воздействия тремя сутками [19; 29; 15], объективно считая, что за это время произойдут изменения в ядерном аппарате эритроцитов, поступивших в кровотоки.

В данной работе был увеличен срок экспозиции по двум причинам: пятидневная экспозиция позволяет выявить динамику возникновения ядерных аномалий, с учетом скорости эритропоэза *D. rerio* [17]; появляется возможность оценить генотоксичность продуктов разложения DFB [20].

Частота встречаемости MN в течение эксперимента носила не линейный характер, связанный, по мнению авторов, с активностью эритропоэза. Полученные данные позволяют предположить, что оценку генотоксичности таких веществ, как DFB, обладающих неявным действием на генетический аппарат, необходимо проводить при более длительной экспозиции с поддержанием постоянной концентрации вещества в водной среде. При этом стоит уделять особое внимание факторам, влияющим на интенсивность эритропоэза, условиям содержания рыб [21]. В стандартных лабораторных условиях образование клеток с MN в периферической крови занимает около суток [22], после чего их количество возрастает, если концентрация токсиканта в воде не изменяется. Максимальный уровень MN в данной работе в периферической крови составлял 0,73% (на 5 сут), при этом границы нормальных значений, по данным разных авторов, находятся в пределах до 0,5% [17; 23]. Следует отметить, что при применении других пестицидов уровень MN в эритроцитах периферической крови рыб может достигать 0,8-0,9% [24].

Другие ядерные аномалии проявлялись уже на первые сутки опыта, но их количество было значительно ниже количества MN. Возможно, изменение морфологии ядра происходит на более поздних стадиях дифференцировки эритроцитов и требует меньшего количества времени для проявления видимых нарушений. Несмотря на достоверное отличие полученных значений ядерных аномалий от контроля, невозможно утверждать о наличии выраженного генотоксического эффекта от DFB. Некоторые токсиканты могут вызывать увеличение количества ядерных аномалий, не сопровождающееся образованием MN [25; 26].

В работах других авторов частота встречаемости ядерных аномалий варьировалась в широких пределах, в зависимости от используемого вещества, времени экспозиции и вида рыб [10; 11; 12; 16; 21]. Это позволяет предположить, что, несмотря на универсальность данного метода, диапазон его применения ограничен низкими концентрациями полплатана. Высокие концентрации, которые проявляют видимый токсический эффект, снижающие митотическую активность, не могут оцениваться с помощью данного метода. При необходимости всестороннего изучения генотоксичности необходимо, помимо микроядерного теста, использовать другие стандартные способы оценки, в частности, метод комет.

ВЫВОДЫ

В результате проведенных исследований, при использовании микроядерного теста на периферической крови *Danio rerio*, впервые было установлено достоверно наличие генотоксического эффекта DFB.

На 1-4 сут опыта не отмечалось достоверного увеличения количества микроядер и других ядерных аномалий во всех исследуемых концентраци-

ях. Достоверный генотоксический эффект наблюдался при концентрациях 0,5 и 1 мг/л на 5 сут экспозиции, частота встречаемости микроядер при этом составляла 0,73%. Среди ядерных аномалий наиболее часто встречались клетки с деформированным ядром.

Отсутствие увеличения встречаемости ядерных аномалий на 1-4 сут опыта вероятнее вызвано токсическим воздействием, не затрагивающим генетический аппарат.

Полученные результаты не дают однозначного ответа о безопасности дифлубензурана в исследуемых концентрациях и требуют дополнительных исследований на других тест-объектах, а также использования других методов оценки генотоксичности.

ЛИТЕРАТУРА И ИСТОЧНИКИ:

- Burka, J. F., Hammell, K. L., Horsberg, T. E., Johnson, G. R., Rainnie, D. J., & Speare, D. J. (1997). Drugs in salmonid aquaculture—a review. *Journal of veterinary pharmacology and therapeutics*, 20(5), 333-349.
- World Health Organization. (2018). Dengue and Severe Dengue. Factsheet on dengue. Available in: Accessed in: 25 May. 2021.
- Benze, T. P., Sakuragui, M. M., de Paula Zago, L. H., & Fernandes, M. N. (2016). Subchronic exposure to diflubenzuron causes health disorders in neotropical freshwater fish, *P. rochilodus lineatus*. *Environmental toxicology*, 31(5), 533-542.
- Retnakaran, A., & Wright, J. E. (1987). Control of insect pests with benzoylphenyl ureas. In *Chitin and benzoylphenyl ureas* (pp. 205-282). Springer, Dordrecht.
- Fischer, S. A., & Hall, L. W. (1992). Environmental concentrations and aquatic toxicity data on diflubenzuron (Dimilin). *Critical reviews in toxicology*, 22(1), 45-79.
- Ivie, G. W., Bull, D. L., & Veech, J. A. (1980). Fate of diflubenzuron in water. *Journal of Agricultural and Food chemistry*, 28(2), 330-337.
- Olsvik, P. A., Samuelsen, O. B., Erdal, A., Holmelid, B., & Lunestad, B. T. (2013). Toxicological assessment of the anti-salmon lice drug diflubenzuron on Atlantic cod *Gadus morhua*. *Diseases of Aquatic Organisms*, 105, 27-43.
- De Barros, A. L., Cavalheiro, G. F., de Souza, A. V. M., Traesel, G. K., Anselmo-Franci, J. A., Kassuya, C. A. L., & Cristina Arena, A. (2016). Subacute toxicity assessment of diflubenzuron, an insect growth regulator, in adult male rats. *Environmental toxicology*, 31(4), 407-414.
- Schaefer, C. H., Dupras, E. F., Stewart, R. J., Davidson, L. W., & Colwell, A. E. (1979). The accumulation and elimination of diflubenzuron by fish. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 21(1), 249-254.
- Elhajouji, A., Lukamowicz, M., Cammerer, Z., & Kirsch-Volders, M. (2011). Potential thresholds for genotoxic effects by micronucleus scoring. *Mutagenesis*, 26(1), 199-204.
- Bolognesi, C., & Hayashi, M. (2011). Micronucleus assay in aquatic animals. *Mutagenesis*, 26(1), 205-213.
- Carrola, J., Santos, N., Rocha, M. J., Fontainhas-Fernandes, A., Pardal, M. A., Monteiro, R. A., & Rocha, E. (2014). Frequency of micronuclei and of other nuclear abnormalities in erythrocytes of the grey mullet from the Mondego, Douro and Ave estuaries—Portugal. *Environmental science and pollution research*, 21(9), 6057-6068.
- Segner, H. (2009). Zebrafish (*Danio rerio*) as a model organism for investigating endocrine disruption. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 149(2), 187-195.
- Brand, M., Granato, M., & Nüsslein-Volhard, C. (2002). Keeping and raising zebrafish. *Zebrafish: a practical approach*, 7-37.
- Abe, F. R., Machado, A. A., Coleone, A. C., da Cruz, C., & Machado-Neto, J. G. (2019). Toxicity of diflubenzuron and temephos on freshwater fishes: ecotoxicological assays with *Oreochromis niloticus* and *Hyphessobrycon eques*. *Water, Air, & Soil Pollution*, 230(3), 1-10.
- Bagdonas, E., & Vosylienė, M. Z. (2006). A study of toxicity and genotoxicity of copper, zinc and their mixture to rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Biologija*, (1).
- Simakov, Y. G., Purtskhvanidze, V. A., Golovacheva, N. A., Bychkova, L. I., & Omelchuk, N. N. (2020). Stimulation of Erythropoiesis and Regenerative Processes in the *Danio Rerio* Fish Under the Influence of Interleukin-2. *International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology (IJARET)*, 11(5).
- Prasad, I. (1970). Mutagenic effects of the herbicide 3', 4'-dichloropropionanilide and its degradation products. *Canadian journal of microbiology*, 16(5), 369-372.
- Brodeur, J. C., Malpel, S., Anglesio, A. B., Cristos, D., D'andrea, M. F., & Poliserpi, M. B. (2016). Toxicities of glyphosate-and cypermethrin-based pesticides are antagonistic in the ten-spotted livebearer fish (*Cnesterodon decemmaculatus*). *Chemosphere*, 155, 429-435.
- Zaidi, N., Farine, J. P., & Soltani, N. (2013). Experimental study on diflubenzuron: degradation in freshwater and bioconcentration in mosquitofish following chronic exposure. *Journal of Environmental Protection*, 4(2), 188-194.
- Soldatov, A. A. (2005). Peculiarities of organization and functioning of the fish red blood system. *Journal of Evolutionary Biochemistry and Physiology*, 41(3), 272-281.
- Soldatov, A. A. (2005). Peculiarities of organization and functioning of the fish red blood system. *Journal of Evolutionary Biochemistry and Physiology*, 41(3), 272-281.
- D'Costa, A. H., Shyama, S. K., Kumar, M. P., & Fernandes, T. M. (2018). Induction of DNA damage in the peripheral blood of zebrafish (*Danio rerio*) by an agricultural organophosphate pesticide, monocrotophos. *International Aquatic Research*, 10(3), 243-251.
- Nwani, C. D., Nagpure, N. S., Kumar, R., Kushwaha, B., Kumar, P., & Lakra, W. S. (2011). Mutagenic and genotoxic assessment of atrazine-based herbicide to freshwater fish *Channa punctatus* (Bloch) using micronucleus test and single cell gel electrophoresis. *Environmental toxicology and pharmacology*, 31(2), 314-322.
- Ahmad, I., & Ahmad, M. (2016). Fresh water fish, *Channa punctatus*, as a model for pendimethalin genotoxicity testing: A new approach toward aquatic environmental contaminants. *Environmental toxicology*, 31(11), 1520-1529.
- Ayllon, F., & Garcia-Vazquez, E. (2000). Induction of micronuclei and other nuclear abnormalities in European minnow *Phoxinus phoxinus* and mollie *Poecilia latipinna*: an assessment of the fish micronucleus test. *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 467(2), 177-186.
- Simakov, Yuri Georgievich, Violetta Aleksandrovna Purtskhvanidze, Nadezhda Nikolaevna Omelchuk, Larisa Ivanovna Bychkova, and Natalia Alekseevna Golovacheva. "Testing the Effect of Nutrients for The Personalized Nutrition with The *Danio Rerio* Fish (On the Example of The Nanodessert Nutritional Fermented Dairy Product)." *International Journal of Engineering Trends and Technology* 68, no. 7 (July 25, 2020): 13-18. doi:10.14445/22315381/ijett-v68i7p203s.
- Fanta E. et al. Histopathology of the fish *Corydoras paleatus* contaminated with sublethal levels of organophosphorus in water and food // *Ecotoxicology and environmental safety*. – 2003. – T. 54. – №. 2. – С. 119-130.
- De Souza J. P. et al. Acute toxicity and environmental risk of diflubenzuron to *Daphnia magna*, *Poecilia reticulata* and *Lemna minor* in the absence and presence of sediment // *Pesticidas: revista de ecotoxicologia e meio ambiente*. – 2011. – T. 21.

АКВАКУЛЬТУРА И ВОСПРОИЗВОДСТВО

Методика экспресс-определения численности культур микроводорослей рода *Tetraselmis*

DOI 10.37663/0131-6184-2022-4-76-80

Аспирант **Л.А. Боцун** –
Ведущий инженер лаборатории
динамики морских экосистем
ORCID ID - 0000-0002-2098-
3951; SPIN - 2283-7592
Кандидат биологических наук,
Научный сотрудник
Ж.В. Маркина – научный
сотрудник лаборатории
клеточных технологий
ORCID ID - 0000-0001-7135-
1375; SPIN - 7056-0032
Кандидат биологических наук,
доцент **С.И. Масленников** –
старший научный сотрудник
лаборатории динамики морских
экосистем ORCID ID - 0000-
0003-4776-0624;
SPIN - 9151-6468
Национальный научный центр
морской биологии
им. А. В. Жирмунского,
Дальневосточное отделение
Российской академии наук

@ 3615-x@mail.ru;
zhannav@mail.ru; 721606@mail.ru

THE METHOD OF EXPRESS DETERMINATION OF THE NUMBER OF MICROALGAE CULTURES OF THE GENUS *TETRASELMIS*

PhD student L.A. Botsun – Lead Engineer of the Marine Ecosystem Dynamics Laboratory
ORCID ID - 0000-0002-2098-3951; SPIN - 2283-7592
Candidate of Biological Sciences, Researcher Zh.V. Markina – Researcher at the Laboratory
of Cellular Technologies ORCID ID - 0000-0001-7135-1375; SPIN - 7056-0032
Candidate of Biological Sciences, Associate Professor S.I. Maslennikov – Senior Researcher
at the Laboratory of Marine Ecosystem Dynamics ORCID ID - 0000-0003-4776-0624;
SPIN - 9151-6468 –
A.V. Zhirmunsky National Scientific Center for Marine Biology, Far Eastern Branch
of the Russian Academy of Sciences

The article presents an algorithm for using spectrophotometric measurement to determine the number of cells of cultures of microalgae of the genus *Tetraselmis* filtered and unfiltered samples. The dependence "density – number of cells" is approximated by a linear equation with a high correlation coefficient, more than 75%, which confirms the high reliability of the method. The ability to measure the density of unfiltered culture samples on a spectrophotometer allows you to quickly estimate the number of cells both in the field and on an industrial scale.

Ключевые слова:

оптическая плотность, численность, культура микроводорослей, *Tetraselmis*, массовое выращивание

Keywords:

optical density, numbers, microalgae culture, *Tetraselmis*, mass cultivation



Рисунок 1. Культура микроводорослей *Tetraselmis* sp под световым микроскопом при увеличении $\times 40$

Figure 1. Culture of *Tetraselmis* sp microalgae under a light microscope at magnification $\times 40$

Одноклеточные микроводоросли – эффективные производители первичной биомассы, находящейся в основе пищевой цепи [1]. Коммерческое культивирование микроводорослей для получения биомассы началось всего 60 лет назад. Массовое производство некоторых видов было разработано в США, Израиле, Австралии, Китае и Таиланде в 1980-х го-

дах. Микроводоросли – удобный источник белков, углеводов, липидов, нуклеиновых кислот и витаминов. Биохимический состав культур микроводорослей варьируется в зависимости от конкретного штамма и условий культивирования [2].

Микроводоросли в больших объемах используют в аквакультуре в качестве корма для культивируемых гидробионтов, при очистке сточных вод, в качестве сырья в пищевой промышленности, медицине и сельском хозяйстве [3]. Кроме того, культуры микроводорослей обладают антибактериальными и противогрибковыми свойствами [4].

Микроводоросли культивируют как в пресной, так и в морской воде. Для культивирования в морской воде широко применяется род *Tetraselmis* (Chlorophyta) – известный как галотолерантный род, культуры которого можно выращивать в условиях низкой солености (от 14‰). Культуры *Tetraselmis* характеризуются быстрыми темпами роста и способностью к поддержанию высокого уровня биомассы в течение длительного времени (рис. 1-2), что является одним из важнейших критериев культивирования [11]. При добавлении культур данных микроводорослей к живым кормам, например, артемии *Artemia salina*, содержание питательных веществ в последней увеличивалось в несколько раз [5; 6]. Культуры *Tetraselmis* spp.

демонстрируют высокие темпы роста в стрессовых условиях, устойчивость к биологической контаминации при массовом выращивании (рис. 3), в том числе – на открытых площадках (рис. 4). Данные свойства культур широко используются в биотехнологии и фикобиоремедиации [12].

Технология выращивания микроводорослей подразумевает постоянный учет численности культуры. При прямом подсчете микроводорослей под световым микроскопом используют разные счетные камеры, такие как Нажотта, Горяева, Седвика-Рафтера и другие. Эти методики – очень трудоемки и подходят для подсчета микроводорослей в небольших объемах, что неудобно при использовании в полевых и промышленных условиях [7; 8]. Выходом из ситуации является применение спектрофотометрического метода, основанного на замере оптической плотности культуры, который отличается быстротой, высокой чувствительностью и не требует специальной подготовки [9].

Цель работы заключается в проверке возможности применения спектрофотометрического метода, для быстрого подсчета численности клеток в культурах микроводорослей *Tetraselmis spp.*, и сравнение оптической плотности и численности клеток в пробах фильтрованной и нефильтрованной культуры микроводорослей в период проведения эксперимента.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В эксперименте были исследованы культуры микроводорослей *Tetraselmis striata* (Butcher), *Tetraselmis vitidis* (Butcher), *Tetraselmis maculata* (Butcher) и *Tetraselmis sp.*

В ходе эксперимента микроводоросли выращивали при температуре 21°C на питательной среде f/2, приготовленной на стерилизованной морской воде с соленостью 32‰. Свето-темповой режим 12/12 ч, под диодной лампой с уровнем освещенности 2500 Лк. Были использованы колбы Эрленмейера с объемом культуральной среды 200 мл (рис. 5). Культуру микроводорослей на экспоненциальной стадии роста использовали в качестве инокулята. Продолжительность эксперимента составляла 28 суток. Пробы для подсчета численности клеток и определения оптической плотности отбирали на 0, 2, 4, 7, 9, 11, 14, 16, 18, 21, 23, 25 и 28 сутки опыта. Эксперимент проводился в трех биологических повторностях, с тремя начальными численностями клеток: 1) 13×10^3 кл/мл; 2) 25×10^3 кл/мл; 3) 51×10^3 кл/мл. для каждого вида. Всего использовано 36 проб. Для применимости предлагаемого метода подсчета, непосредственно в культурах кормовых организмов, были измерены пробы, профильтрованные через нейлоновый газ с ячейей 29 мкм. Нефильтрованные – культуры, выращенные в ваннах и бассейнах на открытых площадках. Фильтрованная культура получалась после пропускания через нейлоновую сетку с ячейей 29 мкм. Измерение нефильтрованных культур позволяет упростить пробоподготовку и увеличить количество замеров. Отдельная задача была в сравнении оптической плотности фильтрованных и нефильтрованных культур микроводорослей.

В статье представлен алгоритм применения спектрофотометрического измерения, для определения численности клеток культур микроводорослей рода *Tetraselmis*, фильтрованных и нефильтрованных проб. Зависимость «плотность – численность клеток» аппроксимируется линейным уравнением, с высоким коэффициентом корреляции – более 75%, что подтверждает высокую достоверность метода. Возможность измерения плотности нефильтрованных проб культуры на спектрофотометре позволяет получить быструю оценку численности клеток как в полевых условиях, так и в промышленных масштабах.



Рисунок 2. Стартовая культура микроводорослей *Tetraselmis sp.* в 4-хлитровых емкостях

Figure 2. Starting culture of *Tetraselmis sp.* microalgae in 4-liter containers

Подсчет численности клеток культур производили на проточном цитометре CytoFLEX (Beckman Coulter, США). Для анализа в течение каждого измерения записывали 20000 событий (регистрируемых в пробе частиц). Выбор клеток водорослей из общего числа событий, детектируемых цитометром, проводили по флуоресценции хлорофилла а. Интенсивность флуоресценции хлорофилла а регистрировали на длине волны 690 нм, длина волны возбуждения составляла 488 нм, (для проточного цитометра CytoFLEX канал регистрации данных – PC 5.5).

Определение оптической плотности на длине волны 750 нм (OD_{750}) [10] проведено с помощью



Рисунок 3. Выращивание культуры *Tetraselmis sp.* в лабораторных условиях при искусственном освещении

Figure 3. Growing *Tetraselmis sp.* culture in laboratory conditions under artificial lighting

спектрофотометра ПЭ-5400ВИ (Экрос, Россия) в стеклянных кюветах с оптическим путем 10 мм (рис. 6).

Статистическую обработку выполняли с помощью программы Excel.

На рисунках 7-14 представлены зависимости оптической плотности культур от численности клеток в культуре. Во всех случаях зависимость аппроксимируется линейным уравнением $y = ax + b$.

В фильтрованных пробах культур *T. Striata*, при начальных численностях клеток 13×10^3 кл/мл, 25×10^3 кл/мл и 51×10^3 кл/мл, средние коэффициенты достоверности линейного уравнения составляли 93, 94, 96%.

В нефильтованной культуре *T. Striata*, при тех же начальных численностях, средние коэффициенты достоверности составляли 92, 93, 97%, отличаясь в среднем на 1% от показателей фильтрованных проб.



Рисунок 4. Выращивание культуры *Tetraselmis sp.* на открытой площадке

Figure 4. Growing *Tetraselmis sp.* culture in an open area

Для *T. maculata* в фильтрованных пробах средний коэффициент достоверности уравнений составлял, соответственно, 77, 83, 89%. В нефильтованных пробах средний коэффициент достоверности отличался на 3,3%, составляя, соответственно, 75, 81 и 83%.

В фильтрованных пробах *T. viridis* средний коэффициент достоверности линейного уравнения показывает 85, 86 и 86%. В нефильтованных пробах средний коэффициент достоверности составлял 84, 86 и 88%, отличаясь в среднем на 1%.



Рисунок 5. Экспериментальные культуры *Tetraselmis spp.* в аквариальной ННЦМБ ДВО РАН

Figure 5. Experimental cultures *Tetraselmis* in the aquarium NSCMB FEB RAS



Рисунок 6. Измерение на оптической плотности на спектрофотометре Экрос

Figure 6. Measurement of optical density on the Ekros spectrophotometer

В фильтрованных пробах для *Tetraselmis sp.* средний коэффициент достоверности составлял 89, 94 и 95%. В нефильтованных пробах зависимость аппроксимируется уравнением с коэффициентами достоверности 88, 93 и 95%, отличаясь в среднем на 0,6%.

Коэффициенты линейного уравнения $y = ax + b$ для фильтрованных и нефильтованных проб указаны в таблице 1, y – численность клеток $\times 10^3$ в мл, x – оптическая плотность, измеренная на длине волны 750 нм.

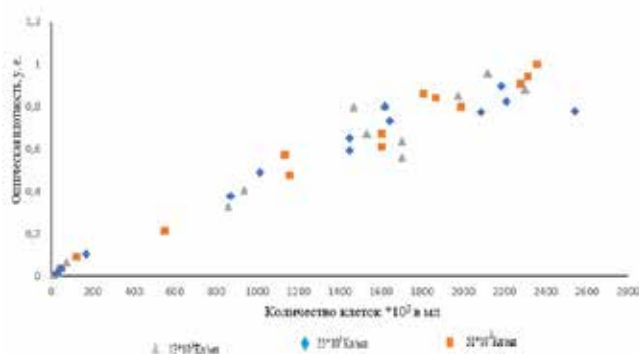


Рисунок 7. Зависимость оптической плотности культуры от численности клеток культуры для *Tetraselmis striata* (фильтрованные пробы)
Figure 7. Dependence of the optical density of the culture on the number of culture cells for *Tetraselmis striata* (filtered samples)

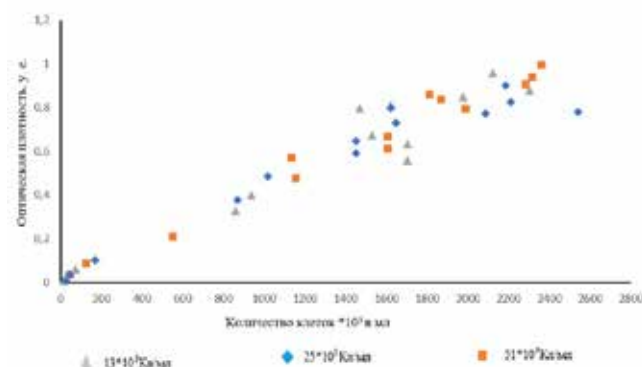


Рисунок 8. Зависимость оптической плотности культуры от численности клеток культуры для *Tetraselmis striata* (нефильтрованные пробы)
Figure 8. Dependence of the optical density of the culture on the number of culture cells for *Tetraselmis striata* (unfiltered samples)

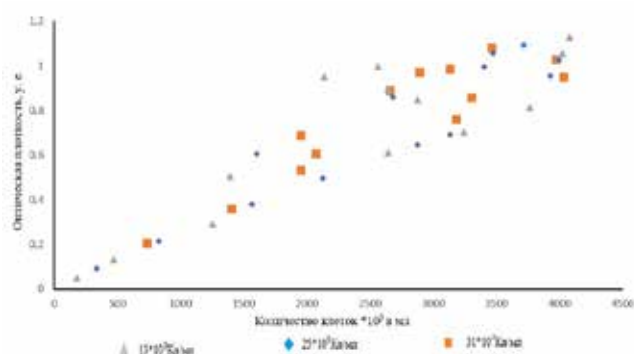


Рисунок 9. Зависимость оптической плотности культуры от численности клеток культуры для *Tetraselmis maculata* (фильтрованные пробы)
Figure 9. Dependence of the optical density of culture on the number of culture cells for *Tetraselmis maculata* (filtered samples)

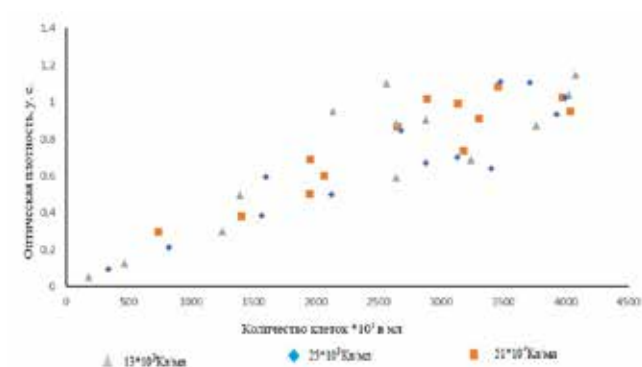


Рисунок 10. Зависимость оптической плотности культуры от численности клеток культуры для *Tetraselmis maculata* (нефильтрованные пробы)
Figure 10. Dependence of the optical density of culture on the number of culture cells for *Tetraselmis maculata* (unfiltered samples)

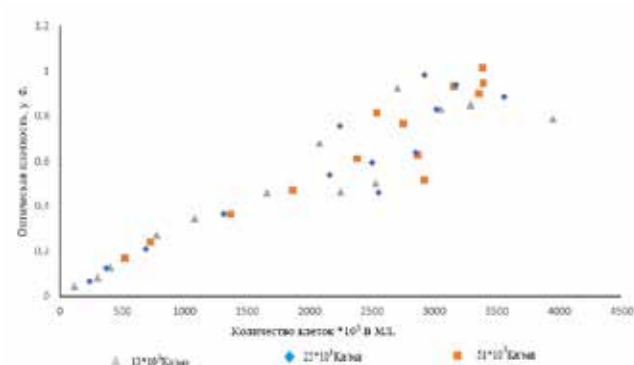


Рисунок 11. Зависимость оптической плотности культуры от численности клеток культуры для *Tetraselmis viridis* (фильтрованные пробы)
Figure 11. Dependence of the optical density of culture on the number of culture cells for *Tetraselmis viridis* (filtered samples)

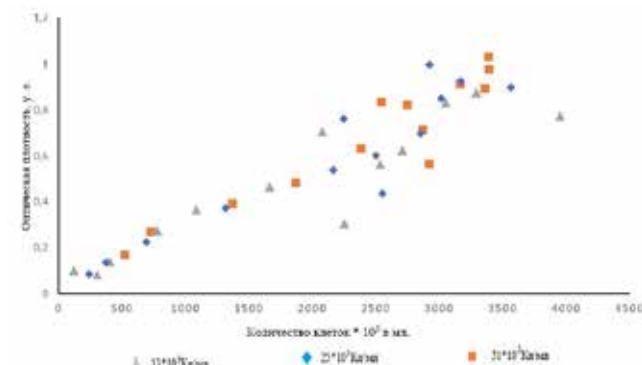


Рисунок 12. Зависимость оптической плотности культуры от численности клеток культуры для *Tetraselmis viridis* (нефильтрованные пробы)
Figure 12. Dependence of the optical density of culture on the number of culture cells for *Tetraselmis viridis* (unfiltered samples)

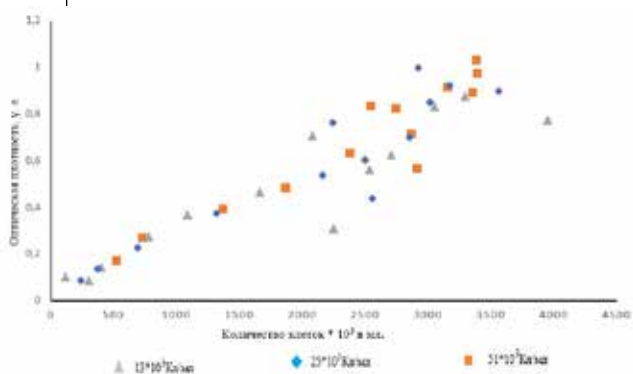


Рисунок 13. Зависимость оптической плотности культуры от численности клеток культуры для *Tetraselmis sp.* (фильтрованные пробы)

Figure 13. The dependence of the optical density of the culture on the number of the culture cells for *Tetraselmis sp.* (filtered samples)

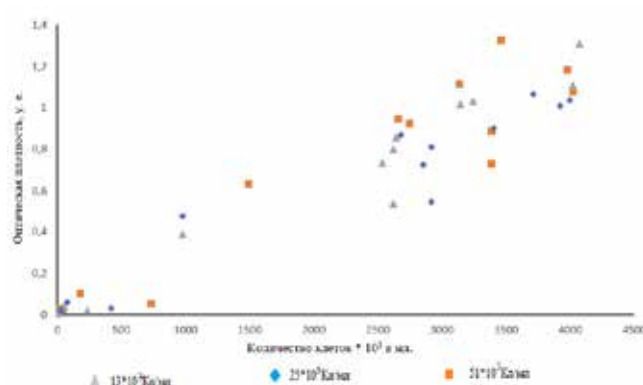


Рисунок 14. Зависимость оптической плотности культуры от численности клеток культуры для *Tetraselmis sp.* (нефильтрованные пробы)

Figure 14. The dependence of the optical density of the culture on the number of the culture cells for *Tetraselmis sp.* (unfiltered samples)

Таблица 1. Данные для пересчета линейной модели оптической плотности на численность $\times 10^3$ в мл / **Table 1.** Data for recalculation of the linear optical density model by the number of $\times 10^3$ in ml

Вид	Фильтрованные пробы		Нефильтрованные пробы	
	a	b	a	b
<i>Tetraselmis striata</i>	0,0004	0,0343	0,0004	0,0419
<i>Tetraselmis viridis</i>	0,0003	0,0367	0,0002	0,0531
<i>Tetraselmis maculata</i>	0,0003	0,0603	0,0002	0,0914
<i>Tetraselmis sp.</i>	0,0003	0,0607	0,0003	0,0233

Авторы выражают признательность сотрудникам ННЦМБ ДВО РАН Н.А. Айздайчер за поддержание живой коллекции видов микроводорослей, Л.Г. Козьменко, В.Б. Козьменко и Д.С. Борисовой за техническую помощь в проведении эксперимента. Авторы благодарны ЦКП «Морской биобанк» ННЦМБ ДВО РАН (<http://marbank.dvo.ru>) за предоставление культур *Tetraselmis striata* (MBRU_P-86), *T. vitidis*, (MBRU_PV-85) и *T. maculata* (MBRU_TM-93).

Финансирование работы. Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 21-74-30004).

ЛИТЕРАТУРА И ИСТОЧНИКИ

1. Ковалев Н.Н. Культуральные и биохимические показатели микроводорослей *Phaeodactylum tricornutum* и *Tetraselmis suecica* в накопительных культурах / Н.Н. Ковалев, С.Е. Лескова, Е.В. Михеев, Ю.М. Позднякова и др. // Вестник Камчатского государственного технического университета. – 2020. – № 53. – С. 54-65.
1. Kovalev N.N. Cultural and biochemical parameters of microalgae *Phaeodactylum tricornutum* and *Tetraselmis suecica* in accumulative cultures / N.N. Kovalev, S.E. Leskova, E.V. Mikheev, Yu.M. Pozdnyakova et al. // Bulletin of the Kamchatka State Technical University. – 2020. – No. 53. – pp. 54-65.
2. Barkia I., Saari N., Manning S.R. Microalgae for high-value products towards human health and nutrition // Marine drugs. – 2019. – Vol. 17(5). – P. 304.
3. Kaparapu J. Application of Microalgae in Aquaculture // Phycological Society. – 2018. – Vol. 48. – Pp. 21-26.
4. Wang G., Xu J., Zeng C. et.al. Pelagic microalgae as suitable diets for the benthic harpacticoid copepod *Tigriopus japonicus* // Hydrobiologia. – 2015. – Vol. 762. – Pp. 81-88.
5. Lubzens E., Zmora O., Stottrup J. et al. Production and nutritional value of rotifers // Live feeds in marine aquaculture. – 2003. – Pp. 300-303.

6. Makridis P., Costa R.A., Dinis M.T. Microbial conditions and antimicrobial activity in cultures of two microalgae species, *Tetraselmis chuii* and *Chlorella minutissima*, and effect on bacterial load of enriched *Artemia metanauplii* // Aquaculture. – 2006. – Vol. 255. – Pp. 76-81.
7. Franklin N.M., Stauber J.L., Lim R.P. Development of flow cytometry-based algal bioassays for assessing toxicity of copper in natural waters // Envir. Toxicol. Chem. – 2001. – Vol. 20. – Pp. 160-170.
8. Günerken E., Hondt E.D., Eppink M. et al. Flow cytometry to estimate the cell disruption yield and biomass release of *Chlorella sp.* during bead milling // Algal Research. – 2017. – Vol. 25. – Pp. 25-31.
9. Хунджуа Д.А. Применение спектрально-оптических методов для характеристики выращенных при различных условиях микроводорослей *Scenedesmus quadricauda* / Д.А. Хунджуа, А.В. Харчева, В.А. Терехова, М.М. Гладкова и др. // Процессы в геосредах. – 2015. – Т. 1. – С. 87-95.
9. Khunjua D.A. Application of spectral-optical methods for characterization of microalgae *Scenedesmus quadricauda* grown under various conditions / D.A. Khunjua, A.V. Kharcheva, V.A. Terekhova, M.M. Gladkova, etc. // Processes in geomed. – 2015. – Vol. 1. – Pp. 87-95.
10. Копытов Ю.П. Методика комплексного определения биохимического состава микроводорослей / Ю.П. Копытов, А.С. Лелеков, Р.Г. Геворгиз, М.В. Нехорошев и др. // Альгология. – 2015. – Т. 25(1). – С. 35-40.
10. Kopytov Yu.P. Method of complex determination of the biochemical composition of microalgae / Yu.P. Kopytov, A.S. Lelekov, R.G. Gevorgiz, M.V. Nekhoroshev et al. // Algologiya. – 2015. – Vol. 25(1). – Pp. 35-40.
11. Sing S.F., Isdepsky A., Borowitzka M.A. et al. Pilot-scale continuous recycling of growth medium for the mass culture of a halotolerant *Tetraselmis sp.* in raceway ponds under increasing salinity: a novel protocol for commercial microalgal biomass production // Bioresource technology. – 2014. – Vol. 161. – Pp. 47-54.
12. Pereira H., Silva J., Santos T. et al. Nutritional potential and toxicological evaluation of *Tetraselmis sp.* CTP4 microalgal biomass produced in industrial photobioreactors // Molecules. – 2019. – Vol. 24(17). – P. 3192.

Эффективность искусственного воспроизводства сига (*Coregonus lavaretus* L.) Куршского залива Балтийского моря

DOI 10.37663/0131-6184-2022-4-81-85

Доктор биологических наук, профессор **С.В. Шибает** – Заведующий кафедрой водных биоресурсов и аквакультуры Калининградский государственный технический университет (ФГБОУ ВО «КГТУ»); Кандидат биологических наук **Л.В. Шибает** – Зам. начальника Калининградского филиала ФГБУ «Глыврыбвод»; аспирант **В.Г. Малиновский** – кафедра водных биоресурсов и аквакультуры Калининградский государственный технический университет (ФГБОУ ВО «КГТУ»)

@ shibaev@kltu.ru;
shibaev.lv@gmail.com;
malinovski@lenta.ru

Ключевые слова:

Куршский залив, сиг, искусственное воспроизводство, популяционные параметры, индекс численности, размерно-возрастная структура, промысловые уловы

Keywords:

Curonian lagoon, white-fish, artificial restocking, population parameters, abundance index, length-age structure, commercial catch

EFFICIENCY OF ARTIFICIAL REPRODUCTION OF WHITEFISH (*COREGONUS LAVARETUS* L.) OF THE CURONIAN LAGOON OF THE BALTIC SEA

Doctor of Biological Sciences, Professor **S.V. Shibaev** – Head of the Department of Aquatic Bioresources and Aquaculture Kaliningrad State Technical University (KSTU); Candidate of Biological Sciences **L.V. Shibaev** – Deputy. Head of the Kaliningrad Branch of the Federal State Budgetary Institution "Glavrybvod"; Postgraduate student **V.G. Malinovskiy** – Department of Aquatic Bioresources and Aquaculture Kalinin-Gradsky State Technical University (KSTU)

The paper examines the effectiveness of artificial reproduction of the whitefish of the Baltic Sea, which in autumn comes to spawn in the Curonian Lagoon. Reproduction of whitefish began in 2009 at the experimental fish farm of FSI "Zapbaltrybvod". The planned volume of reproduction is 150 thousand juveniles of 1-10 g. Due to the technology improvement, the actual volume in recent years has reached 350 thousand pieces. The rate of commercial return of whitefish is unknown. As an indicator of the effectiveness of artificial reproduction, biological parameters of the whitefish spawning stock have been used, which are annually assessed based on the monitoring results. It has been established that over 10 years of operation of the fish-breeding plant, there has been a change in the size and age structure of the population towards rejuvenation, which indicates recruitment increase, possibly as a result of artificial reproduction. At the same time, an increase has been noted in the indices of the number of the spawning stock of whitefish by 10 times and the volume of commercial catch by 4 times. All these can serve as artificial reproduction effectiveness indicators. It is recommended to modify the monitoring system for whitefish during harvesting of its spawners in order to obtain a more complete picture of the state of its population and assess artificial reproduction effectiveness.

Искусственное воспроизводство ценных видов рыб, запасы которых находятся в депрессивном состоянии, является важнейшим способом сохранения биологического разнообразия и, в перспективе, обеспечения устойчивого рыболовства. В на-

стоящее время финансирование данного вида деятельности в России возможно, как за счет бюджетных средств, так и за счет средств, направляемых на компенсацию различных видов хозяйственной деятельности, наносящих ущерб

водным биоресурсам и среде их обитания. При этом одной из сложнейших проблем является оценка эффективности искусственного воспроизводства. В соответствии с действующей методикой оценки ущерба показателем эффективности выступает коэффициент промыслового возврата, который утвержден для многих видов водных биоресурсов. Значение их в большинстве случаев не подтверждено реальными исследованиями, что не позволяет оценить фактическую эффективность искусственного воспроизводства [7; 10]. Наиболее достоверным способом оценки промыслового возврата является мечение выпускаемой молоди и затем подсчет количества возвращенных меток. Однако проведение подобных работ требует очень больших материальных затрат как по самому мечению, так и по учету меченых особей в улове. Кроме того, необходимо принимать во внимание тот факт, что первые метки могут быть получены только через период времени, когда впервые созревшие производители придут на нерестилища. Очевидно, что этот период равен возрасту наступления половозрелости данного вида рыбы и может составлять от двух лет, например, для горбуши, до 20 и более лет – для осетровых. Все указанные обстоятельства делают применение метода мечения весьма проблематичным.

В этой связи нам представляется возможной оценка эффективности искусственного воспроизводства по данным о биологических параметрах популяции. В соответствии с общими закономерностями динамики популяций рыб, поступление в популяцию дополнительного количества молоди, полученной за счет искусственного воспроизводства, неизбежно должно отразиться на биологических параметрах запаса.

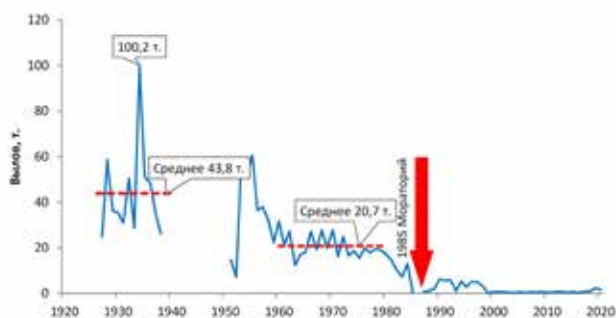


Рисунок 1. Динамика промысловых уловов сига в Куршском заливе

Figure 1. Dynamics of commercial whitefish catches in the Curonian Lagoon

К числу таких параметров можно отнести относительную численность нерестовой популяции, размерно-возрастную структуру, средние размерно-весовые показатели особей [5]. Оценка их входит в стандартную схему ихтиологического мониторинга, результаты которого таким образом могут служить показателем промыслового возврата и эффективности искусственного воспроизводства.

Цель настоящей работы – оценка эффективности искусственного воспроизводства сига Куршского залива.

Исследуется эффективность искусственного воспроизводства сига Балтийского моря, который в осенний период заходит на нерест в Куршский залив. Воспроизводство сига было начато в 2009 году в экспериментальном рыбноводном цехе ФГУ «Запбалтрыбвод». Плановый объем воспроизводства – 150 тыс. молоди навеской 1-10 граммов. За счет усовершенствования технологии фактический объем в последние годы достиг 350 тыс. штук. Коэффициент промыслового возврата сига неизвестен. В качестве показателя эффективности искусственного воспроизводства использовались биологические параметры нерестового стада сига, которые ежегодно оцениваются по результатам мониторинга. Установлено, что за 10 лет работы рыбноводного предприятия произошло изменение размерно-возрастной структуры популяции в сторону омоложения, что свидетельствует об увеличении численности пополнения, возможно, в результате искусственного воспроизводства. Одновременно с этим отмечено увеличение индексов численности нерестового стада сига в 10 раз и объемов промышленного вылова в 4 раза. Все это может служить показателем эффективности искусственного воспроизводства. Рекомендовано модифицировать систему мониторинга сига в период заготовки его производителей с целью получения более полной картины состояния его популяции и оценки эффективности искусственного воспроизводства.

Материалом для настоящей статьи послужили данные мониторинга нерестового стада сига, который осуществляется параллельно с заготовкой производителей для искусственного воспроизводства. Проанализированы уловы ставными сетями с шагом ячеи 55 мм за период 2009-2020 годов. Лов проводился на нерестилищах в период нереста с конца октября по начало декабря. Общее количество обловов – 450. После взятия половых продуктов для воспроизводства, вся рыба подвергалась полному биологическому анализу со взятием чешуи для определения возраста. Всего исследовано более 3 тыс. особей.

Полупроходной сиг обитает в прибрежной части Балтийского моря, но, начиная с возраста 4-5 лет, мигрирует в Куршский залив, где в период октябрь-декабрь происходит его нерест и до 1980-х годов велся его промышленный лов. На протяжении последних 100 лет вылов сига колебался в широких пределах. В период перед Второй мировой войной средняя величина улова сига составляла около 44,1 т, а максимальный вылов – 100,2 т, был отмечен в 1936 году. В послевоенный период, вероятно в связи с возрастанием запаса, обусловленного запуском рыболовства во время войны, российские рыбаки быстро освоили данный вид промысла и на несколько лет увеличили вылов до 50-60 тонн. В последующем произошла стабилизация улова на уровне около 25 т, который сохранялся на протяжении 20 лет вплоть до конца 1970-х годов. К середине 1980-х начали наблюдаться признаки деградации популяции

сига, проявившиеся в быстром снижении уловов [1; 2; 3]. Причинами такого явления могли быть либо чрезмерная интенсивность рыболовства, либо нарушение естественного воспроизводства. Для снижения возможного отрицательного влияния промысла, в 1985 г. был введен мораторий на промышленный лов сига, который, однако, не дал никакого результата – даже через 10 лет запас не восстановился (рис. 1). Этот факт может свидетельствовать о том, что не промысел стал причиной падения численности сига. В связи с этим было сделано предположение о нарушении условий естественного нереста данного вида и целесообразности организации его искусственного воспроизводства. В 2009 г. на Куршской косе в пос. Лесное ФГУ «Запбалтрыбвод» ввел в эксплуатацию экспериментальный рыбоводный цех по воспроизводству сига в Куршском заливе. Плановая мощность цеха – 150 тыс. молоди сига навеской 1-10 граммов.

Технологическая схема работы цеха может быть описана следующим образом [4; 5; 6]. Заготовка производителей сига ведется на двух известных нерестилищах Куршского залива, расположенных в районах пос. Рыбачий и Киевское в период ноября-декабря, при снижении температуры воды до 5°C. Лов производится ставными сетями с шагом ячеи 55 мм. В среднем используется до 20 сетей длиной 50 метров. Пойманные производители выдерживаются в бассейнах с проточной водой, самки отдельно от самцов, до достижения ими пятой стадии зрелости. Гипофизарное стимулирование не применяется. Отобранная и осемененная икра инкубируется в аппаратах Вейса при температуре 2°C в течение 90-150 суток. Вылупление происходит обычно в феврале-апреле при повышении температуры до 6-7 градусов. Вылупившиеся личинки помещаются в личиночный цех, имеющий 6 бассейнов емкостью 0,9 куб. м, и 22 пластиковых бассейна емкостью 1 куб. м каждый, где подрачиваются в течение 90 дней до достижения массы 300 мг. Затем подращенные личинки переводятся в мальковый цех, имеющий 29 бассейнов емкостью 2 куб. м каждый и выращиваются при температуре от 14 до 18 градусов в течение 90-180 дней до навески 1 грамм. Плотность посадки составляет 50 тыс. шт./м³ для личинок и 12 тыс. шт./м³ для мальков.

Цех имеет замкнутую систему водоснабжения. Подпитка водой осуществляется из скважины глубиной 68 метров. Вода подвергается обезжелезиванию и поступает в производственный процесс. Очистка воды происходит в 5 биофильтрах емкостью 5-32 м³. Общий объем воды в системе составляет 80 м³.

Подращенная молодь выпускается в Куршский залив в период май-август навеской от 1 грамма. Первоначально рекомендованная навеска выпускаемой молоди 10 гр. оказалась биологически необоснованной. Исследования показали [7], что в естественных условиях, после вылупления, молодь сига нагуливается в Куршском заливе в течение лета, а затем мигрирует в Балтийское море через Клайпедский пролив. В возрасте одного года молодь сига уже обитает в море и, согласно результатам обратных расчислений, имеет массу около 8 граммов. Поэтому при выращивании молоди в искусственных условиях до большей навески она либо потеряет миграционный инстинкт, либо не



Рисунок 2. Заготовка производителей сига в подледный период

Figure 2. Preparation of whitefish producers during the ice period

будет иметь достаточного времени для перемещения из района нерестилищ, которые расположены на расстоянии 75-90 км от Клайпедского пролива, в море.

Начало работы экспериментального цеха в 2009 г. совпало с периодом крайней депрессии популяции сига. В первые три года одной из главных проблем была заготовка необходимого количества производителей. В 2010 г. пришлось даже вести лов сига подо льдом, что создавало дополнительные сложности в организации работ (рис. 2). Несмотря на это даже в первые годы план по выпуску молоди выполнялся ежегодно – выпуск колебался в пределах 160-220 тыс. штук.

Анализ результатов работы показал, что, предложенная первоначально, технологическая схема не является оптимальной. Так, имеющиеся мощности

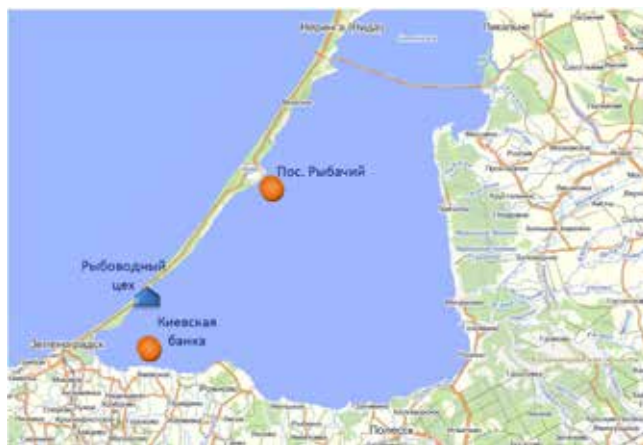


Рисунок 3. Расположение нерестилищ и мест отлова производителей сига в Куршском заливе

Figure 3. Location of spawning grounds and fishing grounds for whitefish producers in the Curonian Lagoon

инкубационного цеха используются только наполовину, а личиночный цех задействован только в течение одного месяца. В связи с этим была предложена и внедрена, так называемая, схема «двойного выклева» [6]. Суть ее заключается в следующем. Инкубация икры осуществляется при температуре 2°C в течение 90 суток. Затем одна партия икры продолжает инкубацию при этой же температуре, за счет искусственного охлаждения, а вторая переходит на стадию вылупления, за счет подогрева воды до 5-7°C. Полученные личинки подращиваются в личиночном цехе в течение 30 дней до навески 300 мг, а затем переводятся на выращивание в мальковый цех. К этому времени температура инкубации второй партии постепенно поднимается, что стимулирует вылупление личинок, которые пересаживаются в освободившийся личиночный цех. В течение 90 дней идет параллельное выращивание личи-



Рисунок 4. Выпуска молоди сига
Экспериментальным рыбоводным
заводом ФГБУ «Запбалтрыбвод»

Figure 4. The release of whitefish juveniles
by the Experimental Fish Hatchery of the Federal State
Budgetary Institution Zapbaltrybvod

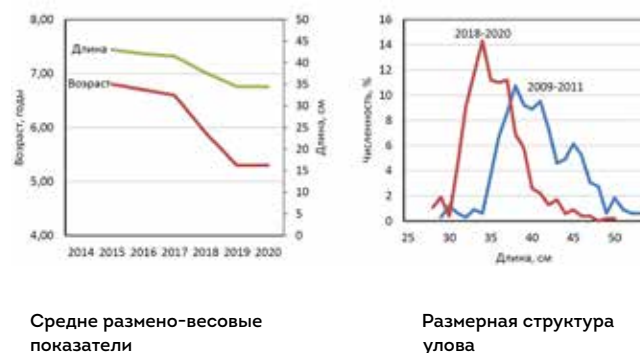


Рисунок 5. Размерно-возрастные
характеристики нерестового стада сига

Figure 5. Size and age characteristics of a whitefish
spawning herd

нок в личиночном цехе и мальков – в мальковом цехе. После достижения заданной навески, что обычно бывает в начале мая, происходит выпуск подращенной молоди в Куршский залив. Оставшиеся личинки распределяются между личиночным и мальковым цехами и дорастиваются до необходимой навески для выпуска в залив. Обычно это происходит в мае-июле.

Таким образом, совершенствование технологии инкубации и выращивания сига в условиях экспериментального цеха позволяет дважды использовать одни

и те же выростные емкости и, по крайней мере, вдвое увеличить количество выпускаемой молоди. Фактически в последние годы объем зарыбления колебался в пределах 300-370 тыс. шт., т.е. превышал плановые показатели почти в 2,5 раза (рис. 4). Это позволило приблизиться к рекомендуемой величине приемной емкости [8] и, помимо государственного финансирования, вовлечь в процесс восстановления запаса сига Куршского залива компенсационные средства в объеме и по расценкам, утверждаемым ФГБУ «Главрыбвод».

Рассмотрим теперь насколько эффективными являются предпринимаемые меры по искусственному воспроизводству сига. В настоящее время фактический коэффициент промыслового возврата сига неизвестен и возможна только его теоретическая оценка путем математического моделирования [10]. В этой связи, в качестве реального показателя эффективности, могут использоваться следующие характеристики:

- 1) размерно-возрастная структура популяции сига;
- 2) плотность рыбного населения;
- 3) промысловые уловы.

1. Выпуск дополнительного количества молоди, за счет искусственного воспроизводства, должен отразиться на структурных характеристиках популяции. В частности, типичным признаком увеличения количества рыбы младших возрастов является омоложение популяции, которое проявляется в снижении средней массы, длины и возраста рыбы [5; 9]. Однако данный эффект может проявиться только через 4-5 лет после начала искусственного воспроизводства, когда в нерестовое стадо вступят особи, достигшие половой зрелости. Данная картина действительно имеет место (рис. 5). Начиная с 2015 г., наблюдается постепенное омоложение нерестового стада. Так, средний возраст особи снизился с 6,8 лет до 5,3, а средняя длина – с 43 до 35 см у самок и с 40 до 33 см у самцов. Изменение средних размерно-весовых показателей обусловлено структурной перестройкой нерестового стада сига, что отчетливо видно по изменению размерной структуры уловов. В период до начала искусственного воспроизводства (2009-2011 годы) нерестовая популяция была представлена более крупными особями, и модальная группа приходилась на рыб длиной 37-40 см. Через 7 лет, когда созрели особи, родившиеся в 2010-2011 годах, они пополнили запас. В результате увеличилось количество молоди, и в 2018-2020 гг. модальная группа сместилась на размеры рыб длиной 34-37 см. Данный факт может свидетельствовать о положительном влиянии искусственного воспроизводства на пополнение популяции сига.

2. Другим показателем, который может свидетельствовать об эффективности искусственного воспроизводства, является изменение численности нерестового стада. Ввиду того, что оценка абсолютной численности сига невозможна в условиях применения для отлова пассивных орудий лова – ставных сетей, приходится оперировать относительным показателем – индексом численности. В качестве индекса численности нами были использованы данные по уловам на единицу промыслового усилия – улов на 100 сетесуток в течение периода заготовки производителей. Оказалось, что если в первые годы работы экспериментального цеха заготовка производителей проводилась со значительными трудностями, т.к. уловы были очень



Рисунок 6. Динамика индекса численности нерестового стада и промыслового вылова сига в Куршском заливе

Figure 6. Dynamics of the index of the number of spawning herds and commercial whitefish catch in the Curonian Lagoon

низкими и не превышали 10 экз. на 100 сетесуток, то после 10 лет работы по искусственному воспроизводству индекс численности сига увеличился более чем в 10 раз (рис. 6). В этой связи исчезла проблема заготовки производителей, и в настоящее время рыбодный цех способен обеспечить получение икры сига, достаточного для искусственного воспроизводства одного и более миллиона штук молоди. Данный факт послужил основанием для расширения мощности завода, который уже в 2022 г. должен дать существенное увеличение объема зарыбления.

3. Третьим показателем увеличения численности популяции сига будет служить динамика промысловых уловов. В настоящее время лимитирование вылова осуществляется путем установления рекомендуемой величины на уровне 2,87 т, и вылов его допускается только в качестве прилова. Анализ промысловой статистики показывает, что, после семи лет проведения работ по искусственному воспроизводству, промысловый вылов увеличился в два раза с 0,5 до 1,0 т, а в последние годы возрос в четыре раза, по сравнению с начальной величиной.

Таким образом, примененный метод анализа биологических параметров нерестовой популяции сига в Куршском заливе позволяет сделать заключение о положительном влиянии искусственного воспроизводства на состояние запасов этого вида и о его эффективности даже без оценки величины промыслового возврата. Данный вывод позволяет рекомендовать модифицировать систему мониторинга нерестового стада сига. В частности, целесообразно проводить контрольный лов в течение всего периода нереста для получения наиболее полных данных о состоянии популяции. К сожалению, в настоящее время лов направлен только на получение необходимого для воспроизводства количества производителей и заканчивается, как только эта величина будет достигнута.

ЛИТЕРАТУРА И ИСТОЧНИКИ:

1. Хлопников М.М. Состояние запасов рыб и их динамика в Куршском и Вислинском заливах Балтийского моря в современных экологических условиях // Гидробиологические исследования в Атлантическом

океане и бассейне Балтийского моря: сборник научных трудов. – Калининград: АтлантНИРО, 1994. – с.71-82.

1. Khlopnikov M.M. The state of fish stocks and their dynamics in the Curonian and Vislin bays of the Baltic Sea in modern ecological conditions // Hydrobiological research in the Atlantic Ocean and the Baltic Sea basin: a collection of scientific papers. – Kaliningrad: AtlantNIRO, 1994. – Pp.71-82.

2. Осадчий В.М. Регулирование рыболовства и стратегия использования рыбных ресурсов в Куршском заливе: Дис. ... канд. биол. наук: Калининград, 2000. – 178 с.

2. Osadchy V.M. Regulation of fishing and the strategy of using fish resources in the Curonian Lagoon: Dis. ... cand. biol. nauk: Kaliningrad, 2000. – 178 p.

3. Осадчий В.М. О состоянии естественного и искусственного воспроизводства европейского сига в Куршском заливе Балтийского моря. / В.М. Осадчий, О.А. Поляков, Л.В. Шибаев // Рыбное хозяйство. – 2011 – №6. – С. 72-73.

3. Osadchy V.M. On the state of natural and artificial reproduction of European whitefish in the Curonian Lagoon of the Baltic Sea. / V.M. Osadchy, O.A. Polyakov, L.V. Shibaev // Fisheries. – 2011 – No. 6. – Pp. 72-73.

4. Шибаев Л.В. Нерестовый ход сига в Куршском заливе и его зависимость от термических условия года / Л.В.Шибаев, С.В. Шибаев, А.В. Соколов // Рыбное хозяйство. – 2012 – №2. – С. 79-81.

4. Shibaev L.V. The spawning course of whitefish in the Curonian Lagoon and its dependence on the climatic conditions year / L.V.Shibaev, S.V.Shibaev, A.V.Sokolov // Fisheries. – 2012 – No. 2. – Pp. 79-81.

5. Шибаев Л.В. Характеристика нерестового стада сига (*Coregonus lavaretus* L.) Куршского залива / Л.В. Шибаев, Е.В. Шпокайте // Известия Калининградского государственного технического университета. – 2014. – №32. – С. 91-98.

5. Shibaev L.V. Characteristics of the spawning herd of whitefish (*Coregonus lavaretus* L.) of the Curonian Lagoon / L.V. Shibaev, E.V. Shpokaite // Izvestiya Kaliningradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. – 2014. – No.32. – Pp. 91-98.

6. Шибаев Л. В. Биотехника получения двух генераций сига (*Coregonus lavaretus*, L) Куршского залива при искусственном воспроизводстве на базе экспериментального рыбодного цеха управления «Запбалтрыбвод» // Известия КГТУ. – 2015. – № 39. – С. 31-38

6. Shibaev L.V. Biotechnics of obtaining two generations of whitefish (*Coregonus lavaretus*, L) of the Curonian Lagoon with artificial reproduction on the basis of the experimental fish-breeding workshop of the Zapbaltrybvod management // Izvestiya KSTU. – 2015. – No. 39. – Pp. 31-38

7. Шибаев Л.В. Эколого-биологические и биотехнические основы воспроизводства сига (*Coregonus lavaretus* L) Куршского залива Балтийского моря. - Дис...канд. биол. наук. Калининградский государственный технический университет. – Калининград, 2016 – 160 с.

7. Shibaev L.V. Ecological, biological and biotechnical bases of whitefish (*Coregonus lavaretus* L) reproduction in the Curonian Lagoon of the Baltic Sea. - Diss... cand. biol. sciences. Kaliningrad State Technical University. – Kaliningrad, 2016 – 160 p.

8. Шибаев С.В. К методике оценки приемной емкости и промыслового возврата при искусственном воспроизводстве сига (*Coregonus lavaretus*) Куршского залива. / С.В. Шибаев, Л.В. Шибаев // Вестник рыбохозяйственной науки. – 2016а. – Т. 3. – № 2 (10). Апрель. – С. 56-69

8. Shibaev S.V. To the methodology for assessing the receiving capacity and fishing return during artificial reproduction of whitefish (*Coregonus lavaretus*) of the Curonian Lagoon. / S.V. Shibaev, L.V. Shibaev // Bulletin of Fisheries Science. - 2016a. – Vol. 3. – No. 2 (10). April. – Pp. 56-69

9. Шибаев С.В. Промысловая ихтиология. – Калининград: ООО «Аксиос», 2014а. – 535 с.

9. Shibaev S.V. Commercial ichthyology. – Kaliningrad: LLC "Axios", 2014a. – 535 p.

10. Шибаев С.В. Формализация методики оценки промыслового возврата при искусственном воспроизводстве водных биоресурсов. // Вопросы рыболовства. – 2018. – Т. 19. – № 2. – С. 247-264.

10. Shibaev S.V. Formalization of the methodology for assessing commercial return in the artificial reproduction of aquatic biological resources. // Fishing issues. - 2018. – Vol. 19. – No. 2. – Pp. 247-264.



Рисунок 1. Внешний вид НИРС «Belgica 2» по правому борту, на испытаниях
Figure 1. Appearance of FFRV “Belgica 2” on the starboard side, during trials

Зарубежные суда для рыбопромысловых исследований, построенные в период 2019–2021 годов

Часть 1. Атлантический регион

DOI 10.37663/0131-6184-2022-4-86-92

Доктор технических наук
Д.Е. Левашов – начальник
 отдела техники экспедиционных
 исследований ФГБНУ «ВНИРО»

@ levashov@vniro.ru

FOREIGN VESSELS FOR FISHING RESEARCH BUILT AND THOSE UNDER CONSTRUCTION IN 2019-2021 PART 1. ATLANTIC REGION

Doctor of Technical Sciences **Levashov D.E.** – Head of the Department of Technology of Expeditionary Research of VNIRO

On the example of new foreign vessels put into operation in 2019-2021 and those under construction, the design features of a new generation of vessels for fishing research are considered. Due to the specifics of the research, the projects are carefully grouped by work conducted in the Atlantic and Pacific regions. The identified information on ten projects of specialized vessels with a maximum length of 44 to 85 m was analyzed, the main characteristics of which are summarized in the table. The features of the deck-laboratory complex and the scientific equipment of a number of ships of particular interest are considered. The results of the analysis draw attention to current trends in the design and equipment of fishing R/Vs.

Ключевые слова:

научно-исследовательское рыболовное судно (НИРС), научно-исследовательское судно (НИРС), судостроение, рыболовное исследовательское судно, гидроакустическое оборудование, Рекомендации ИКЕС №209

Keywords:

fishing research vessel (FFRV), research vessel (FRV), shipbuilding, hydroacoustic equipment, ICES Recommendation N 209

Учитывая закладку килей двух отраслевых НИРС в ноябре 2021 г., уже начавшийся реальный этап обновления отраслевого исследовательского флота, продолжаем публикацию материалов, посвященных развитию зарубежных НИРС в последние пару лет, что стало уже традиционным для текущего десятилетия [3; 4; 5; 6]. Здесь следует отметить, что в отечественной терминологии рыбохозяйственных исследований появилось новое понятие НИРС – научно-исследовательское рыболовное судно, кото-

рое специально спроектировано для промысловых исследований и отличается от обычных НИРС тем, что, благодаря применению новых конструктивных решений, не распугивает своим шумом промысловые скопления в процессе тралово-акустических съемок. Кроме наличия специализированного гидроакустического оборудования, их главным достоинством являются соответствие НИРС Рекомендациям ИКЕС № 209, нормирующим максимальный уровень шума от судо-

вых механизмов, излучаемого в воду, и классу Правил DNV по шумности судна «SILENT-R» (научные рыбопромысловые исследования до скорости судна в 11 уз.) или «SILENT-F» (рыбопоисковые работы и траление на скорости до 4 уз.) [1; 2].

Первая часть обзора посвящена проектам судов, предназначенных для работы в Атлантическом регионе. Учитывая предыдущую публикацию в №2 журнала «Рыбное хозяйство» за 2020 г., в первую очередь, рассмотрим, упомянутые там, НИРС, как уже введенные в строй.

НИРС «Belgica 2», строившееся для Королевского бельгийского института естественных наук на верфи Freire Shipyard по проекту UT-844, разработанному компанией Rolls-Royce Marine, на замену НИРС «Belgica» 1984 г., планировалось к вводу в строй в конце 2020 г., но задержалось с приемо-сдаточными испытаниями.

Первая часть ходовых приемочных испытаний проводилась в период 7 по 11 декабря 2020 года. Вторая часть испытаний проходила с 22 января по 7 февраля 2021 года. В период с 25 февраля по 1 марта прошла третья и последняя часть официальных ходовых испытаний НИРС «Belgica 2», на которых проводилась настройка и испытания различного океанографического оборудования. В результате, все официальные испытания судна были успешно завершены 2 марта 2021 г. и судно вошло в строй. Классификационным обществом Det Norske Veritas судну присвоен класс DNV-GL ✕1A; ICE-1C; SPS; E0; DYNPOS(AUTR); COMF-V(2); COMF-C(2); BWM-T; TMON; Silent-R; NAUT(AW).

Основные характеристики НИРС представлены в таблице 1, более подробное описание судна приведено ранее [4], а на рисунке 1 представлен внешний вид нового НИРС «Belgica 2» в процессе ходовых испытаний.

НИРС «Jákup Sverri» построено для Института морских исследований Фарерских островов (Faroe

На примере новых зарубежных судов, вошедших в строй в основном в 2019-2021 годах, в обзоре рассмотрены конструктивные особенности судов нового поколения для рыбопромысловых исследований. В связи со спецификой исследований, проекты судов сгруппированы по работе в Атлантическом и в Тихоокеанском регионах. Проанализирована выявленная информация по десяти проектам специализированных судов максимальной длиной от 44 до 85 м, основные характеристики которых сведены в таблицы. Рассмотрены особенности палубно-лабораторного комплекса и научное оснащение ряда судов, представляющих особый интерес. В результатах анализа обращено внимание на современные тенденции в создании и оснащении рыболовных НИРС.

Marine Research Institute – FAMRI). Постройка судна была заказана местной верфи MEST Shipyard, которая, в свою очередь, подписала в январе 2018 г. договор с литовской верфью Western Baltija Shipbuilding (WBS) в Клайпеде на строительство судна. Корпус планировалось доставить на Фарерские острова летом 2019 г., где MEST Shipyard должно завершить работы по размещению, оборудованию, трубопроводам, электрике и кабелю, палубному оборудованию и окончательной покраске. Однако график был сдвинут, а полное оснащение оборудованием и ввод в строй пришелся на середину 2020 г. уже на Фарерских островах. В сентябре 2020 г. судно успешно завершило морские испытания и начало работу осенью 2020 года.

Основные характеристики НИРС представлены в таблице 1. Более подробное описание приведено ранее [4], причем первоначально его именовали «Magnus Heinason 2», так как он планировался для замены одноименного НИРС 1978 г. постройки длиной 45,5 метров. Однако новое судно было названо



Рисунок 2. Внешний вид НИРС «Jákup Sverri» по правому борту
Figure 2. Appearance of FFRV “Jakup Sverri” on the starboard side



Рисунок 3. Внешний вид по левому борту НИРС CCGS «John Cabot»
Figure 3. Appearance of FRV CCGS "John Cabot" on the left side

«Jákur Sverri» в честь Якупа Сверри Йонсена – первого морского биолога на Фарерских островах и бывшего директора Фарерского института морских исследований.

На рисунке 2 представлен внешний вид судна, на котором бросается в глаза необычная форма носовой оконечности – за рубежом такой тип носа называется «X-bow», а среди проектантов «попугайным». Судно предназначено 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 шумов от судовых механизмов и, согласно DNV, относится к подклассу Silent R. Судно классифицируется норвежским Регистром на символ класса DNV-GL 1A1 Ice C DYNPOS AUT-S E0 CLEAN TMON SILENT-R.

НИРС CCGS «John Cabot» – так называется третье и последнее из трех рыбопромысловых научно-исследовательских судов, построенных на верфи Seaspan (Северный Ванкувер, Канада) [7]. НИРС CCGS «John Cabot» было названо в честь итальянского торговца и исследователя, одного из первых европейцев, со времен скандинавских викингов, участника высадки на побережье Ньюфаундленда и Лабрадора в 1497 году.

CCGS «John Cabot» был спущен на воду 6 июля 2020 г., а 18 августа были начаты ходовые испытания. Официально судно было передано канадской береговой охране (Canadian Coast Guard) 9 октября, и должно базироваться в Сент-Джонсе (Ньюфаундленд, Лабрадор). Оно является практически полным аналогом НИРС CCGS «Sir John Franklin» и CCGS «Capt. Jacques Cartier», основная информация о технических характеристиках и научном оснащении которых уже публиковалась ранее [3]. Судно классифицируется на класс Регистра Ллойд как: R1+, UMS, NIBS, Polar Class с пониженными шумами, в соответствии с Рекомендациями ИКЕС №209, класс по динамическому позиционированию – DP-1. Для

справки его основные характеристики представлены в таблице 1, а на рисунке 3 показан внешний вид нового судна

НИРС «Tarajó» построено по проекту ST-336 фирмы Skipsteknisk AS для Гренландского института природных ресурсов (Grønlands Naturinstitut). Строительство судна осуществлялось на верфи Astilleros Balenciaga SA. (стр. №413) в северной Испании – порт Сумайя (Zumaia). Контракт с верфью подписан 18 марта 2019 года. Закладка киля осуществлена 25 октября 2019 г., спуск – 18 сентября 2020 года. Стоимость судна составила 235 млн датских крон (\$37,4 млн), выделенных правительством Гренландии при поддержке фонда Оге В. Йенсена (Aage V. Jensen Foundations). Имя «Tarajó» было присвоено судну одновременно с его спуском на воду. На гренландском языке это слово обозначает одновременно понятия «соль» и «море».

Сдача судна заказчику планировалась на весну 2021 г., однако только 30 марта 2021 г. судно отбуксировано на достройку в порт Пасахес (Pasajes). В конце сентября 2021 г. на судне начались ходовые испытания и через месяц оно прибыло на Фарерские острова (Skálafjørðinum), где планировалось провести некоторые работы, связанные с его промысловым оснащением. По данным на 4 декабря 2021 г. судно было в порту, где должно было оставаться до конца года и продолжать прием промыслового снаряжения [11].

На НИРС применена полностью сконструированная фирмой MAN одновальная пропульсивная система с дизель-редукторным приводом на пятилопастной гребной винт регулируемого шага диаметром 3,6 м типа Alpha. Основой судовой энергетической установкой является восьмицилиндровый дизель (2920 кВт) фирмы MAN модель 8L27/38 Tier III с валогенератором мощностью 1600 кВт. Механический привод используется на переходах и при траловых операциях. При ведении научных исследований с минимизацией шумов, излучаемых в воду, с учё-

том Рекомендаций ИКЕС №209, судно также может приводиться в действие гибридным дизель-электрическим приводом NuProp ECO, когда валогенератор работает в качестве электромотора. Питание на него подается от вспомогательных дизель-генераторов на основе двигателей MAN 175D и D2862 мощностью 1200 и 600 Вт, соответственно, установленных на двойных амортизаторах. Все дизельные двигатели оборудованы системой селективного каталитического восстановления (SCR) для очистки выхлопных газов двигателя от выбросов оксида азота (NOx), согласно новым требованиям МАРПОЛ. В результате подбора оборудования уровень подводных шумов для этого НИРС должен соответствовать классу шумности Silent F [10].

Классификационным обществом Det Norske Veritas судну присвоен класс DNV GL ✕ 1A, ICE (1A*), E0, TMON, SILENT (F) Stern trawler DNV-GL. Кроме того, судно одобрено для Категории С Полярного кодекса, а также – Датских национальных правил (DMA) для грузовых судов и имеет Сертификат судна специального назначения. Основные характеристики НИРС представлены в таблице 1, а внешний вид – на рисунке 4.

НИРС представляет собой траулер ледового класса неограниченного района плавания, предназначенный для исследования шельфа Западной и Восточной Гренландии. Судно сможет проводить донное траление для ловли креветок, палтуса и трески, а также пелагическое траление для ловли скумбрии и других видов рыб. Все спускоподъемные устройства и оборудование (грузовые, промысловые и научные лебедки, краны, кран-балки и пр.) поставлены испанской фирмой Ibercisa, почти все лебедки имеют электрический привод.

В состав промыслового оборудования входят две траловых лебедки (по 35 т), двоянный сетной барабан для пелагического и донного тралов, две джилсоновские лебедки (по 15 т), шесть кабельных (по 10 т) и четыре вытяжные лебедки, причем две из них – гидравлические. Также имеется по одной ле-

бедке: для кутка трала (4 т), вспомогательная (4 т) и кабель-тросовая для нет-зонда (4 т). Траловая палуба со слипом продлена своеобразным тоннелем под надстройкой до бака, где установлены вытяжные лебедки. Для работ с промысловым оборудованием используется автоматическая система Scantrol iSYM Autotrawl Fishing System. На корме имеется заваливающаяся П-рама и грузовой кран (6 т / 12 м, Mod. JL 170). На баке расположен второй кран (2 т / 10 м, Mod. JL 150).

Для научных заборных работ используется СТД-ангар с лаппортом, играющий роль рабочей площадки по правому борту с телескопическим выстрелом для СТД, и Г-образная система LARS для работы с другим океанологическим оборудованием. Кстати, при первоначальном варианте рабочая площадка была открытой, а уже в процессе строительства на судне сделали ангар с лаппортом, причем первоначально планировалось одностворчатое закрытие, откидывающееся в нос. Позже оно было переделано в двухстворчатое, открывающееся вверх. На втором уровне ангара располагаются СТД-лебедка с кабель-тросом и гидрографическая со стальным тросом. Кроме того, для работы с кормы имеется многофункциональная лебедка. Еще одна лебедка используется для спуска и подъема киля с акустическими антеннами. Имеется система прокачки заборной воды.

В качестве основного инструмента для заборных работ на станциях используется зондирующий комплекс на базе СТД-зонда и кассеты батометров, хранящиеся в СТД-ангаре.

На судне имеется «мокрая» лаборатория, совмещенная с рыбцехом, с морозильной камерой, «сухая» лаборатория, гидрохимическая лаборатория, лаборатория отбора проб воды, IT-отсек и конференц-комната. Для наблюдений за ледовыми условиями, а также за птицами и млекопитающими, используется специальная обсервационная лаборатория – наблюдательный пункт, расположенная над навигационным мостиком. Имеется автоматическая метеостанция (направление/скорость ветра, темпера-



Рисунок 4. Внешний вид НИРС «Tarajog» по правому борту
Figure 4. Appearance of FRV "Tarajog" on the starboard side

тура, температура морской воды, влажность, атмосферное давление, количество солнечной радиации).

Судно оборудовано различными акустическими исследовательскими приборами, включая научные и многолучевые эхолоты, всенаправленные гидролокаторы, доплеровские профилометры ADCP (измерители течений), донный профилограф и короткобазовая система позиционирования типа HiRAP 50 для работ с ТНПА. Основная часть акустических антенн установлена на киле, выдвигающемся из днища судна на 3 метра.

НИРС "Al-Hassan Al-Marrakchi" [9]. 25 марта 2021 г. новое НИРС прибыло в порт Agadir, Марокко. Судно длиной 48 м, для которого король Мохаммед VI выбрал имя астронома Хасана Аль-Марракчи, жившего во время правления Альмохадов, (умер в 1262 г.). Он был известен своими работами в области астрономии, математики, географии и естественных наук. Марокканская газета Al Massae сообщила, что судно оснащено передовыми системами, которые позволяют проводить междисциплинарные исследования морской экосистемы. Судно будет использоваться как для обычных съемок, так и для глубоководных исследований морских организмов и среды их обитания.

Компания Toyota Tsusho Co., Ltd. получила заказ от Марокканского национального научно-исследовательского института рыболовства (INRH) при МиНИРСтерстве сельского хозяйства и морского рыболовства Марокко на исследовательское судно для морских и рыбопромысловых изысканий. Сумма контракта составила около 5 млрд йен (467 млн дирхамов), а средства выделены в йенах в рамках кредитного соглашения, заключенного между правитель-

ством Японии и правительством Марокко, подписанным между правительствами двух стран в 2017 году. Судно было построено на верфи Mitsui E&S Shipbuilding Co., Ltd. в г. Тамано (Tamano Shipyard), префектура Окаяма (закладка киля 27 января 2020 г., спущено на воду 5 июня 2020 г., готовность 18 декабря 2020 г.), и отправилось в порт приписки, порт Агадир в Марокко, куда прибыло в 2021 году.

Классифицируется новое океанографическое судно INRH как судно для комплексного изучения морской экосистемы и многопрофильной оценки морских запасов на континентальном шельфе и на склоне до глубины 1500 м [8].

Основные характеристики НИРС представлены в таблице 1, а внешний вид на рисунке 5. Для экипажа и научных сотрудников имеется 17 кают. Две резиновые шестиместные лодки – рабочая и спасательная длиной 4,5 м размещены по левому борту.

Главная силовая установка — дизель-редукторная. Использована одновальная пропульсивная схема с дизельным двигателем с турбонаддувом, максимальной мощностью 1500 кВт при 750 об/мин (номинально – 1275 кВт х 710 об/мин), в сочетании с редуктором, работающим на малошумный четырехлопастной гребной винт регулируемого шага диаметром 2,5 метра. Имеется носовое подруливающее устройство тоннельного типа мощностью 152 кВт. Электропитанием судно обеспечивают 3 дизель-генератора номинальной мощностью около 440 кВт при 1500 об/мин (с двойной виброизоляцией). Аварийный дизель-генератор номинальной мощностью 78 кВт при 1500 об/мин.

В конструкции судна приняты меры по снижению судовых шумов, излучаемых в воду. По корпусу –



Рисунок 5. Внешний вид НИРС «Al-Hassan Al-Marrakchi» по правому борту
Figure 4. Appearance of FRV "Al-Hassan Al Marrakchi" on the starboard side

Таблица 1. Основные характеристики проектов зарубежных судов, предназначенных для рыбопромысловых исследований, 2019–2021 годы / **Table 1.** Main characteristics of projects of foreign vessels intended for fishing research, 2019–2021

№	Название судна, страна-судовладелец	Год ввода в строй (проект)	Соответствие Рекомендациям ИКЕС209*	Размеры (макс), м: длина / ширина / осадка	Мощность, кВт: СЭУ / электромоторов (мех. привода)	Скорость, уз: макс. / крейсерская	Вместимость, чел. экипаж / науч. состав	Автономность, сут./мили	Стоимость в млн.
1.	Belgica 2, Бельгия	2021	R	71,4/16,8/4,8	2x1780+1335/2x1200	13/11	12/28	30	€54
2.	Jákup Sverri, Дания (Фарерские острова)	2020	R	54/13,6/6	2x1570/2300	14/11	12/10	н.д.	264 дат. крон
3.	John Cabot, Канада	2020	R	63,4/16/6,2	3x1500/2250	12,5/8,0	23/13	31	н.д.
4.	Tarajok (пр. ST336), Гренландия	2021	F	61,4/16/6,4	(2920); 1200+600/1600	14	20/12	40	US\$37,4 (235 крон)
5.	Al-Hassan Al-Marrakchi, Марокко	2021	+ (8 уз)	48,5/11,8/4,15	(1500)	13,4/12	18/15	12	5 млрд иен (467 дирх.)

Примечание: + да, соответствует, присутствует (на скорости); н.д. – нет данных; R, F, – соответствует требованиям DNV class R, F

форма носа, подавляющая образование пузырьков; форма кормы, которая выравнивает след от гребного винта. Применена виброизоляция и использованы малозумные конструкции главного двигателя и редуктора, а также – четырехлопастной гребной винт, подавляющий кавитацию.

Судно оснащено двумя траловыми лебедками (емкостью 4500 м каната диаметром 22 мм и усилием 85/59/36 кН при вытравленной длине 55/80/130 м), размещенными в корме под траловой палубой. Для работ с пелагическим и донным тралами имеется сдвоенный сетной барабаном емкостью 2x7м³. По бокам установлены две джильсоновые лебедки емкостью 40 м стального троса диаметром 14 мм и усилием 29,4 кН, при скорости выборки 40 м/мин. Имеются 2 комплекта системы мониторинга поведения трала типа SCANMAR ScanBas. Размещение судового рыболовного снаряжения обеспечивает большую рабочую площадь на траловой палубе, по обоим бортам имеются места для размещения двух 20-футовых контейнеров. На корме расположена заваливающаяся П-рама (SWL 53,9 кН, вылет 4,0 м) и три крана – 2 кормовых (49,0/24,5 кН × 5,5/11,5 м) и 1 носовой (4,9/1,96 кН × 7,5 / 11 м).

Для научных заборных работ устроена рабочая площадка по правому борту с П-рамой меньших размеров (SWL 29,4 кН, вылет 3,0 м) и лебедками – СТД-лебедка (емкостью 2000 м кабель-троса диаметром 6,4 мм и усилием 6,86 кН, при скорости выборки 60 м/мин) и тросовая гидрографическая лебедка (емкостью 2000 м стального троса диаметром 5 мм). Кроме того, для работы с кормы имеется лебедка емкостью 2000 м троса диаметром 10,52 мм и усилием 25,5 кН, при скорости выборки 60 м/мин для буксировки пакетного планктонособирателя Hydro-Bios MultiNet. Имеется система прокачки заборной воды.

В качестве основного инструмента для заборных работ на станциях используется зондирующий комплекс на базе СТД-зонда Sea-Bird SBE9plus с касетой Sea-Bird SBE32 на 24 батометра по 5 л, позволяющий работать до глубины 6800 метров. Имеется флюориметр (FRRF) Тернера 10AU-005-CE на хлоро-

филл (диапазон от 0 до 250 мкг/л, чувствительность 0,025 мкг/л). В число заборного оборудования входит глубоководный зонд AANDERAA Seaguard 3000 (максимальная глубина до 3000 м) и четыре мелководных – AANDERAA Seaguard 300 (максимальная глубина до 300 м), донный пробоотборник Multicorer Rigosha 5173-A (4 трубки длиной 400 мм), дночерпатель Van Veen (площадь отбора проб приблизительно 2,500 см², емкость около 60 л).

Для анализа состава проточной заборной воды используется термосолинограф Sea-Bird SBE23, проточное устройство визуализации и анализа микропланктона Fluid Imaging Technologies FlowCam 8100 (частицы от 3 μм до 600 μм) и непрерывный пробоотборник CUFES 100-IB для сбора пелагической икры рыб.

Для поверхностных наблюдений, в том числе за птицами и млекопитающими, используются бинокль Nikon Monarch 8x42, камера Nikon D5100 (18-55мм, 55-200мм), а также автоматическая метеостанция (направление/скорость ветра, температура, температура морской воды, влажность, атмосферное давление, количество солнечной радиации).

Судно оборудовано различными акустическими исследовательскими приборами; включая научный эхолот Simrad EK80 на 4 частотах (18, 38, 120 и 200 кГц), 2 многолучевых эхолота для батиметрических профилей Simrad (EM300 и EM1002); научный гидролокатор Simrad EM70 и сканирующий сонар Furuno FSV-35. Установлены также акустические профилометры Ocean SuFReVeyor 150 (150 кГц) для изучения морских течений на глубинах до 400 м и RDI L-ADCP (300 кГц), глубина измерения до 1500 метров.

Акустическая лаборатория размещается в кормовой части надстройки на палубе бака. К лаборатории с правого борта примыкает помещение оперативно-го центра и совещаний. Оба помещения имеют обзор в корму, а второе – и на рабочую площадку правого борта. Под акустической лабораторией, на уровне траловой палубы, размещена «мокрая» лаборатория с выходом на рабочую площадку. Лаборатория одно-

временно служит ангаром для СТД-зонда с кассетой батометров. К этой лаборатории с левого борта при-
мыкает многофункциональная «сухая» лаборатория.

Под траловой палубой в кормовой части судна рас-
положен ихтиологический блок с биологической лабо-
раторией и небольшой рыбной фабрикой с холодиль-
ником (+4°C, 12м³), морозильной камерой (-20°C,
10м³) и помещением для хранения образцов (-20°C,
8м³). Лаборатория оснащена бинокулярным стереоми-
кроскопом Nikon SMZ1270 с увеличением от 4 до 480
(коэффициент масштабирования 10:1) и обычным ин-
вертированным микроскопом Leica DM IL с механиче-
ским столиком, светодиодной лампой 5 Вт и сменными
объективами (X5, 10, 20, 40). В рыбфабрике имеются
два устройства для измерения длины рыбы до 500 мм
(точность 1 мм) Bigfin Scientific DFS/2 – Coho, а также
три типа, независимых от качки, электронных весов.
Это платформенные Marel M1100 PL6050 с максималь-
ным весом 60 кг (точность 5 г), прецизионные: (боль-
шие) Marel M2200 PL2210 с максимальным весом 3 кг
(точность 0,5–1 г) и (малые) Vibra SJ-620E с макси-
мальным весом 0,8 кг (точность 0,01 г).

Для хранения образцов на борту используется
морозильная камера Nihon-Freezer GS-3120HC (объ-
ем ок. 300 л, -20°C), морозильник со сверхнизкой
температурой Panasonic MDF-C8V1-PE (объем ок.
85 л, -85°C), хранение реагентов Nihon-Freezer NC-
ME50EC (емкость около 500 л, + 2 ~ 14°C), хране-
ние криопробирок обеспечивает биобокс Thermo
Scientific Bio-Cane 34 (емкость для азота 35 л, поме-
щается до 750 криопробирок на 1-2 мл).

Итак, в первой части рассмотрены материалы
с техническими характеристиками и конструктив-
ными особенностями пяти проектов среднетон-
нажных НИРС стран Атлантического региона мак-
симальной длиной от 48 до 71 м, вошедших в строй
в 2020-2021 гг. (табл. 1).

По конструкции все НИРС имеют характерный
архитектурный тип траулера кормового траления
с общими архитектурными решениями в констру-
циях корпуса и надстройки, присущих для судов этого
типа. Пропульсивные схемы всех судов одновальные.
Все суда проектировались с учетом Рекомендаций
ИКЕС 209 по снижению судовых шумов, излучаемых
в воду. На трех проектах судов («Belgica 2», «Jákur
Sverri», «John Cabot») применена классическая про-
пульсивная схема малозумного электродвижения,
они классифицируются Правилами DNV по классу
судна, как исключительно малозумные – «Silent-R».

НИРС «Tarajoq», у которого, в отличие от вышеу-
помянутых НИРС, основной пропульсивной схемой
является гибридная дизель-редукторная, причем
для промысловых съемок планируется использовать
в качестве ходового электромотора валогенератор,
питаемый от дополнительных дизель-генераторов,
классифицируется как более шумное – «Silent-F».

НИРС японской постройки для Марокко «Al-
Hassan Al-Marrakchi» имеет обычную дизель-редук-
торную пропульсивную схему, но примененные
конструктивные решения (малозумный винт, спе-
циальные обводы корпуса судна, применение амор-
тизаторов и др.), по мнению проектантов, дают ос-
нования предполагать, что Рекомендации ИКЕС 209
могут выполняться, но до скорости 8 узлов.

ЛИТЕРАТУРА И ИСТОЧНИКИ:

1. Левашов Д.Е. Нормирование характеристик шумового поля рыбо-
хозяйственных НИРС с целью минимизации его влияния на поведе-
ние рыб при промыслово-акустической съемке. // Труды ВНИРО. –
Т.159. – 2016. – С.157-166.
1. Levashov D.E. Normalization of the characteristics of the noise field of
fisheries NIS in order to minimize its impact on the behavior of fish during
commercial acoustic suFRVey. // Proceedings of VNIRO. – Vol.159. – 2016.
– Pp.157-166.
2. Левашов Д.Е. Современные суда и судовое оборудование для рыбо-
промысловых исследований. – М.: ВНИРО, 2010. – 400 с.
2. Levashov D.E. Modern vessels and ship equipment for fishing research.
– М.: VNIRO, 2010. – 400 p.
3. Левашов Д.Е. Развитие средних НИРС нового поколения для
рыбопромысловых исследований на примере зарубежных проек-
тов. / Д.Е. Левашов, Н.П. Буланова // Рыбное хозяйство. – 2018.
– №3. – С.80-89.
3. Levashov D.E. Development of medium-sized NIS of a new generation
for fishery research on the example of foreign projects. / D.E. Levashov,
N.P. Bulanov // Fisheries. – 2018. – No.3. – Pp.80-89.
4. Левашов Д.Е. Новые зарубежные суда для рыбопромысловых
исследований, вошедшие в строй в 2019 году или находящиеся в
постройке. / Д.Е. Левашов, Н.П. Буланова // Рыбное хозяйство. –
2020. – №2. – С.88-97. DOI 10.37663/0131-6184-2020-2-18-23.
4. Levashov D.E. New foreign vessels for fishing research, commissioned in
2019 or under construction. / D.E. Levashov, N.P. Bulanov // Fisheries. –
2020. – No.2. – Pp.88-97. DOI 10.37663/0131-6184-2020-2-18-23
5. Левашов Д.Е., Тишкова Т.В. Буланова Н.П. Зарубежный опыт ком-
плексного подхода к судам для рыбопромысловых исследований и
подготовки кадров. / Д.Е. Левашов, Т.В. Тишкова, Н.П. Буланова //
Рыбное хозяйство. – 2011. – №5. – С.17-20.
5. Levashov D.E., Tishkova T.V. Bulanov N.P. Foreign experience of an
integrated approach to vessels for fishing research and training. / D.E.
Levashov, T.V. Tishkova, N.P. Bulanov // Fisheries. – 2011. – No.5. –
Pp.17-20.
6. Левашов Д.Е., Тишкова Т.В. Третья волна зарубежных НИРС нового
поколения (2010-2013 гг.). / Д.Е. Левашов, Т.В. Тишкова // Рыбное
хозяйство. – 2014. – №3. – С.17-22.
6. Levashov D.E., Tishkova T.V. The third wave of foreign NIS of a new
generation (2010-2013). / D.E. Levashov, T.V. Tishkova // Fisheries. –
2014. – No.3. – Pp.17-22.
7. Canadian Coast Guard - Vessel details: JOHN CABOT. электрон. дан.
– Canada, 2020. Available at: <https://inter-j01.dfo-mpo.gc.ca/fdat/vessels/2403>, свободный
7. Canadian Coast Guard - Vessel details: JOHN CABOT. electron. dan.
– Canada, 2020. Available at: <https://inter-j01.dfo-mpo.gc.ca/fdat/vessels/2403>, free
8. Etude de conception (D/S) sur le Projet de construction d'un Navire
océanographique et de recherche halieutique au Royaume du Maroc -
Rapport final – 2017. – P.117. – Available at: <https://openjicareport.jica.go.jp/pdf/12288585.pdf>, свободный.
8. Etude de conception (D/S) sur le Projet de construction d'un Navire
océanographique et de recherche halieutique au Royaume du Maroc -
Rapport final – 2017. – P.117. – Available at: <https://openjicareport.jica.go.jp/pdf/12288585.pdf>, free.
9. La flotte de l'INRH. электрон. дан. – 2021. Available at: <https://www.inrh.ma/inrh/moyens/flotte-de-recherche/2021>, свободный.
9. La flotte de l'INRH. electron. dan. – 2021. Available at: <https://www.inrh.ma/inrh/moyens/flotte-de-recherche/2021>, free
10. One-stop ship. – электрон. дан. 2020. – Available at: <https://www.rina.org.uk/onestop.html>, свободный.
10. One-stop ship. – electron. dan. 2020. – Available at: <https://www.rina.org.uk/onestop.html>, free.
11. Tarajoq – eitt serbygt skip. 2021. – Available at: <https://portal.fo/fiskur-49763/tarajoq-eitt-serbygt-skip.grein>, свободный.
11. Tarajoq – eitt serbygt skip. 2021. – Available at: <https://portal.fo/fiskur-49763/tarajoq-eitt-serbygt-skip.grein>, free.



Автоматизированный активный траловый комплекс

DOI 10.37663/0131-6184-2022-4-93-99

Кандидат технических наук
В.А. Пелешенко – доцент
Департамента анализа данных
и машинного обучения
Финансового университета
при Правительстве Российской
Федерации

@ vitaliy.peleshenko@yandex.ru

AUTOMATED TRAWL COMPLEX MANAGEMENT SYSTEM

Candidate of Technical Sciences **V.A. Peleshenko** – Associate Professor of the Department of Data Analysis and Machine Learning of the Financial University under the Government of the Russian Federation

The article is devoted to the problems of developing an automated active trawl complex. The main structural features of the developed automated active trawl complex are described, including its hydrodynamic features, internal and external layout, polar installations and control system.

ВВЕДЕНИЕ

В предыдущей статье [1] была представлена система механизации траловых распорных досок. Следующим эволюционным этапом развития траловых систем является создание активных средств раскрытия, обладающих собственным движителем, независимым от ваерной системы судна. Дело в том, что при тралении судно затрачивает энергию на преодоление сопротивления трения корпуса, сопротивление формы и волнового сопротивления. Объёмы, занимаемые корпусом траулера, обусловлены размещением экипажа, объемом оборудования для рыбопереработки и сопутствующих корабельных устройств, собственно, не используемых при тралении [1]. Объем энер-

гетической установки, продуцирующей энергию для обеспечения траления, составляет 1/10 от общих объёмов корпуса судна. Для обеспечения буксировки траловой сто-метровой системы с усилием $9 \cdot 10^4$ Н дополнительно судно потребляет усилие $7 \cdot 10^4$ Н на преодоление собственного гидродинамического сопротивления. Ряд сопротивлений, таких как волновое, обусловлено спецификой движения на границе раздела сред, составляет треть от $7 \cdot 10^4$ Н и уходит на волнообразование [1]. Поэтому суда с подводным принципом движения обладают большей скоростью и эффективностью. В надводном положении подводные суда имеют почти вдвое меньшую скорость при движении, неже-

Ключевые слова:

автоматизированный активный траловый комплекс, гидродинамические особенности, внутренняя и внешняя компоновка, пропульсивные установки, система управления

Keywords:

automated active trawl complex, hydrodynamic features, internal and external layout, propulsive installations, control system

ли в подводном положении при той же затраченной мощности. При этом, в случае перехода на активные средства раскрытия, обладающие собственными движителями, почти в 10 раз сокращается площадь смоченной поверхности, а, следовательно, и всех составляющих гидродинамического сопротивления.

Уход от надводного к подводному принципу буксировки обеспечивает экономию 30% мощности или, в пересчёте на проектную стометровую траловую систему, $2,1 \cdot 10^4$ Н тягового усилия. Сокращение ненужных объёмов и механизмов при буксировке способно сократить оставшееся необходимое добавочное усилие в $4 \cdot 10^4$ Н до $0,5 \cdot 10^4$ Н что, по сути, эквивалентно с усилиями, возникающими на траловых досках. Таким образом, целесообразно отказаться от буксировки трала траулером и установить движительный комплекс на траловые доски. Это приведёт к сокращению общего буксировочного усилия с $16 \cdot 10^4$ Н до $9,5 \cdot 10^4$ Н и сократит тем самым сопутствующие топливные расходы на 40%, что приведёт к увеличению рентабельности промысла. С этой целью была разработана и испытана система активных средств раскрытия.

ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Для достижения основных проектных характеристик рассмотрим диапазон величин распорной силы при применении активных траловых устройств в составе разноглубинных траловых комплексов.

Для этого сравним активную систему с обычным траловым комплексом. Схематизируем её структуру по методике, предложенной Ф.И. Барановым [2; 3]. В классическом виде, при использовании траулера в качестве источника буксировочной силы и пассивных траловых досок, система имеет вид как изображено на рисунке 1.

На рисунке 1 точкой А обозначено положение траулера, отрезки АВ и АВ₁ – ваеры, точки В и В₁ – траловые доски, отрезки ВС и В₁С₁ – кабели, отрезок СС₁ – устье трала, треугольник CDC₁ – канатно-сетная часть трала.

Сила буксировки, создаваемая траулером, симметрично распределяется по ваерам. Дан-

Статья посвящена проблемам разработки автоматизированного активного тралового комплекса. Изложены основные конструкционные особенности разработанного автоматизированного активного тралового комплекса включая его гидродинамические особенности, внутреннюю и внешнюю компоновку, пропульсивные установки и систему управления.

ная сила обозначена как R_3 , и имеет две составляющие – продольную r_3 и вертикальную. Вертикальная составляющая t_3 обусловлена двумя факторами. Первый фактор заключается в том, что из-за того, что ваера расположены под углом α к продольной плоскости, так как ширина судна значительно меньше, чем раскрытие трала и расстояния между траловыми досками, усилие буксировки смещается на величину этого угла. Второй фактор состоит в том, что сами ваера имеют значительную массу, и она тем больше, чем глубже происходит траление. Таким образом, за счёт собственной массы ваера образует дополнительное стягивающее усилие. Это усилие обратно направлено силе раскрытия трала и ухудшает тем самым показатели траления.

Траловые доски напротив создают распорную силу t_2 , обеспечивающую раскрытие трала. Тем не менее, помимо распорной силы они также обладают собственным гидродинамическим сопротивлением r_2 . Совокупность этих двух сил образует общую величину гидродинамической силы на траловой доске обозначенную R_2 . Общая гидродинамическая сила направлена перпендикулярно поверхности траловой доски и зависит от её конструкционных особенностей, величины набегающего потока жидкости и её пространственного положения. На траловые доски действует сила натяжения кабелей R_1 , сформированная гидродинамическим сопротивлением трала. При этом она имеет две составляющие: t_1 – стягивающее усилие трала, вертикально направленное к осевой линии АД и r_1 , направленное вдоль осевой линии АД. Статическое равновесие траловой системы при этом будет определено совокупным влиянием всех сил и его можно выразить следующей системой уравнений:

$$r_3 - r_1 - r_2 = 0 \quad (1)$$

$$t_2 - t_1 - t_3 = 0$$

При этом величину необходимой распорной силы, формируемой на траловых досках, можно представить, как:

$$t_2 = t_1 + t_3 \quad (2)$$

Смоделируем распределение силы, согласно описанной схематизации проектируемого тралового комплекса при единичной распорной силе:

На рисунке 2 показано нагружение траловой системы при единичной распорной силе. Так

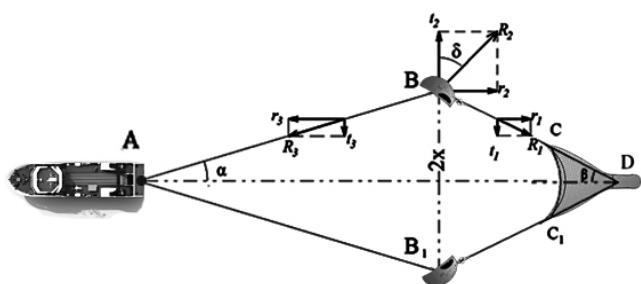


Рисунок 1. Схематизация траловой системы (по Ф.И. Баранову)
Figure 1. Schematization of the trawl system (according to F.I. Baranov)



Рисунок 2. Нагружение траловой системы при единичной распорной силе
Figure 2. Loading of the trawl system at a single spacer force

как траловая система симметрична, то рассмотрена только правая часть, при этом в левой части нагрузки будут такие же только с противоположным знаком. Согласно схематизации, на одну единицу распорной силы будет приходиться 0,26 единиц гидродинамического сопротивления при работе траловой доски, величина t_3 будет равна 0,27, а t_1 примет значение 0,73. То есть 26% распорной силы расходуется на преодоление вертикальной реакции ваера t_3 . Избежать этого можно при полном исключении ваеров из рабочей схемы тралового комплекса, за счёт разделения точки буксировки на две составляющие с непосредственным приложением к самим траловым доскам.

БЕЗВАЕРНАЯ ТРАЛОВАЯ СИСТЕМА

В рамках проведённого исследования была разработана безваерная система. Схематизация безваерной траловой системы имеет следующий вид:

При схематизации, изображённой на рисунке 3, исключение расходования 26% распорной силы на преодоление вертикальной реакции ваера позволит пропорционально сократить площадь распорной доски, при сохранении тех же показателей раскрытия трала. Сокращение площади траловой доски, в свою очередь, приведёт к пропорциональному сокращению её гидродинамического лобового сопротивления R_2 . Таким образом, без ущерба для производительности траловой системы, можно разместить в её центральной части пропульсивную установку, как показано на рисунке 4:

На рисунке 4.А изображена обычная траловая доска, 4.Б – траловая доска с пропульсивным комплексом. При установке пропульсивного комплекса на траловую доску, помимо скорости набегающего потока жидкости, на её поверхности образуется дополнительная скорость, вызванная подсаживанием самого винта пропульсивного комплекса и линий тока жидкости вокруг корпуса гондолы пропульсивной установки. Так как распорная сила на траловой доске прямо пропорциональна квадрату скорости потока жидкости, взаимодействующего с её поверхностью, то дополнительное увеличение скорости обтекания, при установке пропульсивного комплекса, повышает её эффектив-

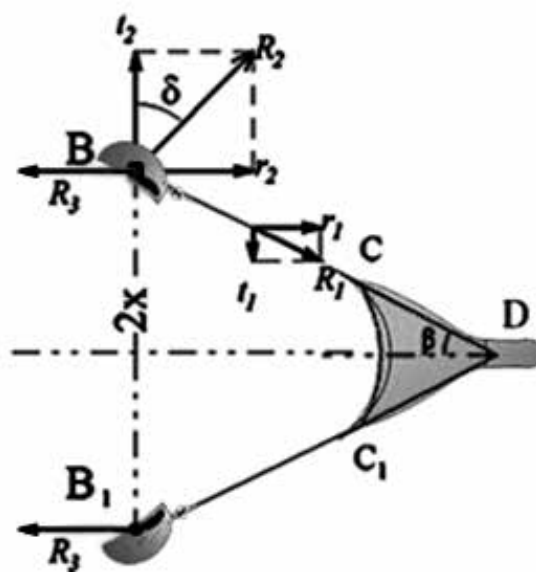


Рисунок 3. Схематизация безваерной траловой системы
Figure 3. Schematization of an unseFRVed trawl system

ность. За счёт этого эффекта удалось сократить площадь траловой доски от первоначальной на 34%, с сохранением неизменной величины распорной силы.

Установка пропульсивного комплекса, помимо вышеизложенных преимуществ, также позволяет, за счёт отклонения в продольно-поперечной плоскости от оси симметрии тралового комплекса во внешнюю сторону, создавать дополнительную распорную силу, за счёт перераспределения буксировочного усилия. Обозначим угол отклонения через γ . Тогда величину дополнительного усилия можно определить по формуле:

$$t_3 = R_3 \sin \gamma \quad (3)$$

Общую величину распорной силы при этом можно определить, как совокупность распорной силы на траловой доске, представляющую собой функцию от угла атаки α с дополнительным отклонением γ и дополнительным приростом от t_3 [4; 5; 6]:

$$t_2 = C_y(\alpha + \gamma) (\rho \cdot v(t)^2 / 2) F + R_3 \sin \gamma \quad (4)$$

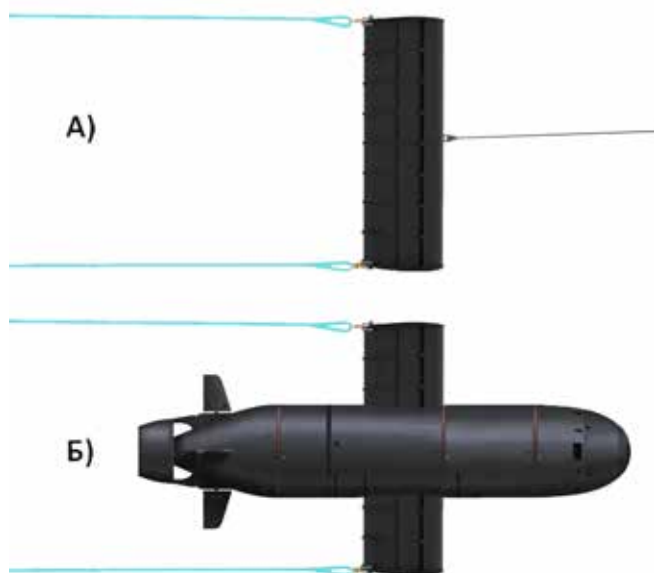


Рисунок 4. Установка пропульсивного комплекса на траловую доску
Figure 4. Installation of a propulsive complex on a trawl board

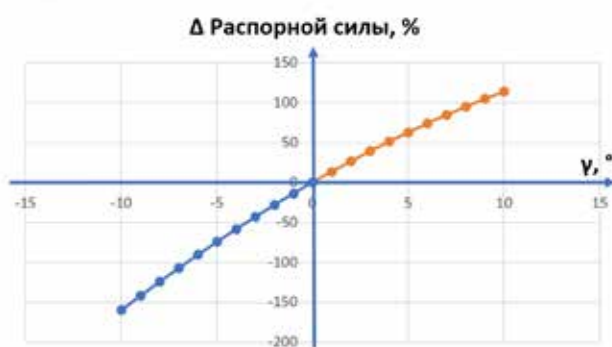


Рисунок 5. Изменение распорной силы от курсового угла
Figure 5. Change in the spacer force from the heading angle



Рисунок 6. Схема активной пропульсивной системы тралового комплекса
Figure 6. Diagram of the active propulsive system of the trawl complex

где R – гидродинамическая сила;
 ρ – плотность жидкости;
 V – скорость траления;
 F – площадь траловой доски;
 α – угол атаки траловой доски;
 γ – отклонение курсового угла хода;
 C_y – коэффициент распорной силы.

При отрицательных значениях γ величина распорной силы, за счёт дополнительной составляющей от буксировочного усилия, наоборот, уменьшается. На рисунке 5 показан график, на котором приведены экспериментальные данные величины изменения распорной силы при различных γ .

Уже при значениях γ равным -4° достигается проектный показатель снижения гидродинамической распорной силы на 50%. При $\gamma = -7^\circ$ снижение распорной силы достигает 100% и дальнейшее снижение γ приводит к отрицательным значениям распорной силы – стягивающему усилию. При γ равном 4° , наоборот, происходит увеличение распорной силы на 50%, и, при дальнейшем увеличении γ до 8° , распорная сила увеличивается на 100% от первоначального значения. Таким образом, γ является эффективным способом управления распорной силой тралового комплекса и позволяет за счёт этого производить смыкание и раскрытие траля, что было доказано в дальнейших испытаниях в рамках макетирования безвального тралового комплекса.

АКТИВНАЯ ТРАЛОВАЯ СИСТЕМА

Активная траловая система базируется на траловых досках, имеющих в своём составе движители. Схема активной траловой доски, входящей в инновационный активный безвальный траловый комплекс, представлена на рисунке 6.

Система активной пропульсивной системы тралового комплекса включает в свой состав три движительных комплекса. Два из них обеспечивают движение в горизонтальной плоскости, а один – вертикальное перемещение. На рисунке 6 правый пропульсивный движительный комплекс представлен электродвигателем – позиция 1, контроллером двигателя – позиция 2, понижающим редуктором – позиция 3, опорноупорным подшипником удерживающим валопровод – позиция 4, герметичной муфтой – позиция 5 и гребным винтом – позиция 6. Левый пропульсивный движительный комплекс представлен электродвигателем – позиция 7, контроллером двигателя – позиция 8, понижающим редуктором – позиция 9, опорноупорным подшипником, удерживающим валопровод – позиция 10, герметичной муфтой – позиция 11 и гребным винтом – позиция 12. Вертикальный пропульсивный движительный комплекс представлен электродвигателем – позиция 13, контроллером двигателя – позиция 14, понижающим редуктором – позиция 15, опорноупорным подшипником – позиция 16, удерживающим валопроводом – позиция 17, герметичной муф-



Рисунок 7.
Электродвигатель
пропульсивного
комплекса
Figure 7. Electric motor
of the propulsive complex

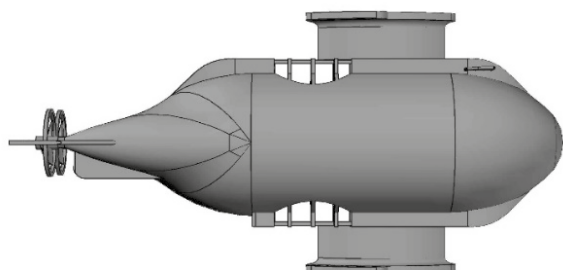


Рисунок 8. Интеллектуальное
инновационное экологическое средство
раскрытия тралового комплекса
Figure 8. Intelligent innovative ecological means of opening
the trawl complex



Рисунок 9. Трёхмерная модель активной
автоматизированной системы управления
траловым комплексом
Figure 9. Three-dimensional model of an active automated
trawl complex control system

той – позиция 18, угловым редуктором – позиция 19, двумя подшипниками – позиция 20 и позиция 21, удерживающим вертикальный валом – позиция 22, с муфтой – позиция 23 и гребным винтом – позиция 24.

Было произведено макетирование схемы активной автоматизированной системы управления траловым комплексом. В качестве основы пропульсивных комплексов были взяты электродвигатели мощностью 3700W с классом герметичности IP68, представленные на рисунке 7. Двигатели комплектуются гребным винтом и рассчитаны на производство тягового усилия в 100 кг. Таким образом, общее тяговое усилие двухшаговых пропульсивных комплексов составляет 200 кг, что достаточно для буксировки макета трала, испытанного ранее [1].

Было произведено CAD проектирование ак-

тивной автоматизированной системы управления траловым комплексом, согласно изложенной принципиальной схеме. Разработанная трёхмерная модель активной автоматизированной системы управления траловым комплексом представлена на рисунке 8.

Проработана внутренняя структура и элементы насыщения, как показано на рисунке 9.

Методом трёхмерной печати был изготовлен корпус установки, с последующим насыщением установки электронными компонентами и герметизацией.

Установка подтвердила проектные пропульсивные усилия. На рисунке 10 представлен экспериментальный запуск пропульсивной системы, сделанный в инфракрасной съёмке, позволяющей зафиксировать течение жидкости сквозь винтовой комплекс.

Модельные испытания установки подтвердили полное смыкание трала до 0% раскрытия и полное раскрытие до 100%, при использовании разработанной установки, как показано на кадрах испытаний на рисунке 11. Таким образом, можно управлять тралом, раскрывая его только в момент облова рыбных скоплений и исключая сопутствующий прилов, а также можно сокращать гидродинамическое сопротивление и затраченные энергетические ресурсы при спуске и выборке за счёт смыкания трала.

По результатам проведённых исследований был разработан патент [7], в котором «разноглубинный траловый комплекс отличается тем, что не имеет связки с траулером посредством ваверов, а его движение, включая подъём и спуск, осуществляется за счёт активных траловых досок», представленных позицией 1 на рисунке 12, оборудованных собственными движителями.

УПРАВЛЕНИЕ АКТИВНЫМ ТРАЛОВЫМ КОМПЛЕКСОМ

На завершающем этапе разработки была создана математическая модель управления активным траловым комплексом, которая ба-



Рисунок 10. Модельные испытания
макета пропульсивной установки модели
интеллектуального инновационного
экологичного тралового комплекса
Figure 10. Model tests of a model of a propulsive
installation of a model of an intelligent innovative
eco-friendly trawl complex

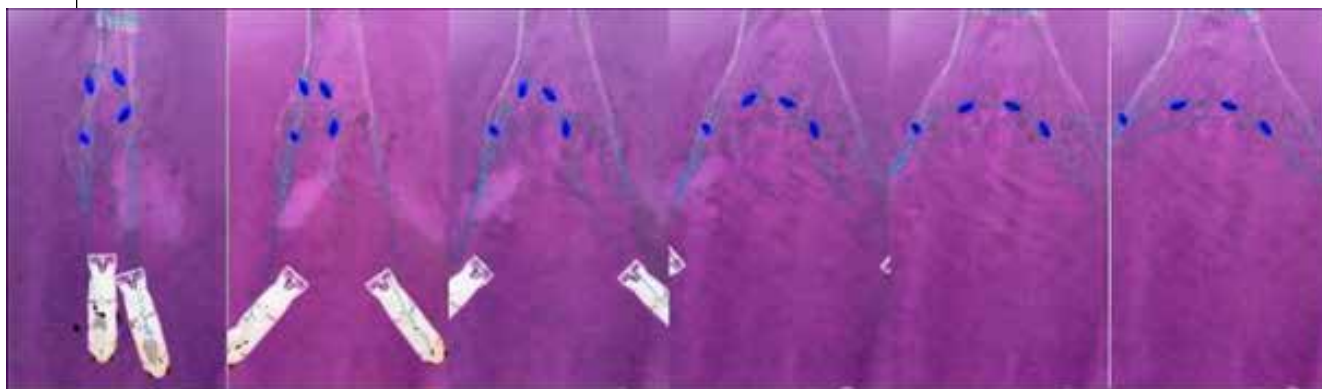


Рисунок 11. Испытание макета установки модели активного тралового комплекса
Figure 11. Testing of the installation layout of the active trawl complex model

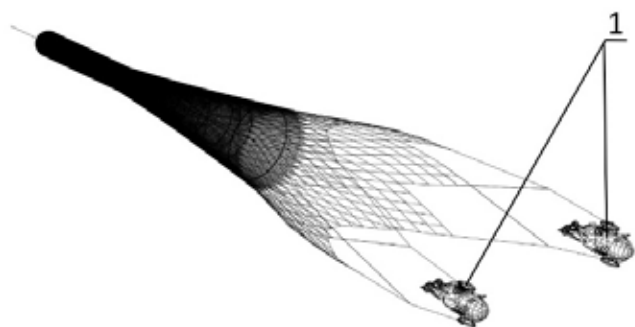


Рисунок 12. Активный траловый комплекс
Figure 12. Active trawl complex

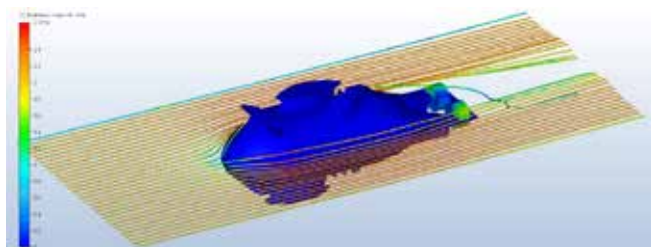


Рисунок 13. Расчётное поле скоростей при движении активных распорных устройств
Figure 13. The calculated velocity field during the movement of active spacers

зируется на адаптивном алгоритме, включающем фильтры Калмана, позволяющем дать точную оценку динамики активных распорных устройств, обладающих собственными импульсивными системами. В качестве исследуемых траекторий движения, помимо прямолинейного, в горизонте объектов лова и движений на всплытии и погружении также рассматриваются движения при маневрировании тралового комплекса, в частности – на режимах циркуляционного движения. Разработан программно-аппаратный комплекс, обеспечивающий позиционирование траловых комплексов относительно рыбных скоплений и маневрирования, в условиях сложного рельефа местности.

Предлагаемый подход основан на адаптации обычного алгоритма фильтра Калмана с добавлением к нему коэффициента ковариации шумов данных и их корректировки с помощью дополнительных коэффициентов в структуре основного алгоритма. Предложенный алгоритм позволяет дать точную оценку выходных параметров для управления активными траловыми системами, максимально приближенную к реальным эксплуатационным условиям, где входные данные являются мало предсказуемыми, ввиду огромной инвариантности входных параметров. Тем не менее, разработанные математические алгоритмы управления активными подводными траловыми комплексами просты, обладают низким ресурсопотреблением и легко внедряемы в аппаратную часть разработанных активных траловых систем. За счёт этого можно существенно повысить надёжность оценки работы средств автоматизации управления активных траловых систем, что в суровых условиях промысла является одной из важнейших и актуальных задач промышленного рыболовства.

В проведённой научно-исследовательской работе были рассмотрены различные схемы управления – от системы, на основе пропорционально-интегрально-дифференцирующих регуляторов (ПИД) до адаптивных пространственных инерционных систем, с отслеживанием траектории циркуляции. На основании методов Ляпунова была проанализирована асимптотическая устойчивость для каждой разработанной схемы управления.

Далее было проведено макетирование и численное моделирование на различных режимах работы активных траловых комплексов. Проведённое моделирование включало инвариантность по факторам пространственного позиционирования, мореходным качествам, параметров электронных датчиков, внешних и внутренних возмущений, внешних течений жидкости и т.д.

Промысловые схемы использования активных траловых систем были детально смоделированы. Полученные результаты пока-

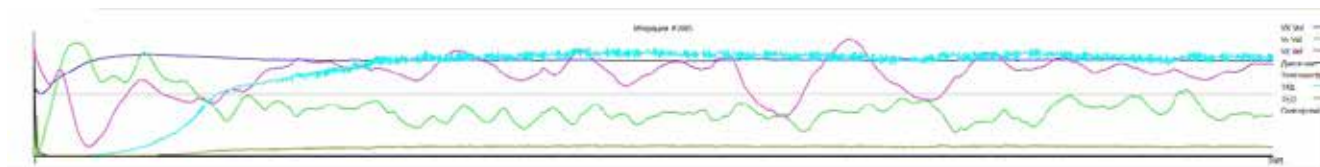


Рисунок 14. Расчётная функция при 3985 итерациях
Figure 14. Calculation function at 3985 iterations

зывают эффективность и надежность разработанной схемы управления, её превосходство над всеми, разработанными на текущий момент, системами в сегменте управления низкоинерционной подводной морской техники.

При проектировании автоматизированных систем управления активных траловых систем важное значение имеет трёхмерное позиционирование активных траловых комплексов, относительно рыбных скоплений, и маневрирование, относительно рельефа морского дна, а также – на водной поверхности относительно траулера при выборке.

В большинстве исследований форма рыбных скоплений, форма рельефа местности и т.д. берётся априорно, а сам траулер, как правило, вообще заменяют материальной точкой. Такой подход мешает создать полноценные автономные системы управления для активных траловых систем и требует участия человека, как на уровне ручного предварительного задания большого объема входных данных, так и для обеспечения непрерывного контроля активных траловых систем. При разработке модели использовалась трёхмерная система позиционирования, обладающая высокой степенью автоматизации и автономности, базирующаяся на датчиках и гидролокаторах, позволяющих системе самостоятельно выстраивать информационное трехмерное поле вокруг себя. В соответствии с этим, были разработаны модели управления, где рассматриваются все основные сценарии эксплуатации активных подводных траловых систем. Разработанные модели управления учитывают гидродинамические особенности траловых комплексов и активных систем раскрытия с интегрированными пропульсивными установками, включая динамические характеристики при маневрировании, скоростные характеристики, характеристики буксировочных усилий и т.д. Эффективность разработанных моделей оценивалась как в рамках кинематического моделирования в среде MATLAB, так и при помощи методов вычислительной гидродинамики в программных комплексах CFD.

Примеры моделирования представлены на рисунке 13, где отображено поле скоростей при движении активных распорных устройств, и на рисунке 14, где отображена соответствующая, ранее представленному движению, расчетная функция при 3985 итерациях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках проведённой научно-исследовательской работы была успешно разработана модель прототипа интеллектуального инновационного активного тралового комплекса. Проведенные испытания прототипа интеллектуального инновационного активного трала методом вычислительной гидродинамики на основе трёхмерной модели траловой системы и испытанные макеты блоков управления и пропульсивных установок подтвердили работоспособность заявленных технических решений. Внедрение разработанного инновационного активного трала способно сократить текущие эксплуатационные расходы и увеличить уловистость, при этом снизив долю прилова и экологического ущерба. Это позволит вывести рыбопромысловый флот на новый уровень технического развития.

ЛИТЕРАТУРА И ИСТОЧНИКИ:

1. Пелешенко В.А. Автоматизированная система управления траловым комплексом // Рыбное хозяйство. – 2022. – № 3. – С. 79-89.
1. Peleshenko V.A. Automated trawl complex management system // Fisheries. – 2022. – No. 3. – Pp. 79-89.
2. Баранов Ф.И. Моделирование рыболовных орудий. // Рыбное хозяйство. – 1940. – №5. – С. 20-24.
2. Baranov F.I. Modeling of fishing implements. // Fisheries. – 1940. – No. 5. – Pp. 20-24.
3. Баранов Ф.И. Техника промышленного рыболовства / Ф.И. Баранов. – М.: Пищепромиздат, 1960. – 695 с.
3. Baranov F. And the technique of industrial fishing / F.I. Baranov. – М.: Pishchepromizdat, 1960. – 695 p.
4. Баранов Ф.И. Вертикальное раскрытие трала / Ф.И. Баранов // Рыбное хозяйство. – 1947. – №2. – С. 25-28.
4. Baranov F.I. Vertical opening of the trawl / F.I. Baranov // Fisheries. – 1947. – No.2. – Pp. 25-28.
5. Вуд К.Д. Техническая аэродинамика / К.Д. Вуд // М.: Ученые записки ЦАГИ. – ЦАГИ, 1938. – 252 с.
5. Wood K.D. Technical aerodynamics / K.D. Wood // М.: Scientific notes of TsAGI. – TsAGI, 1938. – 252 p.
6. Карпенко В.П. Исследование гидродинамических характеристик распорных траловых устройств / В.П. Карпенко // Тр. ЦНИИТЭИРХ. Промышленное рыболовство. – М., 1973. – Т. 2. – С. 47-49.
6. Karpenko V.P. Investigation of hydrodynamic characteristics of spacer trawling devices / V.P. Karpenko // Tr. TSNIITEIRH. Industrial fishing. – М., 1973. – Vol. 2. – Pp. 47-49.
7. Патент RU210838U1 Рыбопромысловый траловый комплекс // Пелешенко Виталий Алексеевич
7. Patent RU210838U1 Fishing trawl complex // Peleshenko Vitaly Alekseevich



Гигиенические критерии качества и безопасности рыбной кулинарной продукции

DOI 10.37663/0131-6184-2022-4-100-104

Доктор технических наук,
профессор **А.Т. Васюкова**;
аспирант **К.В. Кривошонов** –
Московский государственный
университет пищевых
производств

@ vasyukova-at@yandex.ru;
krivoshonok@gmail.com

Ключевые слова:
продукты питания, качество,
безопасность, обработка,
кулинарная продукция

Keywords:
food, quality, safety,
processing, culinary products

HYGIENIC CRITERIA FOR THE QUALITY AND SAFETY OF FISH CULINARY PRODUCTS

Doctor of Technical Sciences, Professor **A.T. Vasyukova**;
PhD student **K.V. Krivoshonok** –
Moscow State University of Food Production

The purpose of the scientific work is to study the indicators of the quality and safety of fish culinary products for children's nutrition. The object of the study were fish dishes. Microbiological and physico-chemical methods determined the nutritional value, toxicity and set the shelf life of products. The article provides up-to-date information on the impact of the nutritional factor on the development of the child's body. The lack of a balanced diet can lead to various forms of allergies, anemia, rickets, and an increase in the frequency of infectious diseases. In this regard, fish raw materials can most fully solve the issue of meeting the needs of a child in nutrients that are important for him. One of the important indicators is the content of the dense and liquid parts in the model minced meat, because fish contains 80-81% water in its composition, then an increase in free liquid in the minced meat recipe would lead to its dilution and the loss of the possibility of manufacturing molded products. In the course of the work, it was found that the duration of storage at a temperature of 4 ± 2 °C is possible for 72 hours (3 days) without changing the safety indicators. The microbiological safety of the developed products was established: The number of mesophilic aerobic and facultative anaerobic microorganisms (QMAFAnM) at all points of control of samples does not exceed the normalized level. An important aspect in the nutrition of school-age children is the organoleptic characteristics of dishes. As a result of the examination, it was determined that the products under study are characterized by attractive organoleptic characteristics: the taste and smell are not pronounced fishy, characteristic of the products, there is no taste of extraneous cod, the texture is juicy, tender, acceptable for school-age children.

Рыба и другие гидробионты, будучи способными сорбировать и аккумулировать токсичные химические элементы и вещества, содержащиеся в воде, являются одним из наиболее опасных продуктов для жизни и здоровья людей и особенно детского организма [1].

Качество и безопасность пищевой рыбы и рыбной продукции – понятия неотделимые друг от друга [2]. При оценке качества продукции гидробионтов, наряду с основными критериями, включающими содержание питательных веществ, важны результаты физико-химических, биологических, паразитологических анализов, позволяющие определить степень ее безопасности для здоровья ребенка [1].

Разработка и осуществление профилактических мероприятий по сохранению здоровья учащихся входит в число первоочередных задач здравоохранения [3]. При этом, ключевым фактором, способствующим формированию оптимального алиментарного статуса и здоровья детей, является характер питания и качество пищевых продуктов [4].

В рыбе содержится больше белков и в лучше усвояемой форме, чем в мясе наземных животных. Если из 100 г белков рыбы организмом человека усваивается 40 г, то из 100 г белков свинины – 20 г; говядины – 15 граммов. Кроме этого, свежая рыба легче переваривается и быстрее усваивается, чем мясо наземных животных, создавая чувство меньшего насыщения организма, что обусловлено физико-химическими особенностями белка мяса рыбы, которое, после термического воздействия, остается более рыхлым, лучше пропитывается пищеварительными соками. В связи с этим, рыба должна поступать на рынок преимущественно в живом и охлажденном виде. Это один из доступных и достаточно дешевых продуктов питания и, в то же время, с высокой пищевой ценностью и целебными свойствами [3; 5].

Между тем, в настоящее время в стране, в связи с дезинтеграцией системы, децентрализацией в различных отраслях пищевой промышленности, в том числе рыбной, увеличением числа фирм и появлением частных предприятий по изготовлению пищевых продуктов, все острее встают вопросы гигиены их производства [3].

Согласно статистике, рыбы и беспозвоночные вызывают 10,5% всех заболеваний пищевого происхождения, обусловленных вирусами и бактериями, что превышает долю мяса и птицы. Инфекционные заболевания бактериальной природы, связанные с водным и пищевым фактором, сохраняют свою актуальность до настоящего времени и составляют во всем мире 20-35% всех пищевых отравлений. Среди бактерий, ответственных за этиологию этих заболеваний, наиболее значимы, по мнению авторов, не только сальмонеллы, но и другие энтеробактерии, а также аэромонады, псевдомонады, ацинетобактерии, кампилобактерии и вибрионы [6; 7; 8].

По оценке ВОЗ, пищевые отравления поражают ежегодно 1,5 млрд человек, т.е. они являются

Цель научной работы – исследование показателей качества и безопасности рыбной кулинарной продукции для питания детей. Объектом исследования были определены рыбные блюда. Микробиологическими и физико-химическими методами определена пищевая ценность, токсичность и установлены сроки хранения продуктов.

В статье приведены актуальные сведения по воздействию фактора питания на развитие детского организма. Отсутствие сбалансированного питания способно привести к появлению различных форм аллергий, анемии, рахита, повышению частоты инфекционных заболеваний. В этой связи рыбное сырье наиболее полно может решить вопрос удовлетворения потребностей ребенка в важных для него нутриентах. Одним из главных показателей является содержание плотной и жидкой части в модельном фарше. Так как рыба содержит в своем составе 80-81% воды, то увеличение свободной жидкости в рецептуре фарша привело бы к его разжижению и утрате возможности изготовления формованных изделий. В ходе работы установлено, что продолжительность хранения при температуре 4+-2°C возможна в течение 72 часов (3 суток) без изменения показателей безопасности. Установлена микробиологическая безопасность разработанной продукции: Количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ) во всех точках контроля образцов не превышает нормируемого уровня. Важный аспект в питании детей школьного возраста – органолептические характеристики блюд. В результате экспертизы было определено, что исследуемая продукция характеризуется привлекательными органолептическими показателями: вкус и запах невыраженный рыбный, свойственный продуктам, привкуса постороннего трески не обнаружено, консистенция сочная, нежная, приемлемая для детей школьного возраста.

самыми распространенными заболеваниями. Причиной их возникновения являются микробные, химические и физические агенты. Так, в воды Мирового океана и внутренние водоемы сбрасывается более 180 км сточных вод, содержащих более 30 тыс. различных загрязнителей. Однако, общепринято, что микробные пищевые отравления протекают наиболее тяжело и распространены повсеместно [9; 10].

Статистика последних лет показывает рост заболеваний у детей возрастной группы от 0 до 14 лет по различным группам заболеваний. Одним из факторов, влияющих на неблагоприятную тенденцию, является несбалансированное питание. Продукты питания из рыбного сырья позволяют восполнить дефицит нутриентов. Рыба является основным источником ненасыщенных жирных кислот, потребление которых способствует профилактике ожирения и ряда сердечно-сосудистых заболеваний. Потребление рыбных блюд способно восполнить дефицит

микро- и макроэлементов, витаминов. Для получения сбалансированных, по минеральному комплексу, рыбных блюд А.С. Куликова с соавторами спроектировала рецептуры рыбных блюд, в которых акцентировано внимание на продуктах, обогащенных витамином D. Обоснован выбор рыбного сырья и источника витамина D – печени трески [11].

Технология обработки наиболее распространенных промысловых видов рыб развивается в двух направлениях: разработка способов изготовления из них традиционных видов продукции и получение обезличенной белково-содержащей продукции, такой как изоляты белка, гидролизаты, пищевая рыбная мука, белковая масса, фарши и др. [12]. Видовой состав добываемых ресурсов достаточно разнообразен, но, если говорить о массовых объектах, составляющих основу отечественного промышленного вылова, следует выделить лишь около 10 видов водных биоресурсов – минтай, сельдь, треска, камбалы, палтусы, путассу, пикша, окуни, кальмары, крабы. В питании детей широко применяются минтай, треска, пикша, судак, морской окунь, сазан, серебристый хек, макрурус и другие виды рыб, имеющие небольшое количество жира и внутримышечных костей. Минтай, при соблюдении условий хранения, может сохранять свои качественные показатели [13; 14]. Наиболее перспективным признано производство пищевого рыбного фарша и создание на его основе различных видов формованной и структурированной продукции. Особо важное значение придается использованию маломерных нежирных рыб, что позволяет направлять дополнительные массы сырья на выработку пищевых продуктов, вместо применения его в кормовых целях [12].

Известно, что от соблюдения санитарных правил и гигиенических требований при добыче и хранении сырья, различных звеньев его технологической обработки, вплоть до реализации рыбных продуктов, во многом зависит его изначальное микробиологическое качество, а также санитарное состояние промыслового района [3]. Помимо прочего, гигиена на рыбоперерабатывающих предприятиях поставлена порой неудовлетворительно, что негативно сказывается на качестве рыбопродукции, сроках ее хранения [15-18]. Поэтому биологическая загрязненность сырья, полуфабрикатов и продуктов питания не только наносит значительный экономический ущерб производству, но и может инициировать возникновение различных кишечных заболеваний микробной этиологии среди населения, после попадания в организм человека вместе с пищей патогенных и потенциально патогенных микроорганизмов и их токсинов. Однако до сих пор требования к микробиологическому качеству пищевой продукции в большинстве случаев не предъявляются. Это, по-видимому, связано с отсутствием, утвержденного органами Государственного санитарного надзора, документа по обязательному проведению научно-исследовательских микробиологических исследований

при оценке предлагаемых технологий приготовления продуктов питания, особенно из новых и малоизученных видов сырья.

Качество рыбной кулинарной продукции для детского питания зависит от оптимально спроектированного модельного фарша, вкусо-ароматической гаммы готового изделия, эстетического оформления и высокой пищевой и биологической ценности, соответствующей физиологическим особенностям растущего детского организма.

Выявленные ранее соотношения основного и дополнительного сырья явились ключевыми при разработке специализированной рыбной кулинарной продукции. Одним из важных показателей является содержание плотной и жидкой части в модельном фарше, т.к. рыба содержит в своем составе 80-81% воды, то увеличение свободной жидкости в рецептуре фарша привело бы к его разжижению и утрате возможности изготовления формованных изделий. С другой стороны, при введении дополнительных компонентов рецептуры, с точки зрения гигиены питания, все продукты должны способствовать перевариванию и усвоению пищи. Поэтому отдельные ингредиенты предварительно подвергались тепловой обработке. Так, нут предварительно замачивали, пропаривали и из него готовили однородную массу, а из нее готовили муку. Муку вводили в фарш в виде суспензии, полученной растворением в воде или молоке при гидромодуле 1:4.

Для обогащения рыбного фарша микронутриентами в рецептуру добавляли спирулину,

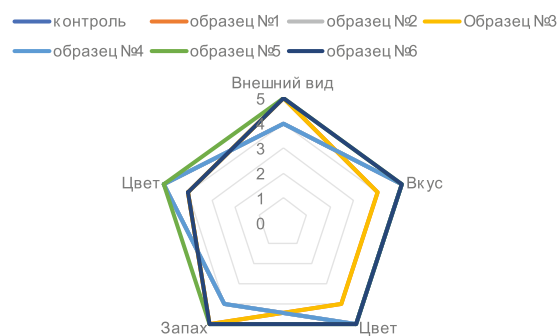


Рисунок 1. Органолептическая оценка рыбных изделий из минтая:

образец 1 – 1% нута и 9% лука;
образец 2 – 2% нута и 10% лука;
образец 3 – 3% гречневой муки и 10% лука; образец 4 – 4% рисовой муки и 14 % лука; образец 5 – 5% нутовой муки и 14 % лука; образец 6 – 2% кукурузной муки, 5% морковного и 5 % лукового пюре

Figure 1. Organoleptic evaluation of pollock fish products: sample 1 – 1% chickpeas and 9% onions; sample 2 – 2% chickpeas and 10% onions; sample 3 – 3% buckwheat flour and 10% onions; sample 4 – 4% rice flour and 14% onions; sample 5 – 5% chickpea flour and 14% onion; sample 6 – 2% corn flour, 5% carrot and 5% onion puree

сублимированную зелень укропа в количестве 0,01-0,2%, запеченные и протертые морковь и лук в количестве 5,0%.

Установлено, также, что введение в рецептуру сублимированных порошков спирулины и укропа позволило создать фарши с ароматным вкусом и запахом, что очень важно для рыбных изделий, так как в процессе хранения рыбный жир окисляется и прогоркает; усиливаются аутолитические процессы, затрагивающие мышечные белки, белки соединительной и жировой тканей, что делает продукт несъедобным, малопривлекательным, с резко выраженным рыбным запахом. Особенно это важно в детском питании. Органолептическая оценка разработанных образцов обогащенных рыбных изделий представлена на рисунке 1.

Наилучшими органолептическими показателями обладает образец №6. При соотношении 2% кукурузной муки, 5% морковного и 5% лукового пюре изделия обладают выраженными органолептическими показателями, значительно превосходящими остальные образцы. Наиболее важным среди всех показателей является приобретение готовым образцом выраженной вкусовой гаммы, свойственной запеченным изделиям и легким запахом рыбы.

Большое значение имеет структура и сочность фарша. Измельченное рыбное филе без наполнителей в процессе хранения уплотняется, приобретает резиновую консистенцию. При использовании такого рыбного фарша необходимо дополнить процесс приготовления отдельной операцией – измельчения в мясорубке, а для сочности – введение структурообразователя – коллоида на основе порошка (муки) и пюреобразных овощей. Пластичность массы фарша обеспечивается за счет добавки сливочного масла, а дополнительная связующая способность и формоустойчивость – за счет введения яиц и молока. Кроме того, запеченные морковь и лук придают фаршу нежность, а готовому кулинарному изделию – сладковатый вкус, тонкий приятный аромат печеных продуктов.

Органолептические показатели пищевых продуктов, в т.ч. вкус, аромат, цвет, свежесть и питательные свойства являются ключевыми элементами, влияющими на выбор и приемлемость потребителей продуктов питания. Следовательно, общее улучшение качества пищевых продуктов, таких как безопасность, питательная ценность, ограничение по времени и минимизация производственных затрат всегда была приоритетом в большинстве технологий пищевой промышленности [14; 15].

На основании полученных данных разработаны нормативные документы на новый ассортимент кулинарной продукции [16-18], проведены производственные исследования (испытания) и внедрение технологии в комбинате школьного питания ООО «Правильная кухня», выполнен расчет экономической эффективности производства.

Заключительным этапом эксперимента было проведение исследований (испытаний) в ООО

«НПО Импульс» для комплексной оценки качества и безопасности рыбного сырья, замороженных полуфабрикатов и готовых изделий, определение их пищевой ценности и рекомендуемых сроков хранения. Признано, все разработанные образцы рыбных полуфабрикатов из минтая с БАД из растительного сырья: муки кукурузной с добавлением сублимированной спирулины и (или) укропа соответствуют требованиям безопасности и качества.

Установлено, что продолжительность хранения при температуре 4+-2°C возможна в течение 72 часов (3 суток) без изменения показателей безопасности.

ВЫВОДЫ

Проведенные исследования позволили выделить ряд гигиенических критериев, оказывающих существенное влияние на качество выпускаемой продукции: гигиеническая характеристика исходного сырья, которое будет оптимально перевариваться и усваиваться детским организмом; предварительная обработка нута, моркови, репчатого лука, позволяющая регулировать структурно-механические характеристики, адгезионные свойства и вкусовую гамму рыбных изделий; показатели пищевой ценности, физико-химические, микробиологические и органолептические показатели, токсикологические и радиологические исследования. Установлено, что разработанная продукция из минтая с добавками растительного сырья безопасна и безвредна. Комбинированные обогащенные рыбные кулинарные изделия могут быть рекомендованы для питания детей в столовых образовательных организаций.

ЛИТЕРАТУРА И ИСТОЧНИКИ:

1. Иванова Е.Е. Качество и безопасность рыбы и рыбных продуктов /Е.Е. Иванова, Н.А. Студенцова, М.Л. Чехомов, С.А. Гранатюк // Известия вузов. Пищевая технология. – №6. – 1999. – С. 104-106.
1. Ivanova E.E. Quality and safety of fish and fish products /E.E. Ivanova, N.A. Studentsova, M.L. Chekhov, S.A. Granatyuk // Izvestiya vuzov. Food technology. – No.-6. – 1999. – Pp. 104-106.
2. Волков А.Х. Оценка качества и безопасности рыбы и морепродуктов: Учебное пособие. / А.Х. Волков, Э.К. Папуниди, Л.Ф. Якупова – Казань, Казанская ГАВМ, 2020. – 154 с.
2. Volkov A.H. Assessment of the quality and safety of fish and seafood: A textbook. / A.H. Volkov, E.K. Papunidi, L.F. Yakupova – Kazan, Kazan GAVM, 2020. – 154 p.
3. Ларцева Л.В. Гигиеническая оценка по микробиологическим показателям рыбы и рыбных продуктов Волго-Каспийского региона. Дисс... д.б.н., Москва, 1998. – 383 с.
3. Lartseva L.V. Hygienic assessment of microbiological indicators of fish and fish products of the Volga-Caspian region. Diss... D.B.N., Moscow, 1998. – 383 p.
4. Истомин А.В. Гигиеническая оценка и прогноз состояния фактического питания отдельных групп населения России / А.В. Истомин, Т.В. Юдина // Гигиена и санитария. – 1996. – №4. – с. 17-19.
4. Istomin A.V. Hygienic assessment and prognosis of the actual nutrition of certain groups of the Russian population / A.V. Istomin, T.V. Yudina // Hygiene and sanitation. - 1996. – No. 4. – Pp. 17-19.



5. Студенецкий С.А. Социальное значение рыбной отрасли для России // Рыбное хозяйство. – 1994. – №4. – С.3-9.

5. Studenetsky S.A. The social significance of the fishing industry for Russia // Fisheries. - 1994. – No. 4. – Pp.3-9.

6. Каламкарлова Л.И. Распространение условно-патогенных микроорганизмов в продуктах питания // Гигиена и санитария. – 1989. – №6. – с.72-73.

6. Kalamkarova L.I. Distribution of conditionally pathogenic microorganisms in food products // Hygiene and sanitation. – 1989. – No. 6. – Pp.72-73.

7. Liston J. Microorganisms as a cause of economic loss to the seafood industry // Oceans'88; Proc; Parther Ship Mar Interests, Baltimore. Md. Oct. 31. Nov 2. – 1988. – №1. – Pp.52-55.

8. Liston J. Microbial hazards of seafood consumption // Food Technology – 1990. – 44. – №12. – p.58-62.

9. Головин А.Н. Контроль качества и безопасности продукции из гидробионтов и ее сертификация // Рыбное хозяйство. – 1995. – №1. – с.54-55.

9. Golovin A.N. Quality control and product safety from hydrobionts and its certification // Fisheries. - 1995. – No.1. – Pp.54-55.

10. Куликовский А.В. Оценка безопасности пищевых продуктов в США // Ветеринария. – 1996. – №1. – с.58-59.

10. Kulikovskiy A.V. Food safety assessment in the USA // Veterinary medicine. - 1996. – No. 1. – Pp.58-59.

11. Куликова А.С. Проектирование рыбных полуфабрикатов для питания детей школьного возраста / А.С. Куликова, И.М. Титова, М.В. Писарькова // Известия КГТУ. – №5. – 2019. – С. 116-129.

11. Kulikova A.S. Designing fish semi-finished products for feeding school-age children / A.S. Kulikova, I.M. Titova, M.V. Pisarkova // News of KSTU. – No. 5. – 2019. – Pp. 116-129.

12. Стаценко Е.С. Разработка рецептов и технологии кулинарных изделий на основе комбинированного рыбного фарша. Дисс... к.т.н., Владивосток, 2004. – 164 с.

12. Statsenko E.S. Development of recipes and technologies of culinary products based on combined minced fish. Diss... Candidate of Technical Sciences, Vladivostok, 2004. – 164 p.

13. <https://nord-news.ru/topic/?mtopicid=581>

13. <https://nord-news.ru/topic/?mtopicid=581>

14. Erikson U., Standal I.B., Aursand I.G., Veliyulin E., & Aursand M. Use of NMR in fish processing optimization: a review of recent progress. Magnetic Resonance in Chemistry. – 2012. – 50(7). – Pp. 471-480.

15. Lund D. Predicting the impact of food processing on food constituents. // Journal of food engineering. – 2003. – 56(2-3). – Pp. 113-117.

16. Васюкова А. Разработка рецептуры специализированных рыбных блюд с улучшенными органолептическими показателями для питания детей / А. Васюкова, К. Кривошонок // Цифровое общество: образование, наука, карьера. – 2021. – с. 188-198.

16. Vasyukova A. Development of a recipe for specialized fish dishes with improved organoleptic characteristics for feeding children / A. Vasyukova, K. Krivoschonok // Digital society: education, science, career. – 2021. – Pp. 188-198.

17. Васюкова А.Т. Биогенные амины в рыбных полуфабрикатах и кулинарных изделиях / А.Т. Васюкова, К.В. Кривошонок, Ю.И. Сидоренко // Рыбное хозяйство. – 2022. – №1. – С. 95-102. DOI 10.37663/0131-6184-2022-1-95-102

17. Vasyukova A.T. Biogenic amines in fish semi-finished products and culinary products / A.T. Vasyukova, K.V. Krivoschonok, Yu.I. Sidorenko // Fisheries. – 2022. – No. 1. – Pp. 95-102. DOI 10.37663/0131-6184-2022-1-95-102

18. Васюкова А.Т. Моделирование системы оценки «индекса несъедемости» в школьной столовой на примере рыбных блюд / А.Т. Васюкова, К.В. Кривошонок, М.Д. Веденяпина, В.В. Кузнецов // Рыбное хозяйство. – 2022. – №2. – с. 88-100. DOI 10.37663/0131-6184-2022-2-88-100.

18. Vasyukova A.T. Modeling of the evaluation system of the "inedibility index" in the school cafeteria on the example of fish dishes / A.T. Vasyukova, K.V. Krivoschonok, M.D. Vedenyapina, V.V. Kuznetsov // Fisheries. – 2022. – No. 2. – Pp. 88-100. DOI 10.37663/0131-6184-2022-2-88-100.