

Инструментальное и технико-экономическое обеспечение рыболовства

Труды Всероссийского
научно-исследовательского
института рыбного хозяйства
и океанографии

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор	Глубоковский М.К., научный руководитель ФГБНУ «ВНИРО», профессор кафедры Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, д.б.н. (Москва, Россия)
Ответственный редактор	Орлов А.М., гл. научный сотрудник ФГБНУ «ВНИРО», зав. лабораторией ФГБНУ «Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН», д.б.н. (Москва, Россия)
Научный редактор	Карпинский М.Г., гл. научный сотрудник ФГБНУ «ВНИРО», д.б.н. (Москва, Россия)

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

- Абрамова Л.С., зам. руководителя Департамента ФГБНУ «ВНИРО», д.т.н., профессор (Москва, Россия)
- Архипкин А.И., ст. научный сотрудник, зав. научной секцией Департамента рыболовства Фолклендских островов, к.б.н. (Стенли, Фолкленды)
- Балыкин П.А., гл. научный сотрудник ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Южный научный центр РАН», д.б.н. (Ростов-на-Дону, Россия)
- Бетин О.И., советник директора ФГБНУ «ВНИРО», д.э.н., профессор (Москва, Россия)
- Бизиков В.А., зам. директора по научной работе ФГБНУ «ВНИРО», д.б.н. (Москва, Россия)
- Бимш Р.Дж., сотрудник Тихоокеанской биологической станции, доктор наук, почетный ученый (Нанаймо, Канада)
- Булгакова Т.И., гл. научный сотрудник, ФГБНУ «ВНИРО», д.т.н. (Москва, Россия)
- Васильев Д.А., начальник отдела ФГБНУ «ВНИРО», д.т.н. (Москва, Россия)
- Габриелян Б.К., директор Научного Центра Зоологии и Гидроэкологии Национальной Академии Наук Республики Армения, д.б.н., профессор (Ереван, Армения)
- Галактионов К.В., зав. лабораторией ФГБНУ «Зоологический институт РАН», д.б.н., профессор РАН (Санкт-Петербург, Россия)
- Долгов А.В., гл. научный сотрудник Полярного филиала ФГБНУ «ВНИРО» («ПИНРО им. Н.М. Книповича»), д.б.н., доцент (Мурманск, Россия)
- Животовский Л.А., зав. лабораторией ФГБНУ «Институт общей генетики им. Н.И. Вавилова РАН», гл. научный сотрудник ФГБНУ «ВНИРО», д.б.н., профессор (Москва, Россия)
- Кантор Ю.И., ведущий научный сотрудник ФГБНУ «Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН», д.б.н. (Москва, Россия)
- Котляр А.Н., гл. научный сотрудник ФГБНУ «Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН», д.б.н. (Москва, Россия)
- Крикунцов Е.А., профессор кафедры ихтиологии Биологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, д.б.н., член-корреспондент РАН (Москва, Россия)
- Лабай В.С., зав. лабораторией Сахалинского филиала ФГБНУ «ВНИРО» («СахНИРО»), д.б.н. (Южно-Сахалинск, Россия)
- Лептиховский В.В., сотрудник научного центра по окружающей среде, рыболовству и аквакультуре, д.б.н. (Лоустофт, Великобритания)
- Лукин А.А., зам. нач. учреждения - начальник ФСГЦР филиал ФГБУ «Главрыбвод», д.б.н., профессор (Ропша, Россия)
- Мизюркин М.А., гл. научный сотрудник, Тихоокеанский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ТИНРО»), д.т.н., профессор (Владивосток, Россия)
- Мнацаканян А.Г., директор института отраслевой экономики и управления ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет», д.э.н., профессор КГТУ (Калининград, Россия)
- Мокиевский В.О., гл. научный сотрудник, руководитель лаборатории ФГБНУ «Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН», д.б.н. (Москва, Россия)
- Папцов А.Г., директор ФГБНУ «Федеральный научный центр аграрной экономики и социального развития сельских территорий – Всероссийский научно-исследовательский институт экономики сельского хозяйства», д.э.н., профессор, академик РАН (Москва, Россия)
- Пахомов Е.А., профессор Университета Британской Колумбии, к.б.н. (Ванкувер, Канада)
- Пинчук А.И., доцент Университета Аляски, к.б.н. (Джуно, США)
- Подкорытова А.В., гл. научный сотрудник ФГБНУ «ВНИРО», д.т.н., профессор (Москва, Россия)
- Политов Д.В., гл. научный сотрудник, зав. лабораторией ФГБНУ «Институт общей генетики им. Н.И. Вавилова РАН», д.б.н. (Москва, Россия)
- Радченко О.А., директор Института биологических проблем Севера Дальневосточного отделения РАН, д.б.н., профессор (Магадан, Россия)
- Романов Е.В., руководитель проектов Технического центра по исследованию и освоению водной среды, к.б.н. (Ле Порт, Реюньон, Франция)
- Рубан Г.И., гл. научный сотрудник ФГБНУ «Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН», д.б.н. (Москва, Россия)
- Семин А.Н., зав. кафедрой стратегического и производственного менеджмента ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», д.э.н., профессор, академик РАН (Екатеринбург, Россия)
- Серегин С.Н., советник директора ФГБНУ «ВНИРО», д.э.н., профессор (Москва, Россия)
- Труба А.С., консультант по экономическим вопросам ФГБНУ «ВНИРО», д.э.н., доцент (Москва, Россия)
- Харенко Е.Н., зам. директора по научной работе ФГБНУ «ВНИРО», д.т.н., доцент (Москва, Россия)
- Шунтов В.П., гл. научный сотрудник Тихоокеанского филиала ФГБНУ «ВНИРО» («ТИНРО»), д.б.н., профессор (Владивосток, Россия)

Редактор Юрова О.С.
Компьютерная верстка Яковлев Ю.С.
Формат 60×84 1/8. Печ. л. 27,5
Тираж 100 экз.
Подписан в печать 10.12.2021 г.

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

Instrumental, technical and economic support for fishery

Proceedings of the Russian
Federal Research Institute
of Fisheries and Oceanography

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

EDITORIAL BOARD

- Editor-in-Chief** – Glubokovsky M.K., Doctor of Biological Sciences, Professor, Scientific Supervisor of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography («VNIRO»), Moscow, Russia
- Executive editor** – Orlov A.M., Doctor of Biological Sciences, Chief Scientist «VNIRO», Head of the laboratory of the P.P. Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
- Scientific editor** – Karpinsky M.G., Doctor of Biological Sciences, Chief scientist of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography («VNIRO»), Moscow, Russia

EDITORIAL COUNCIL

- Abramova L.S.*, Doctor of Technical Sciences, Professor, Deputy Head of the department of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography («VNIRO»), Moscow, Russia
- Arkhipkin A.I.*, Candidate of Biological Sciences, Senior Scientist, Head of the scientific section of the Falkland Islands Fisheries Department, Stanley, Falklands
- Balykin P.A.*, Doctor of Biological Sciences, Deputy Head of the department, Chief Scientist of the Federal Research Center Southern Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Rostov-on-Don, Russia
- Betin O.I.*, Doctor of Economical Sciences, Professor, Advisor to the Director of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography («VNIRO»), Moscow, Russia
- Bizikov V.A.*, Doctor of Biological Sciences, Deputy Director for scientific work of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography («VNIRO»), Moscow, Russia
- Beamish R.J.*, Doctor of Biological Sciences, Emeritus Scientist of the Pacific Biology Station, Nanaimo, Canada
- Bulgakova T.I.*, Doctor of Technical Sciences, Chief Scientist of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography («VNIRO»), Moscow, Russia
- Dolgov A.V.*, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Chief Scientist of Polar Branch of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography («PINRO named after N.M. Knipovich»), Murmansk, Russia
- Gabrielian B.K.*, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Director of the Scientific Center of Zoology and Hydroecology of the National Academy of Sciences of the Republic of Armenia, Yerevan, Republic of Armenia
- Galaktionov K.B.*, Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the laboratory of the Zoological Institute of the Russian Academy of Sciences, Saint-Petersburg, Russia
- Kantor Y.I.*, Doctor of Biological Sciences, Leading Scientist of the A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
- Kharenko E.N.*, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Deputy Director for scientific work of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography («VNIRO»), Moscow, Russia
- Kotlyar A.N.*, Doctor of Biological Sciences, Chief Scientist of the P.P. Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
- Kriksunov E.A.*, Doctor of Biological Sciences, Professor of the Chair of Ichthyology of the Biology Department, Lomonosov Moscow State University, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
- Labai V.S.*, Doctor of Biological Sciences, Head of the laboratory of the Sakhalin Branch of the Russian Federal Research Institute of Fisheries («SakhNIRO»), Yuzhno-Sakhalinsk, Russia
- Laptikhovskiy V.V.*, Doctor of Biological Sciences, Marine biologist and stock assessment scientist of the Scientific Center for Environment, Fisheries and Aquaculture, Lowestoft, United Kingdom
- Lukin A.A.*, Doctor of Biological Sciences, Professor, Deputy head of the Federal Selection and Genetic Center of Fish Farming, Branch of «Glavrybvod», Ropsha, Russia
- Mizyurkin M.A.*, Doctor of Technical Sciences, Professor, Scientist of the Pacific Branch of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography («TINRO»), Vladivostok, Russia
- Mnatsakanyan A.G.*, Doctor of Economical Sciences, Professor, Director of the Institute of Industrial Economics and Management of the Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia
- Mokievsky V.O.*, Doctor of Biological Sciences, Chief Scientist, Head of the Laboratory of the P.P. Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
- Pakhomov E.A.*, Candidate of Biological Sciences, Professor at the University of British Columbia, Vancouver, Canada
- Paptsov A.G.*, Doctor of Economical Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Director of the Russian Research Institute of Agricultural Economics of the Federal Research Center for Agricultural Economics and Social Development of Rural Territories, Moscow, Russia
- Pinchuk A.I.*, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, University of Alaska, Juneau, USA
- Podkorytova A.V.*, Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Scientist of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography («VNIRO»), Moscow, Russia
- Polotov D.V.*, Doctor of Biological Sciences, Chief Scientist, Head of the laboratory of the Vavilov Institute of General Genetics of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
- Radchenko O.A.*, Doctor of Biological Sciences, Professor, Director of the Institute of Biological Problems of the North of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Magadan, Russia
- Romanov E.V.*, Candidate of Biological Sciences, Project manager of the Technical Center for Research and Development of the Aquatic Environment, Le Port, Reunion, France
- Ruban G.I.*, Doctor of Biological Sciences, Chief Scientist of the A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
- Semin A.N.*, Doctor of Economical Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Head of the Department of Strategic and Production Management, Ural State Mining University, Yekaterinburg, Russia
- Seregin S.N.*, Doctor of Economical Sciences, Professor, Advisor to the Director of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography («VNIRO»), Moscow, Russia
- Shuntov V.P.*, Doctor of Biological Sciences, Professor, Chief Scientist of Pacific Branch of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography («TINRO»), Vladivostok, Russia
- Truba A.S.*, Doctor of Economical Sciences, Associate Professor, Consultant on Economic Issues of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography («VNIRO»), Moscow, Russia
- Vasilyev D.A.*, Doctor of Technical Sciences, Head of the Fisheries Regulation Department of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography («VNIRO»), Moscow, Russia
- Zhivotovskiy L.A.*, Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the laboratory of the Vavilov Institute of General Genetics of the Russian Academy of Sciences, Chief Scientist of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography («VNIRO»), Moscow, Russia

СОДЕРЖАНИЕ

ПРОМЫСЛОВЫЕ ВИДЫ И ИХ БИОЛОГИЯ

Моисеев С.И., Сологуб Д.О., Шагинян Э.Р.

Индекс относительной численности как оперативная оценка состояния запаса синего краба в заливе Шелихова Охотского моря 5

Клинушкин С.В., Харитонов А.В., Диденко Д.С.

Внутривидовая морфологическая изменчивость синего краба северной части Охотского моря 22

Калашников Ю.Н.

Оценка состояния запаса и международный промысел скумбрии в Северо-Восточной Атлантике: история и современность 32

Шило Е.И.

О взаимосвязи гипертрофии и гиперплазии мышечных волокон в постнатальном миогенезе у рыб сем. Карповых 45

Усатов И.А., Бурканов В.Н., Токранов А.М., Труханова И.С.

Питание сивуча у восточного побережья Камчатки 57

Сидоров Л.К., Белокобыльский И.Ф.

К вопросу о питании охотоморских косаток 68

ВОДНЫЕ БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ

Минина Л.М., Минин А.Е., Моисеев А.В.

Влияние динамики уровней воды в весенний период на площадь нерестилищ и эффективность естественного воспроизводства лимнофильных видов рыб Чебоксарского водохранилища 84

СРЕДА ОБИТАНИЯ ВОДНЫХ БИОЛОГИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ

Белозерова Д.В., Капустина Л.Л.

Санитарно-микробиологическая характеристика среды обитания водных биоресурсов в Ладожском озере. . . . 94

ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ ВОДНЫХ БИОРЕСУРСОВ

Ершова М.М., Подкорытова А.В.

Научное обоснование получения жира из покровного сала нерпы в условиях промысла на территории Арктической Якутии 105

ЭКОНОМИКА, МЕЖДУНАРОДНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО И НОРМАТИВНЫЕ ПРАВОВЫЕ ОСНОВЫ РЫБОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Колончин К.В., Бетин О.И., Волошин Г.А., Горбунова М.А.

Анализ цен рыбной продукции на внутрироссийском рынке 113

Александрова М.А.

Перспективы товарного выращивания лососевых на Европейском Севере России 120

ТЕХНИКА ДЛЯ РЫБОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Дуленин А.А., Дуленина П.А., Коцюк Д.В., Свиридов В.В.

Опыт и перспективы использования малых беспилотных летательных аппаратов в морских прибрежных биологических исследованиях 134

ИНФОРМАЦИЯ

Согрина А.В., Емелин П.О., Свищерский В.А., Малыгин Е.Ю., Беляев В.А.

Распределение пелагических рыб в тихоокеанских водах Курильских островов в сентябре-октябре 2020 г. . . . 152

Головатюк Г.Ю., Согрина А.В.

Исследования северного однопёрого терпуга и тихоокеанского окуня-клювача при проведении специализированного промысла в Беринговом море в апреле 2021 г. 158

Педченко А.П., Сомов А.А.

Арктический переход барка «Седов» в августе-октябре 2020 г.: обзор результатов научных наблюдений 163

Токранов А.М., Глубоковский М.К., Шпигальская Н.Ю., Бугаев А.В., Дубынин В.А., Зикунва О.В., Фельдман М.Г., Бирюков А.М., Артюхина Н.Б., Шубкин С.В., Шевляков Е.А., Карпенко В.И.

Памяти В.Ф. Бугаева 172

Флинт М.В., Римский-Корсаков Н.А.

Суда научно-промыслового и навигационного обеспечения флота России (1860–1918 гг.) 178

CONTENTS

COMMERCIAL SPECIES AND THEIR BIOLOGY

<i>Moiseev S.I., Sologub D.O., Shaginyan E.R.</i> Relative abundance index as an operational assessment of the state of the king blue crab stock in the Shelikhov Bay of Okhotsk Sea	5
<i>Klinushkin S.V., Kharitonov A.V., Didenko D.S.</i> Intraspecific morphological variability of blue king crab in the northern part Sea of Okhotsk	22
<i>Kalashnikov Yu.N.</i> Stock assessment and international mackerel fishing in the North-East Atlantic: history and modernity.....	32
<i>Shilo E.I.</i> On the relationship between hypertrophy and hyperplasia of muscle fibers in postnatal myogenesis in fish of the Cyprinid family.....	45
<i>Usatov I.A., Burkanov V.N., Tokranov A.M., Trukhanova I.S.</i> Steller sea lion diet in the Eastern Kamchatka	57
<i>Sidorov L.K., Belokobylskiy I.F.</i> On the issue of food consumption by Okhotsk Sea killer whales	68

AQUATIC BIOLOGICAL RESOURCES

<i>Minina L.M., Minin A.E., Moiseev A.V.</i> Influence of the dynamics of water levels in spring on the area spawning grounds and efficiency of natural reproduction limnophilic fish species of the Cheboksary reservoir	84
--	----

HABITAT OF AQUATIC BIOLOGICAL RESOURCES

<i>Belozerova D.V., Kapustina L.L.</i> Sanitary and microbiological characteristic of aquatic bio resources habitat in Lake Ladoga	94
---	----

AQUATIC BIORESOURCES PROCESSING TECHNOLOGIES

<i>Ershova M.M., Podkorytova A.V.</i> Scientific substantiation of obtaining lipids from the ringed seal fat under the conditions of fishing in the territory of Arctic Yakutia	105
--	-----

ECONOMICS, INTERNATIONAL COOPERATION AND REGULATORY BASES OF FISHERIES MANAGEMENT

<i>Kolonchin K.V., Betin O.I., Voloshin G.A., Gorbunova M.A.</i> Analysis of prices of fish frozen on the domestic market.....	113
<i>Aleksandrova M.A.</i> Prospects for commercial salmon farming in the European North of Russia.....	120

EQUIPMENT FOR FISHERIES RESEARCH

<i>Dulenin A.A., Dulenina P.A., Kotsyuk D.V., Sviridov V.V.</i> Experience and perspectives of small unmanned aerial vehicles application for marine coastal biological studies	134
--	-----

INFORMATION

<i>Sogrina A.V., Emelin P.O., Sviderskiy V.A., Maligin E.U., Beliaev V.A.</i> Distribution of pelagic fish in the Pacific waters of the Kuril Islands in September – October 2020	152
<i>Golovatyuk G.U., Sogrina A.V.</i> Research of the northern single-finned greenling and Pacific beak perch during the specialized fishery in the Bering Sea in April 2021	158
<i>Pedchenko A.P., Somov A.A.</i> Arctic crossing of the «Sedov» barque in August-October 2020: review of the results of scientific observations. . .	163
<i>Tokranov A.M., Glubokovsky M.K., Shpigalskaya N.Yu., Bugaev A.V., Dubinin V.A., Zikunova O.V., Feldman M.G., Biryukov A.M., Artukhina N.B., Shubkin E.A., Shevlyakov E.A., Karpenko V.I.</i> In memory of V.F. Bugaev	172
<i>M.V. Flint, N.A. Rimsky-Korsakov</i> Vessels for fishery and navigation support of the Russian Fleet (1856–1918)	178

УДК 595.384:639.28

DOI: 10.36038/2307-3497-2021-185-5-21

Индекс относительной численности как оперативная оценка состояния запаса синего краба в заливе Шелихова Охотского моря

С.И. Моисеев¹,
Д.О. Сологуб¹,
Э.Р. Шагинян²

¹ Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ФГБНУ «ВНИРО»), г. Москва

² Камчатский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («КамчатНИРО»), г. Петропавловск-Камчатский

E-mail: moiseev@vniro.ru

Представлен материал весенних учётных съёмок синего краба *Paralithodes platypus*, проводившихся в заливе Шелихова Охотского моря с 2007 по 2019 гг. Для оперативной оценки, характеризующей состояние запаса эксплуатируемой популяции, предложено применять индекс относительной численности ($I\%N$). Индекс $I\%N$ определяется как отношение численности отдельной функциональной группы краба к максимальной численности для этой группы краба в исследуемом периоде, выраженное в процентах. По сходному алгоритму были определены индекс относительной плотности распределения крабов ($I\%P$) и индекс относительного среднесуточного вылова промысловых судов за первое полугодие ($I\%M$). При сравнении индексов относительности $I\%N$, $I\%P$, $I\%M$ наиболее показательным был индекс относительной численности $I\%N$. Для оценки состояния запаса изучаемой функциональной группы крабов в значениях индекса $I\%N$ предложено выделить 4 квартиля (интервал 25 единиц): 1-й квартиль (Q_1) $I\%N > 75$ состояние запаса хорошее; 2-й квартиль (Q_2) $I\%N = 51 - 75$ состояние запаса удовлетворительное и/или относительно стабильное; 3-й квартиль (Q_3) $I\%N = 26 - 50$ состояние запаса неопределённое; 4-й квартиль (Q_4) $I\%N \leq 25$ состояние запаса неудовлетворительное и/или депрессивное. Граничными значениями между квартилями $Q_1 - Q_2$, $Q_2 - Q_3$ и $Q_3 - Q_4$ являются значения $I\%N$ равные 75, 50 и 25, соответственно. Динамика индекса $I\%N$ в изучаемом временном периоде отражает реальный процесс, происходящий в промысловой единице запаса.

Ключевые слова: синий краб *Paralithodes platypus*, численность, запас, распределение, индекс относительной численности.

ВВЕДЕНИЕ

В морях Российской Федерации промышленный лов крабов осуществляется в рамках единой стратегии регулирования промысла [Алексеев и др., 2017]. Для оценки состояния запаса водных биологических ресурсов (ВБР) и их прогнозирования применяется методология, в основе которой лежит предосторожный подход [Бабаян, 2000]. Этот метод хорошо реализуется для оценки запаса промысловых видов рыб и других животных, имеющих линейный рост тела и структуры, позволяющие определять возраст этих животных. В отличие от рыб ракообразные, включая виды промысловых крабов, в процессе онтогенеза и индивидуального дискретного роста имеют ряд особенностей, создающих осложнения при оценке численности и ее прогнозирования для эксплуатируемых популяций крабов. Для преодоления проблем, связанных с неопределённостью в построении оценок запаса, в отечественной карцинологии используются современные математические методы расчётов, которые позволяют учитывать дискретный рост и возраст

крабов [Михеев, 2003; 2004; Михеев и др., 2012; Баканёв, 2008; 2016; Буяновский, 2012; 2019 а, б; 2020 а б; Буяновский, Алексеев, 2017; Ильин, Иванов, 2015; 2018; Черниенко, 2016; Черниенко, Черниенко, 2019]. Такие работы по оценке запаса крабов и его прогнозирования обычно выполняются *in silico*. Но при выполнении натуральных рыбохозяйственных исследований, например, при работе в море на судах малотоннажного и москитного флота, а также в полевых условиях на берегу, у научного сотрудника не всегда имеется соответствующая математическая специализация и организационные возможности для работы с офисной техникой. Одним из вариантов оперативной оценки мгновенной численности и биомассы запаса являются результаты прямого учёта крабов, которые могут быть получены при проведении ловушечных или траловых съёмов, либо при мониторинге промысла крабов.

Цель работы – на примере исследований синего краба *Paralithodes platypus* (Brandt, 1850), обитающего в районе залива Шелихова, показать, как в экспеди-

ционных условиях можно оперативно оценить состояние исследуемой единицы запаса с помощью несложного расчета индекса относительной численности ($I\%N$) по данным, полученным эмпирическим путем во время учётных съёмов и мониторинга промысла крабов.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

В работе использованы материалы учётных ловушечных съёмов по синему крабу, которые были выполнены в 2007–2019 гг. в районе залива Шелихова. Полученные данные о численности различных функциональных групп в популяции этого вида, были собраны за определённый исторический период наблюдений, которые отражают формирование численности к текущему времени и являются динамическим процессом в рассматриваемом историческом ряду. С помощью графической визуализации численности синего краба за период наблюдений даётся характеристика состояния запаса. Для такой оценки динамики запаса в эксплуатируемых популяциях крабов предлагается использовать индекс относительной численности ($I\%N$). Этот индекс $I\%N$ отображает процентное соотношение численности отдельной размерно-половой группы краба к максимальной численности для этой функциональной группы краба, наблюдавшейся в исследуемом периоде.

Индекс относительной численности $I\%N$ определяется по формуле:

$$I\%N = (a / N_{max}) \times 100\%, \quad (1)$$

где a – численность определяемой группы краба, полученная во время учётной съёмки, млн экз.; N_{max} – максимальная определённая и округлённая или действительная численность этой группы крабов, наблюдавшаяся по результатам одной из съёмов, проводившейся в изучаемый период.

Применение индекса $I\%N$ является индикаторным подходом к оценке состояния численности как для исследования отдельной размерно-возрастной функциональной группы крабов, так и в целом для самцов и/или самок. Для изучения вариабельности индекса относительной численности был выбран запас северной части охотоморской популяции синего краба, которая обитает в районе залива Шелихова. В этом районе проходит интенсивный промышленный лов *P. platypus*, а с 2007 по 2019 гг. сравнительно регулярно по сходной сетке станций в весенний период выполнялись учётные ловушечные съёмки. Исходя из результатов съёмов КамчатНИРО и ВНИРО проводили оценку численности синего краба с помощью программы «ГИС КартМастер», в основе которой лежит

метод сплайн-аппроксимации [Бизиков и др., 2006; 2013; Шагинян, 2014; 2019; Сологуб, Шагинян, 2015; Моисеев, Моисеева, 2019].

При расчётах оценки численности *P. platypus* обычно выделяют пять размерно-половых групп: 1) промысловые самцы с шириной карапакса от 130 мм; 2) пререкруты I-го порядка (120–129 мм); 3) пререкруты II-го порядка (110–119 мм); 4) ранняя молодь самцов (<110 мм); 5) самки (представлены как одна функциональная группа). Ранее было показано, что у взрослых крабоидов после линьки линейный прирост по ширине карапакса (ШК) может составлять до 1,6–2,0 см [Клитин, 1996; Слизкин, Долженков, 1997; Лысенко, Гайдаев, 2005; Матишов, 2008]. С учётом этого обстоятельства, при разделении самцов крабов с ШК 110–129 мм на две группы (пререкруты I и II) может привноситься неопределённость в расчётной численности. Поэтому самцов пререкрутов I-го и II-го порядков мы объединили в одну функциональную группу (110–129 мм), сократив общее число групп до четырёх.

Для изучаемого периода научно-исследовательских работ (НИР) с 2007 по 2019 гг. была сформирована база данных с оценкой численности четырёх размерно-половых групп краба *P. platypus* (табл. 1). При расчёте численности по ловушечным уловам площадь облова одной ловушки принимали равной 8500 м² [Шагинян, 2014]. Во время выполнения весенних съёмов в 2007–2012 гг. площадь НИР значительно варьировала, но в последние годы площади съёмов стали более стабильными с неизменным обследованием центральной части акватории (рис. 1), расположенной между Западной Камчаткой (п-ов Утхолокский) и Магаданской областью с мысом Толстой (п-ов Пягина). Весной, в зависимости от ледовой обстановки, учётные станции изменяются в северном или в южном направлении.

Многолетние наблюдения во время выполнения учётных съёмов и мониторинга промысла показали, что в первом полугодии промысловые концентрации синего краба неизменно расположены в районе склонов глубоководной части залива Шелихова (Шелиховский каньон) [Лысенко, 2001; Шагинян, 2014; 2019; Сологуб, Шагинян, 2015]. Так были распределены крабы и в мае 2019 г. [Моисеев, Моисеева, 2019] (рис. 1). Поэтому имеющиеся данные съёмов могут быть дополнены показателями среднесуточного вылова судов за I полугодие (2007–2020 гг.), которые хорошо отражают динамику промысловой части синего краба в заливе Шелихова (табл. 1). К середине июня самцы промыслового размера начинают интенсивно мигрировать к берегу, а промысловые скопления распределя-

Таблица 1. Оценка численности *P. platypus* по данным учётных съёмок в 2007–2019 гг. (млн экз.) и средний суточный вылов промысловых судов за первое полугодие (т)

Год	Площадь учётной съёмки, км ²	Самцы, млн экз.			Самки, млн экз.	Всего, млн экз.	Средне-суточный вылов за 1-е полугодие, т
		Промысловые (≥130 мм)	Пререкруты I+II (110–129 мм)	Молодь (<110 мм)			
2007	12533	7,506	8,172	3,064	17,026	35,768	0,299
2008	16642	6,850	9,312	4,729	*	20,891	1,865
2009	10170	5,432	6,396	1,905	*	13,733	1,600
2010	9305	6,295	4,854	1,726	*	12,875	3,510
2011 ¹	–	–	–	–	–	–	3,750
2012	4870	7,312	6,764	5,662	0,642	20,380	4,810
2013	13245	13,330	9,860**	4,140	25,190**	52,520**	6,183
2014	15656	12,506	9,190	4,128	24,989	50,813	7,556
2015	15605	13,381**	8,644	2,955	9,315	34,295	7,585
2016 ¹	–	–	–	–	–	–	7,219
2017	17881	9,510	2,881	1,420	12,699	26,510	9,163
2018 ¹	–	–	–	–	–	–	7,374
2019	17599	11,519	2,567	0,530	8,596	23,212	6,595
2020 ²	20700*	7,363*	4,163*	2,162*	5,929*	19,617*	7,053

Примечания: * – данные не репрезентативны; ** – максимальная численность за период исследования; ¹ – В этот год в весенний период учётной съёмки и/или мониторинга промысла не было; ² – Данные учётной съёмки за первую декаду июля.

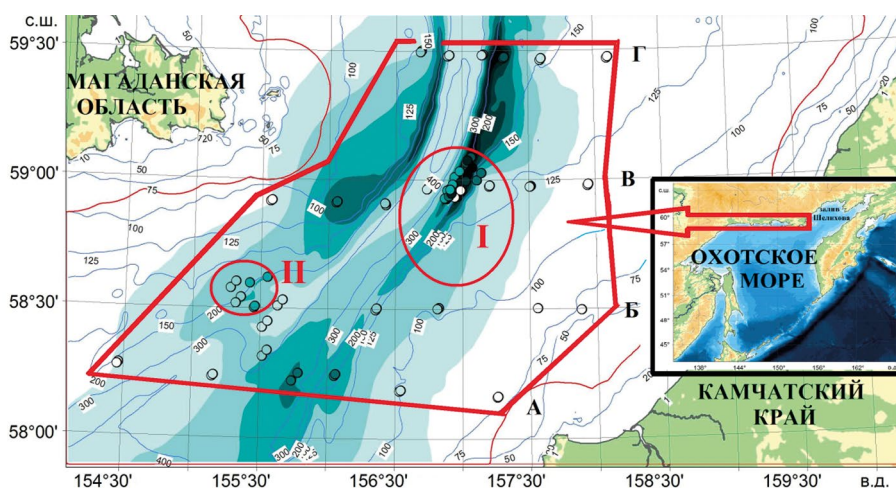


Рис. 1. Схема расположения учётных станций и распределения промысловых особей синего краба в заливе Шелихова в мае 2019 г.: I – основной участок работы промысловых судов в апреле-мае и II – второстепенный участок работы промысловых судов.

Обозначения: А-Г – разрезы и точки постановок учётных станций

ются неравномерно и мозаично на средних и малых глубинах шельфа на обширной акватории залива Шелихова. Поэтому, в этот период оба эти показателя (учётные съёмки и показатели вылова судов) становятся менее репрезентативными.

За двенадцатилетний период наблюдений для каждой из четырёх сформированных функциональных групп синего краба были определены года с макси-

мальным значением численности для этой группы. Далее, предположив, что из-за особенностей облова самплера во время сбора эмпирических данных мог произойти недоучёт крабов, то для каждой функциональной группы крабов имеющееся максимальное значение численности мы увеличили на 10%. В период 2007–2019 гг. максимальная численность синего краба по функциональным группам составляла:

1) промысловые самцы с шириной карапакса (ШК) ≥ 130 мм – 13,381 млн экз. (произвели увеличение численности на 10% округлив до первого десятичного знака – 14,7 млн экз., приняв это максимально возможное значение за 100%);

2) пререкруты самцов I и II-го порядков (ШК 110–129 мм) – 9,86 млн экз. (значение увеличили на 10% и округлили до 10,9 млн экз.– 100%);

3) ранняя молодь самцов (ШК < 110 мм) – 5,662 млн экз. (величину повысили на 10% и округлили до 6,2 млн экз.– 100%);

4) самки различной половозрелости – 25,19 млн экз. (численность увеличили на 10% и округлили до 27,7 млн экз.– 100%).

В дальнейшем, для каждой отдельной группы крабов строили графическую динамику индекса относительной численности по отношению к округлённым значениям максимальной численности, полученной по формуле (1). При построении графиков в годы, когда отсутствовали наблюдения в весенний период (2011, 2016 и 2018 гг.), приводили среднюю оценку по двум смежным годам. Так для 2011 г. принимали среднее значение от 2010 и 2012 гг., для 2016 г. принимали среднее значение от 2015 и 2017 гг., а для 2018 г. среднее от 2017 и 2019 гг.

Ещё одним из прямых способов оценки состояния запаса крабов может быть средняя плотность (экз./км²) распределения крабов в районе научных исследований [Моисеев, 2009]. Поэтому, за период 2007–2019 гг. для каждой функциональной группы синего краба выделили годы с максимальными величинами плотности распределения крабов. Затем, для каждой функциональной группы крабов произвели увеличение этих значений на 10% (из-за возможного недоучёта крабов самплером во время съёмки), округлили до целого числа и приняли эти значения за 100%. Наибольшая плотность распределения за учётную съёмку среди самцов наблюдалась в 2012 г. В этот год максимально возможная плотность с учётом 10% повышения составила: у промысловых самцов 1652 экз./км²; у самцов пререкрутов с ШК 110–129 мм – 1528 экз./км²; у ранней молоди самцов с ШК ≤ 109 мм – 1279 экз./км². Плотность распределения самок была наибольшей в 2013 г., а максимально возможная плотность с 10%-ным повышением составила – 2092 экз./км². Значения плотности крабов можно представить в процентах, используя принцип формулы (1) и сходный алгоритм расчёта для этого дополнительного индекса. Эти величины можно назвать *индексом относительной плотности распределения (I%P)*.

Третьим способом оценки состояния запаса промысловых крабов могут быть показатели сред-

несуточного вылова краболовных судов. Данные по среднесуточному вылову промысловых самцов синего краба в период 2007–2019 гг. и за 2020 г. были взяты из ежедневных суточных судовых донесений (ССД) отраслевой системы мониторинга (ОСМ) Росрыболовства. Для каждого года находили среднесуточный вылов судов за период с 01 января до 15 июня (см. табл. 1). Выбор данного периода первого полугодия вызван биологическими особенностями, характерными для синего краба, когда промысловые особи распределены относительно компактно в районе глубоководной части Шелиховского каньона. Следует отметить, что в районе залива Шелихова, за последние 7–8 лет в первом полугодии осваивается до 90% и более от объёмов ОДУ синего краба, выделяемых для Западно-Камчатской подзоны. В период с 2007 по 2019–2020 гг. максимальное значение среднесуточного вылова синего краба отмечалось в 2017 г. – 9,163 т в сутки, это значение мы увеличили на 10% с округлением до первого десятичного знака. В связи с этим, за первое полугодие максимально возможный вылов синего краба может составлять 10,1 т/сут., это значение нами принято за 100%. В последующем, мы установили отношение усреднённых уловов синего краба к максимально возможному среднесуточному вылову (10,1 т/сут.) в процентах. Алгоритм расчёта был аналогичен расчёту индексов *I%N* и *I%P*. Полученные значения для вылова в первом полугодии можно определить как *индекс относительного среднесуточного вылова (I%M)*, этот индикатор характеризует плотность и/или обилие промыслового скопления крабов в районе работы судов.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Материалы, полученные по результатам учётных съёмок, и данные суточных донесений от промысловых судов позволили определить три индикатора относительности – индекс относительной численности (*I%N*), индекс относительной плотности распределения (*I%P*) и индекс относительного среднесуточного вылова (*I%M*) судов за первое полугодие.

Индекс относительной численности (I%N)

Данные по оценке численности для каждой из четырёх функциональных групп синего краба за период 2007–2019 гг. (см. табл. 1) мы перевели из количественных значений в проценты по отношению к максимально возможной округлённой величине, отмеченной для каждой группы крабов (табл. 2). Динамику индекса относительной численности *I%N* синего краба за 12-летний период представили в графическом виде для каждой функциональной группы (рис. 2).

Таблица 2. Максимально возможная численность различных функциональных групп у *P. platypus* в период 2007–2019 гг. (млн экз.)

Самцы			Самки
ШК ≥ 130 мм	ШК 110–129 мм	ШК < 110 мм	
14,7	10,9	6,2	27,7

Динамика индекса $I\%N$ за исследуемый период 2007–2019 гг. показывает, что среди самцов наиболее переменными оказались младшие функциональные группы с ШК < 110 мм и с ШК 110–129 мм. В начале рассматриваемого периода в 2009–2010 гг. ранняя молодь самцов с ШК < 110 мм имела низкое значение $I\%N$ – около 30 единиц от максимально возможной величины $I\%N$, наблюдавшейся в 2012 г. (рис. 2 В, табл. 2). После 2012 г. у этой группы наблюдается постоянное снижение индекса $I\%N$, которое в 2019 г. составило уже менее 10 единиц. У пререкрутов с ШК 110–129 мм наименьшего значения индекс $I\%N$ достигал в 2010 г. (рис. 2 Б), составляя около 45 единиц от максимально возможного значения $I\%N$ в 2013 г. После 2015 г. величина индекса численности $I\%N$ пререкрутов I и II снизилась до 25 и менее единиц. Среди самцов промыслового размера колебание значений индекса $I\%N$ обычно не превышало 15 единиц (рис. 2 А). Исключением для промысловых самцов стал 2013 г., когда по сравнению с периодом 2007–2012 гг. произошло увеличение значения $I\%N$ почти на 40 единиц. У самок синего краба за исследуемый период отмечено два существенных скачка значений индекса $I\%N$ (рис. 2 Г) – резкий рост значения был в 2013 г. по сравнению с 2012 г. и падение значения $I\%N$ в 2015 г. по сравнению с 2014 г.

Индекс относительной плотности распределения ($I\%P$)

В районе выполнения учётной съёмки средняя плотность (экз./км²) распределения крабов является оценочной характеристикой, отражающей состояние запаса крабов в районе НИР. Так на примере камчатского краба *Paralithodes camtschaticus* (Tilesius, 1815) ранее была показана ретроспективная динамика распределения средней плотности промысловых самцов на шельфе Западной Камчатки в начале 60-х гг. прошлого века и в середине прошлого десятилетия (до 2008 г.) [Моисеев, 2009]. Исходя из возможной значимости этого показателя были определены средние значения плотности крабов для каждой функциональной группы синего краба, полученные во время учётных съёмок (см. табл. 1). Проведя соответствующие расчёты по определению значений $I\%P$, сходные

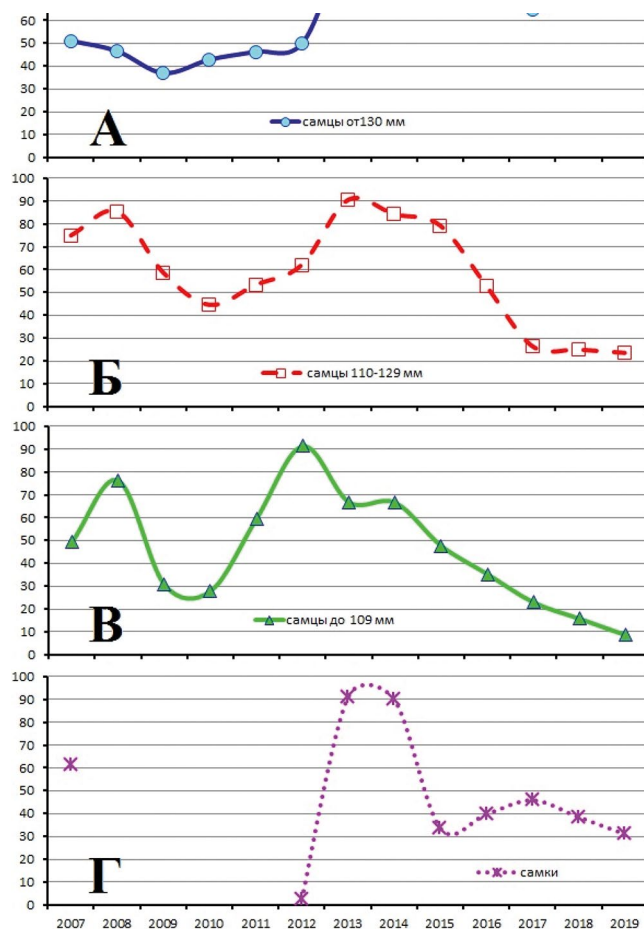


Рис. 2. Динамика индекса численности $I\%N$ среди различных групп синего краба в 2007–2019 гг. (ось ординат $I\%N$ – индекс относительной численности в %)

с определением $I\%N$ по формуле (1), был построен график (рис. 3). Визуализация индекса относительной плотности показывает, что наиболее высокие значения плотности у различных функциональных групп самцов были в 2012 г., а у самок в 2013 и 2014 гг.

Можно предположить, что в 2012 г. была выполнена наиболее удачная учётная съёмка в центральной части Шелиховского каньона. В этот год съёмка проводилась на площади, которая была в 3,5 раза меньше, чем в остальные годы. При этом индексы относительной численности $I\%N$ различных групп самцов были высокими – в пределах 50–80 единиц. Влияние малой площади обследования в 2012 г. проявилось в унимодальности индекса относительной плотности распределения $I\%P$. Высокие значения индекса $I\%P$ в 2012 г. были обусловлены тем, что скопления различных групп самцов синего краба располагались в районе глубоководной части залива на малой площади. Данное обстоятельство повлияло на высокие показатели плотности. Что касается самок – их малая плотность распределения и численность с одной сто-

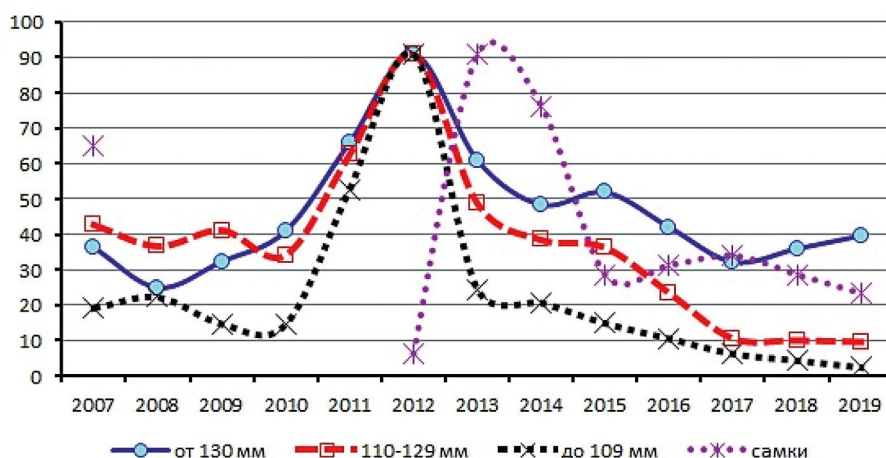


Рис. 3. Динамика индекса относительной плотности распределения $I\%P$ среди различных групп синего краба в 2007–2019 гг. Ось ординат $I\%P$ – индекс относительной плотности распределения крабов в %

роны были определены невысокой частотой встречаемости самок и малой площадью исследований в 2012 г., а с другой – возможным распределением самок на меньших глубинах за пределами района учётной съёмки.

Индекс относительного среднесуточного вылова ($I\%M$) промысловых судов

В период 2007–2019 гг. среднесуточный вылов за первое полугодие варьировал от 0,3 т/сут. в 2007 до 6,3 т в 2013 г., а с 2014 г. вылов установился на уровне около 7 т/сут., с максимумом 9,2 т/сут. в 2017 г. (см. табл. 1). Далее среднесуточные выловы были приведены в единый масштаб (%) с графическим построением (рис. 4). Наиболее низкие значения $I\%M$ наблюдались в 2007–2009 гг. 3–18,5 единиц (%), от максимально возможного среднесуточного вылова, равного

10,1 т/сут. К 2012 г. были введены нормативы суточного вылова крабовыми судами и ограничение района, разрешённого для ведения промысла синего краба в Западно-Камчатской подзоне [Шагинян, 2014; 2019], как следствие – значения индекса $I\%M$ выросли в 1,5–2 раза.

ОБСУЖДЕНИЕ

Индекс относительной численности ($I\%N$)

Для выявления контрастности процесса, происходящего в динамике запаса самцов синего краба, можно всех непромысловых самцов с ШК ≤ 129 мм объединить в одну группу и сравнить их динамику индекса относительной численности за исследуемый период с динамикой индекса $I\%N$ промысловых самцов. Начиная с 2015 г. высокий уровень промыслового запаса

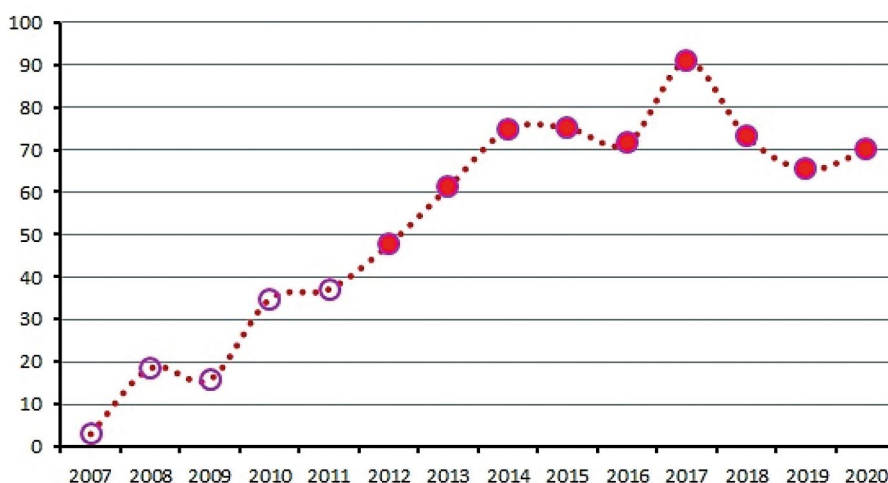


Рис. 4. Динамика индекса относительного среднесуточного вылова ($I\%M$) синего краба в 2007–2020 гг. Ось ординат $I\%M$ – индекс среднесуточного вылова судов за период с 1 января по 15 июня в % ($I\%M$ с 2007 по 2011 гг. носит некорректный характер, вызванный организационно-правовыми неопределённостями [Шагинян, 2014])

в популяции синего краба базируется на урожайных поколениях самцов, наблюдавшихся в предшествующие годы. В последние годы численность промысловых самцов *P. platypus* была подвержена вариабельности с трендом на незначительное снижение индекса $I\%N$. Низкая величина индекса относительной численности среди молодежи самцов с ШК ≤ 129 мм в последние годы была вызвана возможным недоучётом этой группы крабов во время выполнения ловушечных съёмов. По-видимому, после 2013–2015 гг. в период с середины апреля по май, низкая численность молодежи самцов могла быть связана с высокой миграционной активностью этих групп, проходившей в более ранний период весеннего сезона [Шагинян, 2014; Шагинян, Сологуб, 2015]. Возможно, что с фактором ранних сезонных миграций связана и вариабельность численности самок синего краба отмечавшаяся весной с 2012 по 2015 гг. (см. табл. 1 и рис. 2Г). Ранее Л.Г. Виноградов [2013] отмечал, что самки и молодежь камчатского краба при весенних миграциях в прибрежную зону могут даже преодолевать придонные линзы водных масс с отрицательными температурами. По-видимому, сходный сценарий ранних весенних миграций в сторону мелководий может быть характерен и для молодежи самцов и самок синего краба (предположительно конец марта и весь апрель). Следует отметить, что с марта и до первых чисел мая практически на всей площади залива Шелихова расположенной севернее $58^{\circ}20'$ с. ш. могут стоять плотные ледовые поля, не позволяющие совершать промысловые операции и выполнять сбор биологической и статистической информации. Поэтому гидрометеорологические условия, подходящие для выполнения учётной съёмки в центральной части залива, появляются не ранее 3-й декады апреля или начала мая. К этому времени, непромысловые самцы и самки иногда могут уже покинуть район учётной съёмки. Например, в 2019 г. весной в южной части залива Шелихова (южнее $58^{\circ}20'$ с. ш.) в придонном слое воды наблюдалась положительная температура до $0,3$ – $1,6$ °С [Моисеев, Моисеева, 2019], при этом ловушечная съёмка показала низкую численность непромысловых самцов и самок. По нашему мнению, именно положительные температуры придонной воды могли иметь прямое влияние на совершение ранних весенних миграций (март–апрель) указанных групп крабов в сторону прибрежной зоны ещё до начала учётной съёмки (май 2019 г.).

В отличие от молодежи самцов и самок крупноразмерные особи самцов остаются на склонах каньона в центральной и северной частях залива Шелихова до конца мая (см. рис. 1) или даже до второй половины

июня. В мае–июне средний показатель промыслового усилия для промысловых особей варьирует от 10–14 до 7–8 экз./лов., но на особо плотных скоплениях крабов, расположенных на восточном склоне, уловы промысловых самцов на небольших площадях могут доходить до 20 и более экз./лов. [Моисеев, Моисеева, 2019].

Тем не менее, можно предположить, что зафиксированное в последние годы снижение индекса относительной численности $I\%N$ синего краба у младших функциональных групп самцов действительно отражает низкую численность этих групп по сравнению с 2011–2015 гг. (см. рис. 2). Но, с другой стороны, исследования, проведённые в первой половине июля 2020 г., показали начало восстановления численности среди пререкрутов и ранней молодежи синего краба. По сравнению с 2019 г. эти группы крабов увеличили свою численность почти в 2–3 раза (Артеменков Д.В., устное сообщение о результатах рейса 2020 г., подготовка материалов в печать). Таким образом, по нашему мнению, в весенних съёмках в последние годы происходил недоучёт пререкрутов синего краба и самок. Вследствие этого, в ближайшие 2 года можно будет ожидать увеличения численности как среди непромысловых особей этого вида, так и промысловых самцов.

Индекс относительной плотности распределения ($I\%P$)

При анализе сравнительной динамики индекса $I\%P$ (см. рис. 3), высокие значения 2012 г. возможно были обусловлены миграционными и гидрологическими особенностями этого года. В этот год съёмка проходила только в районе склонов глубоководной части залива Шелихова, где одновременно образовались скопления различных функциональных групп самцов синего краба на ограниченной площади — всего 4,9 тыс. км². Площадь учёта в 2012 г. была в 3–3,5 раза меньше, чем площадь съёмки в остальные годы, когда были охвачены все диапазоны глубин как с высокой, так и с низкой плотностью крабов. По-видимому, если бы в 2012 г. обследование проходило на большей площади залива Шелихова, то индекс $I\%P$ был бы близок к значениям этого индекса в другие годы. Данное предположение косвенно может быть подтверждено низкой плотностью распределения самок в 2012 г., когда самки, по-видимому, находились на меньших глубинах за пределами района учётной съёмки. В 2013–2014 гг. исследования проводились на большей площади, и индекс $I\%P$ для самок был наибольшим за период наблюдения.

Индекс относительного среднесуточного вылова ($I\%M$)

Данный индекс является наиболее доступным для анализа формирующейся промысловой ситуации, в тех случаях, когда он не обременён различными экономическими и организационно-правовыми факторами, как это отмечалось до 2013 г. [Шагинян, 2014]. Поэтому целесообразно индекс относительного среднесуточного вылова ($I\%M$) рассматривать в комплексе с индексами $I\%N$ и $I\%P$, построенными для старшей функциональной группы самцов синего краба, состоящей из промысловых особей с ШК ≥ 130 мм.

Сравнительный анализ индексов $I\%N$, $I\%P$ и $I\%M$

Применяемый нами индекс относительной численности ($I\%N$) имеет сходство с методом «светофора», использованным А.И. Буяновским [2020 а, б] для оценки запаса крабов-стригунов рода *Chionoecetes* и синего краба. Автором было показано, что чем чаще выполняются учётные съёмки, тем более точные значения в оценке запаса даёт применение промысловой статистики из суточных судовых донесений, в противном случае происходит искажение получаемой информации о запасе крабов-стригунов и синего краба. Подобные рассуждения применимы и для оценки промыслового запаса синего краба в районе залива Шелихова. Если использовать только данные суточных судовых донесениях (ССД) или проводить учётные съёмки, значительно различающиеся по площади, или делать большие перерывы (2 и более лет) в сборе научных данных с помощью учётных съёмок, то выполненные на основе этих данных оценки и расчёты будут недостоверны.

В районе залива Шелихова синий краб имеет отчётливые сезонные миграции [Лысенко, 2001; Шагинян, 2014; 2019]. Осенью взрослая часть популяции (от 70–80 мм) как самки, так и самцы уходят в район Шелиховского каньона, где они зимуют до марта-апреля следующего года. Непромысловые самцы и самки зимуют на свалах с глубинами 180–250 м, в марте-апреле они начинают миграцию на мелководье. Самцы промыслового размера зимуют на свалах и в ложе каньона на глубинах 200–405 м, а в районах, расположенных южнее $58^{\circ}00'$ с. ш., максимальная глубина зимовки синего краба возможно сходна с распространением этого вида зимой на юго-востоке Сахалина – до 567 м [Моисеев, Моисеева, 2017]. В районе залива Шелихова в мае-июне промысловые самцы начинают миграции в сторону мелководий прибрежной зоны. Учётные съёмки, проходящие в апреле-мае, когда основная часть промысловых

самцов продолжает оставаться на склонах глубоководной части залива, позволяют контролировать промысловую часть синего краба, обитающую в районе залива Шелихова.

В первой половине года весь промысел синего краба сосредоточен в центральной части каньона. Добывающие суда располагаются на плотных скоплениях синего краба, расположенных на небольшой площади – не более 3–5 тыс. км². Например, во время учётной ловушечной съёмки 2019 г. максимальные уловы синего краба приходились на площадь около 7,5 тыс. км² в районе склонов глубоководной части залива. Здесь было сосредоточено около 55–60% промыслового запаса от рассчитанного для всей акватории (см. табл. 1). В это же время (апрель-май 2019 г.) промысловые суда выставляли ловушечные порядки на участках с высокими промысловыми концентрациями синего краба, располагавшихся всего на 1–1,5 тыс. км², при этом величина численности промысловых особей на этой площади могла достигать 15–25% от расчётного промыслового запаса для всей площади учётной съёмки. Поэтому, оценка промыслового запаса с применением только статистической базы ССД будет иметь большое искажение. Применение данных ССД в периоды увеличения промыслового запаса в популяции синего краба и/или в периоды его стремительного падения следует учитывать следующее обстоятельство – независимо от численности промысловой части в популяции синего краба краболовные суда с января по май работали и будут работать на очень плотных скоплениях (не менее 1000–2500 экз./км²) крабов, которые образуются в это время на склонах Шелиховского каньона. В связи с этим у промысловых судов будут наблюдаться высокие среднесуточные выловы (если не будет экономически выгодно растягивать время нахождения судна в море в режиме промысла). За период промысла судов с января по май, при хорошей ледовой обстановке, среднесуточные уловы всегда будут составлять от 5–7 до 10 тонн. Но при этом следует учитывать, что такие промысловые нагрузки зависят не только от концентрации объекта промысла в районе работы судна, но и от конъюнктуры спроса на рынке морепродуктов и от множества других, не учитываемых в расчётах факторов.

Промысловые самцы, сравнительный анализ индексов $I\%N$, $I\%P$ и $I\%M$

На примере функциональной группы, состоящей из промысловых самцов синего краба, необходимо рассмотреть три индекса, выраженные в процентах: индекса мгновенной численности ($I\%N$), индекса

плотности распределения ($I\%P$) и индекса относительного среднесуточного вылова ($I\%M$) за период с 1 января по 15 июня. Такой сравнительный подход реализуется в рамках метода рациональной и оперативной оценки состояния промыслового скопления крабов, предложенной А.Ю. Огурцовым [2005]. За период с 2007 по 2011 гг. для промысловых самцов сопоставление индексов $I\%N$, $I\%P$ и $I\%M$ (рис. 5) показывает следующее:

1 – индекс $I\%P$ (индекс относительной плотности) был бы наиболее стабильным при равенстве площадей учётных съёмок, а неопределённость в динамике этого индекса (см. рис. 3 и 5) внесла съёмка 2012 г., выполненная на малой площади, расположенной на промысловых скоплениях в глубоководной части залива. В связи с этим для $I\%P$ характерна унимодальность (см. рис. 3) как для самцов – 2012 г., так и для самок – 2013 г.;

2 – индекс $I\%M$ (индекс относительного среднесуточного вылова) имел наихудшие показатели до 2013 г. (рис. 5), что было связано с организационно-правовыми неопределённостями в методах отчётности [Шагинян, 2014], и не всегда он достоверно отражает минимальные и максимальные показатели в суточных судовых донесениях;

3 – индекс $I\%N$ (индекс относительной численности) как и индекс $I\%P$ был бы наиболее стабильным при равенстве площадей учётных съёмок, а неопределённость в динамике этого индекса (см. рис. 2 и 5) внесла ловушечная съёмка 2012 г., выполненная на малой площади с высокой плотностью скоплений различных функциональных групп самцов.

Таким образом, по нашему мнению, наиболее приемлемым индикатором оценки состояния запаса различных функциональных групп синего краба, является индекс относительной численности $I\%N$. Это утверждение связано с тем, что:

1) индекс относительной плотности $I\%P$ может давать завышенную величину при выполнении учётной съёмки на малой площади только в районе скоплений различных функциональных групп (см. табл. 1 и рис. 2–3) и этим обстоятельством исказить действительную картину динамики этого индекса;

2) динамика индекса среднесуточного вылова $I\%M$ отображает динамику только промысловой части популяции с небольших полигонов с промысловыми концентрациями крабов, на которых работают краболовные суда. Кроме того, $I\%M$ подвержен влиянию человеческого и экономико-организационного фактора, от которых зависит производительность судна (см. рис. 4).

В настоящее время оценку промыслового запаса синего краба в районе Западно-Камчатской подзоны проводят с применением математического моделирования [Ильин, Иванов, 2015]. Поэтому, за период 2007–2020 гг. для значений, полученных по такому методу оценки запаса, так же был определен индекс относительного значения промыслового запаса ($I\%S$). Этот индекс был рассчитан по алгоритму, сходному с тремя индексами для промысловых самцов, – относительной численности ($I\%N$), средней плотности распределения ($I\%P$) и среднесуточного вылова судов ($I\%M$). Индекс относительного значения промыслового запаса $I\%S$ был рассчитан от максимально возможного значения промыслового запаса, равного 15,53 млн экз., и принят за 100%.

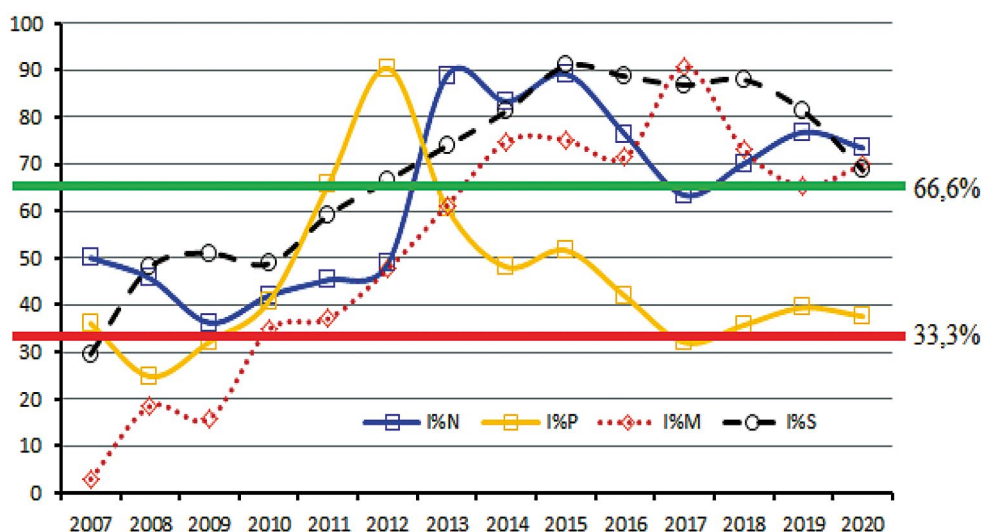


Рис. 5. Сравнение индексов для промысловых самцов: $I\%N$ – относительной численности; $I\%P$ – средней плотности распределения; $I\%M$ – среднесуточного вылова судов за период с 1 января по 15 июня и $I\%S$ – индекс относительного промыслового запаса для значений, полученных с применением математического моделирования; 33,3% и 66,6% – пороговые значения метода «светофора»

Динамика различных индексов, выраженных в едином масштабе (%), характеризует состояние промысловой части популяции синего краба в ретроспективе (рис. 5). Относительные индексы, являясь индикаторами, хорошо встраиваются в существующую практику применения трёхзонального правила регулирования промысла (предосторожный подход, метод «светофора» с пороговыми значениями, равными 33,3 и 66,6 процентиля). Следует отметить, что индекс относительного значения промыслового запаса $I\%S$, полученный с применением математических расчетов по О.И. Ильину и П.Ю. Иванову [2015] на среднесрочную перспективу, даёт более сглаженную ретроспективную кривую линию, чем другие относительные индексы ($I\%N$, $I\%P$ и $I\%M$). Но при оценке численности/запаса за последние три года (2018–2020 гг.) менее вариabельными уже оказываются индексы натуральных величин (среднесуточный вылов судов, численность по данным учетных съёмов и средняя плотность распределения крабов). В 2020 г. все индексы сходятся практически в одной точке, за исключением индекса плотности $I\%P$ (рис. 5), что было связано с малой площадью исследований, проведённых в районе формирования промысловых скоплений синего краба.

Применение индекса относительной численности ($I\%N$) для оперативной оценки состояния запаса/численности

Материал по оценке численности или запаса различных функциональных групп синего краба, полученный эмпирическим путём во время учётных съёмов, в основном представляется в абсолютных единицах в табличной форме (см. табл. 1) либо в виде гистограмм различной формы. В дальнейшем состояние запаса оценивается с привлечением различных математических расчётов как на текущий период (в год проведения съёмки), так и на краткосрочную (1–2 года) и/или средне-долгосрочную перспективу. Для оценки промыслового запаса в математические расчеты включают различные фильтры и допущения с выявлением и исключением так называемых «серых» и «белых» шумов [Михеев, 2003; Баканев, 2008; 2016; Ильин, Иванов, 2015; 2018; Черниенко, Черниенко, 2019]. В основу расчётов закладывается множество параметров, но основу составляют данные суточных судовых донесений отраслевой системы мониторинга Росрыболовства, грубые экспертные данные незаконного промысла, данные учётных съёмов и научных наблюдений во время мониторинга промысла. Если первые два основных параметра данных употребляются в расчётах, то возникает проблема их неопределённости из-за влияния человеческого фактора

при составлении промыслово-статистической информации. Два следующих параметра лишены влияния этого фактора. Поэтому, прямые эмпирические научные наблюдения, хотя тоже имеют недостатки, связанные с особенностями работы самплера, но эти недостатки являются постоянными и не зависят от преднамеренных экономическо-организационных особенностей, возникающих при ведении промышленного лова, и соответственно не искажают данные различных статистических наблюдений.

Применяемые на сегодняшний день математические модели прогнозирования запаса на 1–2 года вперёд могут иметь значительное расхождение с эмпирическими данными, получаемыми в последующие за расчётными периодами годы [Ильин, Иванов, 2015; Черниенко, 2016; Черниенко, Черниенко, 2019; Буяновский, 2019 а, б; 2020 а, б]. Ранее на примере синего краба в заливе Шелихова было показано, что каждая вновь выполненная учётная съёмка корректирует предполагаемые значения численности, сделанные ранее по моделям – до 10%, если прогноз сделан на 1 год вперёд, и до 26%, если прогноз даётся на 2 года [Сологуб, Шагинян, 2015].

Для прогностической оценки состояния запаса синего краба в районе залива Шелихова на 1 год вперёд (например, на 2020 г.), можно было использовать среднее значение индекса относительной численности $I\%N$, сформировавшегося за последние два года (2018–2019 гг.). Но такой подход будет приемлем при стабильной численности крабов. В годы, когда происходят значительные колебания численности в популяции синего краба, будут и значительные ошибки индекса $I\%N$, что наблюдается, впрочем, и для результатов различных методов математического моделирования запаса. Если для определения прогнозной величины промыслового запаса с использованием различных функциональных групп краба предполагается использовать в расчётах сложный и трудоёмкий математический аппарат, то применение индекса относительной численности $I\%N$ для оперативного краткосрочного прогноза будет простым и доступным решением в любых условиях проведения исследований. Безусловно, что для более полного и точного описания складывающейся ситуации в эксплуатируемой единице запаса применение современного математического моделирования этого запаса на 1–3 года вперед является приоритетным методом прогнозирования.

Мы предполагаем, что на первом этапе получения промыслово-биологической информации, когда исследователь находится в экспедиционных условиях, то для оперативной оценки состояния запаса можно

отойти от применения сложных математических расчетов, а использовать более простой метод определения индикаторов, отражающих относительное состояние запаса. Предложенный нами индекс относительной численности ($I\%N$) определяется на основе текущих (новых) данных и показывает состояние конкретной группы крабов в сравнительной динамике на протяжении всего интересующего периода исследований в процентном выражении.

В целом алгоритм расчёта индекса относительной численности ($I\%N$) имеет сходство с ранее предложенным методом оценки запаса для промысловых скоплений четырёхугольного волосатого краба *Erimacrus isenbeckii* (Brandt, 1848). На примере постоянно существующего в южной части Западного Сахалина промыслового скопления *E. isenbeckii* А.Ю. Огурцов [2005] показал, что уловы на усилие за определённый изучаемый период (1994–2002 гг.) можно объединять, переводя уловы в проценты к максимальному вылову, наблюдавшемуся за этот период. Применение автором относительных единиц, выраженных в одном масштабе (в %), позволило ему использовать различные выборки как единый массив данных и сравнить результаты учётных съёмок, выполненных в различные годы и сезоны. «Карты распределения уловов на усилие, построенные по таким массивам, более достоверно отображают процессы, происходящие внутри скопления, и позволяют оперативно определять моментальный промысловый запас краба за выбранный период времени» [стр. 301]. В своей работе автор показал, что простой, не требующий применения сложного математического аппарата метод оценки запаса, позволяет быть самостоятельным и самодостаточным оперативным подходом, наравне со

сложными и громоздкими математическими расчётами, применяемыми сегодня для оценки промыслового запаса крабов.

Индекс относительной численности $I\%N$ позволяет охарактеризовать текущее состояние численности любой функциональной группы синего краба (и/или любого другого промыслового вида крабов). Мы предлагаем шкалу с индексом относительной численности $I\%N$ от 0 до 100 (ось ординат, см. рис. 2) разделить на четыре квантили (Q) или интервала (по 25 единиц или процентов). В этом случае квантили выполняют роль индикатора (показателя), характеризующего оценку численности как состояние в той или иной группе крабов. Ниже предлагается следующая трактовка качественных показателей индекса $I\%N$ по квантилям:

1-й квантиль (Q_1). При $I\%N < 75$ – состояние запаса изучаемой группы *хорошее* (если значения выше 85, можно характеризовать как *очень хорошее*);

2-й квантиль (Q_2). При $I\%N$ от 51 до 75 – состояние запаса изучаемой группы *удовлетворительное или относительно стабильное*;

3-й квантиль (Q_3). При $I\%N$ от 26 до 50 – состояние запаса изучаемой группы *неопределённое*;

4-й квантиль (Q_4). При $I\%N \leq 25$ – состояние запаса изучаемой группы *неудовлетворительное или депрессивное*.

Граничными значениями между квантилями являются величины индекса $I\%N$ равные 25, 50 и 75 разделяющие граничащие квантили Q_1-Q_2 , Q_2-Q_3 и Q_3-Q_4 , соответственно (рис. 6). По аналогии с методом «светофора» [Буяновский, 2020 а, б] мы выделяем не три, а четыре цветовых зоны – зелёная, жёлтая, серая и красная.

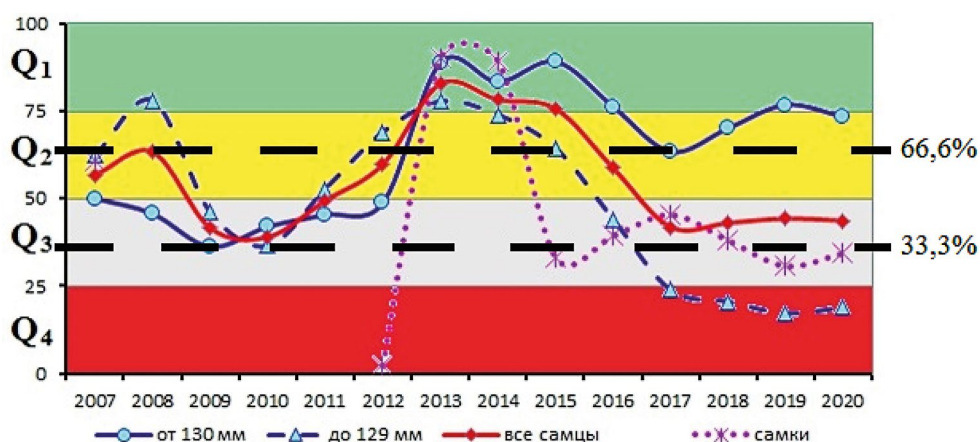


Рис. 6. Вариабельность индекса численности $I\%N$ среди различных групп синего краба в 2007–2020 гг. Ось ординат $I\%N$ – индекс относительной численности.

Обозначение: Q квантили – Q_1 (< 75), Q_2 (51–75), Q_3 (26–50) и Q_4 (≤ 25); 33,3% и 66,6% – пороговые значения метода «светофора»

Графическая динамика индекса относительной численности наглядно демонстрирует, что оптимальный период состояния для всех групп самцов синего краба был в 2013–2015 гг., а самок в 2013–2014 гг. В последние 4 года младшие функциональные группы самцов находятся в депрессивной зоне четвертого квартиля (Q_4). Промысловая часть запаса сейчас пребывает в удовлетворительном состоянии (Q_2), на уровне граничного значения между Q_1 – Q_2 (рис. 6). В целом же, на современном этапе в популяции *P. platypus*, обитающей в районе залива Шелихова как самцы, так и самки находятся в зоне неопределённости 3-го квартиля. Данное обстоятельство предполагает необходимость бережного отношения к оценке ресурсов синего краба в районе его интенсивного промысла – в северной части Западно-Камчатской рыбопромысловой подзоны. По-видимому, до появления урожайного поколения среди молоди самцов и их вступления в промысловую часть объёма ОДУ должны оставаться на уровне объёмов, которые были в последние три года – не более 10–15% от оценённого промыслового запаса.

Таким образом, применение индекса относительной численности $I\%N$ можно успешно использовать для оперативных оценок состояния запаса промысловых крабов и включать этот индикатор качественной оценки на этапе подготовки первичных научно-информационных отчётов. При подготовке заключительных отчётов и прогнозных материалов в случае необходимости можно применять и более сложные математические расчёты, ставшие уже неотъемлемой частью среднесрочного прогнозирования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Учётные съёмки, выполненные в заливе Шелихова с 2007 по 2019 гг., показали – в последние годы динамика индекса относительной численности $I\%N$ среди промысловых и непромысловых самцов синего краба была разнонаправленной (см. рис. 2). Промысловые самцы находились в градиентной зоне между первым и вторым квартилем индекса (хорошее или удовлетворительное, близкое к хорошему состояние запаса/численности), а непромысловые особи самцов стабильно находились в четвертом квартиле (неудовлетворительное или депрессивное состояние запаса). При объединении данных по индексу $I\%N$ для всех самцов и сравнении их с индексом $I\%N$ самок можно заметить, что в целом численность популяции синего краба в последние годы находится в нестабильной ситуации (см. рис. 6) – их запас носит неопределённый характер (третий квартиль с индексом $I\%N$ менее 50 единиц). Поэтому, на современном этапе к оценке

объёмов изъятия (ОДУ) синего краба в заливе Шелихова необходимо относиться с максимальной предосторожностью, до появления среди непромысловой молоди самцов особей нового урожайного поколения. Возможно, в среднесрочной перспективе (1–3 года) появление урожайного поколения среди самцов будет взаимосвязано и с появлением урожайного молодого поколения среди самок, как это наблюдалось в 2013–2014 гг. (см. рис. 2).

Динамика индексов относительной численности различных функциональных групп синего краба, с одной стороны, является четырёхзональным правилом, характеризующим состояние эксплуатируемой популяции синего краба. Но с другой стороны, с указанием пороговых значений (33,3 и 66,6 процентиля, см. рис. 6) относительный индекс численности $I\%N$ может быть хорошим приложением к пониманию и применению трёхзонального правила регулирования промысла (метод «светофора»).

В настоящее время в популяции синего краба, обитающей в районе залива Шелихова, состояние биомассы по численности, сохранится на уровне последних 3–4 лет. В случае проведения учётных съёмов весной 2022 г. новые данные помогут скорректировать предполагаемые средние значения индекса $I\%N$ (индекса относительной численности) для различных функциональных групп синего краба, полученные на 2020 г. (см. рис. 6).

На примере исследований синего краба в районе залива Шелихова показано, что в экспедиционных условиях при подготовке информационных отчётов о результатах рейса применение индекса относительной численности $I\%N$ позволяет оперативно оценить состояние исследуемой единицы запаса. Индекс относительной численности отражает вариабельность численности промысловой единицы запаса в определённом историческом периоде для различных функциональных групп краба. Такой подход наиболее эффективен будет в экспедиционных условиях, проводимых в режиме промысловой разведки [Моисеев, Моисеева, 2016; 2017]. Это режим работы судна с научными сотрудниками и со стандартным промысловым вооружением на борту, выполняющего мониторинг промысла и/или учётную съёмку не только в районе работы промысловых судов, но и на участках вероятного обитания объекта промысла, включая близлежащие участки возможной миграции и/или образования скопления объекта промысла.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают искреннюю признательность и благодарность коллегам, участвовавшим в сборе

данных, научным сотрудникам КамчатНИРО Гайдаеву В.Э., Горба Е.В., Овчинниковой З.Н., Дунаеву Р.В., Яковлеву А.Ю., Морозову Т.Б., а так же сотрудникам ВНИРО Ботневу Д.А. и Артеменкову Д.В.

ЛИТЕРАТУРА

- Алексеев Д.О., Буяновский А.И., Бизиков В.А. 2017. Принципы построения единой стратегии регулирования промысла крабов в морях России // Вопросы рыболовства Т. 18. № 1. С. 21–41.
- Бабаян В.К. 2000. Предосторожный подход к оценке общего допустимого улова (ОДУ): Анализ и рекомендации по применению. М.: ВНИРО. 192 с.
- Баканев С.В. 2008. Результаты применения стохастической когортной модели CSA для оценки запаса камчатского краба *Paralithodes camtschaticus* в Баренцевом море // Вопросы рыболовства. Т. 9. № 2 (34). С. 294–306.
- Баканев С.В. 2016. Методы оценки ориентиров управления запасом камчатского краба в Баренцевом море // Труды ВНИРО. Т. 161. С. 16–26.
- Бизиков В.А., Буяновский А.И., Гончаров С.М., Поляков А.В., Попов С.Б., Сидоров Л.К. 2013. Базы данных и геоинформационные системы в управлении водными биологическими ресурсами // Актуальные вопросы рационального использования водных биологических ресурсов. Мат. I Науч. шк. мол. учёных и специалистов по рыбному хозяйству и экологии, посвященной 100-летию со дня рождения проф. П.А. Моисеева. (15–19 апреля 2013 г.; Звенигород). М.: Изд-во ВНИРО. С. 108–133.
- Бизиков В.А., Гончаров С.М., Поляков А.В. 2006. Новая географическая информационная система «Картмастер» для обработки данных биоресурсных съёмок // VII Всеросс. конф. пром. беспозв. М.: Изд-во ВНИРО. С. 18–24.
- Буяновский А.И. 2012. Прогноз потенциального вылова прибрежных беспозвоночных при затруднении с оценкой запаса. Методические рекомендации. М.: Изд-во ВНИРО. 222 с.
- Буяновский А.И. 2019 а. К использованию моделей истощения для оценки промысловых запасов крабов // Вопросы рыболовства. Т. 20. № 1. С. 107–122.
- Буяновский А.И. 2019 б. Использование промысловой статистики для оценки динамики запаса краба-стригуна Бэрда // Вопросы рыболовства. Т. 20. № 4. С. 497–512.
- Буяновский А.И. 2020 а. Использование промысловой статистики для корректировки оценок запасов краба-стригуна опилио в морях России // Вопросы рыболовства. Т. 21. № 1. С. 106–124.
- Буяновский А.И. 2020 б. Динамика промысловых запасов синего краба в морях России с учетом данных промысловой статистики // Вопросы рыболовства. Т. 21. № 4. С. 423–439.
- Буяновский А.И., Алексеев Д.О. 2017. Промысловая статистика как индикатор состояния запаса промысловых беспозвоночных // Вопросы рыболовства. Т. 18. № 3. С. 268–282.
- Виноградов Л.Г. 2013. Избранные труды. М.: Изд-во ВНИРО. 502 с.
- Ильин О.И., Иванов П.Ю. 2015. Об одном модельном подходе к оценке состояния запасов камчатского краба *Paralithodes camtschaticus* западнокамчатского шельфа // Изв. ТИНРО. Т. 182. С. 38–47.
- Ильин О.И., Иванов П.Ю. 2018. К оценке состояния запасов краба-стригуна бэрди Камчатско-Курильской подзоны // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. Вып. 50. С. 27–33.
- Клитин А.К. 1996. Камчатский краб шельфовой зоны о. Сахалин (литературный обзор, история промысла, пространственная и функциональная структура популяций) // Вестник сахалинского музея. № 1(3). С. 324–342.
- Лысенко В.Н. 2001. Особенности биологии самцов синего краба *Paralithodes platypus* в северо-восточной части Охотского моря // Биология моря. Т. 27. № 3. С. 173–178.
- Лысенко В.Н., Гайдаев В.Э. 2005. Рост камчатского краба *Paralithodes camtschaticus* в северной части западнокамчатского шельфа // Изв. ТИНРО. Т. 143. С. 119–127.
- Матишов Г.Г. 2008. Биология и физиология камчатского краба прибрежья Баренцева моря. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН. 168 с.
- Михеев А.А. 2003. Стохастическая когортная модель для беспозвоночных с прерывистым ростом // Биология, состояние запасов и условия обитания гидробионтов в Сахалино-Курильском регионе и сопредельных акваториях: Труды СахНИРО. Т. 5. С. 216–242.
- Михеев А.А. 2004. Моделирование стохастических процессов в эксплуатируемых популяциях рыб и беспозвоночных // Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Южно-Сахалинск: СахНИРО. 24 с.
- Михеев А.А., Букин С.Д., Первеева Е.Р., Живоглядова Л.А., Крутченко А.А., Смирнов И.П. 2012. Оценка запасов беспозвоночных в Сахалино-Курильском районе на основе анализа временных рядов уловов с применением фильтра Калмана // Изв. ТИНРО. Т. 168. С. 99–120.
- Моисеев С.И. 2009. Межгодовые колебания плотности распределения камчатского краба (*Paralithodes camtschaticus*) в районе Западной Камчатки за 2004–2008 гг. // X Всерос. конф. по проблемам рыбопромыслового прогнозирования. Тез. докл. (г. Мурманск, 6–8 октября 2009 г.). Мурманск: ПИНРО. С. 96–97.
- Моисеев С.И., Моисеева С.А. 2016. Материалы оперативного мониторинга промысловых крабов в Охотском море в осенне-зимний период 2015 г. // Труды ВНИРО. Т. 159. С. 198–206.
- Моисеев С.И., Моисеева С.А. 2017. Мониторинг промысловых крабов в Охотском море в осенне-зимний период 2016 г. // Труды ВНИРО. Т. 165. С. 176–184.
- Моисеев С.И., Моисеева С.А. 2019. Исследования доминирующих промысловых видов крабов Охотского моря осенью 2018 г. и весной 2019 г. // Труды ВНИРО. Т. 177. С. 204–214.

- Огурцов А.Ю. 2005. К методике оценки запаса волосатого краба по данным ловушечных съемок в Татарском проливе // Труды ВНИРО. Т. 144. С. 294–303.
- Слизкин А.Г., Долженков В.Н. 1997. К вопросу об изменении и установлении промысловой меры для некоторых видов крабов дальневосточных морей // Рыбное хозяйство. № 2. С. 43–44.
- Сологуб Д.О., Шагинян Э.Р. 2015. К вопросу оценки пополнения и прогнозирования промыслового запаса синего краба (*Paralithodes platypus*) в северо-восточной части Охотского моря // VIII Всерос. науч. конф. по промысловым беспозвоночным. Мат. докл. Калининград: КГТУ. С. 101–103.
- Черниенко И.А. 2016. Моделирование динамики запаса колючего краба *Paralithodes brevipes* южных Курильских островов конечно-разностной моделью с запаздыванием // Изв. ТИНРО. Т. 185. С. 102–111.
- Черниенко И.С., Черниенко Э.П. 2019. Мультимодельный подход к прогнозированию некоторых единиц запаса водных биологических ресурсов Сахалино-Курильского региона // Вопросы Рыболовства. Т. 20. № 3. С. 374–386.
- Шагинян Э.Р. 2014. Состояние запаса и оценка численности синего краба (*Paralithodes platypus*, Brandt) Западно-Камчатской под-зоны в путину 2013 г. // Исслед. вод. биол. ресурсов Камчатки и Северозападной части Тихого океана. Вып. 35. С. 56–62.
- Шагинян Э.Р. 2019. Промысел синего краба в Западно-Камчатской подзоне Охотского моря в 2013–2018 гг. // Исслед. вод. биол. ресурсов Камчатки и Северозападной части Тихого океана. Вып. 55. С. 92–106.

Поступила в редакцию 17.02.2021 г.

Принята после рецензии 19.03.2021 г.

Relative abundance index as an operational assessment of the state of the king blue crab stock in the Shelikhov Bay of Okhotsk Sea

S.I. Moiseev¹,
D.O. Sologub¹,
E.R. Shaginyan²

¹ Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography («VNIRO»), Moscow, Russia

² Kamchatka Branch of VNIRO («KamchatNIRO»), Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia

The material of spring registration surveys of the blue king crab *Paralithodes platypus* conducted in the Shelikhov Bay of the Okhotsk Sea from 2007 to 2019 is presented. It is proposed to use the relative abundance index ($I\%N$) for a quick assessment of the characterizing state of the stock of the exploited population. The index $I\%N$ is defined as the ratio of the number of a separate functional group of the crab to the maximum number for this group of crab in the study period, expressed as a percentage. A similar algorithm was used to determine the index of the relative density of the distribution of crabs ($I\%P$) and the index of the relative average daily catch of fishing vessels for the first half of the year ($I\%M$). When comparing the relative indices $I\%N$, $I\%P$, $I\%M$, the most convincing was the relative population index $I\%N$. To assess the stock status of the studied functional group of crabs in the values of the index $I\%N$, it was proposed to distinguish 4 quartiles (interval 25 units): 1st quartile (Q_1) $I\%N < 75$ stock condition is good; 2nd quartile (Q_2) $I\%N = 51-75$ stock condition is satisfactory or relatively stable; 3rd quartile (Q_3) $I\%N 26-50$ stock status uncertain; 4th quartile (Q_4) $I\%N \leq 25$ stock status is unsatisfactory or depressive. The boundary values between quartiles Q_1-Q_2 , Q_2-Q_3 , and Q_3-Q_4 are $I\%N$ values of 75, 50, and 25, respectively. The dynamics of the $I\%N$ index in the studied time period reflects the real process taking place in the fishing unit of the stock based only on empirical data.

Keywords: *Paralithodes platypus*, abundance, stock, distribution, coefficient, relative abundance index.

REFERENCES

- Alekseyev D.O., Buyanovskiy A.I., Bizikov V.A. 2017. Printsipy edinoj strategii regulirovaniya promysla krabov i kraboidov v moryakh Rossii [General organizing principles of a unified strategy for managing crabs and king crabs fishery in the seas of Russia] // Voprosy rybolovstva. T. 18. No 1. S. 21–41.
- Babayan V.K. 2000. Predostorozhnyj podhod k ocenke obshchego dopustimogo ulova (ODU): Analiz i rekomendacii po primeneniyu [Precautionary Approach to Assessment of Total Allowable Catch (TAC): Analysis and practical recommendations]. M.: Izd-vo VNIRO. 192 p.
- Bakanev S.V. 2008. Rezultaty primeneniya stohasticheskoj kogortnoj modeli CSA dlya ocenki zapasa kamchatskogo kraba *Paralithodes camtschaticus* v Barencevom more [Application of a stochastic cohort model CSA for red king crab, *Paralithodes camtschaticus*, in the Barents Sea] // Voprosy rybolovstva. T. 9. № 2(34). S. 294–306.
- Bakanev S.V. 2016. Metody ocenki orientirov upravleniya zasposom kamchatskogo kraba v Barencevom more [Estimation methods for biological reference points of king crab stock in the Barents Sea] // Trudy VNIRO. T. 161. C. 16–26.
- Bizikov V.A., Buyanovskij A.I., Goncharov S.M., Polyakov A.V., Popov S.B., Sidorov L.K. 2013. Bazy dannyh i geoinformatsionnye sistemy v upravlenii vodnymi biologicheskimi resursami [Application of databases and geographic information systems for the fishery management] // Aktual'nye voprosy ratsional'nogo ispol'zovaniya vodnyh biologicheskikh resursov. Mat. I nauch. shk. mol. uchenyh i spetsialistov po rybnomu hozhaystvu i ehkologii, posvyashchennoj 100-letiyu so dnya rozhdeniya prof. P.A. Moiseeva. (15–19 aprelya 2013 g.; Zvenigorod). M.: Izd-vo VNIRO. P. 108–133.
- Bizikov V.A., Goncharov S.M., Polyakov A.V. 2006. Novaya geograficheskaya informatsionnaya Sistema «Kartmaster» dlya obrabotki dannyh bioresursnyh s"emok [GIS «Chartmaster» – new geographic information system for processing the data of hydrological surveys] // VII Vseross. konf. prom. bespozv. M.: Izd-vo VNIRO. P. 18–24.
- Buyanovsky A.I. 2012. Prognoz potentsialnogo vylova pribrezhnykh bespozvonochnykh pri zatrudnenii s otsenкой zapasa [Forecast of potential catch for coastal invertebrates: data-poor cases]. Moscow: Izd-vo VNIRO. 222 s
- Buyanovsky A.I. 2019 a. K ispolzovaniyu modelej istoshcheniya dlya ocenki promyslovyh zasposov krabov [On application of the depletion models for the commercial crabs stocks assessment] // Voprosy rybolovstva. T. 20. № 1. S. 107–122.

- Buyanovsky A.I. 2019 b. Ispol'zovanie promyslovoj statistiki dlya ocenki dinamiki zapasa kraba-striguna Berda [Use of fisheries statistics for the tanner crab stock dynamics] // Voprosy rybolovstva. T. 20. № 4. S. 497–512.
- Buyanovsky A.I. 2020 a. Ispolzovanie promyslovoj statistiki dlya korekcirovki ocenok zapasov kraba-striguna opilio v moryah Rossii [The snow crab fishery statistics in the Russian seas: attempt of the corrected assessment application] // Voprosy rybolovstva. T. 21. № 1. S. 106–124.
- Buyanovsky A.I. 2020 b. Dinamika promyslovyh zapasov sinego kraba v moryah Rossii s uchedom dannyh promyslovoj statistiki [The blue king crab commercial stocks dynamics in the Russian seas with account on fisheries statistics] // Voprosy rybolovstva. V. 21. № 4. P. 423–439.
- Buyanovsky A.I., Alexeyev D.O. 2017. Promyslovaya statistika kak indikator sostoyaniya zapasa promyslovyh bespozvonochnyh [Fisheries statistics as indicator of stock assessment of marine invertebrates] // Voprosy rybolovstva. T. 18. № 3. S. 268–282.
- Vinogradov L.G. 2013. Izbrannyye Trudy [Selected works]. M.: Izd-vo VNIRO. 502 s.
- Ilyin O.I., Ivanov P. Yu. 2015. Ob odnom modelnom podhode k ocenke sostoyaniya zapasov kamchatskogo kraba *Paralithodes camtschaticus* zapadnokamchatskogo shelfa [On one model approach to stock assessment for red king crab *Paralithodes camtschaticus* on the shelf of West Kamchatka] // Izvestiya TINRO. T. 182. S. 38–47.
- Ilyin O.I., Ivanov P. Yu. 2018. K ocenke sostoyaniya zapasov kraba-striguna berdi Kamchatsko-Kuril'skoj podzony [To the stock abundance assessment of tanner crab in the kamchatka-kurile subzone] // Issledovaniya vodnyh biologicheskikh resursov Kamchatki i severo-zapadnoj chasti Tihogo okeana. Vyp. 50. S. 27–33.
- Klitin A.K. 1996. Kamchatskij krab shelfovoj zony o. Sahalin (literaturnyj obzor, istoriya promysla, prostranstvennaya i funkcionalnaya struktura populyacij) [The red king crab of the shelf zone o. Sakhalin (literary review, history of fishing, spatial and functional structure of populations)] // Vestnik sahalinskogo muzeya. № 1(3). S. 324–342.
- Lysenko V.N. 2001. Osobennosti samcov sinego kraba v severovostochnoj chasti Ohotskogo moray [Peculiarities of the biology of the blue king crab *Paralithodes platypus* in the northeastern Sea of Okhotsk] // Biologiya morya. T. 27. № 3. S. 173–178.
- Lysenko V.N., Gaidaev V.E. 2005. Rost kamchatskogo kraba *Paralithodes camtschaticus* v severnoj chasti zapadnokamchatskogo shelfa [Growth of the red king crab *Paralithodes camtschaticus* in the northern part of the West Kamchatka shelf] // Izvestiya TINRO. T. 143. S. 119–127.
- Matishov G.G. 2008. Biologiya i fiziologiya kamchatskogo kraba pribrezh'ya Barentseva morya [Biology and physiology of the red king crab from the coastal zone of the Barents Sea]. Apatity: Izd-vo KNC RAN. 168 s.
- Mikheev A.A. 2003. Stokhasticheskaya kogortnaya model' dlya bespozvonochnyh s preryvistym rostom [A stochastic cohort model for invertebrates with the interrupted growth] // Biologiya, sostoyanie zapasov i usloviya obitaniya gidrobiontov v Sahalino-Kuril'skom regione i sopredel'nyh akvatoriyah: Trudy SahNIRO. T. 5. S. 216–242.
- Mikheev A.A. 2004. Modelirovanie stokhasticheskikh processov v ekspluatiruemyh populyacijah ryb i bespozvonochnyh [Modeling of stochastic processes in exploited populations of fish and invertebrates]. Avtoref. diss. ... kand. biol. nauk. Yuzhno-Sakhalinsk: SakhNIRO. 24 s.
- Mikheev A.A., Bukin S.D., Perveyeva E.R., Zhivoglyadova L.A., Krutchenko A.A., Smirnov I.P. 2012. Ocenka zapasov bespozvonochnyh v Sahalino-Kuril'skom rajone na osnove analiza vremennyh ryadov ulovov s primeneniem filtra Kalmana [Sakhalin-Kuril region invertebrate stock assessing based on the catch time series analysis with the Kalman filter application] // Izvestiya TINRO. T. 168. S. 99–120.
- Moiseev S.I. 2009. Mezhdogodovye kolebaniya plotnosti raspredeleniya kamchatskogo kraba (*Paralithodes camtschaticus*) v rajone Zapadnoj Kamchatki za 2004–2008 gg. [Interannual fluctuations in the distribution density of the Kamchatka crab (*Paralithodes camtschaticus*) in the area of Western Kamchatka for 2004–2008.] // X Vseros. konf. po problemam rybopromyslovogo prognozirovaniya. Tez. dokl. (g. Murmansk, 6–8 oktyabrya 2009 g.). Murmansk: PINRO. S. 96–97.
- Moiseev S.I., Moiseeva S.A. 2016. Materialy operativnogo monitoringa promyslovyh krabov v Ohotskom more v osenne-zimnij period 2015 g. [The data of operational monitoring of commercial crabs in the Okhotsk Sea in the autumn–winter 2015] // Trudy VNIRO. T. 159. S. 198–206.
- Moiseev S.I., Moiseeva S.A. 2017. Monitoring promyslovykh krabov v Okhotskom more v osenne-zimnij period 2016 g. [Monitoring of commercial crabs in the Sea of Okhotsk during the autumn–winter period 2016.] // Trudy VNIRO. T. 165. S. 176–184.
- Moiseev S.I., Moiseeva S.A. 2019. Issledovaniya dominiruyushchih promyslovyh vidov krabov Ohotskogo morya osen'yu 2018 g. i vesnoj 2019 g. [Studies of the dominant commercial species of crabs of the Sea of Okhotsk in autumn 2018 and spring 2019] // Trudy VNIRO. T. 177. S. 204–214.
- Ogurtsov A. Yu. 2005. K metodike ocenki zapasa volosatogo kraba po dannyh lovushechnyh s'emok v Tatarskom prolive [To the technique of the estimation of stock of *Erimacrus isenbeckii* based on crab trap survey data in the Tatar Strait] // Trudy VNIRO. T. 144. S. 294–303.
- Slizkin A.G., Dolzhenkov V.N. 1997. K voprosu ob izmenenii i ustanovlenii promyslovoj mery dlya nekotoryh vidov krabov dal'nevostochnyh morej [On the issue of changing and establishing a fishing measure for certain types of crabs in the far Eastern seas] // Rybnoe khozyajstvo. № 2. S. 43–44.
- Sologub D.O., Shaginyan E.R. 2015. K voprosu ocenki popolneniya i prognozirovaniya promyslovogo zapasa sinego kraba (*Paralithodes platypus*) v severo-

- vostochnoj chasti Ohotskogo morya [Consigning to recruitment and stock assessment of blue king crab (*Paralithodes platypus*) in the north-eastern Okhotsk Sea] // Promyslovye bespozvonochnye. VIII Vseros. nauch. konf. po promyslovym bespozvonochnym. Mat. dokl. Kaliningrad: KGTU. S. 101–103.
- Chernienko I.S. 2016. Modelirovanie dinamiki zapasa kolyuchego kraba *Paralithodes brevipes* yuzhnyh Kuril'skikh ostrovov konechno-raznostnoj modelyu s zapazdyvaniem [Modelling of stock dynamics for spiny king crab *Paralithodes brevipes* at southern Kuril Islands using a finite-difference model with delay] // Izvestiya TINRO. T. 185. S. 102–111.
- Chernienko I.S., Chernienko E.P. 2019. Multimodelnyj podhod k prognozirovaniyu nekotoryh edinic zapasa vodnyh biologicheskikh resursov Sakhalino-Kuril'skogo regiona [Multi-model approach to some marine biological resources stock forecast in Sakhalin-Kuril region] // Voprosy Rybolovstva. T. 20. № 3. S. 374–386.
- Shaginyan E.R. 2014. Sostoyanie zapasa i oценка chislennosti sinego kraba (*Paralithodes platypus*, Brandt) Zapadno-Kamchatskoj pod-zony v putinu 2013 g. [State of stock and assessment of stock abundance of blue king crab (*Paralithodes platypus*, brandt) in the west kamchatka subzone for fishery campaign 2013] // Issled. vod. biol. resursov Kamchatki i Severozapadnoj chasti Tihogo okeana. 2014. Vyp. 35. S. 56–62.
- Shaginyan E.R. 2019. Promysel sinego kraba v Zapadno-Kamchatskoj podzone Ohotskogo morya v 2013–2018 gg. [Fishery of blue king crab in the West-Kamchatka subzone of the sea of Okhotsk in 2013–2018] // Issled. vod. biol. resursov Kamchatki i Severozapadnoj chasti Tihogo okeana. Vyp. 55. S. 92–106.

TABLE CAPTIONS

Table 1. Estimation of the number of *P. platypus* according to trap surveys in 2007–2019 (million copies) and the average daily catch of fishing vessels for the first half of the year (t)

Table 2. Maximum possible number of different functional groups of *P. platypus* in the period 2007–2019 (million copies)

FIGURE CAPTIONS

Fig. 1. The layout of the accounting stations and the distribution of fishing individuals of the blue king crab in Shelikhov Bay in May 2019 – the first main section of the work of fishing vessels in April-May and the second minor section of the work of fishing vessels.

Designations: A-G sections and setting points of accounting stations.

Fig. 2. The dynamics of the coefficient of abundance index $I\%N$ among various groups of blue king crab in 2007–2019. (ordinate axis $I\%N$ – the index of relative abundance).

Fig. 3. The dynamics of the index coefficient of the relative distribution density $I\%P$ among various groups of blue king crab in 2007–2019 (the ordinate axis $I\%P$ is the index of relative density distribution of crabs).

Fig. 4. Dynamics of the index of the relative average daily catch ($I\%M$) of blue king crab in 2007–2020. (The ordinate axis $I\%M$ is the index of the average daily catch of vessels for the period from January 1 to June 15 in% ($I\%M$ from 2007 to 2011 is incorrect due to organizational and legal uncertainties [Shaginyan, 2014]).

Fig. 5. Comparison of indices for commercial males – $I\%N$ relative abundance, $I\%P$ average distribution density, $I\%M$ average daily catch of vessels for the period from January 1 to June 15 and $I\%S$ index of relative fishing stock for values obtained using mathematical modeling; 33.3% and 66.6% threshold values of the “traffic light” method.

Fig. 6. Variability of the abundance index $I\%N$ among different groups of blue king crab in 2007–2020. (the ordinate axis $I\%N$ is the relative abundance index). Designation: Q quartiles – Q1 (<75), Q2 (51–75), Q3 (26–50) and Q4 (≤ 25); 33.3% and 66.6% threshold values of the “traffic light” method.

УДК 595.384.8: 591.4 (265.53)

DOI: 10.36038/2307-3497-2021-185-22-31

Внутривидовая морфологическая изменчивость синего краба северной части Охотского моря

С.В. Клинушкин¹,
А.В. Харитонов²,
Д.С. Диденко²

¹ Магаданский филиал ФГБНУ «ВНИРО»
(«МагаданНИРО»), г. Магадан

² Хабаровский филиал ФГБНУ «ВНИРО»
(«ХабаровскНИРО»), г. Хабаровск

E-mail: Kharitonov69@bk.ru

Результаты исследования на акватории от о. Большой Шантар до зал. Бабушкина указывают на существование морфометрических различий у синего краба северной части Охотского моря. Статистически значимо изменяются пропорции тела краба: по направлению с запада (суровый гидрологический режим) на восток (сравнительно тёплый район) крабы становятся более вытянутыми в ширину, правая клешня по всем измеряемым параметрам и высота левой клешни уменьшаются относительно ширины карапакса, наблюдается сокращение длины меруса первой ходильной ноги. С включением материалов из зал. Шелихова в корреляционный анализ, кроме ранее найденных зависимостей (связанных с промысловой длиной карапакса и высотой правой клешни), отмечена также клинальная изменчивость длины меруса второй переоподы: её укорочение происходит как и у первой переоподы по направлению с запада на восток. При выполнении дискриминантного анализа (выборка из зал. Шелихова не включалась) наиболее существенные морфометрические различия отмечены между наиболее удалёнными участками: западными и восточными ($D_m^2 = 2,95 - 3,72$), что, по-видимому, является следствием контрастных условий среды обитания.

Ключевые слова: синий краб *Paralithodes platypus*, Охотское море, морфология, изменчивость, коэффициент корреляции, дискриминантный анализ.

ВВЕДЕНИЕ

Синий краб *Paralithodes platypus* (J.F. Brandt in von Middendorf, 1851) – важный промысловый вид семейства крабоидов (Lithodidae). В Охотском море он распространён в северной его части, у Западной Камчатки и Восточного Сахалина [Букин и др., 1988].

Условия обитания синего краба северной части Охотского моря достаточно неоднородны. Северо-западная группировка большей своей частью на протяжении всего времени года находится в зоне действия низких температур, где в летнее время в ядрах холода температура доходит до $-1,7$ °C [Чернявский, 1992]. В то же время, например, у Западной Камчатки крабы находятся в более благоприятных условиях, в зоне действия трансформированных тихоокеанских вод, обладающих большим теплозапасом. На зимний период крабы, обитающие у Западной Камчатки, перемещаются в зону соприкосновения с дном тёплого промежуточного слоя [Букин и др., 1988]. Различные условия обитания накладывают специфический отпечаток на морфологические особенности синего краба.

Ранее внутривидовая дифференциация крабов и креветок по морфологическим признакам освеща-

лась, в частности, при изучении камчатского краба *Paralithodes camtschaticus* (Tilesius, 1815) у берегов Сахалина и Курильских о-вов [Клитин, 1998] и в северо-западной части Охотского моря [Черниенко, 2013], а также краба-стригуна опилио *Chionoecetes opilio* (O. Fabricius, 1788) [Карасёв, 2014] в северной части Охотского моря. Морфометрический анализ северной креветки *Pandalus borealis* (Krøyer, 1838) Притауйского и ИONO-Кашеварского районов и углохвостой креветки *Pandalus goniurus* (Stimpson, 1860) из зал. Шелихова и Шантарского района проводился К.В. Бандуриным и М.Г. Карпинским [2015], кроме того, С.Д. Букиным [2003] исследовались морфологические изменения северной креветки в Сахалинских водах.

Исследования морфологической изменчивости позволяют выявить закономерности формирования различных признаков и свойств видов в зависимости от условий их обитания. В литературе отсутствуют работы, в которых использовали морфологические признаки для внутривидовой дифференциации синего краба.

Цель работы – выявить закономерности внутривидовой изменчивости синего краба в северной части Охотского моря.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Материалом для исследования географической изменчивости морфологических признаков синего краба послужили сборы самцов из ловушечных уловов на участке от зал. Александры до зал. Бабушкина в 2020 г. (проанализировано 18 признаков), а также в районе Западной Камчатки в 2009 г. (проанализировано 6 признаков). Для исключения влияния аллометрии отбирались только морфометрически зрелые самцы с шириной карапакса 120,6–180,6 мм. С точностью до 0,1 мм измеряли ширину карапакса (ШК), зоологическую длину карапакса (ЗД, от конца рострума до середины заднего края карапакса), промысловую длину карапакса (ПД, от орбитальной выемки до середины заднего края карапакса), параметры левой и правой клешни: высоту (ВКл), длину (ДКл), ширина клешни (ШКл) и длину подвижного пальца клешни (ДПП), длину (ДМ1) и высоту (ВМ1) меруса 1-й переоподы, длину (ДМ2) и высоту (ВМ2) меруса 2-й переоподы, длину (ДМ3) и высоту (ВМ3) меруса 3-й переоподы и высоту абдомена (ВА) (рис. 1). Рисунки частей тела краба взяты из работ Л.А. Живоградской [2001], Е.А. Метелёва [2021] и пособия по изучению ракообразных дальневосточных морей России [Низяев и др., 2006].

Все измерения (679 экз.) выполнены одним оператором по единой методике. Регенерированные конечности исключались из анализа. Для снижения влияния размеров особей на промеры их частей тела и в соответствии с рекомендациями [Правдин, 1966; Андреев, Решетников, 1977] исходные значения признаков были пронормированы на ширину карапакса, полученные индексы переведены в проценты.

Ввиду непрерывности расположения скоплений взрослых самцов синего краба отбор проб для изучения внутривидовой изменчивости производился на всём протяжении прибрежной акватории от зал. Александры до зал. Бабушкина. Кроме того, были привлечены данные, собранные в районе Западной Камчатки (горло зал. Шелихова), что расширило поле для анализа и выявления закономерностей. Затем исследованную область разбили на участки вдоль побережья от юго-запада к северо-востоку, для проверки изменения морфометрических признаков. При построении графиков зависимости признаков от географической долготы в качестве точки отсчёта бралась середина выделенного участка. Выделенные участки указаны на рис. 2.

Дискриминантный анализ проводился для данных, собранных в 2020 г. (от зал. Александры до зал.

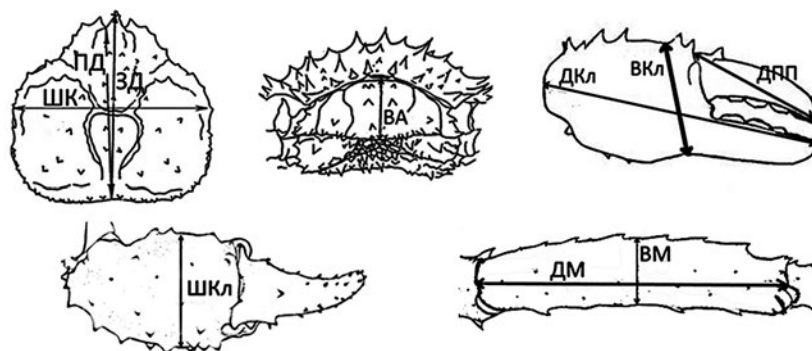


Рис. 1. Схема морфометрических измерений синего краба

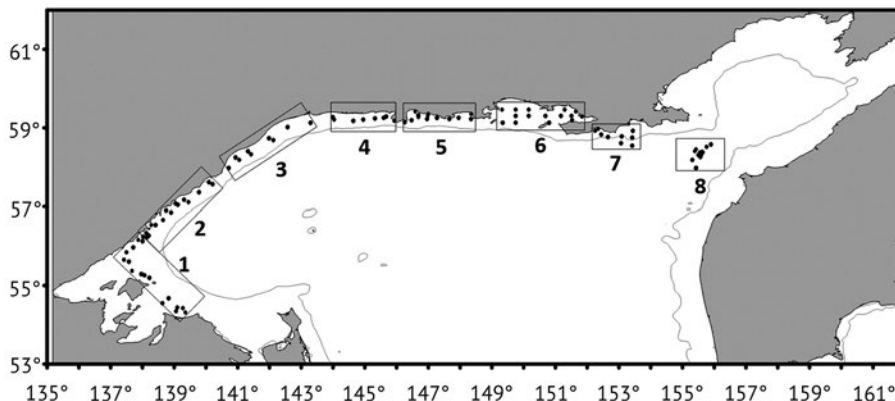


Рис. 2. Районы отбора проб на морфометрический анализ синего краба в 2009 и 2020 гг.: 1 – акватория у о. Б. Шантар, 2 – акватория восточнее п. Аян, 3 – акватория у мыса Плоский, 4 – акватория западнее п-ва Лисянского, 5 – акватория восточнее п-ва Лисянского, 6 – Тауйская губа, 7 – зал. Бабушкина, 8 – горло зал. Шелихова

Бабушкина). В модель включались признаки, для которых уровень значимости по F-критерию $p < 0,05$.

Степень различия между исследованными выборками оценивалась при помощи расстояния Махаланобиса D_M^2 , отражающего удалённость центроидов выборок друг от друга в многомерном пространстве канонических переменных. В ходе дискриминантного анализа с пошаговым включением переменных также выявлялись признаки, дифференцирующие синего краба разных районов обитания. При подготовке дан-

ных к статистическому анализу была выполнена проверка на нормальность распределения всех признаков по всем выделенным участкам при помощи критерия Шапиро-Уилка. Корреляционный и дискриминантный [Тюрин, Щеглов, 2015] анализы проводились в программе *Statistica 10*.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

Описательная статистика индексов приведена в табл. 1. Наименьшая изменчивость по районам

Таблица 1. Параметрическая характеристика индексов (%) морфологических измерений синего краба в северной части Охотского моря (2009, 2020 гг.)

Характеристика	ДКП/ ШК	ДКЗ/ ШК	ВКЛпр/ ШК	ДКЛпр/ ШК	Дпаль. пр/ШК	ШКЛ- пр/ШК	ДМ1/ ШК	ВМ1/ ШК	ДМ2/ ШК	ВМ2/ ШК	ДМ3/ ШК	ВМ3/ ШК	ВКЛл/ ШК	ДКЛл/ ШК	Дпаль. л/ШК	ШКЛл/ ШК	ВА/ ШК
1. Акватория у о. Б. Шантар (N = 114)																	
Участок																	
Среднее	89,54	98,80	36,16	72,91	41,01	26,27	76,36	21,35	82,77	21,53	76,87	19,43	19,30	55,95	34,69	14,12	24,60
Минимум	84,79	91,80	32,07	67,24	36,26	22,64	65,82	18,83	72,26	19,32	65,11	17,28	17,70	51,31	30,29	12,69	21,57
Максимум	95,77	103,86	39,55	80,67	47,78	28,95	87,89	23,45	93,88	24,44	85,63	23,20	21,02	61,16	38,50	15,33	27,96
Ст. отклонение	1,98	2,38	1,66	2,96	2,01	1,29	3,58	0,95	4,17	1,00	3,94	0,95	0,70	2,12	1,64	0,56	1,22
Ст. ошибка	0,19	0,22	0,16	0,28	0,19	0,12	0,34	0,09	0,39	0,09	0,37	0,09	0,07	0,20	0,15	0,05	0,11
2. Акватория восточнее п. Аян (N = 74)																	
Участок																	
Среднее	89,90	98,48	36,33	72,05	40,30	26,59	76,27	21,59	83,19	21,70	77,13	19,55	19,37	55,21	33,96	14,33	24,58
Минимум	85,73	93,33	32,32	64,60	36,04	24,18	67,90	19,21	75,46	19,93	69,68	17,79	17,90	51,80	31,50	12,76	22,06
Максимум	95,22	105,68	39,12	77,61	44,57	29,85	85,51	23,73	93,47	23,48	86,39	21,87	21,04	59,57	37,14	15,91	26,62
Ст. отклонение	1,86	2,10	1,57	2,62	1,76	1,16	3,51	0,88	3,95	0,88	3,45	0,90	0,74	1,83	1,28	0,58	1,10
Ст. ошибка	0,22	0,24	0,18	0,30	0,20	0,13	0,41	0,10	0,46	0,10	0,40	0,10	0,09	0,21	0,15	0,07	0,13
3. Акватория у мыса Плоский (N = 94)																	
Участок																	
Среднее	89,79	98,48	35,81	71,29	40,15	26,21	76,44	21,12	83,12	21,22	77,72	19,13	19,28	55,13	34,18	14,27	24,38
Минимум	84,27	91,24	29,92	64,89	35,15	22,83	70,30	19,01	73,10	19,20	70,49	16,77	17,75	51,25	31,25	12,66	21,21
Максимум	94,20	102,51	39,11	78,00	44,23	29,11	84,07	23,49	92,67	24,34	86,58	21,78	21,56	58,82	37,53	16,26	26,98
Ст. отклонение	1,89	2,09	1,64	2,55	1,61	1,30	3,18	0,94	4,03	1,01	3,92	0,90	0,74	1,64	1,25	0,63	1,24
Ст. ошибка	0,19	0,22	0,17	0,26	0,17	0,13	0,33	0,10	0,42	0,10	0,40	0,09	0,08	0,17	0,13	0,07	0,13
4. Акватория западнее п-ва Лисянского (N = 59)																	
Участок																	
Среднее	88,74	97,87	35,32	71,11	40,34	25,44	76,29	20,99	82,70	21,13	77,27	19,24	19,03	55,20	34,20	14,04	24,63
Минимум	85,26	93,91	31,42	64,70	37,08	22,10	68,83	19,06	74,53	18,73	70,00	16,27	17,36	50,85	30,06	12,53	22,41
Максимум	91,71	102,06	39,20	76,31	43,95	28,67	83,42	22,92	89,78	23,45	84,30	22,17	20,53	59,41	38,10	15,25	26,85
Ст. отклонение	1,58	1,99	1,69	2,90	1,77	1,34	3,22	0,89	3,56	1,06	3,45	1,06	0,62	2,20	1,74	0,64	0,94
Ст. ошибка	0,21	0,26	0,22	0,38	0,23	0,17	0,42	0,12	0,46	0,14	0,45	0,14	0,08	0,29	0,23	0,08	0,12
5. Акватория восточнее п-ва Лисянского (N = 77)																	
Участок																	
Среднее	88,17	97,41	34,60	70,05	39,59	24,93	74,07	20,94	80,32	21,34	74,89	19,24	19,02	54,71	33,69	14,00	24,46
Минимум	84,05	92,40	31,16	62,93	35,91	21,16	63,97	19,19	70,00	19,10	65,50	16,89	17,33	49,08	29,87	12,44	21,41
Максимум	93,65	104,05	37,80	76,00	43,54	27,07	84,53	22,78	89,98	24,55	85,48	20,86	20,16	58,87	36,86	15,30	27,96
Ст. отклонение	1,87	2,23	1,45	2,62	1,75	1,06	3,65	0,73	3,89	0,86	3,87	0,80	0,56	1,86	1,44	0,54	1,12
Ст. ошибка	0,21	0,25	0,17	0,30	0,20	0,12	0,42	0,08	0,44	0,10	0,44	0,09	0,06	0,21	0,16	0,06	0,13
6. Тауйская губа (N = 73)																	
Участок																	
Среднее	88,01	97,64	34,43	70,72	39,87	24,77	74,44	21,15	80,84	21,48	75,80	19,38	19,00	55,41	34,27	14,07	24,32
Минимум	83,02	91,73	30,20	62,72	35,75	21,68	67,51	19,01	73,01	18,82	66,62	17,44	16,91	49,93	31,15	12,28	22,04
Максимум	92,21	101,93	38,16	79,45	45,74	27,13	81,25	22,83	89,27	23,92	82,70	21,19	20,76	61,34	38,20	15,29	26,87
Ст. отклонение	1,83	2,32	1,69	2,78	1,79	1,37	3,11	0,89	3,63	1,09	3,49	0,92	0,79	2,02	1,37	0,66	1,02
Ст. ошибка	0,21	0,27	0,20	0,33	0,21	0,16	0,36	0,10	0,42	0,13	0,41	0,11	0,09	0,24	0,16	0,08	0,12

Характеристика	ДКП/ШК	ДКЗ/ШК	ВКЛпр/ШК	ДКЛпр/ШК	Дпаль. пр/ШК	ШКЛ-пр/ШК	ДМ1/ШК	ВМ1/ШК	ДМ2/ШК	ВМ2/ШК	ДМ3/ШК	ВМ3/ШК	ВКЛл/ШК	ДКЛл/ШК	Дпаль. л/ШК	ШКЛл/ШК	ВА/ШК
7. Зал. Бабушкина (N = 68)																	
Среднее	87,80	96,94	34,21	70,25	39,63	24,56	74,98	21,03	81,71	21,27	76,24	19,23	18,83	54,80	33,88	13,98	24,54
Минимум	84,03	93,04	31,01	65,34	36,26	21,50	67,26	19,18	75,91	18,82	71,17	17,24	17,20	50,84	31,34	12,67	22,42
Максимум	90,99	101,64	37,94	74,92	43,26	28,21	82,10	23,04	90,68	23,14	84,15	22,07	20,31	58,21	36,47	15,23	27,21
Ст. отклонение	1,53	1,97	1,48	2,34	1,53	1,22	3,23	0,86	3,67	0,99	3,34	0,94	0,63	1,67	1,15	0,53	1,09
Ст. ошибка	0,19	0,24	0,18	0,28	0,19	0,15	0,39	0,10	0,45	0,12	0,41	0,11	0,08	0,20	0,14	0,06	0,13
8. Горло зал. Шелихова (N = 120)																	
Среднее	88,50		33,04						80,28	21,10							24,78
Минимум	84,19		28,97						69,41	18,32							22,41
Максимум	94,61		37,61						91,21	22,99							28,50
Ст. отклонение	1,94		1,61						4,24	0,87							1,11
Ст. ошибка	0,17		0,14						0,39	0,08							0,10

отмечена у индексов ДКП/ШК и ДКЗ/ШК (коэффициент вариации в среднем 2,04 и 2,20%), наибольшая – у ШКЛпр/ШК и ВМ3/ШК (4,89 и 4,78 %, соответственно).

Наглядное представление о корреляции морфометрических индексов с долготой исследования дают графики на рис. 3. Из 17 морфометрических индексов статистически значимо ($p=0,0001-0,0412$) изменялись 8 из них: ДКП/ШК, ДКЗ/ШК, ВКЛпр/ШК, ДКЛпр/ШК, Дпаль. пр/ШК, ШКЛпр/ШК, ДМ1/ШК.

С включением данных из горла зал. Шелихова в корреляционный анализ к ранее найденным зависимостям (ДКП/ШК и ВКЛпр/ШК от долготы), которые остались статистически значимыми, присоединился индекс ДМ2/ШК (рис. 4).

Корреляционный анализ позволил оценить тесноту связи между географическим положением выборки и лишь одним отдельным морфометрическим индексом, без учёта их групповых взаимосвязей. Поэтому для определения степени отличий по всему комплексу

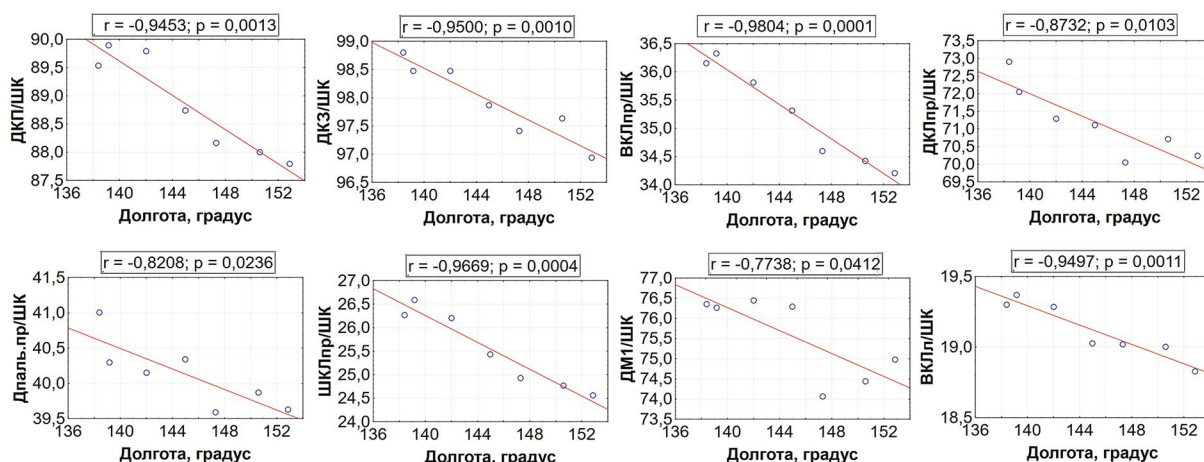


Рис. 3. Взаимосвязь морфометрических индексов от географической долготы по данным, собранным в 2020 г.

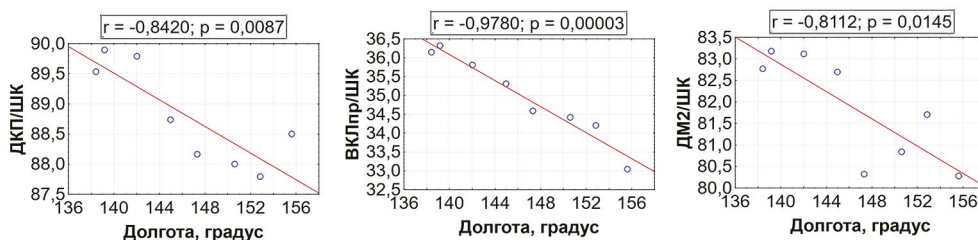


Рис. 4. Взаимосвязь морфометрических индексов от географической долготы по данным 2009 и 2020 гг.

су признаков мы использовали дискриминантный анализ. Полученные данные позволяют использовать параметрические методы при статистической обработке материала (табл. 2).

Информативными оказались пять индексов из семнадцати.

Как следует из матрицы дискриминантного анализа (табл. 3), нулевая гипотеза о совпадении центроидов выборок подтверждена для участков: восточнее п. Аян – район мыса Плоский, западнее п-ва Лисянского – восточнее п-ва Лисянского, Тауйская губа – зал. Бабушкина. Для остальных выборок нулевая гипотеза была отвергнута.

На основании разведочного анализа выборки для районов, которые статистически значимо не различались между собой, были объединены в одну группу, и анализ был проведён заново. В новой дискриминантной модели информативными оказались 8 из 17 морфометрических индексов. Гипотеза о совпадении центроидов данных выборок не подтвердилась при высоком уровне значимости (табл. 4).

График положения объектов в плоскости двух первых канонических переменных представлен на рис. 5. Первая каноническая переменная ответственна за 79,9% объяснённой дисперсии комплекса при-

Таблица 2. Уровень значимости по тесту Шапиро-Уилка ($p > 0,05$ – нулевая гипотеза не отвергается)

Участок	ДКП/ШК	ДКЗ/ШК	ВКЛпр/ШК	ДКЛпр/ШК	Дпаль. пр/ШК	ШКЛ-пр/ШК	ДМ1/ШК	ВМ1/ШК	ДМ2/ШК	ВМ2/ШК	ДМ3/ШК	ВМ3/ШК	ВКЛл/ШК	ДКЛл/ШК	Дпаль. л/ШК	ШКЛл/ШК	ВА/ШК
1	0,171	0,461	0,338	0,138	0,517	0,313	0,518	0,662	0,804	0,466	0,369	0,042	0,572	0,248	0,654	0,703	0,936
2	0,672	0,157	0,232	0,411	0,968	0,198	0,373	0,326	0,513	0,262	0,863	0,598	0,434	0,151	0,032	0,824	0,241
3	0,543	0,022	0,032	0,9	0,535	0,775	0,207	0,291	0,493	0,165	0,041	0,044	0,136	0,684	0,894	0,481	0,735
4	0,456	0,272	0,93	0,391	0,4	0,661	0,704	0,604	0,451	0,864	0,558	0,541	0,738	0,338	0,931	0,702	0,826
5	0,7	0,842	0,506	0,946	0,591	0,023	0,344	0,146	0,639	0,017	0,965	0,061	0,167	0,573	0,924	0,925	0,573
6	0,149	0,154	0,991	0,366	0,276	0,172	0,471	0,191	0,823	0,852	0,604	0,201	0,562	0,107	0,441	0,372	0,933
7	0,557	0,408	0,712	0,226	0,787	0,054	0,16	0,248	0,087	0,359	0,024	0,068	0,951	0,388	0,588	0,959	0,154

Таблица 3. Квадрат расстояния Махаланобиса D_M^2 между центроидами выборок крабов (левый нижний угол) и F-уровни удалённости их центроидов друг от друга (верхний правый угол)

Участки	Б. Шантар	Восточнее п. Аян	Район мыса Плоский	Западнее п-ва Лисянского	Восточнее п-ва Лисянского	Тауйская губа	Зал. Бабушкина
Б. Шантар	–	8,80**	11,10**	5,83**	17,44**	21,88**	25,16**
Восточнее п. Аян	0,99	–	0,99	9,18**	19,65**	29,88**	29,06**
Район мыса Плоский	1,09	0,12	–	7,24**	15,96**	27,08**	25,91**
Западнее п-ва Лисянского	0,76	1,41	1,01	–	1,91	5,18**	5,48**
Восточнее п-ва Лисянского	1,91	2,62	1,90	0,29	–	2,64*	2,38*
Тауйская губа	2,48	4,10	3,32	0,80	0,36	–	1,65
Зал. Бабушкина	2,98	4,13	3,31	0,87	0,33	0,24	–

Примечание: * – различия значимы при $p < 0,05$; ** – различия значимы при $p < 0,001$.

Таблица 4. Квадрат расстояния Махаланобиса D_M^2 между центроидами выборок крабов (левый нижний угол) и F-уровни удалённости их центроидов друг от друга (верхний правый угол)

Участки	Б. Шантар	Восточнее п. Аян – район мыса Плоский	Западнее п-ва Лисянского – восточнее п-ва Лисянского	Тауйская губа – зал. Бабушкина
Б. Шантар	–	9,70**	10,83**	22,92**
Восточнее п. Аян – район мыса Плоский	1,16	–	16,66**	35,17**
Западнее п-ва Лисянского – восточнее п-ва Лисянского	1,41	1,80	–	4,66**
Тауйская губа – зал. Бабушкина	2,95	3,72	0,55	–

Примечание: обозначения как в табл. 3.

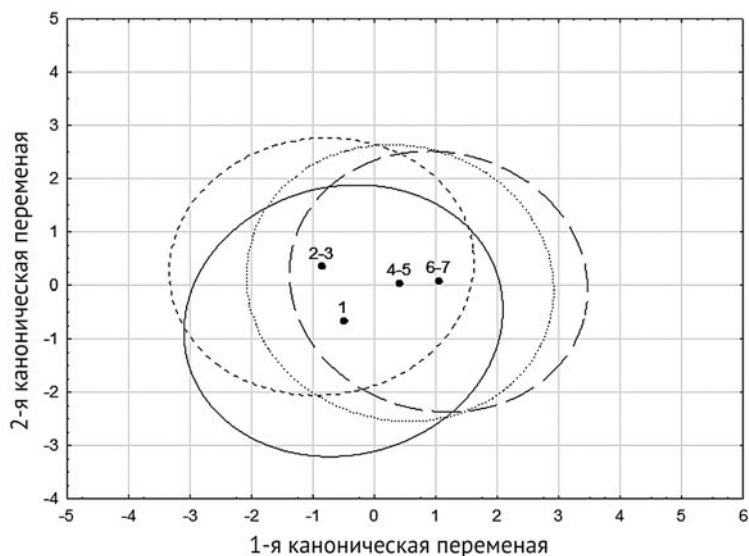


Рис. 5. Распределение выборок синего краба в плоскости первых канонических переменных. Центриды выборок из участков: 1 – о. Б. Шантар, 2–3 – объединённая выборка, включающая участок восточнее п. Аян и район мыса Плоский, 4–5 – объединённая выборка, включающая участок западнее п-ва Лисянского и восточнее п-ва Лисянского, 6–7 – объединённая выборка, включающая Тауйскую губу и зал. Бабушкина

знаков, вторая каноническая переменная – за 17,4%. Третья каноническая переменная оказалась неинформативной и далее не рассматривалась. С первой канонической переменной наиболее сильно связаны признаки ШКЛпр/ШК и ДКП/ШК, со второй канонической переменной – ДКЛпр/ШК и Дпаль.пр/ШК.

Взаиморасположение выборок хорошо видно на рис. 6.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Таким образом, результаты проведённого исследования указывают на существование морфометриче-

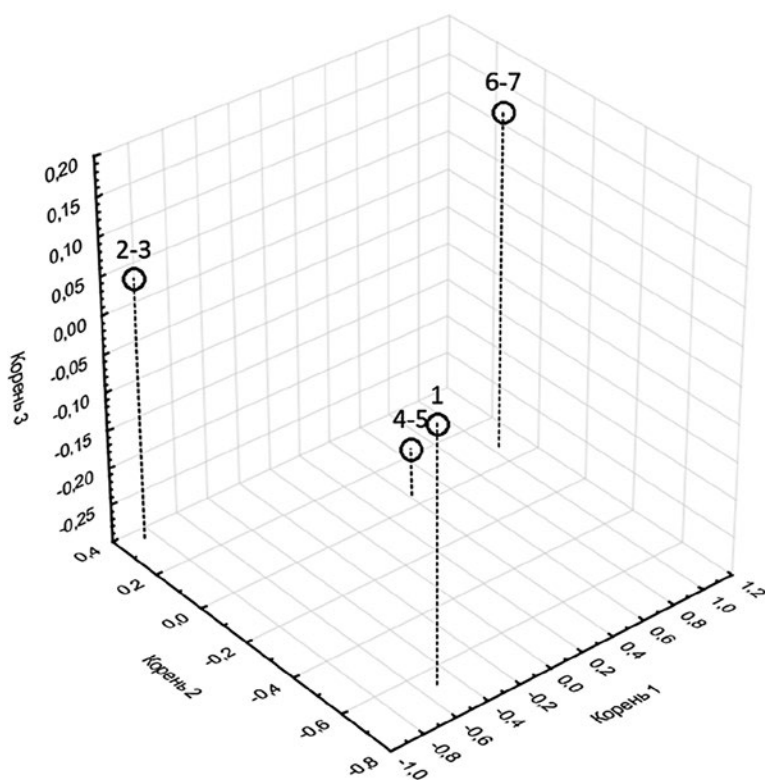


Рис. 6. 3D-график морфологической дифференциации синего краба в северной части Охотского моря. Обозначения как на рис. 5

ских различий у синего краба северной части Охотского моря. Нами выявлено, что статистически значимо изменяются пропорции тела краба: по направлению с запада (суровый гидрологический режим) на восток (сравнительно тёплый район) крабы становятся более широкими, правая клешня по всем измеряемым параметрам и высота левой клешни уменьшаются в размерах относительно ширины карапакса, происходило укорочение длины меруса первой ходильной ноги. С включением материалов из зал. Шелихова в корреляционный анализ, кроме ранее найденных зависимостей, было отмечено также укорочение длины меруса второй переоподы по направлению с запада на восток.

При изучении камчатского краба [Клитин, 1998] и краба-стригуна опилю [Карасёв, 2014] было отмечено укорочение ходильных конечностей и удлинение карапакса для тёплых районов по сравнению с холодными. Аналогичным образом отмечалось изменение длины ходильных ног у синего краба, что же касается карапакса, то наблюдалась обратная картина: по направлению от холодных к тёплым районам происходило не удлинение, а расширение карапакса.

Полученные с помощью дискриминантного анализа расчёты подтверждают данные корреляционного анализа о непрерывной (а иногда и плавной) изменчивости признаков, что проявляется в нечёткой границе при классификации выборок. Так как на рис. 5 видно перекрывание облаков выборок из четырёх районов, что свидетельствует об определённых проблемах их разделения, это заставляет обратиться к строгой количественной оценке результатов дискриминации – таковым является оценка расстояний Махаланобиса. Большой интерес представляют расстояния Махаланобиса для всех парных сравнений, они позволяют судить о степени различий сравниваемых групп. Все расстояния между центроидами выборок из четырёх районов в пространстве дискриминантных функций статистически значимы (см. табл. 4). Так в нашем случае обособленность выборки из района о. Б. Шантар повышается по направлению на восток и становится максимальной ($D_M^2 = 2,95$) при сравнении с объединённой выборкой из Тауйской губы и зал. Бабушкина. Максимальным различием характеризуются участки географически наиболее удалённые друг от друга.

Различие факторов внешней среды несомненно проявилось при изучении морфометрических характеристик камчатского краба в северо-западной части Охотского моря, который населяет те же районы и находится в практически идентичных условиях с синим крабом. И.С. Черниенко [2013] методами многомерно-

го анализа было выделено в пределах от Аяно-Шантарского района вплоть до Тауйской губы наличие трёх кластеров, различающихся по морфометрическому составу.

Отсутствие изолирующих барьеров и установленный набор различающихся морфологических признаков говорит о невысокой миграционной активности синего краба в пределах исследованных районов.

Помимо морфологических различий, группировки синего краба северной части Охотского моря отличаются и другими характеристиками. Ранее уже отмечалась клинальная изменчивость ширины карапакса и относительной популяционной плодовитости [Мельник и др., 2014; Клинушкин, 2019].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Корреляционный анализ показал, что восемь из семнадцати морфометрических индексов синего краба изменяются и обнаруживают клинальную изменчивость по направлению с запада на восток. Присоединение материалов из зал. Шелихова в корреляционный анализ подтвердили ранее найденные зависимости: ДКП и ВКЛпр от географической долготы, а также повысили тесноту связи и сделали статистически значимой новую: ДМ2 – долгота.

При выполнении дискриминантного анализа (выборку из зал. Шелихова включить не удалось из-за неполноты промеров) наиболее существенные морфометрические различия отмечены между наиболее удалёнными участками: западными и восточным ($D_M^2 = 2,95 - 3,72$), что, по-видимому, является следствием контрастных абиотических факторов.

При отсутствии пространственной изоляции поселений синего краба в северной части Охотского моря установленный набор различающихся морфологических признаков говорит как о различных условиях жизни крабов, так и о невысокой миграционной активности синего краба в пределах исследованных районов.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают искреннюю благодарность сотрудникам ТИНРО и ХабаровскНИРО, участвующим в морских экспедиционных работах и помогающим в сборе материала, Шаповалову А.Н., Бутенко В.Р., Шаленко В.Н.

ЛИТЕРАТУРА

Андреев В.Л., Решетников Ю.С. 1977. Исследование внутривидовой морфологической изменчивости сига *Coregonus lavaretus* (L.) методами многомерного статистического анализа // Вопросы ихтиологии. Т. 17. Вып. 5. С. 862–878.

- Бандурин К.В., Карпинский М.Г. 2015. Креветки северной части Охотского моря. М.: ВНИРО. 214 с.
- Букин С.Д., Мясоедов В.И., Низяев С.А., Слизкин А.Г., Терехов С.П., Галимзянов К.Г., Кочнев Ю.Р. 1988. Динамика пространственного распределения и некоторые особенности биологии синего краба северной части Тихого океана // Морские промысловые беспозвоночные. М.: ВНИРО. С. 4–16.
- Букин С.Д. 2003. Северная креветка *Pandalus borealis eous* сахалинских вод. М.: Изд-во Нацрыбресурсы. 137 с.
- Живоглядова Л.А. 2001. Морфометрическое созревание самок и самцов равношипного краба (*Lithodes aequispina* Benedict) у северных Курильских островов // Известия ТИНРО. С. 659–662.
- Карасёв А.Н. 2014. Краб-стригун опилио северной части Охотского моря (особенности биологии, запасы, промысел). Магадан: МагаданНИРО, 2014. 194 с.
- Клинушкин С.В. 2019. Плодовитость синего краба в северной части Охотского моря // Труды ВНИРО. Т. 175. С. 36–47.
- Клитин А.К. 1998. Результаты многомерного анализа морфометрических измерений камчатского краба из Сахалино-Курильского региона. // Известия ТИНРО. Т. 124. Ч. 2. С. 785–797.
- Мельник А.М., Абаев А.Д., Васильев А.Г., Клинушкин С.В., Метелёв Е.А. 2014. Крабы и крабоиды северной части Охотского моря. Магадан: МагаданНИРО. 198 с.
- Метелёв Е.А. 2021. Равношипный краб (*Lithodes aequispinus*) северной части Охотского моря. Дисс. ... канд. биол. наук. М.: ВНИРО. 209 с.
- Низяев С.А., Букин С.Д., Клитин А.К., Первеева Е.Р., Абрамова Е.В., Крутченко А.А. 2006. Пособие по изучению промысловых ракообразных дальневосточных морей России. Южно-Сахалинск: СахНИРО. 112 с.
- Правдин И.Ф. 1966. Руководство по изучению рыб. М.: Пищевая промышленность. 375 с.
- Тюрин В.В., Щеглов С.Н. 2015. Дискриминантный анализ в биологии. Краснодар: Кубанский гос. ун-т, 126 с.
- Черниенко И.С. 2013. К уточнению популяционного статуса камчатского краба *Paralithodes camtschaticus* (Tilesius) в северо-западной части Охотского моря // Известия ТИНРО. Т. 174. С. 158–169.
- Чернявский В.И. 1992. Особенности формирования термики деятельного слоя Охотского моря // Океанологические основы биологической продуктивности северо-западной части Тихого океана. Владивосток: ТИНРО. С. 91–104.

Поступила в редакцию 02.08.2021 г.

Принята после рецензии 17.09.2021 г.

Intraspecific morphological variability of blue king crab in the northern part Sea of Okhotsk

S.V. Klinushkin¹,
A.V. Kharitonov²,
D.S. Didenko²

¹ Magadan Branch of VNIRO
(«MagadanNIRO»), Magadan, Russia

² Khabarovsk Branch of VNIRO
(«KhabarovskNIRO») Khabarovsk, Russia

The results in the water area from island Big Shantar to the Babushkina bay points to the existence of morphometric differences in the blue crab from the northern part of the Sea of Okhotsk. The proportions of the crab's body change statistically significantly: in the direction from the west (severe hydrological regime) to the east (relatively warm area) crabs become more elongated in width, the right claw in all measured parameters and the height of the left claw decrease relative to the width of the carapace, and there was also a decrease in the length of the merus of the first walking leg. With the inclusion of materials from the Shelikhov Bay, in the correlation analysis, in addition to the previously found dependences (associated with the fishing length of the carapace and the height of the right claw), the clinal variability of the length of the second pereopod was also noted: its shortening occurs as in the first pereopod in the direction from west to east. When performing discriminant analysis (the sample from Shelikhov Bay was not included), the most significant morphometric differences were noted between the most remote areas: western and eastern ($D^2M = 2,95 - 3,72$), which, apparently, is a consequence of contrasting environmental conditions.

Keywords: blue crab, *Paralithodes platypus*, Sea of Okhotsk, morphology, variability, correlation coefficient, discriminant analysis.

REFERENCES

- Andreev V.L., Reshetnikov Yu.S. 1977. Issledovanie vnutrividovoj morfologicheskoy izmenchivosti siga *Coregonus lavaretus* (L.) metodami mnogomernogo statisticheskogo analiza [Investigation of intraspecific morphological variability of the whitefish *Coregonus lavaretus* (L.) by methods of multivariate statistical analysis] // Voprosy ikhtiologii. T. 17. Vyp. 5. S. 862–878.
- Bandurin K.V., Karpinskij M.G. 2015. Krevetki severnoj chasti Okhotskogo moray [Shrimps and prawns of the northern part Sea of Okhotsk]. M.: VNIRO. 214 s.
- Bukin S.D., Myasoedov V.I., Nizyaev S.A., Slizkin A.G., Terekhov S.P., Galimzyanov K.G., Kochnev Yu.R. 1988. Dinamika prostranstvennogo raspredeleniya i nekotorye osobennosti biologii sinego kraba severnoj chasti Tikhogo okeana [The dynamics of spatial distribution and some features of the biology of the blue king crab of the North Pacific Ocean] // Morskije promyslovyje bespozvonochnye. M.: VNIRO. S. 4–16.
- Bukin S.D. 2003. Severnaya krevetka *Pandalus borealis eous* sakhalinskikh vod [Northern shrimp *Pandalus borealis eous* from Sakhalin waters]. M.: Natsrybresursy. 137 s.
- Zhivoglyadova L.A. 2001. Morfometricheskoye sozrevaniye samok i samtsov ravnoshypogo kraba (*Lithodes aequispina* Benedict) u severnykh Kuril'skikh ostrovov. [Morphometric maturation of females and males of a brown king crab (*Lithodes aequispina* Benedict) near the northern Kuril Islands] // Izvestiya TINRO. S.659–662
- Karasev A.N. 2014. Krab-strigun opilio severnoj chasti Okhotskogo morya (osobennosti biologii, zapasy, promysel) [*Chionoecetes opilio* of the northern part of the Sea of Okhotsk (biology peculiarities, stock, fishery)]. Magadan: MagadanNIRO, 2014. 194 s.
- Klinushkin C.V. 2019. Plodovitost' sinego kraba v severnoj chasti Okhotskogo moray [Fecundity of female blue king crab in the northern sea of Okhotsk] // Trudy VNIRO. T. 175. S. 36–47.
- Klitin A.K. 1998. Rezul'taty mnogomernogo analiza morfometricheskikh izmerenij kamchatskogo kraba iz Sakhalino-Kuril'skogo regiona [Results of multivariate analysis of morphometric measurements of Kamchatka crab from the Sakhalin-Kuril region] // Izvestiya TINRO. T. 124. CH. 2. S. 785–797.
- Mel'nik A.M., Abaev A.D., Vasil'ev A.G., Klinushkin S.V., Metelev E.A. 2014. Kraby i kraboidy severnoj chasti Okhotskogo moray [Crabs and king crabs of the northern part of the Okhotsk Sea]. Magadan: MagadanNIRO. 198 s.
- Metelev E.A. 2021. Ravnoshypyj krab (*Lithodes aequispinus*) severnoj chasti Okhotskogo morya [Brown king crab (*Lithodes aequispinus*) of the northern part of the Sea of Okhotsk]. Diss. ... kand. biol. nauk. M.: VNIRO. 209 p.
- Nizyaev S.A., Bukin S.D., Klitin A.K., Perveeva E.R., Abramova E.V., Krutchenko A.A., 2006. Posobiye po izucheniyu promyslovykh rakoobraznykh dal'nevostochnykh morei Rossii [Hand-book for the Study of Commercial Crustaceans in the Far Eastern Seas of Russia], Yuzhno-Sakhalinsk: SakhNIRO. 112 s.

- Pravdin I.F.* 1966. Rukovodstvo po izucheniyu ryb [Guide to the Study of Fish]. M.: Pishchevaya promyshlennost'. 375 s.
- Tyurin V.V., Shcheglov S.N.* 2015. Diskriminantnyj analiz v biologii [Discriminant analysis in biology]. Krasnodar: Kubanskiy gos. un-t, 126 s.
- Chernienko I.S.* 2013. K utochneniyu populyatsionnogo statusa kamchatskogo kraba *Paralithodes camtschaticus* (Tilesius) v severo-zapadnoj chasti Okhotskogo moray [To clarify the population status of the Kamchatka crab *Paralithodes camtschaticus* (Tilesius) in the northwestern part of the Sea of Okhotsk] // Izvestiya TINRO. T. 174. S. 158–169.
- Chernyavskij V.I.* 1992. Osobennosti formirovaniya termiki deyatelnogo sloya Okhotskogo moray [Features of the formation of thermals in the active layer of the Sea of the Okhotsk] // Okeanologicheskie osnovy biologicheskoy produktivnosti severo-zapadnoj chasti Tikhogo okeana. Vladivostok: TINRO. S. 91–104.

TABLE CAPTIONS

Table 1. Parametric characteristics of indices (%) of morphological measurements of blue king crab of the Sea of Okhotsk (2009, 2020)

Table 2. Significance level according to the Shapiro-Wilk test

Table 3. Squared distance of Mahalanobis D_M^2 between centroids of crab samples (lower left corner) and F-levels of distance of their centroids from each other (upper right corner)

Table 4. Squared distance of Mahalanobis between centroids of crab samples (lower left corner) and F-levels of distance of their centroids from each other (upper right corner)

FIGURE CAPTIONS

Fig. 1. Scheme of morphometric measurements of blue king crab

Fig. 2. Areas of sampling for morphometric analysis of blue king crab in 2009 and 2020: 1 – water area near the Big Shantar island., 2 – water area east of Ayan, 3 – water area near Cape Ploskiy, 4 – water area west of Lisyansky peninsula, 5 – water area east of Lisyansky peninsula, 6 – Tauyskaya inlet, 7 – Babushkina bay, 8 – throat Shelikhov bay

Fig. 3. The relationship of morphometric indices from geographic longitude according to data collected in 2020

Fig. 4. The relationship of morphometric indices from geographic longitude according to the data of 2009 and 2020

Fig. 5. Distribution of blue king crab samples in the plane of the first canonical variables. Centroids of samples from plots: 1 – island B. Shantar, 2–3 – combined sample including the site east of the Ayan settlement and the Ploskiy Cape area, 4–5 – the combined sample including the site west of the Lisyansky peninsula and east of the Lisyansky peninsula, 6–7 – the combined sample including the Tauyskaya bay and the Babushkina bay

Fig. 6. 3D graph of morphological differentiation of blue king crab in the northern part of the Sea of Okhotsk. Designations as in Fig. 5

УДК 597.587.2–152.6 (261.2)

DOI: 10.36038/2307-3497-2021-185-32-44

Оценка состояния запаса и международный промысел скумбрии в Северо-Восточной Атлантике: история и современность

Ю.Н. Калашников

Полярный филиал ФГБНУ «ВНИРО»
(«ПИНРО» им. Н.М. Книповича), г. Мурманск

E-mail: kalash@pinro.ru

В историческом аспекте рассмотрены оценки состояния запаса скумбрии Северо-Восточной Атлантики, выполненные в ИКЕС в 1980–2020 гг. Проанализирована динамика входных данных для настройки моделей и биологических ориентиров, использованных в оценках в различные годы. Кратко представлены некоторые аспекты международного промысла скумбрии и изучены тенденции в управлении эксплуатацией ее запаса. На основе многолетних данных оценены последствия рекомендаций ИКЕС для исторического развития международного промысла атлантической скумбрии. Показано, что отмеченное во II десятилетии XXI века значительное изменение трендов в динамике нерестового запаса и промысловой смертности скумбрии отражает изменения в настройках используемых моделей и свидетельствует о нестабильности оценок запаса скумбрии. Отмечено, что только соблюдение установленных правил эксплуатации запаса и целевых биологических ориентиров позволит не допустить снижение нерестового запаса скумбрии до уровня ниже безопасных биологических границ и минимизировать риск его коллапса. Показана необходимость строгого регулирования промысла в рамках ИКЕС и НЕАФК с применением принципов «предосторожного» подхода и данных научных исследований.

Ключевые слова: Северо-Восточная Атлантика, скумбрия *Scomber scombrus*, промысел, нерестовый запас, промысловая смертность, модель эксплуатации, биологические ориентиры.

ВВЕДЕНИЕ

Атлантическая скумбрия (*Scomber scombrus* L., 1758) является стайной теплолюбивой пелагической рыбой и широко распространена в водах Северо-Восточной Атлантики (СВА) [Андрияшев, 1954; Никольский, 1971].

Различные стороны биологии скумбрии, протяженность и направленность ее сезонных миграций в зависимости от океанологических условий, особенности сезонного распределения, динамика промысла и состояние запаса широко представлены в научной литературе [Беликов и др., 1991; Далимаев и др., 2011; Клочков, Чинарина, 2005; Сентябов, Бочков, 2001; Скумбрия атлантическая. Путинный прогноз 2005; Тамбс-Люхе, 1956; Шмидт, 1947; Belikov et al., 1998; Меек, 1916].

Оценки состояния запаса скумбрии в СВА и рекомендации по его эксплуатации подготавливаются в международном совете по исследованию моря (ИКЕС) на основе научных исследований и промысловой статистики.

С 2001 г. промысел скумбрии регулируется на всем ее ареале [Клочков, Шамрай, 2001]. Акватория про-

мысла весьма значительна (рис. 1), что объясняется привлекательностью скумбрии для рынка и ее широким распределением в различное время года. Облов рыбы ведётся практически круглогодично как на шельфе в экономических зонах прибрежных государств, так и над океаническими глубинами в международных водах [Калашников, 2017; Шамрай и др., 2010].

Целью настоящей работы являлась оценка влияния рекомендаций ИКЕС на развитие международного промысла скумбрии в СВА. Также проведён краткий ретроспективный анализ методики оценки её запаса.

МАТЕРИАЛЫ

В статье использованы данные по состоянию запаса и международному промыслу скумбрии в СВА за 1980–2020 гг. из материалов Рабочей группы (РГ) ИКЕС по широко распределённым запасам (WGWIDE), рекомендации по возможному промысловому изъятию скумбрии, представляемые Консультативным комитетом ИКЕС (АСОМ). Изучены и проанализированы данные статистики международного промысла [Аноп., 2020 b] и материалы сессий Комиссии по рыболовству в Северо-Восточной Атлантике (НЕАФК) (офици-

альный сайт комиссии www.neafc.org). Характеристика принятых в ИКЕС целевых биологических ориентиров (reference points) представлена в научной литературе [Состояние сырьевых ..., 2020; Анон., 2020 б].

РЕЗУЛЬТАТЫ

До 1991 г. в ИКЕС была РГ по скумбрии (Mackerel Working Group). В 1992 г. создана РГ ИКЕС по оценке запасов скумбрии, ставриды, сардины и анчоусов

(WGMHSA) (с 2008 г. – WGWIDE). В её задачи входит оценка запаса и выработка рекомендаций по мерам регулирования промысла скумбрии.

В 1997 г. на 16-й сессии НЕАФК было принято решение о необходимости введения регулирования промысла скумбрии на всем её ареале. Также был создан «клуб» государств, прибрежных по отношению к запасу скумбрии, в который вошли Норвегия, Европейский Союз (ЕС) и Фарерские о-ва.

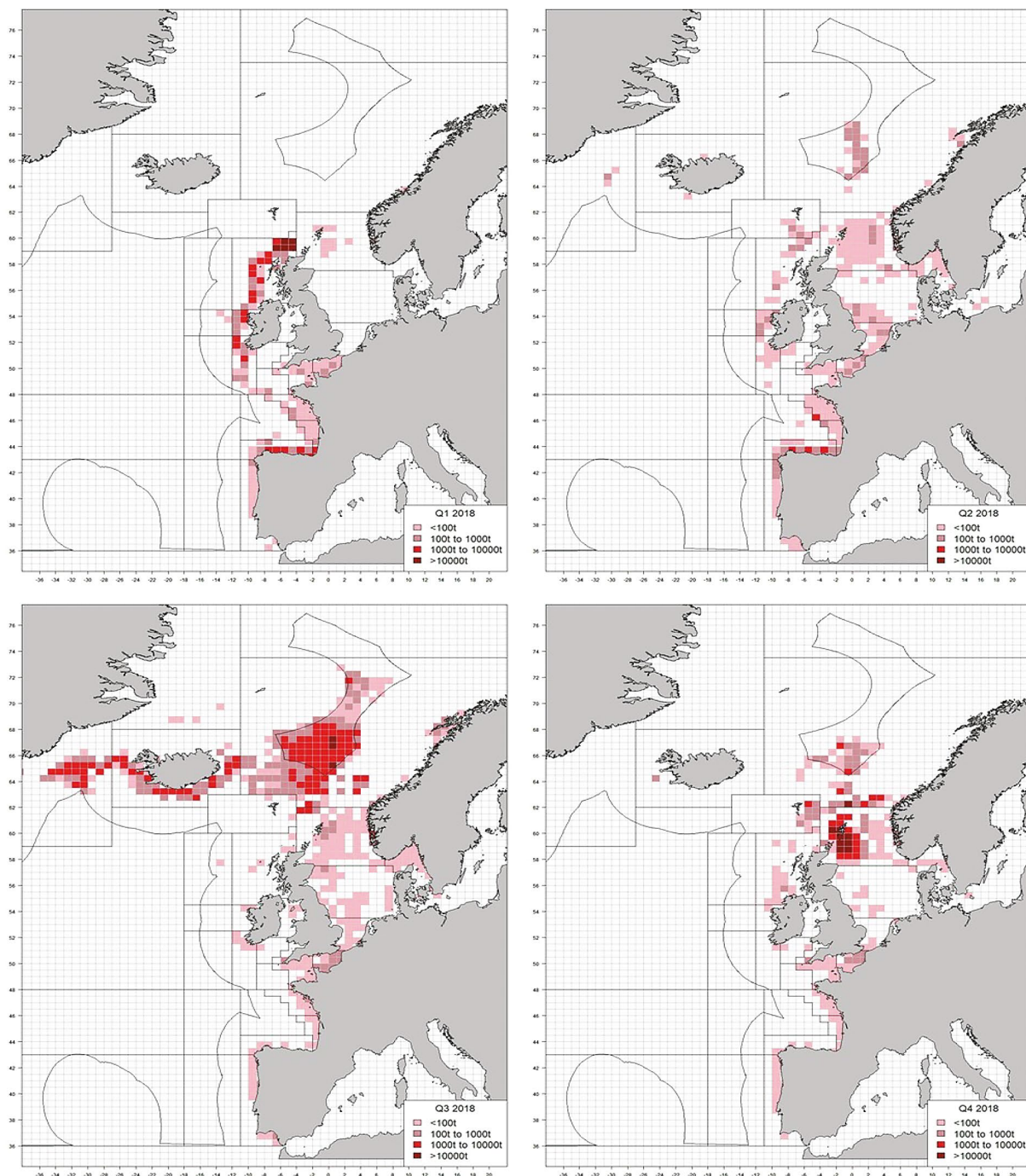


Рис. 1. Районы международного промысла и вылов скумбрии (т) в I–IV кварталах 2018 г. (в стандартизованных квадратах ИКЕС) [Анон., 2019 б]

На 17-й сессии НЕАФК (1998 г.) была выработана основная концепция по скумбрии, предусматривающая управление её запасом и промыслом прибрежными государствами на основе рекомендаций ИКЕС.

В 1999 г. между Норвегией, ЕС и Фарерскими о-вами было заключено Соглашение, которое предполагало, начиная с 2000 г., эксплуатацию нерестового запаса скумбрии (spawning-stock biomass, SSB) с промысловой смертностью на уровне $F=0,15-0,20$ в зависимости от прогнозируемых тенденций изменения его биомассы [Anon., 2000]. В Соглашении было отмечено, что если нерестовый запас снизится до уровня менее 2,3 млн т (уровень B_{pa}), то указанные выше уровни промысловой смертности могут быть пересмотрены на основе рекомендаций ИКЕС с целью восстановления запаса до уровня, превышающего 2,3 млн т.

На 19-й сессии НЕАФК (2000 г.) прибрежные государства представили новую схему выделения квоты на международные воды и разделения квот между странами. В результате были приняты рекомендации по мерам регулирования промысла скумбрии, и с 2001 г. промысел скумбрии регулируется на всем ее ареале. Основным принципом принятых решений было согласие всех заинтересованных стран на ведение промысла в пределах согласованного общего допустимого улова (ОДУ) для всего ареала скумбрии и национальных квот. Окончательное решение по установлению ОДУ скумбрии на основе рекоменда-

ций ИКЕС стали принимать государства, прибрежные по отношению к ее запасу. По предложению «клуба» прибрежных государств, начиная с 2001 г. на сессиях НЕАФК определялись объёмы вылова в международных водах и национальные квоты остальных стран-членов НЕАФК. Для международных вод Норвежского моря выделялось 10,17% от устанавливаемого ОДУ для северных районов, из которых доля Российской Федерации (РФ) составляла 47%.

РГ ИКЕС выполняет оценку запаса скумбрии для периода с 1972 г. и представляет рекомендации по вылову всех его компонентов с 1998 г. (рис. 2).

Страны, ведущие промысел скумбрии, в том числе РФ, предоставляют на РГ ИКЕС информацию по её вылову и пересчитанные суммарные размерные ряды с разбивкой по кварталам и подрайонам ИКЕС, а также данные о средней массе рыбы по возрастам в уловах. Для расчёта количества половозрелых рыб по возрастам используются огивы созревания, составленные на основании результатов международных икряных съёмок. При прогнозировании величины промыслового запаса используются значения средней массы по возрастам в улове и запасе и представляется распределение промысловой смертности по возрастам (модель эксплуатации). Величина промысловой смертности (F) рассчитывается для рыб в возрасте 4–8 лет.

Международная икряная съёмка скумбрии (MEGS) проводится 1 раз в 3 года на акватории от Португалии

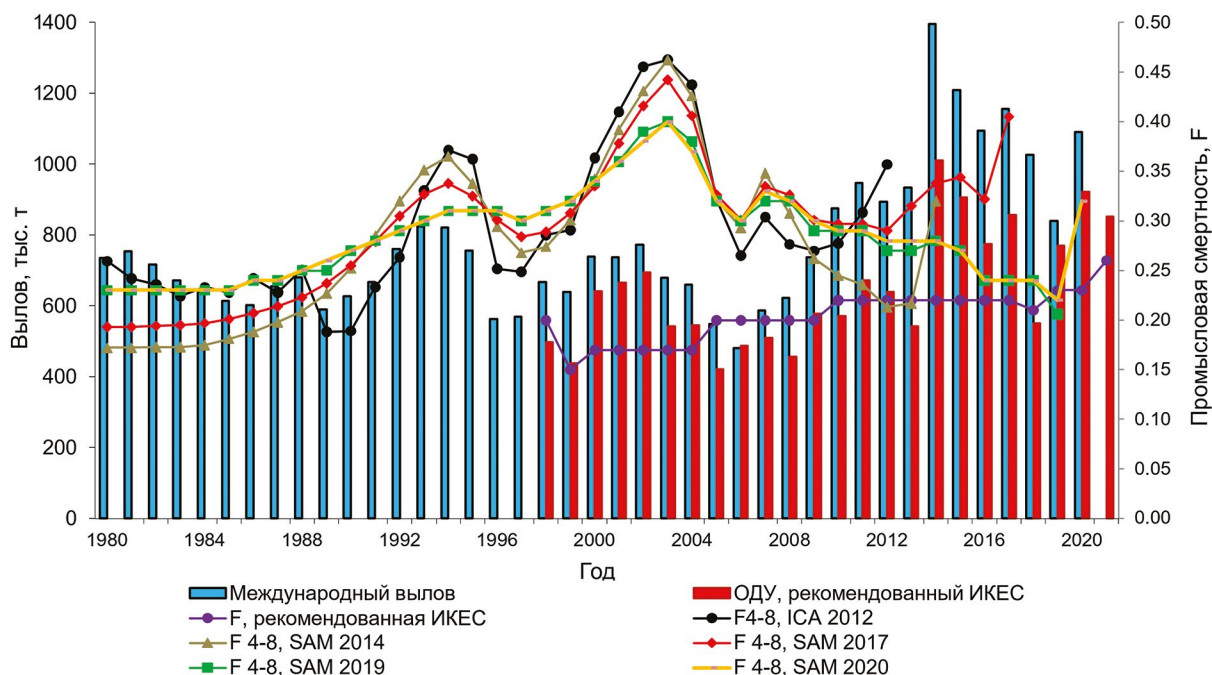


Рис. 2. Международный вылов, общий допустимый улов (ОДУ), рекомендованный ИКЕС (тыс. т) и промысловая смертность (F_{4-8}) атлантической скумбрии в 1980–2021 гг. (оценка F_{4-8} в рамках моделей ICA в 2012 г. и SAM в 2014–2020 гг.) [Anon., 2012; 2014; 2017b; 2019b; 2020b]

до Шетландских о-вов. Полученные в ней данные по общему количеству выметанной икры (Total Annual Egg Production, ТАЕР), начиная с 1992 г., используются для расчёта индекса нерестовой биомассы скумбрии. До 2013 г. в ИКЕС результаты именно этой съёмки были основой для настройки модели виртуального популяционного анализа ICA (Integrated catch at age analysis) по расчёту нерестового запаса скумбрии CBA [Анон., 2012].

В 2007 г. ИКЕС провёл анализ и тестирование входных данных и изменил ряд входящих параметров, используемых для настройки модели интегрированного анализа уловов по возрастам ICA, в частности, величины промысловой и естественной смертности до начала нереста [Анон., 2007].

Принятые в ИКЕС целевые биологические ориентиры B_{pa} , F_{lim} и F_{pa} до 2008 г. оставались неизменными (рис. 3). ОДУ, рекомендованный в 1998–2009 гг., рассчитывался ИКЕС в соответствии с промысловой смертностью, не превышающей 0,20. Однако фактический международный вылов скумбрии и промысловая смертность (F_{4-8}) в эти годы значительно превышали ОДУ и F , рекомендованную ИКЕС (см. рис. 2).

С 2008 г. в международном управлении промыслом скумбрии наметились негативные тенденции, которые впоследствии привели к отказу от достигнутых ранее соглашений и к почти неконтролируемому промыслу.

В 2008 г. прибрежные государства (Норвегия, ЕС и Фарерские о-ва) согласовали долгосрочный план управления [Анон., 2010], основные положения кото-

рого сводились к следующему: при SSB более или равным 2,20 млн т ОДУ определяется в соответствии с предполагаемой величиной вылова в рассматриваемом году и промысловой смертностью F на уровне 0,20–0,22 для соответствующих возрастных групп скумбрии; при SSB 1,67–2,20 млн т ОДУ определяется в соответствии с промысловой смертностью $F = 0,22 \cdot SSB / 2,20$ млн т. При этом изменение ОДУ на следующий год не должно быть более 20%. В случае, если SSB находится на уровне менее 1,67 млн т, то прибрежные государства должны принять решение об уменьшении ОДУ.

С 2009 г. целевые биологические ориентиры промысловой смертности F_{lim} и F_{pa} были увеличены до 0,42 и 0,23, соответственно [Анон., 2008]. При этом величина нерестового запаса в соответствии с концепцией «предосторожного» подхода (B_{pa}) не изменилась (2,3 млн т). Был введён новый, не используемый ранее, целевой биологический ориентир B_{lim} (1,67 млн т) – пороговая минимальная, биологически допустимая величина SSB, ниже которой вероятность появления неурожайных поколений увеличивается (см. рис. 3).

В октябре 2009 г. государства, прибрежные по отношению к запасу скумбрии, в силу имеющихся внутренних разногласий, не смогли достичь необходимых договорённостей, включая установление ОДУ на промысел скумбрии на 2010 г. В 2010 г. прибрежные государства приняли решение привлечь к переговорам Исландию и РФ, однако дальнейшие переговоры прошли без результатов. В 2010–2013 гг. прибрежные

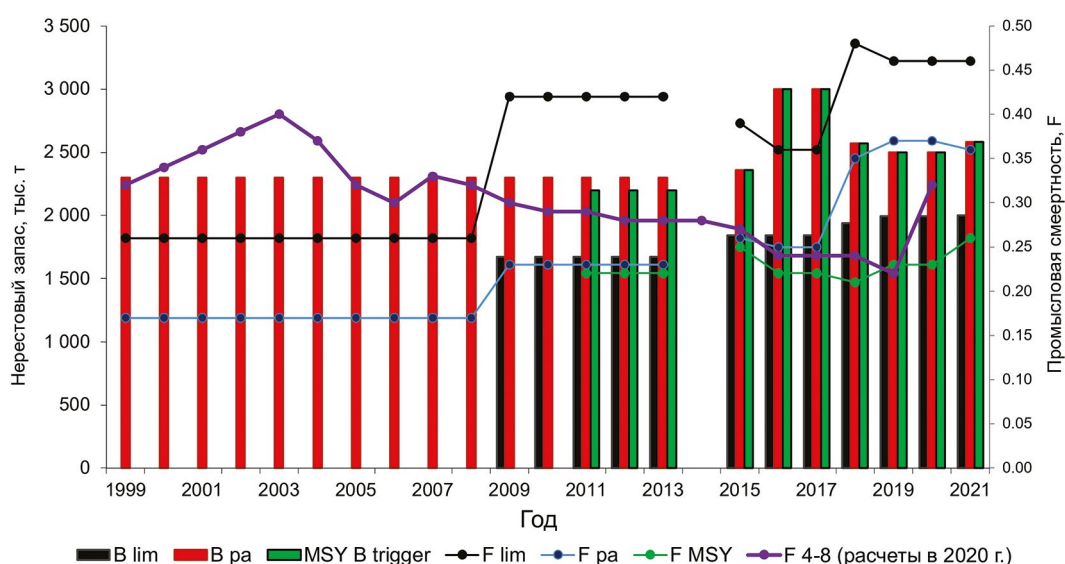


Рис. 3. Целевые биологические ориентиры (нерестовый запас и смертность), используемые в ИКЕС, и фактическая промысловая смертность скумбрии (F_{4-8}) в 1999–2021 гг. [Анон., 2000; 2007; 2012; 2013; 2014; 2015; 2017а, б; 2018; 2019а, б; 2020а, б]

государства и другие страны не смогли достичь договорённостей о величине ОДУ и распределении его на национальные квоты. В 2014–2020 гг. между Норвегией, ЕС и Фарерскими о-вами действовало соглашение по промыслу скумбрии в СВА, которое было заключено в ноябре 2014 г. В соответствии с этим соглашением другим государствам выделялось 15,6% от установленного ОДУ. Против предложенного распределения квот возражали Исландия, Гренландия и РФ, поскольку оно не учитывало их интересы. По этой причине до настоящего времени национальные квоты заявлялись в НЕАФК и фактически устанавливались в одностороннем порядке.

В 2010 г. на основе плана управления в ИКЕС была принята стратегия «предосторожного» подхода и ведения устойчивого долговременного промысла MSY approach [см. Анон., 2010], в соответствии с которой величина нерестового запаса $MSY B_{trigger}$ скумбрии при промысловой смертности $F_{MSY} = 0,22$ не должна быть ниже 2,2 млн т (см. рис. 3). Тем не менее, в последующие годы фактический международный вылов скумбрии и F_{4-8} по-прежнему значительно превышали ОДУ и F , рекомендованную ИКЕС (см. рис. 2).

Основным вопросом, обсуждаемым в ходе анализа имеющихся данных в рамках модели ICA, являлось наличие смещения в оценках SSB по результатам икряных съёмов и по данным мировых уловов. Было установлено, что данные по уловам до 2000 г. несколько занижены, а оценки нерестового запаса по результатам икряных съёмов — завышены. Оценка конкретной величины смещения имеющихся данных была достаточно сложной. В этой связи единственным подходом, способным нивелировать систематическую смещённость входных данных, являлось их совмест-

ное использование в рамках когортных моделей, причём данные икряных съёмов должны были трактоваться в качестве относительного индекса биомассы нерестового запаса.

По данным РГ ИКЕС, представленным в августе 2013 г. с использованием модели ICA, в 2012 г. нерестовый запас скумбрии несколько снизился и составлял около 2,5 млн т, что было ниже уровней 2010–2011 гг. (рис. 4) и выше уровня SSB_{pa} (2,3 млн т) [Анон., 2013]. Другие расчёты, выполненные с использованием индекса нерестовой биомассы по данным 2013 г. и коэффициента $\lambda SR = 0,17$ (отражает более реальные оценки пополнения), показали непрерывное увеличение значений SSB с 2004 по 2011 гг. до 3,5 млн т с последующим снижением в 2012 г. до 3,2 млн т. Второй подход, позволявший избежать возможной переоценки в большую сторону пополнения в 2012 г., заключался в увеличении веса возрастов 0 (сеголетки) и 1 год в уловах. Тенденции в динамике нерестового запаса и промысловой смертности в указанных расчётах оказались аналогичными (см. рис. 4). Два расчёта с изменёнными настройками модели ICA показали сравнимые результаты, указав на более высокие рассчитанные значения SSB в 2011–2012 гг.

В августе 2013 г. на WGWIDE было принято решение отказаться от оценки состояния запаса скумбрии с применением математической модели ICA [см. Анон., 2013]. РГ не смогла оценить запас рыбы традиционным методом из-за проблем с входными данными и обосновала необходимость отказа от модели ICA, поскольку для запаса скумбрии было необходимо использовать подход с ограниченными входными данными. В расчётах ОДУ на 2014 г. было предложено использовать 20%-ный «предосторожный» буфер,

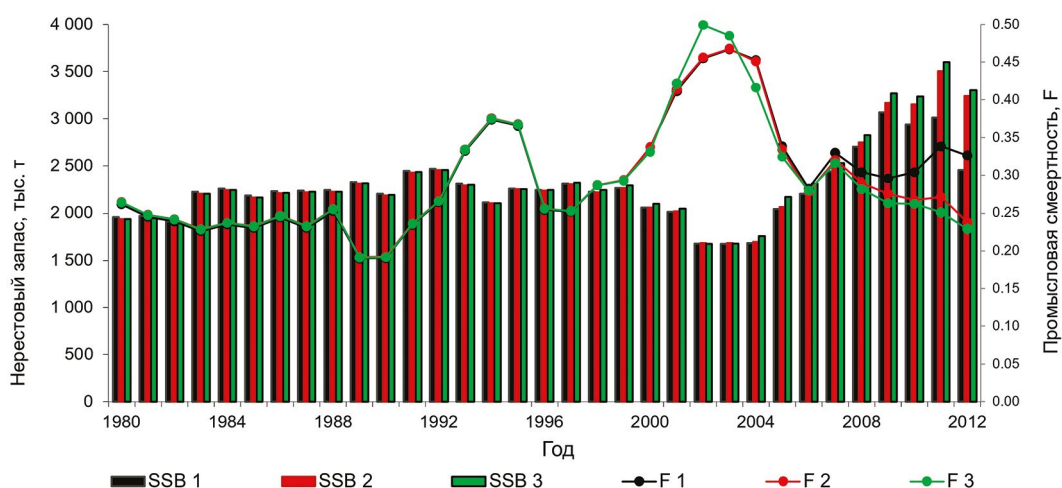


Рис. 4. Нерестовый запас и промысловая смертность (F_{4-8}) скумбрии в 1980–2012 гг., рассчитанные в ИКЕС в 2013 г. по трём вариантам входных данных (SSB_1 — модель ICA; SSB_2 , — модель ICA с $\lambda SR = 0,17$; SSB_3 — модель ICA с изменением веса возрастов 0 и 1 год; F_1, F_2, F_3 — соответствующая промысловая смертность [Анон., 2013])

снижающий вероятность уменьшения запаса ниже безопасных биологических границ. Этот метод применяется в тех случаях, когда величина запаса и влияние на него промысла были достоверно неизвестны. Таким образом, неопределённость в данных о состоянии и эксплуатации запаса скумбрии рассматривались как достаточные основания для применения «предосторожного» подхода на основе базовых принципов.

В 2014 г. ИКЕС провёл анализ и тестирование входных данных и разработал новую методику оценки запаса и прогнозирования ОДУ скумбрии на основе модели SAM (1.0 age-based analytical, state-spase assessment model) [Anon., 2014]. Модель учитывала высокую степень неопределённости информации по уловам до 2000 г. и была настроена на данные уловов по возрастам, а также на индексы трёх съёмок: индексы нерестовой биомассы по данным икраных съёмок в 1992–2013 гг. (MEGS); индексы пополнения по донным траловым съёмкам в 1998–2013 гг. (IBTS); оценка численности возрастов 6–11 лет по данным летней тралово-акустической съёмки (ТАС) в 2007 г. и 2010–2014 гг. (IESSNS). Также в настройке модели использовались данные по возврату стальных меток за 1980–2005 гг. РГ ИКЕС по проведению икраных съёмок (WGMEGS) были пересмотрены индексы нерестовой биомассы по результатам икраной съёмки за 1992, 1995 и 2013 гг. в соответствии с новым уравнением оценки продуктивности [см. Anon., 2014].

В целом, модель SAM показывала удовлетворительную настройку на данные вылова. Несмотря на существенные изменения в методике оценки запаса, границы промысловой смертности, использовавшиеся в плане управления промыслом, по-прежнему удов-

летворяли условиям «предосторожного» подхода. ИКЕС продолжил разработку рекомендаций в соответствии с текущим планом управления. Однако эти параметры противоречили максимальному режиму эксплуатации запаса, поэтому на WGWIDE было запланировано в будущем пересмотреть план управления промыслом с целью определения соответствующих комбинаций биологических ориентиров для минимизации вероятности коллапса запаса скумбрии.

Оценка 2014 г. дала существенный пересмотр значений SSB в 1980–1993 гг., 2002–2005 гг. и с 2008 г. в сторону увеличения, а промысловой смертности – в сторону уменьшения в 2009–2013 гг. (рис. 5, см. рис. 2). В соответствии со стратегией устойчивого промысла и «предосторожного» подхода также были пересмотрены целевые биологические ориентиры: увеличены значения B_{lim} , B_{pa} , MSY , $B_{trigger}$, F_{MSY} , F_{pa} и снижена величина F_{lim} (см. рис. 3). Отчасти это было обусловлено тем, что в 2009–2014 гг. ОДУ, оценённый в соответствии с разработанным в 2008 г. планом управления промыслом и запасом скумбрии, был превышен в 1,2–1,7 раза (см. рис. 2).

Уже в сентябре 2015 г. на WGWIDE было принято решение снова изменить целевые биологические ориентиры: в рамках оценки запаса скумбрии были увеличены значения B_{lim} , B_{pa} , MSY , $B_{trigger}$ и снижены величины F_{pa} и F_{lim} (см. рис. 2). В соответствии с концепцией максимального устойчивого вылова, F_{MSY} снизилась с 0,25 до 0,22 [Anon., 2015].

В январе 2017 г. ИКЕС провёл дополнительный анализ исходных данных (WKWIDE benchmark) и внёс существенные изменения по сравнению с предыдущими расчётами [Anon., 2017a]. В частности, были значительно изменены исходные данные

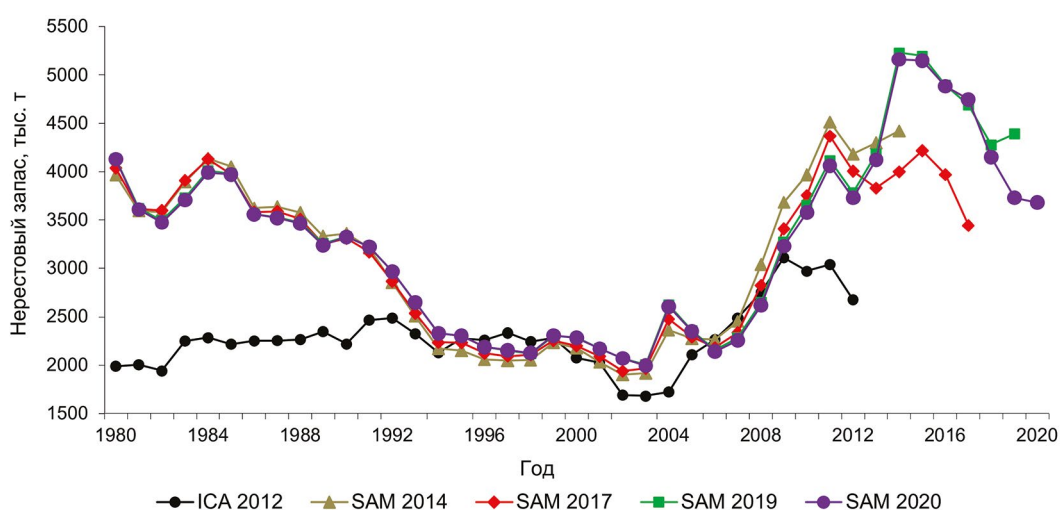


Рис. 5. Нерестовый запас скумбрии СВА в 1980–2020 гг. (Результаты оценок ИКЕС в 2012–2020 гг. в рамках моделей ICA (до 2013 г.) и SAM (с 2014 г.)) [Anon., 2012; 2014; 2017b; 2019b; 2020b]

при расчёте индекса летней ТАС (IESSNS). В расчётах по оценке запаса на 2018 г., как и ранее, использовались индексы представленных выше трёх съёмок: индексы нерестовой биомассы по данным икраных съёмок в 1992–2016 гг. (MEGS); индексы пополнения по данным донных траловых съёмок в 1998–2015 гг. (IBTS); оценка численности поколений в возрастах 3–11 лет по данным летней ТАС в 2010 г. и 2012–2017 гг. (IESSNS). Также в расчётах использовались индексы, полученные по данным оценки смертности при мечении, осуществляемом с помощью стальных (1980–2006 гг.) и электронных (метод RFID, 2012–2017 гг.) меток. Аналитическая модель настраивалась на данные по возврату меток в соответствии с норвежской программой мечения. В очередной раз претерпели изменения целевые биологические ориентиры на 2018 г. Величина нерестового запаса в соответствии со стратегией MSY approach и принципами «предосторожного» подхода (пороговое значение) была снижена с 3,0 до 2,57 млн т (см. рис. 3) [Anon., 2017b]. Нерестовой запас (MSY $V_{trigger}$ и V_{pa}) скумбрии не должен быть ниже 2,57 млн т, а промысловая смертность F_{MSY} — превышать 0,21. При этом величина V_{lim} была увеличена до 1,94 млн т, а F_{lim} и F_{pa} — до 0,48 и 0,35, соответственно. По мнению ИКЕС, соблюдение разработанных правил позволяло минимизировать риск коллапса запаса.

Совершенствование методической базы в вопросах оценки запаса скумбрии было обусловлено тем, что с начала 2000-х гг. её мировой вылов постоянно превышал ОДУ, рекомендованный ИКЕС. Тем не менее, по мнению ИКЕС, нерестовой запас скумбрии в этот период находился в пределах безопасных био-

логических границ и имел хорошую воспроизводительную способность. Однако необходимо было учитывать, что высокий с 2009 г. уровень нерестового запаса скумбрии (более 3 млн т) обеспечивал, начиная с 2005 г., почти непрерывный ряд урожайных и высокоурожайных поколений (рис. 6, см. рис. 5). В целом общий тренд пополнения запаса скумбрии имел положительную динамику с 2001 г. С середины 2000-х гг. наблюдался рост её нерестового запаса, который обеспечили урожайные поколения 2002, 2006 и 2010–2011 гг. [см. Anon., 2017b].

Высокая степень неопределённости в полученных оценках сохранялась. Основными причинами, вероятно, являлись недостаточный ряд данных, полученных в летней ТАС (IESSNS) для расчёта индексов численности и получаемые только один раз в три года индексы нерестовой биомассы по данным икраных съёмок (MEGS).

Оценка динамики SSB, выполненная в 2018 г., послужила основанием для существенного пересмотра значений его биомассы в сторону увеличения в 2009–2014 гг. и уменьшения — в 2015–2017 гг. При этом целевые биологические ориентиры на 2019 г. остались на уровне 2018 г. По расчётам WGWIDE, в 2018 г. нерестовой запас скумбрии на начало нереста составил около 2,4 млн т, что было значительно ниже уровня последних лет и граничного ориентира по биомассе (V_{pa} и MSY $V_{trigger}$). Промысловая смертность F_{4-8} достигла 0,455. В связи с этим целевая смертность на 2019 г. была рассчитана по формуле: $F = F_{MSY} * SSB(2019) / MSY V_{trigger}$. Применение этого критерия означало возможность вылова в 2019 г. не более 318 тыс. т скумбрии при $F_{4-8}=0,17$ [Anon., 2018]. Таким образом, по мнению ИКЕС, в 2018 г. впервые за последние 10 лет состояние

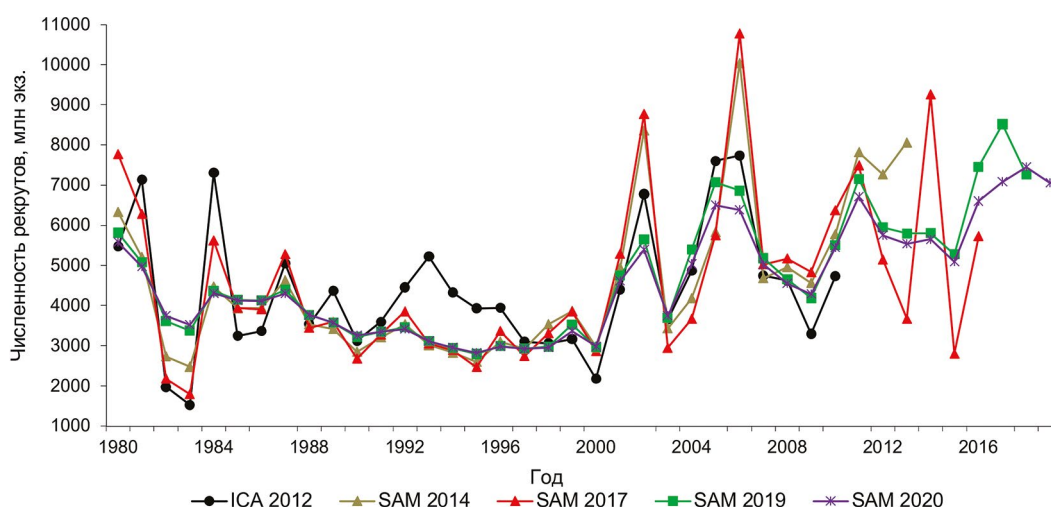


Рис. 6. Численность +рекрутов (возраст 0+) скумбрии СВА в 1980–2019 гг. (Результаты оценок ИКЕС в 2012–2019 гг. в рамках моделей ICA (до 2013 г.) и SAM (с 2014 г.)) [Anon., 2012; 2014; 2017b; 2019b; 2020b]

нерестового запаса скумбрии СВА оказалось за пределами безопасных биологических границ.

Однако в ноябре 2018 г. между Норвегией, ЕС и Фарерскими о-вами было заключено соглашение, в соответствии с которым ОДУ скумбрии на 2019 г. был установлен в объёме более 653 тыс. т, что только на 20% меньше ОДУ, согласованного этими странами на 2018 г. Поскольку Исландия, Гренландия и РФ были не согласны с предлагаемым ключом распределения ОДУ скумбрии и впоследствии установили национальные квоты на 2019 г. в одностороннем порядке, уже в конце 2018 г. стало ясно, что общий мировой вылов в 2019 г. превысит 800 тыс. т (см. рис. 2), что в 2,6 раза выше ОДУ, рекомендованного ИКЕС.

В сложившихся условиях в ИКЕС было принято решение провести очередное тестирование входных данных для модели SAM в целях дальнейшего совершенствования методической базы в вопросах оценки запаса скумбрии.

В марте 2019 г. прошла процедура тестирования модели SAM (interbenchmark) [Anon., 2019a], по результатам которой были пересмотрены оценки SSB, промысловой смертности F_{4-8} и пополнения по сравнению с 2018 г. (см. рис. 2, 5, 6). Нерестовый запас был пересмотрен в сторону увеличения (выше значения $MSY B_{trigger}$), промысловая смертность – в сторону снижения (ближе к значению F_{MSY}). Данные изменения были связаны с обновлёнными настройками модели с целью более корректного отображения недостаточной информации о возрастных группах скумбрии 0 (сеголетки) и 1 год. Это привело к усилению влияния съёмочного индекса в отношении молодежи и пересмотру оценки пополнения в сторону увеличения по сравнению с прошлым годом. В мае 2019 г. ИКЕС рекомендовал ОДУ на 2019 г. в объёме 770 тыс. т, что в 2,4 раза превышало прошлогоднюю рекомендацию.

По мнению РГ ИКЕС, оценка состояния запаса скумбрии была обеспечена относительно адекватным биологическим и статистическим материалом. Как и ранее, основой оценки в 2019 г. послужили индексы трёх съёмок: индекс нерестовой биомассы икраной съёмки (MEGS) за 1992–2019 гг., индексы численности пополнения по данным западноевропейской осенне-зимней донной траловой съёмки (IBTS) за 1998–2018 гг. и численности в возрасте 3–11 лет по результатам летней ТАС (IESSNS) за 2010, 2012–2019 гг. Также использовались данные по возврату меток из норвежской программы мечения и данные уловов по возрастам (0+ – 12 лет) за 1980–2018 гг. Целевые биологические ориентиры на 2019–2020 г. были незначительно изменены: увеличились значения

F_{MSY} , F_{pa} и B_{lim} , уменьшились – $MSY B_{trigger}$, B_{pa} и F_{lim} [см. Anon., 2019a, b] (см. рис. 3).

Результаты диагностики модели SAM показали, что в целом она достаточно хорошо настраивалась на все использованные индексы съёмок, а полученные оценки согласовывались с данными по вылову. Однако индексы нерестовой биомассы по данным MEGS и численности рыбы в возрасте 3–11 лет по данным IESSNS воспринимались моделью как завышенные. Основная вероятная причина – недостаточный ряд репрезентативных данных IESSNS и получение только один раз в три года индексов MEGS. Также отмечено увеличение противоречия между индексами биомассы по данным съёмок IESSNS и MEGS, поскольку в 2019 г. по результатам IESSNS индекс биомассы скумбрии увеличился, а по данным MEGS – снизился [см. Anon., 2019 b]. В дополнение к этому было отмечено, что влияние на оценку индекса биомассы данных по возврату меток (метод RFID) выражалось в значительном занижении величины SSB. Поскольку результаты, полученные методом RFID, характеризовались очень большой неопределённостью и не согласовывались с данными указанных выше съёмок, в обновлённых настройках модели было решено изменить используемый набор данных [см. Anon., 2019a, b]. По окончательным расчётам, представленным WGWISE в сентябре 2019 г., нерестовая биомасса (SSB) скумбрии на момент нереста в 2018–2019 гг. составила 4,3–4,4 млн т, а промысловая смертность снизилась с 0,24 в 2018 г. до 0,21 в 2019 г. (см. рис. 2). Поскольку биомасса запаса скумбрии оказалась значительно выше граничного ориентира ($MSY B_{trigger}$), целевая смертность в расчётах на 2020 г. в соответствии со стратегией MSY approach была принята равной F_{MSY} и составила 0,23 (см. рис. 2). В этом случае предполагалось увеличение в 2020 г. нерестового запаса до 4,5 млн т. Соответственно, рекомендация ИКЕС предусматривала вылов в 2020 г. не более 922 тыс. т скумбрии.

В 2020 г. в ИКЕС по запросу прибрежных государств была проведена очередная процедура тестирования модели SAM и выполнены новые расчёты целевых ориентиров управления промыслом скумбрии в 2021 г. [Anon., 2020a, b] За исключением 2019 г., пересмотренные оценки нерестового запаса (SSB) и промысловой смертности (F) изменились незначительно (см. рис. 2, 5). Новое значение F_{MSY} составило 0,26, что несколько выше предыдущего уровня смертности (0,23). В соответствии со стратегией MSY approach и принципами «предосторожного» подхода пороговая величина нерестового запаса по сравнению с уровнем 2019–2020 гг. была увеличена до

2,58 млн т. Нерестовый запас ($MSY B_{trigger}$ и B_{pa}) скумбрии не должен быть ниже 2,58 млн т, а промысловая смертность F_{MSY} — превышать 0,26, при этом величина B_{lim} составила 2,0 млн т, а F_{lim} и F_{pa} — 0,46 и 0,36, соответственно (см. рис. 3).

По предварительным данным в 2020 г. международный вылов атлантической скумбрии составил около 1091 тыс. т, что в 1,2 раза выше ОДУ, рекомендованного ИКЕС (см. рис. 2). По окончательным расчётам РГ ИКЕС, в 2020 г. нерестовый запас скумбрии на начало нереста составлял около 3,7 млн т, что примерно соответствует таковому в 2019 г. и значительно ниже уровня 2013–2018 гг. Тем не менее, величина нерестового запаса остаётся значительно выше граничного ориентира по биомассе ($MSY B_{trigger} = 2,58$ млн т).

В соответствии со стратегией MSY approach, в расчётах на 2021 г. целевая смертность была принята равной F_{MSY} и составила 0,26. В этом случае в 2021 г. нерестовый запас на начало нереста незначительно снизится до 3,6 млн т [см. Anon., 2020 b]. По мнению ИКЕС, в настоящее время нерестовый запас скумбрии СВА находится в пределах безопасных биологических границ и имеет хорошую воспроизводительную способность.

На 2021 г. при целевой смертности $F = 0,26$ ИКЕС рекомендовал ОДУ скумбрии не более 852,3 тыс. т, что на 8% меньше ОДУ, ранее рекомендованного на 2020 г. В декабре 2020 г. прибрежные государства (Норвегия, ЕС, Фарерские о-ва, Исландия, Великобритания и Гренландия) согласовали ОДУ скумбрии на 2021 г. в объёме, рекомендованном ИКЕС (852,3 тыс. т), однако вопрос деления ОДУ на национальные квоты остался открытым. Состоявшиеся в марте и июне 2021 г. консультации прибрежных государств также не привели к достижению договорённостей относительно возможного распределения долей ОДУ скумбрии. Национальные квоты на 2021 г. были заявлены странами в соответствии с процедурой, принятой в НЕАФК. В соответствии с заявленными квотами международный вылов скумбрии в СВА в 2021 г. может составить около 1,2 млн т, а промысловая смертность значительно превысит уровень F_{MSY} . В этом случае биомасса нерестового запаса на начало нереста составит 3,5–3,6 млн т.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Оценка нерестового запаса скумбрии с использованием модели ICA за период 1980–1992 гг. оказалась значительно ниже оценки по модели SAM. За период 1993–2009 гг. расчёты по оценке запаса как по модели ICA, так и по модели SAM, имели сходные абсолютные величины SSB и соответствующие тренды

их изменения. С 2010 г. использование модели SAM с обновлёнными настройками показывает значительно большие значения нерестового запаса, при этом максимальный SSB наблюдается с 2014 г. в расчётах, проведённых после дополнительного обновления настроек модели в 2019 г. (см. рис. 5).

Отмеченная динамика SSB практически совпала с тем, что наметившиеся с 2008 г. негативные тенденции в эксплуатации запаса скумбрии, способствовавшие заключению нового долгосрочного плана управления её промыслом, привели к тому, что именно с 2010 г. прибрежные государства и другие страны до настоящего времени не могут достичь договорённостей о величине ОДУ и распределении его на национальные квоты. Как указано выше, действовавшее в 2014–2020 гг. между Норвегией, ЕС и Фарерскими о-вами соглашение по промыслу скумбрии в СВА не учитывало национальные интересы РФ, Гренландии и Исландии. По этой причине достижение договорённостей и в 2021 г. также представляется маловероятным.

Похожая картина наблюдается и при анализе промысловой смертности (F_{4-8}) в различные годы. Тенденции изменения и соответствующий тренд в динамике промысловой смертности скумбрии, полученные по двум моделям, были сходными в оценках до 2010 г. При этом фактическая промысловая смертность постоянно превышала F , рекомендованную ИКЕС (см. рис. 2). Начиная с 2011 г., в расчётах с использованием модели SAM наблюдаются более низкие оценки промысловой смертности, и оценка 2014 г. приблизилась к F , рекомендованной ИКЕС в 2012–2013 г. ($F_{4-8}=0,21-0,22$). Наиболее выраженный нисходящий тренд наблюдался в обновлённой оценке 2019 г. [Anon., 2019b]. При вылове в 2019 г. 840 тыс. т скумбрии промысловая смертность рыб в возрастных группах 4–8 лет снизилась до 0,22, что оказалось ниже F_{MSY} (см. рис. 2). А поскольку биомасса запаса скумбрии была оценена на уровне значительно выше граничного ориентира ($MSY B_{trigger}$), целевая смертность в расчётах на 2020 г. в соответствии со стратегией MSY approach была принята равной $F_{MSY}=0,23$ (ОДУ 922 тыс. т). Однако при вылове в 2020 г. 1091 тыс. т промысловая смертность F_{4-8} увеличилась до 0,32. В 2021 г. при предполагаемом вылове около 1200 тыс. т скумбрии F_{4-8} может увеличиться до 0,38 (Anon., 2020b).

Интересно также отметить выраженный восходящий тренд исторических значений основных биологических ориентиров. Так, с 2009 г. наблюдалось увеличение значений F_{lim} , F_{pa} и B_{lim} . В то же время величины B_{pa} и $MSY B_{trigger}$ изменялись нелинейно (см. рис. 3). При этом величина F_{MSY} в 2011–2020 г. изменялась

крайне незначительно, в пределах 0,21–0,23, и только в 2015 г. увеличилась до 0,25, а в расчётах на 2021 г. – до 0,26. Данный тренд в динамике биологических ориентиров указывал на высокую степень неопределённости оценок запаса и промысловой смертности скумбрии в различные годы.

В 2010–2018 г. международный вылов скумбрии в 1,3–1,9 (в среднем в 1,5) раза превышал ОДУ, рекомендованный ИКЕС (см. рис. 2). В 2019 г., после обновления оценки нерестового запаса скумбрии, наметились положительные тенденции: рекомендация ИКЕС по ОДУ скумбрии на 2019 г. (770 тыс. т) оказалась лишь в 1,1 раза ниже международного вылова (840 тыс. т). Предварительный вылов в 2020 г. (около 1091 тыс. т) превысил рекомендацию ИКЕС (922 тыс. т) в 1,2 раза, что также значительно ниже, чем в предшествующие годы. Однако уже в 2021 г. предполагаемый международный вылов атлантической скумбрии может превысить рекомендованный ИКЕС ОДУ (852,3 тыс. т) в 1,4 раза.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Отмеченное во II десятилетии XXI века значительное изменение трендов биомассы нерестового запаса и промысловой смертности скумбрии в результате изменений в настройках модели свидетельствуют о нестабильности оценок SSB этой рыбы. Результаты диагностики модели показали увеличение противоречия между индексами съёмки IESSNS и MEGS [см. Anon., 2020b]. Высокая степень неопределённости в оценках сохраняется. Однако в будущем, с увеличением общего ряда исходных данных и совершенствованием модели оценки запаса степень неопределённости в оценках должна снижаться.

Основной проблемой регулирования промысла скумбрии остаётся деление ОДУ на национальные квоты. Существенным критерием является исторический вылов. Отсутствие договоренностей между всеми странами, ведущими промысел скумбрии, привело к значительным переловам её запаса. С 2010 г. национальные квоты заявляются в НЕАФК и фактически устанавливаются в одностороннем порядке. Таким образом, стратегия управления промыслом скумбрии в настоящее время не согласована. Вероятно, достижение соглашения между всеми странами, участвующими в промысле скумбрии, может быть возможно только при уменьшении долей прежде всего прибрежных государств в рамках ОДУ, рекомендованного ИКЕС.

Поскольку по отношению к запасу скумбрии РФ не является прибрежным государством, при распределении ОДУ для нее наиболее важны два показателя –

критерий исторического вылова и вклад в научные исследования данного вида. В 2001–2009 гг. вылов РФ в международных водах составлял около 4–6% от мирового вылова во всех районах промысла. В 2010–2013 гг. вылов РФ в международных водах постоянно увеличивался и находился на уровне 5–7% от общего вылова. С 2014 г. мировой вылов скумбрии, за исключением 2019 г., превышает 1 млн т, а вылов РФ в международных водах находится на уровне более 100 тыс. т, что составляет 7–14% (в среднем 10,3%) от общего вылова во всех районах промысла. Установленный в 2021 г. уровень национальной квоты в Районе регулирования НЕАФК в объеме 120,423 тыс. т может составить 10% от уровня предполагаемого мирового вылова скумбрии (около 1200 тыс. т). С учетом динамики запаса, рекомендаций ИКЕС, согласованного прибрежными государствами ОДУ, в целях формирования и утверждения возможного будущего механизма деления ОДУ скумбрии на национальные квоты доля России в 2022 г. и последующие годы может быть снижена до 7,5–8% от ОДУ при условии достижения соглашения всеми странами, участвующими в промысле данного запаса. В 2021 г. по решению Росрыболовства была создана Рабочая группа, задачей которой является определение возможной доли РФ от ОДУ скумбрии.

В целом расчёты, выполненные ИКЕС, показывают, что только соблюдение правил эксплуатации запаса и целевых биологических ориентиров позволит не допустить снижения биомассы нерестового запаса скумбрии до уровня ниже V_{pa} и минимизировать риск его коллапса. В долгосрочной перспективе для сохранения запаса скумбрии в пределах безопасных биологических границ необходимо строгое регулирование её промысла в рамках ИКЕС и НЕАФК с применением принципов «предосторожного» подхода и данных научных исследований.

ЛИТЕРАТУРА

- Андряшев А.П. 1954. Рыбы северных морей СССР. М.-Л.: Изд-во АН СССР. 566 с.
- Беликов С.В., Боркин И.В., Крысов А.И., Селиверстова Е.И., Ушаков Н.Г. 1991. Состояние запасов пелагических рыб и перспективы их восстановления в морях Европейского Севера // Комплексные рыбохозяйственные исследования ПИНРО на Северном бассейне: итоги и перспективы. Мурманск: ПИНРО. С. 130–144.
- Далимаев А.П., Селиверстова Е.И., Калашников Ю.Н. 2011. Закономерности и особенности распределения, миграций и поведения скумбрии в период нагула в зависимости от условий среды и размерно-возрастной структуры популяции // Рыбное хозяйство. Юбилейный спецвып. С. 53–57.

- Калашников Ю.Н. 2017. Состояние промысла атлантической скумбрии в Северо-Восточной Атлантике // Научные труды Дальрыбвтуза. Владивосток. Т. 41. С. 22–28.
- Клочков Д.Н., Шамрай Е.А. 2001. Миграции, состояние запасов и перспективы промысла скумбрии Норвежского моря // Вопросы рыболовства. Т. 2. № 4 (8). С. 663–677.
- Клочков Д.Н., Чинарина А.Д. 2005. Биология и промысел атлантической скумбрии (*Scomber scombrus* Linnaeus, 1758) в Норвежском море. Апатиты: Изд-во КНЦ. 67 с.
- Никольский Г.В. 1971. Частная ихтиология. М.: Высшая школа. 473 с.
- Сентябев Е.В., Бочков Ю.А. 2001. Методика прогнозирования сроков появления и распределения скумбрии и путассу в промысловых районах Северо-Восточной Атлантики и Норвежского моря. Мурманск: Изд-во ПИНРО. 26 с.
- Скумбрия атлантическая. Путинный прогноз 2005 / Сост. Боркин И.В., Сентябев Е.В., Шамрай Е.А., Селиверстова Е.И., Карсаков А.Л., Константинова Л.Л., Славолитова Г.К., Лисовский С.Ф. Мурманск: Изд-во ПИНРО, 2005. 56 с.
- Состояние сырьевых биологических ресурсов Баренцева и Белого морей и Северной Атлантики в 2020 г. 2020. / Отв. ред. Л.И. Пестрикова. Мурманск: ПИНРО. 145 с.
- Тамбс-Люхе Х. 1956. Промысловые рыбы Норвегии. Москва. Изд-во МРП СССР. 158 с.
- Шамрай Е.А., Сентябев Е.В., Селиверстова Е.И., Калашников Ю.Н. 2010. Российский промысел скумбрии в Норвежском море: история, современность и перспективы // Вопросы рыболовства. Т. 11. № 4 (44). С. 681–693.
- Шмидт П.Ю. 1947. Миграции рыб. М.-Л.: Изд-во АН СССР. 362 с.
- Anon. 2000. Report of the Working Group on the assessment of mackerel, horse mackerel, sardine and anchovy. ICES CM 2001/ACFM:06. 469 pp.
- Anon. 2007. Report of the Working Group on the assessment of mackerel, horse mackerel, sardine and anchovy. ICES CM2007/ACFM:31. 712 pp.
- Anon. 2008. Report of the Working Group on Widely Distributed Stocks (WGWIDE). ICES CM2008/ACOM:13. 712 pp.
- Anon. 2010. Report of the Working Group on Widely Distributed Stocks (WGWIDE). ICES CM 2010/ACOM:15. 622 pp.
- Anon. 2012. Report of the Working Group on Widely Distributed Stocks (WGWIDE). ICES CM 2012/ACOM:16. 940 pp.
- Anon. 2013. Report of the Working Group on Widely Distributed Stocks (WGWIDE). ICES CM 2013/ACOM:15. 947 pp.
- Anon. 2014. Report of the Working Group on Widely Distributed Stocks (WGWIDE). ICES CM 2014/ACOM:15. 971 pp.
- Anon. 2015. Report of the Working Group on Widely Distributed Stocks (WGWIDE). ICES CM 2015/ACOM:15. 588 pp.
- Anon. 2017a. Report of the Benchmark Workshop on Widely Distributed Stocks (WGWIDE). ICES CM 2017/ACOM:36. 196 pp.
- Anon. 2017b. Report of the Working Group on Widely Distributed Stocks (WGWIDE). ICES CM 2017/ACOM: 23. 919 pp.
- Anon. 2018. Report of the Working Group on Widely Distributed Stocks (WGWIDE). ICES CM 2018/ACOM: 23. 619 pp.
- Anon. 2019a. Interbenchmark Workshop on the assessment of Northeast Atlantic mackerel (IBPNEAMac). ICES Scientific Reports / VOLUME 1 / ISSUE 5. 344 pp.
- Anon. 2019 b. Working Group on Widely Distributed Stocks (WGWIDE). ICES Scientific Reports / VOLUME 1 / ISSUE 36. 1093 pp.
- Anon. 2020a. Workshop on Management Strategy Evaluation of mackerel (WKMSEMAC). ICES Scientific Reports / VOLUME 2 / ISSUE 74. 182 pp.
- Anon. 2020b. Working Group on Widely Distributed Stocks (WGWIDE). ICES Scientific Reports / VOLUME 2 / ISSUE 82. 1074 pp.
- Belikov S.V., Jakupsstovu S.H., Shamrai E.A., Thomsen B. 1998. Migration of Mackerel during summer in the Norwegian Sea // ICES CM 1998/AA:8. 15 pp.
- Meek A. 1916. The migrations of fish. London. 427 pp.

Поступила в редакцию 29.03.2021 г.

Принята после рецензии 05.08.2021 г.

Stock assessment and international mackerel fishing in the North-East Atlantic: history and modernity.

Yu.N. Kalashnikov

Polar Branch of VNIRO (N.M. Knipovich «PINRO»), Murmansk, Russia

In the historical aspect, the estimates of the state of the North-East Atlantic mackerel stock made at ICES in 1980–2020 are considered. The dynamics of input data for setting up models and biological reference points used in assessments in different years is analyzed. Some aspects of the international mackerel fishery are briefly presented and trends in the management of the exploitation of its stock are studied. On the basis of long-term data, the consequences of the ICES recommendations for the historical development of the international Atlantic mackerel fishery are estimated. It is shown that the significant change in trends in the dynamics of spawning stock and commercial mortality of mackerel observed in the second decade of the XXI century reflects changes in the settings of the models used and indicates the instability of estimates of mackerel stock. It is noted that only compliance with the established rules of stock operation and target biological guidelines will prevent the decline of the spawning stock of mackerel to a level below the safe biological boundaries and minimize the risk of its collapse. The necessity of strict regulation of fishing within the framework of ICES and NEAFC with the application of the principles of the “precautionary” approach and scientific research data is shown.

Keywords: North-East Atlantic, *Scomber scombrus* mackerel, fishing, spawning stock, commercial mortality, exploitation model, biological reference points.

REFERENCES

- Andriyashev A.P.* 1954. Ryby severnykh morej SSSR [Pisces of the Northern Seas of the USSR]. M.-L.: Izd-vo AN SSSR. 566 s.
- Belikov S.V., Borkin I.V., Krysov A.I., Seliverstova E.I., Ushakov N.G.* 1991. Sostoyanie zapasov pelagicheskikh ryb i perspektivy ikh vosstanovleniya v moryakh Evropejskogo Severa [Pelagic fish stocks state and prospects of their recovery in the European North Seas] // Kompleksnye rybokhozyajstvennye issledovaniya PINRO na Severnom bassejne: itogi i perspektivy. Murmansk: PINRO. S. 130–144.
- Dalimaev A.P., Seliverstova E.I., Kalashnikov Yu.N.* 2011. Zakonomernosti i osobennosti raspredeleniya, migratsij i povedeniya skumbrii v period nagula v zavisimosti ot uslovij srede i razmerno-vozzrastnoj struktury populyatsii [Regularities and peculiarities of mackerel distribution, migration and behaviour in the feeding period depending on the environmental conditions and the age-length population structure] // Rybnoe khozyajstvo. Yubileinyj spetsvyv. S.53–57.
- Kalashnikov Yu.N.* 2017. Sostoyanie promysla atlanticheskoy skumbrii v Severo-Vostochnoj Atlantike [State of atlantic mackerel fishery in Nort-East Atlantic] // Nauchnye trudy Dal'rybvtuza. Vladivostok. T. 41. S. 22–28.
- Klochkov D.N., Shamraj E.A.* 2001. Migratsii, sostoyanie zapasov i perspektivy promysla skumbrii Norvezhskogo morya [Migration, stock status and prospects for mackerel fishing in the Norwegian Sea] // Voprosy rybolovstva. T. 2. № 4 (8). S. 663–677.
- Klochkov D.N., Chinarina A.D.* 2005. Biologiya i promysel atlanticheskoy skumbrii (*Scomber scombrus* Linnaeus, 1758) v Norvezhskom more. [Biology and fishery of atlantic mackerel (*Scomber scombrus* Linnaeus, 1758) in the Norwegian Sea]. Apatity: Izd-vo KNTS. 67 s.
- Nikol'skij G.V.* 1971. Chastnaya ikhtiologiya. [Private ichthyology]. M.: Vysshaya shkola. 473 s.
- Sentyabov Ye.V., Bochkov Yu.A.* 2001. Metodika prognozirovaniya srokov poyavleniya i raspredeleniya skumbrii i putassu v promyslovnykh rayonakh Severo-Vostochnoy Atlantiki i Norvezhskogo morya [Methodology for predicting the timing of appearance and distribution of mackerel and blue whiting in the fishing areas of the North-East Atlantic and the Norwegian Sea]. Murmansk: Izd-vo PINRO. 26 s.
- Skumbriya atlanticheskaya.* Putinnyj prognoz 2005. [Atlantic mackerel. Putin forecast 2005]./ *Borkin I.V., Sentyabov E.V., Shamraj E.A., Seliverstova E.I., Karsakov A.L., Konstantinova L.L., Slovolitova G.K., Lisovskij S.F.* 2005. Murmansk: Izd-vo PINRO. 56 s.
- Sostoyaniye syr'yevykh biologicheskikh resursov Barentseva i Belogo morey i Severnoy Atlantiki v 2020 g* [The state of raw biological resources of the Barents and White Seas and the North Atlantic in 2020]. 2020 / Otv. red. L.I. Pestrikova. Murmansk: PINRO. 145 s.

- Tambs-Lyukhe Kh.* 1956. Promyslovyye ryby Norvegii [Commercial fish in Norway]. Moskva. Izd-vo MRP SSSR. 158 s.
- Shamraj E.A., Sentyabov E.V., Seliverstova E.I., Kalashnikov Yu.N.* 2010. Rossijskij promysel skumbrii v Norvezhskom more: istoriya, sovremennost' i perspektivy [Russian mackerel fishery in the Norwegian Sea: history, present and perspectives.] // *Voprosy rybolovstva*. T. 11. № 4 (44). S. 681–693.
- Shmidt P.YU.* 1947. Migratsii ryb [Fish Migration.]. M.-L.: Izd-vo AN SSSR. 362 s.
- Anon.* 2000. Report of the Working Group on the assessment of mackerel, horse mackerel, sardine and anchovy. ICES CM 2001/ACFM:06. 469 pp.
- Anon.* 2007. Report of the Working Group on the assessment of mackerel, horse mackerel, sardine and anchovy. ICES CM2007/ACFM:31. 712 pp.
- Anon.* 2008. Report of the Working Group on Widely Distributed Stocks (WGWIDE). ICES CM2008/ACOM:13. 712 pp.
- Anon.* 2010. Report of the Working Group on Widely Distributed Stocks (WGWIDE). ICES CM 2010/ACOM:15. 622 pp.
- Anon.* 2012. Report of the Working Group on Widely Distributed Stocks (WGWIDE). ICES CM 2012/ACOM:16. 940 pp.
- Anon.* 2013. Report of the Working Group on Widely Distributed Stocks (WGWIDE). ICES CM 2013/ACOM:15. 947 pp.
- Anon.* 2014. Report of the Working Group on Widely Distributed Stocks (WGWIDE). ICES CM 2014/ACOM:15. 971 pp.
- Anon.* 2015. Report of the Working Group on Widely Distributed Stocks (WGWIDE). ICES CM 2015/ACOM:15. 588 pp.
- Anon.* 2017a. Report of the Benchmark Workshop on Widely Distributed Stocks (WGWIDE). ICES CM 2017/ACOM:36. 196 pp.
- Anon.* 2017b. Report of the Working Group on Widely Distributed Stocks (WGWIDE). ICES CM 2017/ACOM: 23. 919 pp.
- Anon.* 2018. Report of the Working Group on Widely Distributed Stocks (WGWIDE). ICES CM 2018/ACOM: 23. 619 pp.
- Anon.* 2019a. Interbenchmark Workshop on the assessment of Northeast Atlantic mackerel (IBPNEAMac). ICES Scientific Reports / VOLUME 1 / ISSUE 5. 344 pp.
- Anon.* 2019b. Working Group on Widely Distributed Stocks (WGWIDE). ICES Scientific Reports / VOLUME 1 / ISSUE 36. 1093 pp.
- Anon.* 2020a. Workshop on Management Strategy Evaluation of mackerel (WKMSEMAC). ICES Scientific Reports / VOLUME 2 / ISSUE 74. 182 pp.
- Anon.* 2020 b. Working Group on Widely Distributed Stocks (WGWIDE). ICES Scientific Reports / VOLUME 2 / ISSUE 82. 1074 pp.
- Belikov S.V., Jakupsstovu S.H., Shamrai E., Thomsen B.* 1998. Migration of Mackerel during summer in the Norwegian Sea // ICES CM 1998/AA:8. 15 pp.
- Meek A.* 1916. The migrations of fish. London. 427 pp.

FIGURE CAPTIONS

Fig. 1. Areas of international fishing and catching of mackerel (t) in the I–IV quarters of 2018 (in standardized ICES squares) [Anon., 2019 b]

Fig. 2. International catch, total allowable catch (TAC), recommended by ICES (thousand tons) and commercial mortality (F_{4-8}) of Atlantic mackerel in 1980–2021 (estimated F_{4-8} under the ICA models in 2012 and SAM in 2014–2019) [Anon., 2012; 2014; 2017b; 2019b; 2020b]

Fig. 3. Biological targets (spawning stock and mortality) used in ICES and actual fishing mortality (F_{4-8}) of mackerel in 1999–2021 [Anon., 2000; 2007; 2012; 2013; 2014; 2015; 2017a, b; 2018; 2019a, b; 2020a, b]

Fig. 4. Spawning stock biomass and commercial mortality (F_{4-8}) of mackerel in 1980–2012, calculated in ICES in 2013 using three input data variants (SSB_1 – ICA model; SSB_2 – ICA model with λ . SR = 0,17; SSB_3 – ICA model with weight change of ages 0 and 1; F_1, F_2, F_3 -corresponding commercial mortality [Anon., 2013]

Fig. 5. The spawning stock biomass of NEA mackerel in the years 1980–2020 (Results of ICES assessments in 2012–2020 under the ICA (until 2013) and SAM (since 2014) models) [Anon., 2012; 2014; 2017b; 2019b; 2020b]

Fig. 6. Number of the NEA mackerel recruits (age 0 +) in 1980–2019 (Results of ICES assessments in 2012–2020 under the ICA (until 2013) and SAM (since 2014) models) [Anon., 2012; 2014; 2017b; 2019b; 2020b]

УДК 597–147.3:597.554.3

DOI: 10.36038/2307-3497-2021-185-45-56

О взаимосвязи гипертрофии и гиперплазии мышечных волокон в постнатальном миогенезе у рыб сем. Карповых

Е.И. Шило

Белгородский государственный аграрный университет (ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ), г. Белгород

E-mail: shi-e@yandex.ru

Представление о росте мышечной ткани, как цепи последовательных взаимообусловленных событий, позволяет выработать систему регулирующих факторов, влияющую на питание и рост рыб, их здоровье и продуктивные качества. У костных рыб первичное и вторичное поколение мышечных волокон возникает, соответственно, на эмбриональной и постэмбриональной стадиях развития. В отличие от млекопитающих и птиц постнатальное развитие рыб сопровождается гипертрофией и гиперплазией мышечных волокон в течение всей жизни, что определяет специфику роста их мышечной ткани и влияет на качество филе рыбы. При увеличении площади волокна свыше 3500 мкм² с одновременным увеличением плотности миофибрилл до 4,901 на 1 мкм² у сеголеток и у двухлеток карповых рыб (карпа, белого амура и белого толстолобика) наблюдали продольное расщепление волокон. Показано, что формирование мышечной ткани сопровождается незатухающими колебательными процессами напряжения и восстановления в рамках единого гиперцикла процессов роста на различных уровнях: на уровне миофибрилл и мышечных волокон, таким образом, гиперплазия и гипертрофия мышечных волокон не отделены во времени и в пространстве, а закономерно сменяют друг друга, обеспечивая общую миогенную задачу – рост рыбы и её мышечной ткани. Вопрос об их взаимосвязи требует дополнительных исследований в будущем.

Ключевые слова: Мышечные волокна, миофибриллы, гипертрофия, гиперплазия, рекрутные волокна, упругий гистерезис, рост рыбы.

ВВЕДЕНИЕ

Структура и развитие скелетной мускулатуры, как наиболее распространённой ткани позвоночных, используемой человеком в качестве продукта питания, является в настоящее время объектом пристального внимания. Необходимость получения качественной рыбной продукции определяет изучение механизмов роста её мышечной ткани как вектора научных исследований. Рост рыб, как и рост домашних животных, характеризуется неравномерностью, которая проявляется в чередовании фаз усиленного и замедленного роста, его волнообразном характере и величине ростовых волн разной длины и высоты, влияющих друг на друга и на результат роста в целом. Причиной волнообразного роста является дифференциация клеток после усиленного их деления, что, в свою очередь, свидетельствует о наличии генетически обусловленной программы роста [Кабанов, 1973]. Индивидуальное развитие совершается стадийно, развитие гистологических и органотипических структур находится в прямой зависимости от специфики взаимосвязанных ядерных и цитоплазматических структур. В постнатальном развитии мышечной ткани наблюдается

периодическое колебание диаметров мышечных волокон, миофибрилл, соотношение ядер и цитоплазмы в мышечном волокне.

Закономерности роста и развития мышечной ткани рыб освещены в ряде зарубежных и отечественных работ. Согласно А. Rowleron [Rowleron, Veggetti, 2001], образование мышечных волокон происходит в три фазы. Первая фаза – это формирование миотома из параксиальной мезодермы эмбриона.

Формирование скелетной мышечной ткани зародыша (эмбриональный миогенез) происходит из стволовых клеток мезодермы – промиобластов, часть которых превращаются в инициальные миобласты. При тесном контакте, распознавании и объединении миобласты выстраиваются в параллельные цепи и образуют мышечные трубочки (миотубы), в которых происходит синтез сократительных белков, сборка миофибрилл, формируются многоядерные мышечные волокна. Вокруг каждого первичного мышечного волокна из миотубов образуются вторичные мышечные волокна [Weatherley, Gill, 1988].

Вторая стадия – пролиферация мышечных волокон послойным добавлением новых быстрых и мед-

ленных волокон из зон роста (стратифицированный рост). Рост мышечных волокон животных в постнатальном онтогенезе обеспечивает система клеток – миосателлитов, локализованных между базальной пластинкой и сарколеммой мышечного волокна, сохраняющих способность к миогенной дифференцировке в течение всей жизни (клетки-сателлиты → миобласты → миотубы → мышечные волокна) [Koumans, Akster, 1995]. Стратифицированная гиперплазия достигается мультипликацией волокон малого диаметра.

Третья фаза миогенеза – «мозаичный рост» мышечной ткани за счёт образования новых мелких волокон между уже существующими, более крупными. Время возникновения мозаичной гиперплазии носит видовой характер: у форели, лосося и карповых рыб она встречается уже у мальков, тогда как у камбалы и морского леща – в ювенильном периоде [Alami-Durante, 1990; 2003; Alami-Durante et al., 1997; Rossi et al., 2014]. Большинство исследователей полагают, что мозаичная гиперплазия мышечной ткани также происходит при участии клеток-сателлитов.

Вклад гиперплазии в рост мышечной ткани важен в коммерческом отношении, так как она коррелирует с выходом рыбного филе [Шило, 2016; Яржомбек, Шило, 2017; Панов и др., 2018; Slesarenko et al., 2018]. Гиперплазия мышечной ткани мелких рыб, таких, как данио или гуппи прекращается на начальном этапе постнатального онтогенеза, у карповых она сопровождает рост в течение всей жизни. У выращиваемых в аквакультуре видов, которые достигают больших размеров, происходит рекрутинг новых мышечных волокон [Alami-Durante, 2003].

Koumans утверждает, у взрослых рыб появление мелких волокон также может происходить в результате расщепления клеток, когда части крупных волокон разрываются с образованием новых волокон. «Таким образом, – пишет он, – хотя происхождение из миосателлитных клеток, вероятно, является нормой, образование новых волокон путём расщепления мышечных волокон не может быть исключено для некоторых костистых» (Thus, although origination from myosatellite cells is probably the norm, origination of new fibres by muscle fibre splitting cannot be excluded for some teleosts) [Koumans, Akster, 1995, с. 10].

Формообразовательные и биохимические процессы в организме рыб в определённых пределах могут быть ускорены или замедлены под влиянием внешних факторов – питания и содержания. Влияние температуры и диеты на структуру мышц (распределение белых волокон по размеру) было продемонстрировано при развитии различных видов: зародышей лосося, личинок карпа, молоди форели

[Fauconneau, Alami-Durante, 1995; Stickland et al., 2000; Alami-Durante, Cluzeaud, 2019].

Несмотря на значительный прогресс в изучении миогенеза рыб, современные исследования демонстрируют сложность установления общей его модели, отражающей закономерности и механизмы роста скелетных мышц, сопровождающихся хроно-морфологическими перестройками мышечной ткани, что затрудняет разработку механизмов направленного воздействия на рост мышц рыбы, используемой в аквакультуре, и оставляет место для дискуссии.

По нашему убеждению, рост рыбы обусловлен последовательностью равновесных периодических процессов гиперплазии и гипертрофии мышечной ткани и их взаимообусловленностью. Цель настоящей работы – предложение общей модели взаимосвязи гиперплазии и гипертрофии – процессов, лежащих в основе роста мышечной ткани рыбы.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования выполнены в 2016–2020 гг. на кафедре морфологии и физиологии животных ФГБОУ ВО «Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина» Объекты исследования: три вида рыб: карп (*Cyprinus carpio* L., 1758), белый амур (*Ctenopharyngodon idella* (Val., 1844)), белый толстолобик (*Hypophthalmichthys molitrix* (Val., 1844)), относящиеся к сем. Карповые (Cyprinidae). Для оценки морфологических характеристик были получены поперечные гистологические срезы образцов большой боковой мышцы (m. lateralis magnus) от 60 экземпляров рыб – сеголетки, двухлетки, трёхлетки (табл. 1). С дорсолатеральной поверхности за жаберной крышкой на прямоугольном участке кожи была удалена чешуя, вырезаны небольшие прямоугольные кусочки. Для гистологического исследования образцы фиксировали в течение суток в 10%-ном растворе нейтрального формалина и затем хранили в его 5%-ном растворе. После фиксации и парафиновой проводки на санном микротоме выполняли срезы толщиной 5–10 мкм, которые окрашивали гематоксилином и эозином [Микодина, 2009]. Изучение структурной организации мышечной ткани производили с использованием растрового электронного микроскопа Quanta 200 3D «Центра коллективного пользования научным оборудованием БелГУ «Диагностика, структура и свойства наноматериалов», а также при помощи светового микроскопа Axiostar PLUS от Carl Zeiss, оснащённого цифровой камерой и программным обеспечением AxioVision (версия 4.8.2.) от Carl Zeiss Для анализа изображений использовали программу Panoramic Viewer для Windows.

Таблица 1. Материал и методы исследования

Возраст, сутки	Количество исследованных рыб, шт.				
	Определение линейных и весовых показателей	Анатомическое препарирование	Морфометрия мышц	Гистологические исследования (световая микроскопия)	Гистологические исследования (электронная микроскопия)
Сеголетки					
20–40 ±3	20	20	20	20	20
80–135±3	20	20	20	20	20
Двухлетки					
420–500±3	20	20	20	20	20

Площади поперечного сечения белых мышечных волокон и их периметр определяли количественно с помощью программного обеспечения ImageJ. Для количественной оценки гипертрофии и гиперплазии мышечных волокон измеряли 100 волокон в каждом исследуемом образце. Так как на поперечном сечении волокна имели различную форму (от округлой до многоугольной), то для сравнительного анализа роста волокон определяли их индивидуальный эквивалентный диаметр, согласно методике Н. Alami-Durante [Alami-Durante, Cluzeaud, 2019]. Для этого с помощью программы Image J определяли площади и периметры мышечных волокон, по их периметру определяли радиус и диаметр круга, в дальнейшем называемый «диаметр волокна». Средний фактический диаметр миофибрилл определяли методом измерений, с учётом их, в подавляющем большинстве, округлой формы. Общее количество миофибрилл в мышечном волокне оценивали по средней площади поперечного сечения мышечного волокна и средней площади поперечного сечения измеренных миофибрилл.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Программное обеспечение Image J было использовано для определения площади и радиуса мышечных волокон и миофибрилл в популяции волокон *m.*

lateralis dorsalis, показатели которых были использованы для оценки моделей гипертрофического и гиперпластического роста белых мышц карповых рыб. Предыдущие исследования морфологии мышечной ткани карповых рыб показали вариабельность её волокон по диаметру (от 1 до 70 мкм [Шило, 2016]). В соответствии со схемой классификации А. Вегетти мышечные волокна были разделены на мелкие, средние и крупные согласно их диаметрам (до <20 мкм, 20–50 мкм и > 50 мкм) [Veggetti et al., 1990]. У карповых рыб периодическое формирование мелких (10–20 мкм) и крупных (50–100 мкм) волокон было обнаружено нами в течение всего наблюдаемого периода (15–860 суток).

Морфометрический анализ мышечной ткани карпа показал: у сеголеток карпа массой 5–20 г средний диаметр мышечных волокон и плотность миофибрилл варьировали в пределах 22–29 мкм² и 1,615–2,205, соответственно (табл. 2).

Диаметр расщепляющихся миофибрилл примерно в два раза больше, чем нерасщепляющихся. У двухлеток карпа массой 130–200 г при увеличении радиусов волокон от 14 до 20 мкм наблюдали уменьшение радиуса миофибрилл и увеличение их плотности до 2,583. Полученные данные говорят о том, что у карпа увеличение радиуса мышечных волокон (их гипертрофия) сопровождается миофибриллярной гиперплазией

Таблица 2. Показатели морфологических структур рыб и их мышечных волокон II типа в (белых, гликолитических) при их гипертрофическом росте в *m. lateralis dorsalis* у сеголеток и двухлеток карпа

Возраст, сутки	Масса рыб, г	Длина туловища, см	Площадь волокна, мкм ²	Радиус волокна	Радиус миофибрилл	Площадь миофибрилл в мкм ²	Плотность миофибрилл (количество миофибрилл в 1 мкм ²)
20–40	5–20	5,30–8,11±0,35	494,794 ±19,79	12,553 ± 0,48	0,444 ±0,03	0,619 ±0,02	1,615 ±0,06
80–135	80–120	13,5–15,5 ±0,41	617,111 ± 22	14,019 ±0,54	0,394 ±0,01	0,487 ±0,01	2,205 ±0,01
420–500	130–200	16,4–17,3 ±0,64	1191,537 ± 42	19,480 ±0,74	0,351 ± 0,01	0,387 ±0,01	2,583 ±0,01

ей – увеличением количества миофибрилл в $1 \mu\text{m}^2$ (рис. 1).

По мнению Goldspink [Goldspink et al., 2001], высокая плотность миофибрилл приводит к разрыву соединительной ткани в Z-дисках миофибрилл и появ-

лению двух или более «дочерних» миофибрилл такой же длины. Поперечные полосы новых миофибрилл при этом имеют такой же размер и расположение саркомеров. Продольное расщепление миофибрилл (рекрутинг) наблюдается как у карповых разного воз-

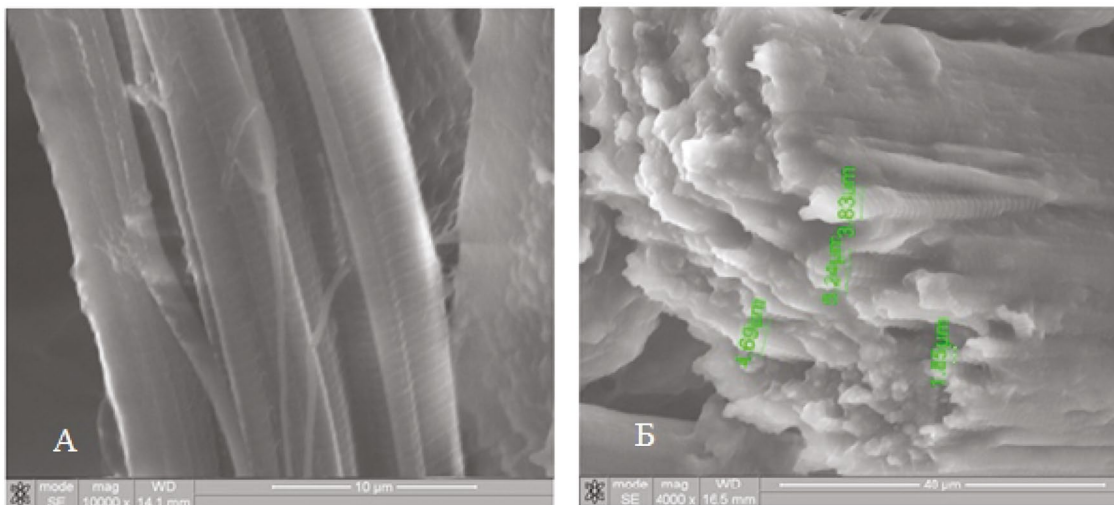


Рис. 1. Структурная организация мышечной ткани карповых рыб. Продольное расщепление миофибрилл: А – белого толстолобика (m=587 г), Б – карпа (m=1300 г)

раста и разной массы и закономерно приводит к росту диаметров мышечных волокон.

В одном случае гипертрофия волокон сопровождается не только увеличением количества миофибрилл, но и объединением их в пучки, пространство между которыми заполняется впоследствии эндомизием. Это явление получило название саркоплазматической гипертрофии мышечного волокна (рис. 2). Молодое волокно некоторое время рекрутирует новые миофибриллы, растёт в диаметре, но при определённом критическом соотношении числа миофибрилл и площади мышечного волокна оно начинает формировать миофибриллярные поля (поля Конгейма), впервые описанные Юлиусом Конгеймом [Cohnheim, 1865]. Такие группы обычно окружаются соединительной тканью и имеют общее кровоснабжение.

В другом случае может наблюдаться миофибриллярная гипертрофия волокна, сопровождаемая увеличением плотности миофибрилл. Если при этом, по нашему мнению, скорость роста волокон опережает скорость роста животного, то волокна заполняют весь объём мышечного пучка, сдавливая друг друга, и на поперечном сечении приобретают форму многоугольников (рис. 3).

Какая сила заставляет миофибриллы распадаться? Согласно Goldspink [Goldspink et al., 2001], результирующая сила, действующая на один Z-диск со стороны тонких нитей, двух смежных половинных саркомеров

может быть достаточно, чтобы разделить миофибриллярную массу в продольном направлении. Можно ожидать, что такая сила будет увеличиваться по мере того, как общая площадь поперечного сечения миофибрилл увеличивается, что действительно происходит, когда новые сократительные белки синтезируются, и филаменты собираются и включаются в расту-

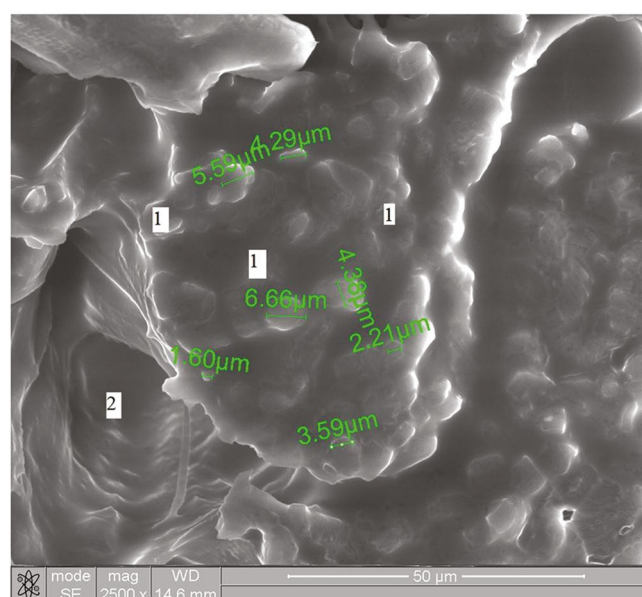


Рис. 2. Миофибриллярные поля в мышечном волокне карпа (m=14 г): 1 – пучки миофибрилл; 2 – капилляр

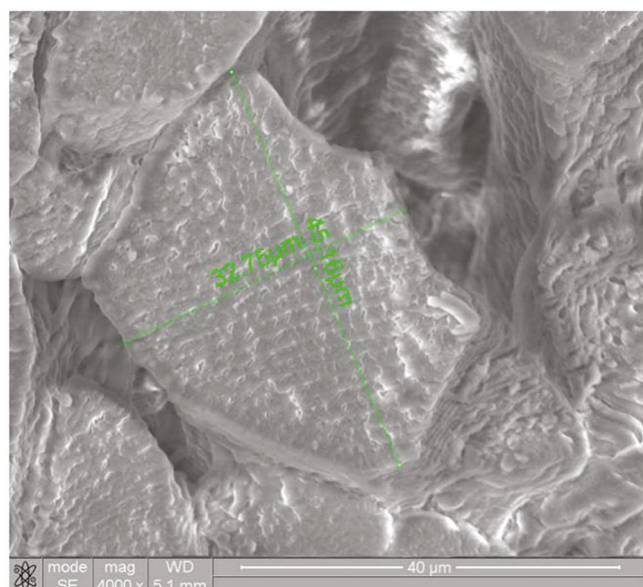


Рис. 3. Миофибрилярная гипертрофия мышечного волокна карпа ($m=260$ г). Миофибриллы расположены параллельными рядами

ший саркомер. Возникновение саркотубулярного комплекса внутри разорванной миофибриллярной массы предполагает, что распространение этих мембранных элементов позволяет полностью разделить растущую миофибриллу [Goldspink et al., 2001].

По-видимому, для роста мышечной ткани применим принцип наиболее полного заполнения пространства, которое обеспечивается или плотной упаковкой мышечных волокон миофибриллами, при одинаковом радиусе волокон или идеальной упаковке искажённых тетраэдров или октаэдров. Округлая фор-

ма волокон наблюдается при их свободном расположении в мышце и небольшой плотности (рис. 4).

Гиперплазия мышечных волокон

Как было сказано выше, большинство современных исследователей миогенеза рыб придерживаются той точки зрения, что гиперплазия мышечных волокон у взрослых рыб создаёт мозаичный вид мышечной ткани по типу эмбрионального миогенеза, при котором молодые волокна образуются из формирующихся миотрубок. Alami-Durante, ссылаясь на других авторов, пишет: «Клеточными предшественниками, которые участвуют в новообразовании мышечных волокон, являются сателлитные клетки, расположенные между сарколеммой и базальной мембраной ранее сформированных волокон, а также другие миогенные клетки, расположенные за пределами базальной пластинки. По мере того, как эти клетки рассредотачиваются, мышечные волокна формируются по всему миотому, придавая ему характерный мозаичный вид, где недавно сформированные мелкие волокна соседствуют с более крупными, происхождение которых можно проследить до эмбрионального миогенеза» [Alami-Durante, Rescan, 2003, с. 153]. Тем не менее, доказательная визуальная база (электронные микрофотографии, световая микроскопия), подтверждающая данный тезис в постнатальном миогенезе рыб, немногочисленна и, на наш взгляд, не очень убедительна. В частности, в доступной нам информационной базе мы не встретили ни одной электронномикроскопической фотографии, подтверждающей данный тезис. Анализ более 500 электронномикроскопических фотографий позво-

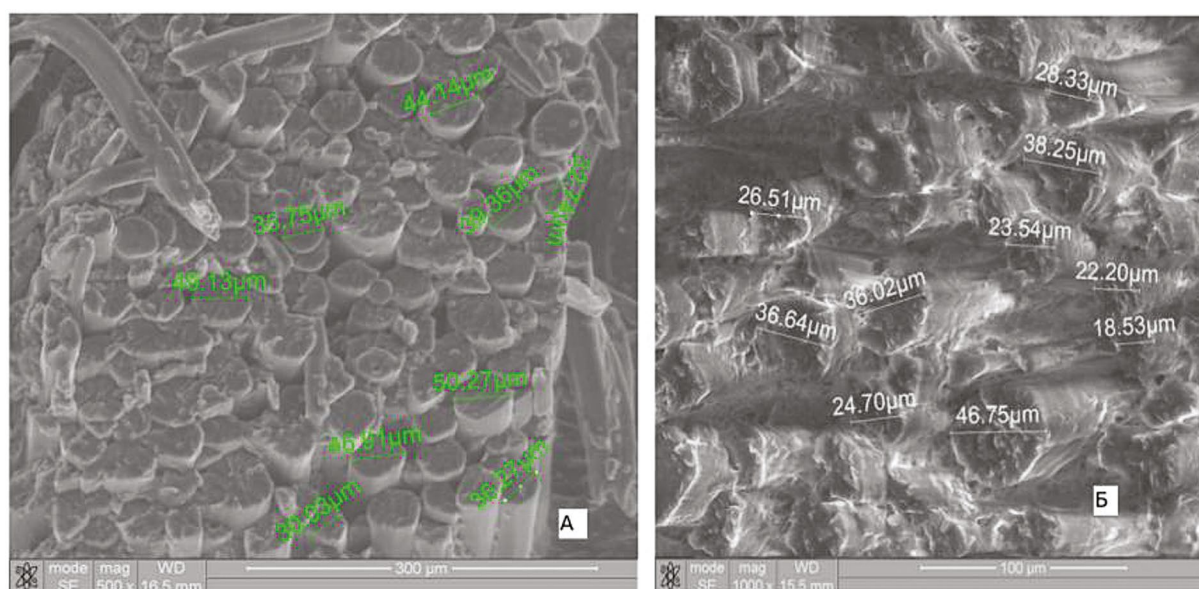


Рис. 4. Мышечные волокна белого амура ($m=10$ г) и карпа ($m=94$ г) Плотность мышечных волокон 0,001–0,004 волокна на 1 мкм^2

лил нам найти доказательства того, что продольное расщепление волокон является одним из механизмов гиперплазии мышечной ткани рыб на различных этапах постнатального онтогенеза (табл. 3).

При увеличении площади волокна свыше 3500 мкм² с одновременным увеличением плотности миофибрилл до 4,901 на 1 мкм² у сеголеток, так и у двухлеток карповых рыб (карпа, белого амура

Таблица 3. Показатели морфологических структур мышечных волокон II типа (белых, гликолитических) при их гиперплазии у карпа

Возраст рыб	Масса рыб, г	Длина туловища, см	Площадь материнского волокна, мкм ²	Площадь дочернего волокна	Радиус дочернего волокна	Радиус миофибрилл	Площадь миофибрилл в мкм ²	Плотность миофибрилл в 1 мкм ²
80–135	80–120	13,5–15,5 ±0,42	4345,119±173,87	581,280±23,24	13,606 ± 0,52	0,255 ± 0,013	0,204 ± 0,01	4,901 ± 0,15
500	1000–1200	30,7–35,0±1,41	9544,682 ± 350,77	2172,230 ± 86,88	26,302 ± 1,04	0,275 ± 0,011	0,237 ± 0,01	4,219 ± 0,16

и белого толстолобика) наблюдали продольное расщепление волокон. В некоторых плотно упакованных миофибриллами волокнах округлой формы наблюдали линии напряжения в виде отдельных сегментов.

Процесс распада материнского волокна сопровождается «прорастанием» соединительной ткани (эндомизия) между отделяющимися волокнами. Относительное содержание соединительной ткани в распадающихся волокнах составило, по нашим данным, от 28 до 40%. Присутствие соединительной ткани между «дочерними» (рекрутными) волокнами является хорошим доказательством того, что расщепление волокон не является артефактом или результатом механиче-

ского повреждения волокон во время их фиксации (рис. 7).

При быстром росте волокон кровоснабжение (капилляризация) волокон может несколько отставать от оптимума, вследствие чего разделение крупного волокна на более мелкие группы волокон, окруженные новой сетью капилляров, оказывается физиологически оправданным. После разделения волокна некоторое время кластеры новых волокон всё ещё сохраняют форму материнского волокна и общее капиллярное русло (рис. 8). Молодые волокна определенное время увеличивают свой объём за счёт саркоплазмы, что позволяет им принять округлую форму. В дальней-

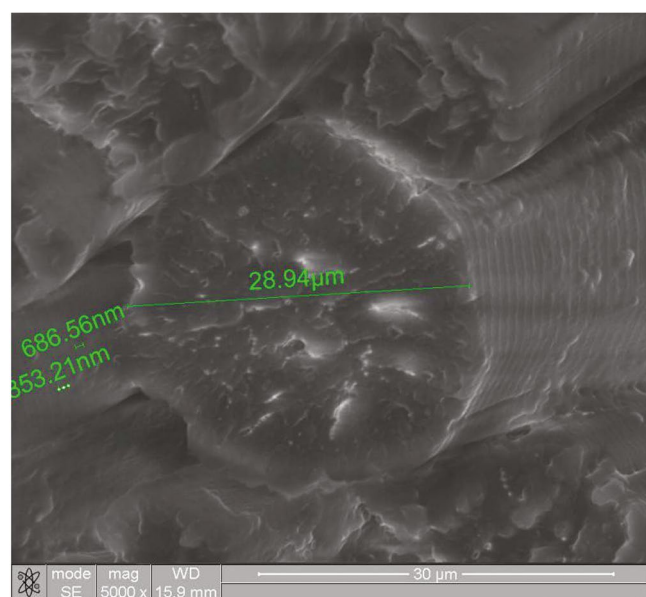


Рис. 5. Мышечное волокно зеркального карпа (m=5 г). Площадь мышечного волокна 657,456 ± 26 мкм², плотность миофибрилл – 3,222 ± 0,13 на 1 мкм². На поверхности волокна и в его толще видны отдельные продольные сегменты

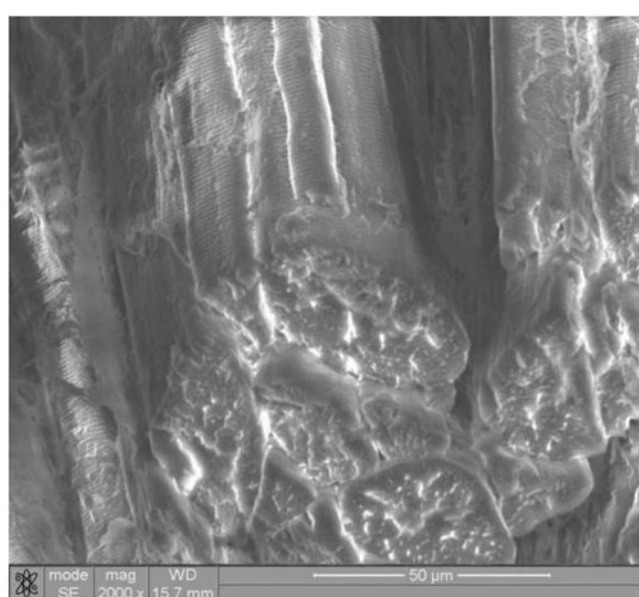


Рис. 6. Начальная стадия распада материнского мышечного волокна на дочерние волокна у карпа (m=82 г). Заметна неоднородность структуры мышечных волокон в центре и по периферии

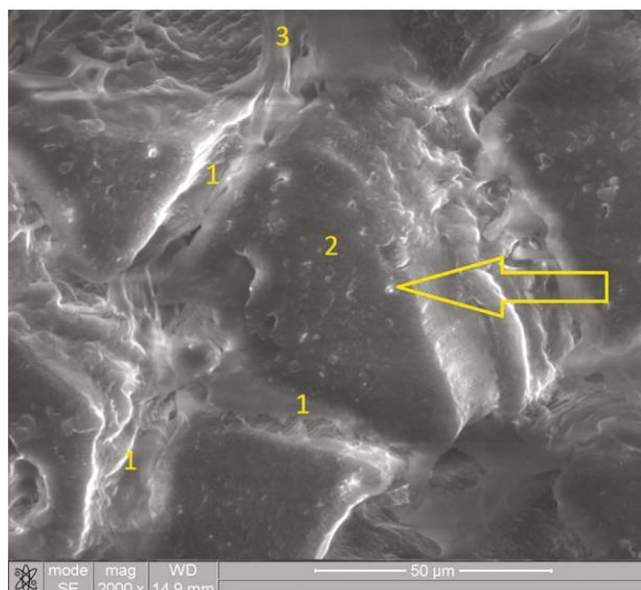


Рис. 7. «Материнское» мышечное волокно у карпа трёхлетки ($m=1200$ г): 1 — линии «разлома» волокна; 2 — «дочерние» волокна; 3 — нейрон. Стрелкой показана отдельная миофибрилла

шем каждое из них увеличивает свой диаметр за счёт гиперплазии миофибрилл и процесс повторяется.

Физиологическое разрушение мышечного волокна (разделение на более мелкие волокна) происходит, по нашему мнению, в результате упругого гистерезиса. Применительно к развитию и росту мышечной ткани явление гистерезиса можно рассматривать как специфическую неравновесную систему, в основе которой лежат, с одной стороны, процессы синтеза белка в мышечном волокне, увеличение числа миофибрилл и их рост, а с другой — формирование структурного оформления мышечной ткани в виде мышечных волокон и пучков. Наличие общего капиллярного рус-

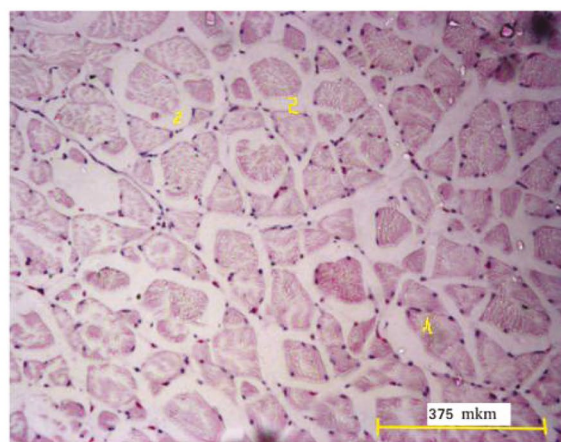
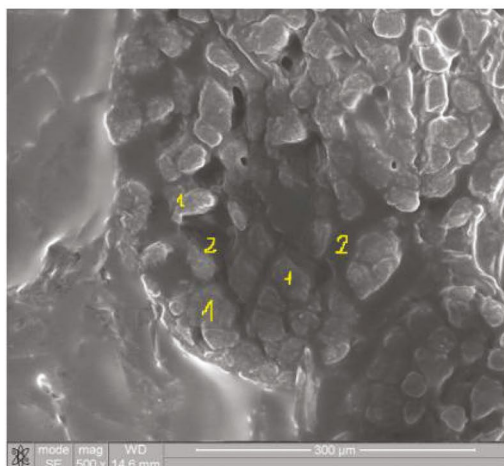


Рис. 8. Мышечное волокно карпа ($m=1200$ г): 1 — мышечные волокна; 2 — эндомизий; стрелки указывают капиллярное русло вокруг новых дочерних волокон

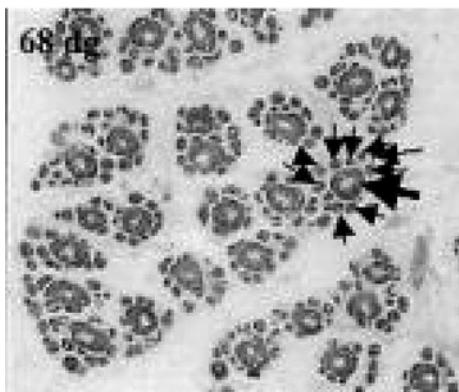


Рис. 9. Миогенез в красной полусухожильной мышце свиньи, Lefaucheur et al. Чёрные стрелки указывают вторичное поколение мышечных волокон [Picard, 2002]

ла вокруг группы нескольких дочерних сопряжённых волокон служит ещё одним доказательством расщепления мышечных волокон. В любом случае, у рыб нам не встречалась такая схема расположения вторичных и третичных мышечных волокон как у птиц и млекопитающих, где общее количество волокон, как полагают, фиксируется до вылупления или рождения [Picard, 2002].

Это можно объяснить следующим образом: потребность в электронной микроскопии для подтверждения идентичности вторичных и третичных мышечных волокон, так же, как и спутниковых клеток, долгое время была ограничением и постепенно заменялась молекулярными маркерами, позволяющими идентифицировать их с применением световой микроскопии. Открытие миогенного семейства регуляторных факторов (Myf5, MyoD, myogenin и MRF4) в конце 1980-х гг. также внесло свой вклад в понимание специфики миогенного происхождения и контроля развития мышц. Сейчас электронная микроскопия стала доступнее, и она позволяет визуализировать не только морфологию мышечных клеток и их субклеточных структур, но и хронологию событий при миогенезе.

Исследование цифровых изображений отсканированных микропрепаратов скелетной мышечной ткани трёхлеток белого толстолобика, карпа и белого амура массой 700–1800 г позволяет восстановить следующую цепь событий: эмбриональное формирование вторичных и третичных мышечных волокон и их последующий гипертрофический рост; 2) периодическое увеличение площади мышечного волокна за счёт увеличения числа миофибрилл (их продольного расщепления, гиперплазии) в постнатальном онтогенезе рыб; 3) мышечные волокна, площадью более 4000 мкм² и плотностью миофибрилл не ниже 4 экз. на 1 мкм² распадаются на дочерние (рекрутные) волокна; 4) в дальнейшем миофибриллы в них снова растут в диаметре, расщепляются вдоль, их число в волокне возрастает (гиперплазия миофибрилл повторяется), и волокно снова увеличивается в диаметре. Таким образом, гиперплазия и гипертрофия не отделены во времени и в пространстве, а закономерно сменяют друг друга, обеспечивая постнатальный рост мышечной ткани (рис. 11).

Гипертрофия мышечных волокон происходит при участии миосателлитов, экспрессирующих специфические факторы транскрипции и запускающих синтез белков мышечной ткани.

Мышечное волокно, по нашему мнению, можно сравнить с упругой стержневой конструкцией. При продольном расщеплении волокон в нем действуют биомеханические силы. В таком случае повторение в ростовых процессах явлений гиперплазии и гипертрофии связано с периодической необратимой разрывной деформацией мышечного волокна, в связи с чем оно при снятии деформирующих сил (распада на более мелкие волокна) возвращается к первоначальной форме. В дальнейшем рост мышечных волокон продолжается гипертрофически. При этом соединительные ткани окружают дочерние волокна, формируя специфический узор мышечной ткани.

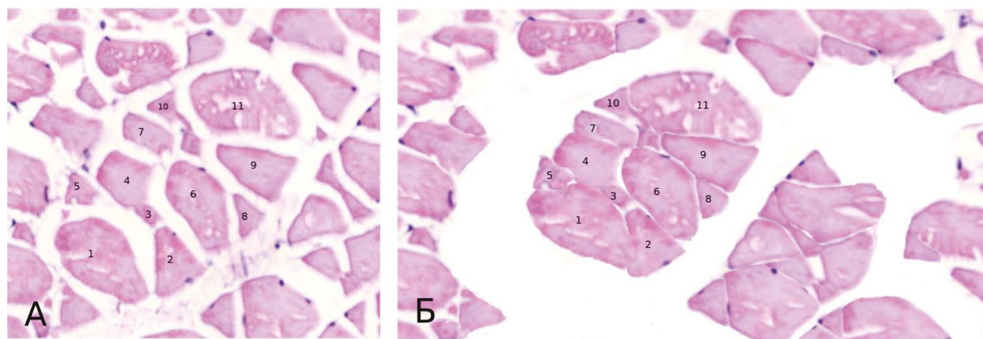


Рис. 10. А – реконструкция материнского волокна белого толстолобика (m= 1800 г); Б – его оригинальная микрофотография. Цифрами обозначены дочерние волокна

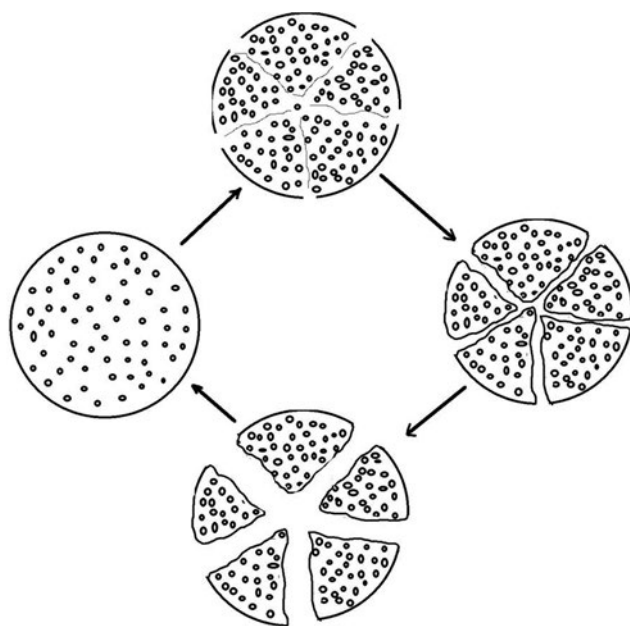


Рис. 11. Гипертрофия мышечного волокна, сопровождаемая увеличением числа миофибрилл с последующим формированием дочерних мышечных волокон: 1, 2 – материнское мышечное волокно; 3, 4 – разделение волокна на дочерние волокна

Такой подход даёт возможность представить структуру мышечной ткани как продукт не только внутренних (генетических), но и внешних воздействий, позволяя, вместе с тем, прогнозировать её структуру при этих воздействиях.

ВЫВОДЫ

1. Формирование мышечной ткани сопровождается незатухающими колебательными процессами: напряжения и восстановления в рамках единого гиперцикла процессов роста на различных уровнях: на уровне миофибрилл, на уровне мышечных волокон и их пучков. При увеличении площади волокна свыше 3500 мкм^2 с одновременным увеличением плотности миофибрилл до 4,901 на 1 мкм^2 у сеголеток и у двухлеток карповых рыб (карпа, белого амура и белого толстолобика) наблюдали продольное расщепление волокон.

2. Графическая реконструкция изображений микроструктуры мышечной ткани рыб даёт основание предположить, что гиперплазия и гипертрофия мышечных волокон не отделены во времени и в пространстве, а закономерно сменяют друг друга, обеспечивая общую миогенную задачу – рост рыбы и её мышечной ткани. Вопрос об их взаимосвязи требует дополнительных исследований в будущем.

3. Представление о росте мышечной ткани, как цепи последовательных взаимообусловленных собы-

тий, позволяет выработать систему регулирующих факторов, влияющую на их питание и рост рыб, их здоровье и продуктивные качества.

ЛИТЕРАТУРА

- Кабанов В.Д. 1973. Биологические основы повышения скорости роста и улучшения мясных качеств в свиней. Дисс. ... док. с./х. наук. Елгава: Латвийская АСХН. 352 с.
- Микодина Е.В., Седова М.А., Чмилевский А.А. 2009. Гистология для ихтиологов. М.: ВНИРО. 112 с.
- Панов В.П., Фалий С.С., Есавкин Ю.И., Жигин А.В. 2018. Рост и развитие мышц американского гольца в различные периоды онтогенеза // Труды ВНИРО. Т. 171. С. 106–115.
- Шило Е.И. 2016. Рост и развитие скелетной мускулатуры карповых рыб в постнатальном онтогенезе. Дисс. ... канд. биол. наук. М.: МГАВМБ им. Скрыбина. 121с.
- Яржомбек А.А., Шило Е.И. 2017. Клеточный рост мускулатуры карпа (краткое сообщение) // Труды ВНИРО. Т. 166. С. 81–83.
- Alami-Durante H. 1990. Growth of organs and tissues in carp (*Cyprinus carpio* L.) larvae // Growth Development and Aging. Vol. 54. P. 109–116.
- Alami-Durante H., Fauconneau B., Rouel M., Escaffre A.M., Bergot P. 1997. Growth and multiplication of white skeletal muscle fibres in carp larvae in relation to somatic growth rate // Fish. Biol. Vol. 50. P. 1285–1302.
- Alami-Durante H., Rescan P.Y. 2003. Typologie et ontogenèse des fibres musculaires chez les poissons // Productions Animales. Vol. 16(2). P. 145–155.
- Alami-Durante H., Cluzeaud M. 2019. Muscle growth mechanisms in response to isoenergetic changes in dietary non-protein energy source at low and high protein levels in juvenile rainbow trout // Comparative Biochemistry and Physiology. P. A: Molecular & Integrative Physiology. V. 230. P. 91–99.
- Cohnheim J.F. 1865. Über den feineren Bau der quergestreiften Muskelfaser // Virchows Archiv. № 34. P. 606–622.
- Fauconneau B., Alami-Durante H. 1995. Growth and meat quality relations in carp // Aquaculture. Vol. 129. P. 265–297.
- Goldspink G., Wilkes D., Ennion S. 2001. Myosin expression during ontogeny, post-hatching growth, and adaptation // Muscle Development and Growth / ed. Johnston I.A. San Diego, CA: Academic Press. P. 43–72.
- Johnston I.A. 2006. Environment and plasticity of myogenesis in teleost fish // J. Exp. Biol. № 209. P. 2249–2264.
- Koumans J.T.M., Akster H.A. 1995. Myogenic cells in development and growth of fish // Comp. Biochem. Physiol. Vol. 110 A. P. 3–20.
- Listrat A., Lebret B., Louveau I. 2015. Comment la structure et la composition du muscle déterminent la qualité des viandes ou chairs? // Productions Animales. Numéro spécial: Le muscle et la viande. Vol. 28. No 2. P. 125–136.

- Picard B., Lefaucheur L., Berri C., Duclos M.J.* 2002 Muscle fibre ontogenesis in farm animal species // *Reproduction Nutrition Development*, EDP Sciences. № 42 (5). P. 415–431.
- Rossi G., Messina G.* 2014. Comparative myogenesis in teleosts and mammals // *Cellular and Molecular Life Sciences*. № 71. P. 3081–3099
- Rowlerson A., Veggetti A.* 2001. Cellular mechanisms of post-embryonic muscle growth // *Muscle Development and Growth* / ed. Johnston I.A., ed. San Diego, CA: Academic Press. P. 103–140.
- Slesarenko N., Shilo E., Abramov P.* 2018. Morphological Indicators of Skeletal Muscles in Carp in Case of the Use of Quickened Growth Technology // *Research J. of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. № 9 (2). P. 937–943.
- Stickland N.C., Demirtas B., Clelland K., Ashton C.* 2000. Genetic and nutritional influence on muscle growth in farm animals // *Comp. Biochem. Physiol.* № 126. P. 141.
- Veggetti A., Mascarello F., Scapolo P.A., Rowlerson A.* 1990. Hyperplastic and hypertrophic growth of lateral muscle in *Dicentrarchus labrax* (L.). An ultrastructural and morphometric study // *J. Anatomy and Embryology (Berl)* № 82(1). P.1–10. doi: 0.1007/BF00187522
- Weatherley A.H., Gill H.S., Lobo A.F.* 1988. Recruitment and maximal diameter of axial muscle fibres in teleosts and their relationship to somatic growth and ultimate size // *J. Fish Biol.* № 33. P. 851–859.

Поступила в редакцию 14.05.2021 г.
Принята после рецензии 21.07.2021 г.

On the relationship between hypertrophy and hyperplasia of muscle fibers in postnatal myogenesis in fish of the Cyprinid family

E.I. Shilo

Belgorod State Agrarian University («Belgorod SAU»), Belgorod, Russia

The concept of muscle tissue growth as a chain of successive interdependent events makes it possible to develop a system of regulatory factors influencing the nutrition and growth of fish, their health and productive qualities. In bony fish, the primary and secondary generation of muscle fibers occurs at the embryonic and postembryonic stages of development, respectively. Unlike mammals and birds, the postnatal development of fish is accompanied by hypertrophy and hyperplasia of muscle tissues throughout their life, which determines the specificity of the growth of their muscle tissue and affects the quality of fish fillets. With an increase in the fiber area over 3500 μm^2 with a simultaneous increase in the density of myofibrils up to 4.901 per 1 μm^2 in underyearlings and in two-year-old carp fishes (carp, grass carp and silver carp), longitudinal splitting of fibers was observed. It has been shown that the formation of muscle tissue is accompanied by sustained oscillatory processes: tension and recovery within a single hypercycle of growth processes at different levels: at the level of myofibrils and muscle fibers, thus hyperplasia and hypertrophy of muscle fibers are not separated in time and space, but naturally replace each other, providing a common myogenic task – the growth of fish and its muscle tissue. The question of their relationship requires additional research in the future.

Keywords: Muscle fibers, myofibrils, hypertrophy, hyperplasia, recruit fibers, elastic hysteresis, fish growth.

REFERENCES

- Kabanov V.D.* 1973. Biologicheskie osnovy povysheniya skorosti rosta i uluchsheniya myasnykh kachestv v svinej [Biological basis for increasing growth rate and improving meat quality in pigs.]. Diss. ... dok. Sel'skokhoz. nauk. Elgava: Latvijas ASKHN. 352 s.
- Mikodina E.V., Sedova M.A., Chmilevskij A.A.* 2009. Gistologiya dlya ikhtiologov [Histology for Ichthyologists]. M.: VNIRO. 112 s.
- Panov V.P., Falij S.S., Esavkin Yu.I., Zhigin A.V.* 2018. Rost i razvitie myshts amerikanskogo gol'tsa v razlichnye periody ontogeneza [Muscle growth and development of american char in different periods of ontogenesis] // Trudy VNIRO. T.171. S. 106–115
- Shilo E.I.* 2016. Rost i razvitie skeletnoj muskulatury karpovykh ryb v postnatal'nom ontogeneze [Growth and development of skeletal muscles of cyprinids in postnatal ontogenesis]. Diss. ... kand. biol. nauk. M.: MGAVMB im. Skryabina. 121s.
- Yarzhombek A.A., Shilo E.I.* 2017. Kletochnyj rost muskulatury karpa (kratkoe soobshchenie) [Cellular growth of carp musculature] // Trudy VNIRO. T. 166. S. 81–83.
- Alami-Durante H.* 1990. Growth of organs and tissues in carp (*Cyprinus carpio* L.) larvae // Growth Development and Aging. Vol. 54. P. 109–116.
- Alami-Durante H., Fauconneau B., Rouel M., Escaffre A.M., Bergot P.* 1997. Growth and multiplication of white skeletal muscle fibres in carp larvae in relation to somatic growth rate // Fish. Biol. Vol.50. P. 1285–1302.
- Alami-Durante H., Rescan P.Y.* 2003. Typologie et ontogenèse des fibres musculaires chez les poissons // Productions Animales. Vol. 16(2). P. 145–155.
- Alami-Durante H., Cluzeaud M.* 2019. Muscle growth mechanisms in response to isoenergetic changes in dietary non-protein energy source at low and high protein levels in juvenile rainbow trout // Comparative Biochemistry and Physiology. P. A: Molecular & Integrative Physiology. V. 230. P. 91–99.
- Cohnheim J.F.* 1865. Über den feineren Bau der quergestreiften Muskelfaser // Virchows Archiv. № 34. P. 606–622.
- Fauconneau B., Alami-Durante H.* 1995. Growth and meat quality relations in carp // Aquaculture. Vol. 129. P. 265–297.
- Goldspink G., Wilkes D., Ennion S.* 2001. Myosin expression during ontogeny, post-hatching growth, and adaptation // Muscle Development and Growth / ed. Johnston I.A. San Diego, CA: Academic Press. P. 43–72.
- Johnston I.A.* 2006. Environment and plasticity of myogenesis in teleost fish // J. Exp. Biol. № 209. P. 2249–2264.

- Koumans J.T.M., Akster H.A.* 1995. Myogenic cells in development and growth of fish // *Comp. Biochem. Physiol.* Vol. 110 A. P. 3–20.
- Listrat A., Le Bret B., Louveau I.* 2015. Comment la structure et la composition du muscle déterminent la qualité des viandes ou chairs? // *Productions Animales*. Numéro spécial: Le muscle et la viande. Vol. 28. No 2. P. 125–136.
- Picard B., Lefaucheur L., Berri C., Duclos M.J.* 2002 Muscle fibre ontogenesis in farm animal species // *Reproduction Nutrition Development*, EDP Sciences. N° 42 (5). P. 415–431.
- Rossi G., Messina G.* 2014. Comparative myogenesis in teleosts and mammals // *Cellular and Molecular Life Sciences*. N° 71. P. 3081–3099.
- Rowlerson A., Veggetti A.* 2001. Cellular mechanisms of post-embryonic muscle growth // *Muscle Development and Growth* / ed. Johnston I.A., ed. San Diego, CA: Academic Press. P. 103–140.
- Slesarenko N., Shilo E., Abramov P.* 2018. Morphological Indicators of Skeletal Muscles in Carp in Case of the Use of Quickened Growth Technology // *Research J. of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. N° 9 (2). P. 937–943.
- Stickland N.C., Demirtas B., Clelland K., Ashton C.* 2000. Genetic and nutritional influence on muscle growth in farm animals // *Comp. Biochem. Physiol.* N° 126. P. 141.
- Veggetti A., Mascarello F., Scapolo P.A., Rowlerson A.* 1990. Hyperplastic and hypertrophic growth of lateral muscle in *Dicentrarchus labrax* (L.). An ultrastructural and morphometric study // *J. Anatomy and Embryology (Berl)* N° 82(1). P.1–10. doi: 0.1007/BF00187522.
- Weatherley A.H., Gill H.S., Lobo A.F.* 1988. Recruitment and maximal diameter of axial muscle fibres in teleosts and their relationship to somatic growth and ultimate size // *J. Fish Biol.* N° 33. P. 851–859.

TABLE CAPTIONS

Table 1. Material and research methods.

Table 2. Indicators of the morphological structures of fish and their muscle fibers of type II in (white, glycolytic) with their hypertrophic growth in m. lateralis dorsalis in underyearlings and two-year-old carp.

Table 3. Indicators of morphological structures of type II muscle fibers (white, glycolytic) with their hyperplasia in carp.

FIGURE CAPTIONS

Fig. 1. Structural organization of muscle tissue of cyprinids. Longitudinal splitting of myofibrils: A – silver carp (m = 587 g), B – carp (m = 1300 g).

Fig. 2. Myofibrillar fields in muscle fiber carp (m = 14 g): 1-bundles of myofibrils, 2- capillary.

Fig. 3. Myofibrillar hypertrophy of carp muscle fiber (m = 260 g) Myofibrils are arranged in parallel rows.

Fig. 4. Muscle fibers of grass carp (m = 10g.) and carp (m = 94g.) Density of muscle fibers 0.001–0.004 fibers per 1 μm^2 .

Fig. 5. Muscle fiber of mirror carp (m = 5g). The area of the muscle fiber is $657.456 \pm 26 \mu\text{m}^2$, the density of myofibrils is 3.222 ± 0.13 per 1 μm^2 . Separate longitudinal segments are visible on the surface of the fiber and in its thickness.

Fig. 6. The initial stage of the decay of the maternal muscle fiber into daughter fibers in carp (m = 82g). There is noticeable heterogeneity of the structure of muscle fibers in the center and around the periphery.

Fig. 7. «Maternal» muscle fiber in carp (m = 1200 g): 1- fiber «break» lines; 2 – «daughter» fibers; 3-neuron. The arrow shows an individual myofibril.

Fig. 8. Muscle fiber of carp (m = 1200g): 1 – muscle fibers, 2 – endomysium, arrows indicate the capillary bed around new daughter fibers.

Fig. 9. Myogenesis in the red semitendinosus muscle of the pig, Lefaucheur et al. Black arrows indicate the secondary generation of muscle fibers [Picard, 2002].

Fig. 10. A – reconstruction of the maternal fiber of silver carp (m = 1800 g) and its original micrograph – B. The numbers indicate the daughter fibers.

Fig. 11. Hypertrophy of muscle fiber, accompanied by an increase in the number of myofibrils, followed by the formation of daughter muscle fibers: 1, 2 – maternal muscle fiber, 3,4- division of the fiber into daughter fibers.

Питание сивуча у восточного побережья Камчатки

И.А. Усатов^{1,2},
 А.М. Токранов¹,
 И.С. Труханова^{1,3},
 В.Н. Бурканов^{1,4}

¹ Камчатский филиал Тихоокеанского института географии ДВО РАН (ФГБНУ «КФ ТИГ ДВО РАН»), г. Петропавловск-Камчатский

² Кроноцкий государственный природный биосферный заповедник (ФГБУ «Кроноцкий ГПБЗ»), г. Елизово

³ Консалтинговая компания по дикой природе Северной Пацифики, г. Сиэтл

⁴ Лаборатория по изучению морских млекопитающих Аляскинского рыбохозяйственного центра НСМР/НОАА, г. Сиэтл

E-mail: usatov.ivan.alex@gmail.com

Изучали питание сивуча *Eumetopias jubatus* на восточном побережье Камчатки по остаткам непереваренных частей пищи, обнаруженных в экскрементах на лежбищах у мыса Козлова (репродуктивное лежбище) и мыса Кекурный (нерепродуктивное) в летний период. Всего с 2004 по 2008 г. было исследовано 276 проб. В них было идентифицировано 48 объектов питания 17 семейств рыб и одно семейство головоногих моллюсков. Рацион сивуча разнообразен, но в нём доминируют только несколько объектов питания. По частоте встречаемости на обоих лежбищах в порядке убывания преобладали минтай *Gadus chalcogrammus*, северный однопёрый терпуг *Pleurogrammus monopterygius*, тихоокеанская песчанка *Ammodytes hexapterus* и получешуйники *Hemilepidotus* sp. Обнаружены различия в питании сивуча на изучаемых лежбищах. Разнообразие питания в пробах экскрементов с м. Кекурный варьировалось от одного до 12 с медианой в 4 добычи на одну пробу. Медиана распределения количества объектов питания на одну пробу для м. Козлова составила два объекта питания с диапазоном от одного до 9 типов добычи на одну пробу. На м. Козлова из 37 проб (24,5%), содержащих одну добычу, 75,7% содержали остатки северного однопёрого терпуга. Собранные на нерепродуктивном лежбище м. Кекурный пробы с одним видом корма (n=10, 8,0%), содержали северного терпуга (50,0%) и минтай (40,0%). Размножающиеся сивучи с м. Козлова питались узким набором кормовых объектов, в отличие от более разнообразного рациона особей с нерепродуктивного лежбища м. Кекурный. В пределах анализируемого периода наблюдалось сохранение доминирования преобладающих объектов питания. Межгодовые изменения в структуре рациона не значительны.

Ключевые слова: сивуч *Eumetopias jubatus*, объект питания, рацион питания, северный однопёрый терпуг *Pleurogrammus monopterygius*, минтай *Gadus chalcogrammus*, репродуктивное лежбище, восточное побережье Камчатки.

ВВЕДЕНИЕ

Питание сивуча *Eumetopias jubatus* Schreber, 1776 хорошо изучено в восточной части ареала у побережья Северной Америки, в заливе Аляска [Imler, Sarber, 1947; Thorsteinson, Lensink, 1962; Mathisen et al., 1962; Calkins, Pitcher, 1982; Merrick et al., 1997; Sinclair, Zeppelin, 2002; Womble, Sigler, 2006; Trites et al., 2007; McKenzie, Wynne, 2008; Trites, Calkins, 2008], на Алеутских островах [Merrick et al., 1997; Sinclair, Zeppelin, 2002; Sinclair et al., 2013] и поверхностно – в водах, прилегающих к побережью Азии [Никулин, 1937; Тихомиров, 1964; Панина, 1966; Перлов, 1975; Waite, Burkanov, 2006; Waite et al., 2012a, 2012b] (рис. 1).

Так, питанию сивуча в водах Дальнего Востока России посвящено всего несколько работ, опубликованных с большим перерывом и не полно отражающих разнообразие и относительное обилие видов в рационе [Барабаш-Никифоров, 1935; Никулин,

1937; Тихомиров, 1964; Панина, 1966; Перлов, 1975; Waite, Burkanov, 2006; Waite et al., 2012 a, b]. Практически не изучена диета этого вида тюленей в Охот-

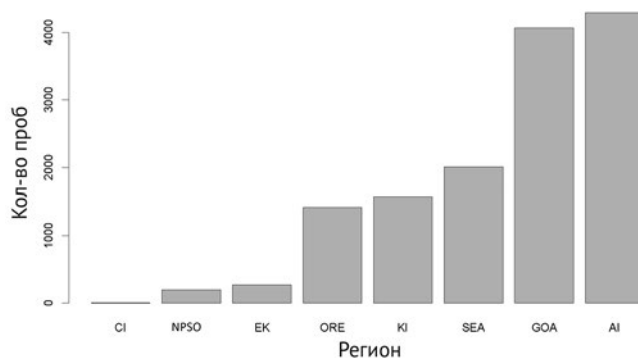


Рис. 1. Количество исследованных проб при изучении питания сивуча по регионам: CI – Командорские о-ва; NPSO – северная часть Охотского моря; EK – Восточная Камчатка, KI -Курильские о-ва; AI – Алеутские о-ва; SEA – Юго-восточная Аляска; GOA – залив Аляска; ORE – Орегон

ском море и у берегов Камчатки. Имеются лишь самые общие представления о том, чем сивуч питается на Командорских о-вах (рис. 1).

Особенное беспокойство вызывает слабая изученность питания сивуча на восточном побережье Камчатки. В этом регионе, после 1983 г., было зарегистрировано 73%-ное падение численности данного вида [Burkanov, Loughlin, 2005]. Причины, вызвавшие такое значительное сокращение популяции в прошлом и препятствующие её росту в настоящем [Altukhov et al., 2015], остаются неизвестными.

Если в середине XX в. исследования рациона сивуча были направлены на рассмотрение негативного воздействия этого хищника на рыболовство, в первую очередь, оценку величины потребления и травмирования ценных видов промысловых рыб [Imler, Sarber, 1947; Mathisen et al., 1962; Thorsteinson, Lensink, 1962, Тихомиров, 1964], то после катастрофического сокращения численности вида, основной целью таких исследований стала проверка гипотезы о недостатке обеспеченности сивуча кормами и ухудшении их качества [Alaska Sea Grant, 1993; DeMaster, Atkinson, 2002].

Целью данной работы было изучение питания сивуча, обитающего у восточного побережья Камчатки, на лежбищах у м. Кекурный (нерепродуктивное) и м. Козлова (репродуктивное) (рис. 2). В частности, решались следующие задачи:

- определение видового состава рациона сивуча, частоты встречаемости объектов питания и их значения в общем объёме потребляемых им кормовых ресурсов;
- сравнение диеты сивуча на непродуктивном и репродуктивном лежбищах;

- оценка межгодовых изменений рациона.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Материалом для данной работы послужили остатки непереваренных твёрдых остатков пищи, отмытых из экскрементов сивуча, собранных в 2004, 2006 и 2008 гг. в районе восточного побережья Камчатки на двух лежбищах, расположенных у м. Козлова и м. Кекурный (рис. 2).

Сбор проб осуществляли по всему лежбищу сразу после схода животных в воду. За одну пробу принималась одна локализованная кучка экскрементов, помещённая с помощью садового совочка в отдельный полиэтиленовый пакет. На м. Козлова подавляющее большинство проб было собрано с репродуктивной части лежбища, поэтому они отражали структуру рациона главным образом взрослых размножающихся особей. Пробы, собранные на лежбище с м. Кекурный, отражают все возрастные и половые группы, поскольку лежбище является смешанным.

После сбора в полиэтиленовые пакеты экскременты промывали на судне в струе проточной воды через колонку с набором сит разной величины (1 мм, 0,71 мм и 0,50 мм). Мягкой кисточкой твёрдые остатки отделяли из общей массы и переносили на фильтровальную бумагу. На судне отмытые пробы хранили в замороженном виде. В лаборатории их очищали от примесей (песка, камней, водорослей и пр.), просушивали и направляли для идентификации квалифицированным специалистам-морфологам компании Pacific Identification Inc. (Виктория, Британская Колумбия, Канада). Всего за период исследований было собрано и проанализировано 276 проб экскрементов сивуча (табл. 1).



Рис. 2. Район исследований

Таблица 1. Количество проб, собранных для анализа питания сивуча в 2004–2008 гг.

Лежбище	Дата сбора	Количество, шт.
Мыс Козлова	29 июня 2004 г.	46
	1 июля 2006 г.	77
	30 июля 2008 г.	28
	ВСЕГО	151
Мыс Кекурный	22 мая и 2 июля 2004 г.	67
	5 июля 2006 г.	34
	14 июля 2008 г.	24
	ВСЕГО	125
ИТОГО		276

Объекты питания определялись до минимально возможного таксономического уровня путём сравнения с существующими коллекциями. Только 3,9% объектов питания были определены по отолитам. Рыб в большинстве случаев идентифицировали по позвонкам (28,9%), чешуе (14,7%), остаткам других костей скелета (52,5%). Головоногих моллюсков чаще всего определяли по остаткам их клюва (46,7%) или линз глаза (53,3%).

При анализе проб учитывалось только присутствие остатков того или иного вида рыб в каждой пробе, без учёта их размеров. Частота встречаемости каждого объекта питания рассчитывалась по формуле (1):

$$FO_i = (n_i/n_t) * 100, \quad (1)$$

где: FO – частота встречаемости объекта питания i ; n_i – количество проб, содержащих объект питания i ; n_t – общее количество исследуемых проб выборки t .

Подробное описание методики изложено в диссертационной работе Д. Уэйта [Waite, 2010].

Частота встречаемости FO позволяет выявить тренд изменений в композиции рациона. Однако сумма частот встречаемости отдельных объектов питания превышает 100 процентов. Это происходит потому, что каждый отдельный объект питания потребляется не отдельно, а, как правило, попутно с другими. В связи с этим нами был применён ещё один индекс – модифицированная частота встречаемости объектов питания FOM (2), сумма частот которой составляла 100 процентов:

$$FOM_i = (FO_i / \sum FO) * 100, \quad (2)$$

где FOM_i – модифицированная частота встречаемости объекта питания i .

Разнообразию питания оценивали по следующим параметрам:

– размер одной пробы: вычислялся по количеству объектов питания, приходящихся на 1 пробу и рассчитывался как медиана значений с квантилями (q_0 , $q_{0,25}$, $q_{0,75}$; M);

– количество и состав проб с содержанием только одного объекта питания.

Все статистические построения были выполнены в среде R [R development core team, 2019].

Мы выделили главные компоненты рациона, которые были определены до вида или группы близких видов, имеющих схожую экологическую характеристику [Шейко, Федоров, 2000]. Так, например, все виды рогатковых (бычков) были объединены в одну категорию – бычки, а все другие объекты питания – в категорию «другие». Мы включили в категорию «другие» виды рыб, не обитающие в районах кормления сивучей, но остатки которых были обнаружены в экскрементах сивучей, сюда же включили головоногих моллюсков. Нахождение в питании рыб, не обитающих в акватории кормления, вероятно, вызвано использованием лежбищ сивучами-мигрантами, которые кормились в иных местах до прихода на изучаемые лежбища.

Различия композиции рациона сивуча между лежбищами рассчитывали как разность частот встречаемости каждого из главных компонентов рациона. Разницу более 5% считали достоверными различиями. Отличия менее 5% могли быть связаны со случайными ошибками сбора/подготовки проб или их анализа.

Согласно исследованиям питания сивуча [Trites, Joy, 2005] для выполнения сравнительного анализа число проб в каждой сравниваемой группе должно составлять минимально 94 образца. Количество проб нашей работы (табл. 1) позволяет провести статистически достоверное сравнение в питании сивуча между лежбищами у м. Козлова и м. Кекурный. Однако оценка изменений рациона между годами возможна только для всего района исследования, без разделения на отдельные лежбища.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Общая характеристика состава питания. В результате анализа экскрементов было идентифицировано 48 объектов питания, относящихся к 17 семействам рыб и одному семейству головоногих моллюсков Cephalopoda. Только 28 объектов питания были идентифицированы до вида или группы близких видов, имеющих схожую экологическую характеристику (табл. 2).

В состав наиболее часто встречаемых объектов питания были включены: северный однопёрый терпуг ($FO=69,6\%$, $FOM=19,4\%$) и минтай ($FO=64,9\%$,

Таблица 2. Главные компоненты рациона сивуча в районе лежбищ у м. Козлова и м. Кекурный по остаткам в экскрементах

Объект питания	Порядковый номер	FOM (%), Козлова	FOM (%), Кекурный	FO (%), Козлова	FO (%), Кекурный
Неопределенный вид получешуйника <i>Hemilepidotus</i>	1	4,2	15,8	12,6	68,0
Минтай <i>Gadus chalcogrammus</i> Pall., 1814	2	16,4	19,5	49,0	84,0
Тихоокеанская песчанка <i>Ammodytes hexapterus</i> Pall., 1814	3	11,3	13,2	33,8	56,8
Мойва <i>Mallotus villosus</i> (Müller, 1776)	4		4,7		20,0
Неопределенный вид шлемоносца <i>Gymnocanthus</i>	5	0,4	2,4	1,3	10,4
Зайцеголовый терпуг <i>Hexagrammos lagocephalus</i> (Pall., 1810)	6	0,7	1,9	2,0	8,0
Рыба-лягушка <i>Aptocyclus ventricosus</i> (Pall., 1769)	7	0,2	1,1	0,7	4,80
Неопределенные до вида терпуговые <i>Hexagrammmos</i>	8		1,0		4,0
Тихоокеанские лососи <i>Oncorhynchus</i>	9	4,0	3,6	11,9	14,4
Тихоокеанская треска <i>Gadus macrocephalus</i> Tilesius, 1810	10	2,5	2,2	7,3	9,6
Северный волосозуб <i>Trichodon trichodon</i> (Tilesius, 1813)	11	4,9	3,9	14,6	16,8
Тихоокеанская навага <i>Eleginus gracilis</i> (Tilesius, 1810)	12		0,4		1,6
Узколобый шлемоносец <i>Gymnocanthus galeatus</i> Bean, 1881	13		0,4		1,6
Тихоокеанская волосатка <i>Hemitripterus villosus</i> (Pall., 1814)	14		0,4		1,6
Полосатый маслюк <i>Pholis fasciata</i> (Bloch & Schneider, 1801)	15		0,4		1,6
Неопределенные виды двухлинейных камбал <i>Lepidopsetta</i>	16	1,8	1,5	5,3	6,4
Угольная рыба <i>Anoplopoma fimbria</i> (Pall., 1814)	17		0,2		0,8
Неопределенные виды морских лисичек <i>Sarritor</i>	18		0,2		0,8
Неопределенные виды колючих круглоротых <i>Eumicrotremus</i>	19	0,2	0,2	0,7	0,8
Неопределенные виды липаровых <i>Crystallichthys</i>	20	0,2		0,7	
Двурогий бычок <i>Enophrys dicerca</i> (Pall., 1787)	21	0,2		0,7	
Неопределенные виды керчаковых <i>Myoxocephalus</i>	22	0,2		0,7	
Желтобрюхая камбала <i>Pleuronectes quadrituberculatus</i> Pall., 1814	23	0,2		0,7	
Неопределенные до вида рыбы семейства стихеевые <i>Stichaeidae</i>	24	0,2		0,7	
Северный одноперый терпуг <i>Pleurogrammus monopterygius</i> (Pall., 1810)	25	23,5	16,0	70,2	68,8
Звездчатая камбала <i>Platichthys stellatus</i> (Pall., 1787)	26	2,0		6,0	
Трехиглая колюшка <i>Gasterosteus aculeatus</i> L., 1758	27	6,2	1,7	18,5	7,2
Тихоокеанская зубастая корюшка <i>Osmerus mordax</i> (Mitchill, 1814)	28	6,2		18,5	
Общий итог		85,8	90,0		

FOM=18,1%). Реже в составе пищи встречалась тихоокеанская песчанка (FO=44,2%, FOM=12,4%) и бычки получешуйники (FO=37,3%, FOM=10,4%). Вклад остальных объектов питания по отдельности был менее значим (FO=0,4–15,6%, FOM=0,1–4,6%) (табл. 3).

Различия композиции рациона. Более половины (15 из 28 главных компонентов рациона) отсутствовали в составе пищи какого-либо одного из лежбищ. В большинстве случаев эти отличия были незначимыми (менее 5%) и только три из 15 отсутствующих на одном из лежбищ видов пищи имели значимые отличия (более 5%). Корюшка и звездчатая камбала играли значительную роль в питании сивуча у м. Козлова, наравне с другими главными компонентами рациона

(табл. 2), но полностью отсутствовали в питании сивуча м. Кекурный. С другой стороны, мойва регистрировалась нами в каждой пятой пробе с м. Кекурный (20% FO), но никогда не встречалась в питании сивуча у м. Козлова (рис. 3).

Только 13 главных компонентов входили в рацион сивуча на обоих изучаемых лежбищах. Из 13 «общих» объектов питания четыре имели значимые различия в частоте встречаемости между изучаемыми лежбищами, при этом все они доминировали в питании сивуча у м. Кекурный (песчанка, минтай, бычки шлемоносцы, бычки получешуйники).

Количество объектов питания в пробе. Этот показатель отражает число объектов питания съеденных

Таблица 3. Другие компоненты рациона сивуча в районе лежбищ у м. Козлова и м. Кекурный по остаткам в экскрементах, не включённые в анализ структуры диеты

Объект питания	FOM (%), Козлова	FOM (%), Кекурный	FO (%), Козлова	FO (%), Кекурный
Не определённые до вида рыбы сем. Cottidae	0,4		0,7	0,8
Не определённые до вида рыбы сем. Gadidae	1,3	1,9	4,0	8,0
Не определённые до вида рыбы сем. Liparidae	1,3		4,0	
Тихоокеанский малорот <i>Microstomus pacificus</i> (Lockington, 1879)	0,2		0,7	0,8
Не определённые до вида рыбы сем. Agonidae	1,3	1,5	4,0	6,4
Не определённые виды рыб	1,4	0,4	4,0	4,0
Не определённые до вида рыбы сем. Pleuronectidae	0,2		0,7	12,0
Не определённые рыбы отр. Pleuronectiformes	0,2	0,7	0,7	1,6
Многочетинковые черви класса Polychaeta	4,0	2,8	11,9	2,4
Не определённые до вида рыбы рода <i>Bathyraja</i>	0,2	0,4	0,7	1,6
Не определённые до вида рыбы рода <i>Sebastes</i>	0,9	0,6	2,7	0,8
Не определённые кальмары и осьминоги	2,9	1,0	8,6	2,4
Не определённые до вида рыбы сем. Pholidae		0,2		0,8
Колюшка желтая длиннорылая <i>Aulorhynchus flavidus</i> Gill, 1861		0,2		0,8
Общий итог	14,2	10,0		

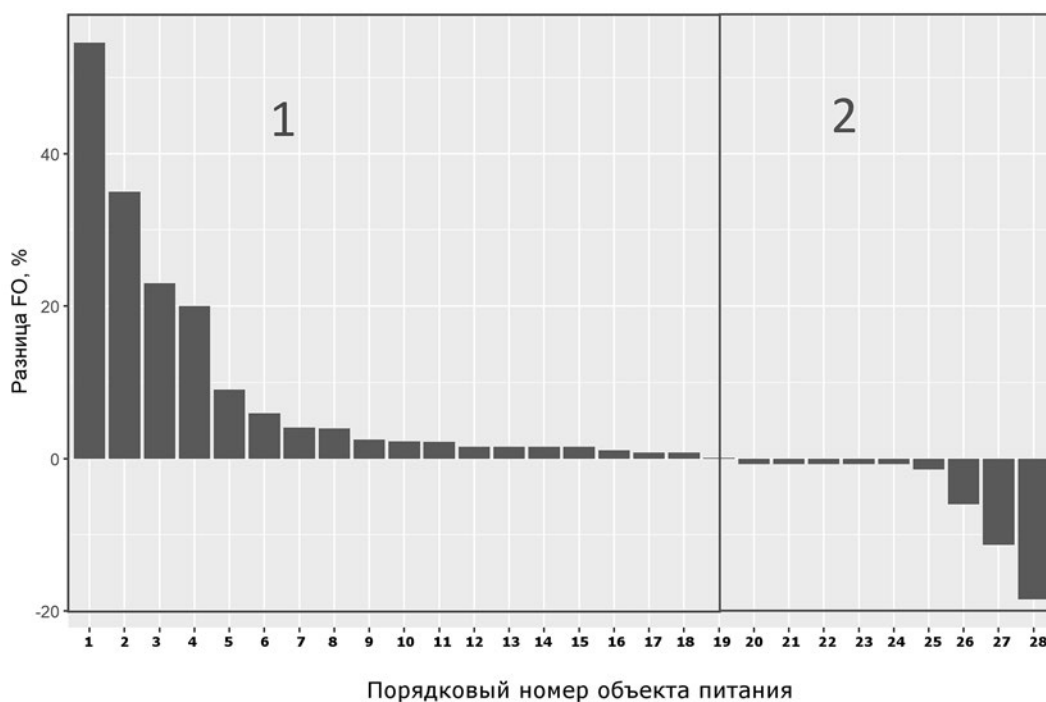


Рис. 3. Различия FO по объектам питания в пробах с м. Козлова и м. Кекурный (вычислялось как $FO_{\text{Кекурный}} - FO_{\text{Козлова}}$). Названия объектов питания указаны в табл. 2 в соответствии с порядковым номером. В первом блоке показаны объекты питания, преобладающие на м. Кекурный, в втором на м. Козлова

хищником в течение одного усилия поиска и добычи пищи (кормовой вояж). Разнообразие рациона отдельных кормовых походов сивуча м. Козлова и м. Кекурный статистически значимо отличались (*Kruskal-Wallis ANOVA by ranks, chi-squared = 28.6, df = 1, <<0.05*).

В пробах с м. Козлова наиболее часто встречались один или два объекта питания (58 % от всех проб). Более двух объектов отмечалось редко (рис. 5). Максимально мы находили 9 видов пищи в одной пробе, но такие пробы встречались единично. Медиана распре-

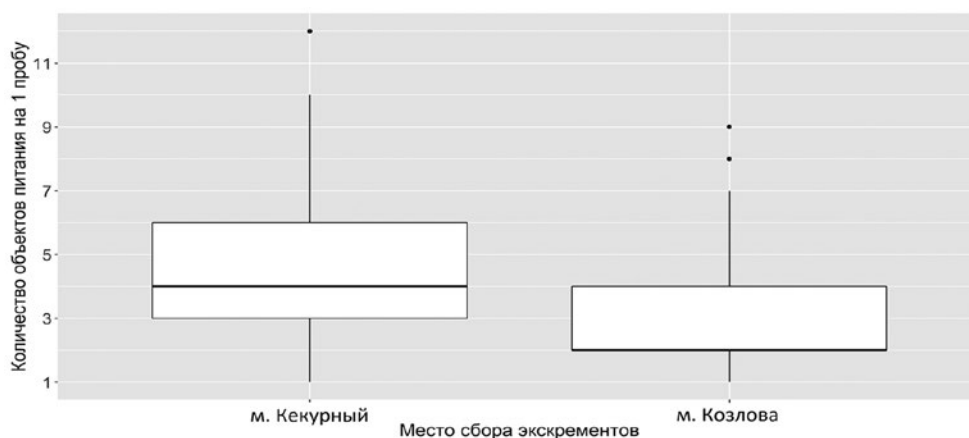


Рис. 4. Количество объектов питания на одну пробу на лежбище у м. Козлова и м. Кекурный

деления количества объектов питания на одну пробу для м. Козлова составила два объекта питания ($q_{0,25}=2$, $q_{0,75}=4$; $N=151$) (рис. 4).

В отличие от этого, на м. Кекурный рацион сивуча в течение отдельного кормового вояжа был более разнообразен, составляя четыре кормовых организма ($q_{0,25}=3$, $q_{0,75}=5$; $N=126$). С усложнением рациона, т. е. увеличением количества объектов питания на одну пробу, частота встречаемости проб снижалась плавно, что хорошо заметно на рис. 5. В отдельных пробах с м. Кекурный нами найдено до 12 кормовых видов.

Различия в пробах с содержанием одного объекта питания. Пробы с содержанием только одного объек-

та питания были более часты на лежбище у м. Козлова (24,5% от всех проб с м. Козлова) и содержали главным образом остатки северного одноперого терпуга (в 75,7% случаях от всех «одиночных» проб с м. Козлова). На м. Кекурный только 8% проб содержали по одному объекту питания, в которых встречался северный терпуг (50% случаев от всех «одиночных» проб с м. Кекурный) и минтай (40% случаев от всех «одиночных» проб с м. Кекурный).

Межгодовые изменения рациона сивуча. Количество наших проб позволяет оценить общие тенденции изменения рациона сивуча между годами исследования, но без разделения на лежбища.

Медиана распределения размера одной пробы экскрементов (рис. 6) для всех лет составила три объекта питания ($q_{0,25}=2$, $q_{0,75}=5$; $N=276$). Использование дисперсионного анализа по Краскелу-Уоллису статистически значимых различий между группами также не выявило ($chi\text{-squared}=4,8$, $df=2$, $p\text{-value}=0,09$). Наиболее часто встречалась ситуация встречи от одного до трёх кормовых видов в одной пробе (рис. 7). Большинство экскрементов (71,4%) содержало не более четырёх объектов пищи. Уменьшение количества объектов питания происходило равномерно для всех лет исследования до нулевых частот при 10–12 объектов на одну пробу (рис. 7).

Различия в пробах с содержанием одного объекта питания между годами. В 2004 году пробы с содержанием одного объекта питания составили 13,3%, в них содержался главным образом северный одноперый терпуг – 86,7% от одиночных проб. В 2006 г. «одиночные» пробы составили 24,3% от всех проб, где также преобладал северный одноперый терпуг (70,4% от одиночных проб). В 2008 г. одиночные пробы составили 15,4%, где доминировал минтай (62,5% от одиночных проб).

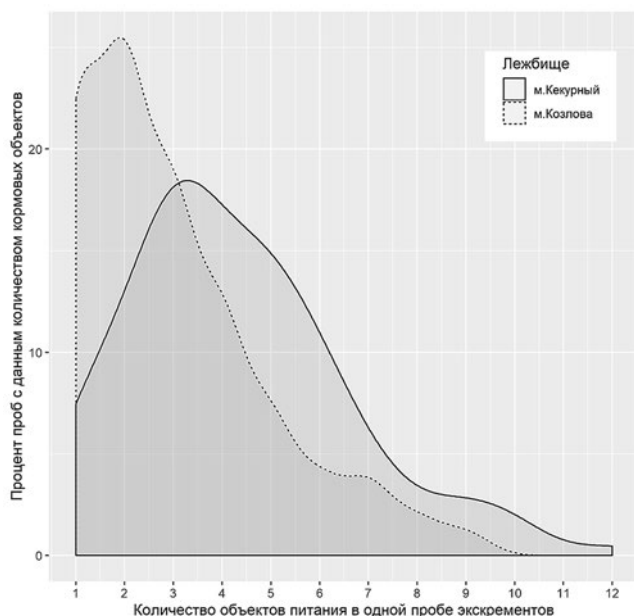


Рис. 5. Доля проб (%) с данным количеством кормовых объектов в питании сивуча на лежбище у м. Козлова и м. Кекурный. Показана сглаженная плотность вероятности (kernel density estimation)

ПИТАНИЕ СИВУЧА У ВОСТОЧНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ КАМЧАТКИ

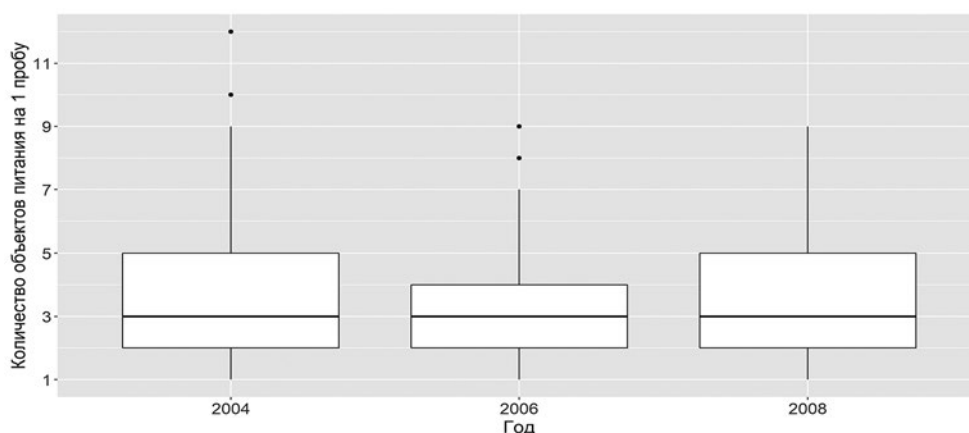


Рис. 6. Количество объектов питания на одну пробу в разные годы на изучаемых лежбищах

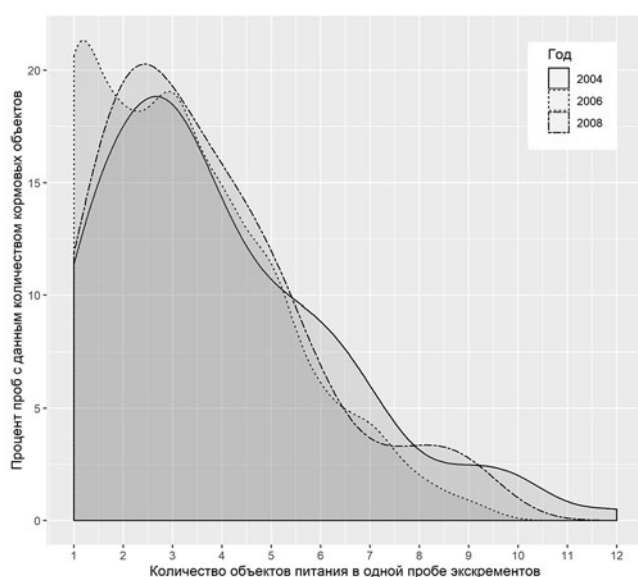


Рис. 7. Доля проб (%) с данным количеством кормовых объектов в питании сивуча в 2004; 2006; 2008 гг. на лежбищах м. Козлова, м. Кекурный. Показана сглаженная плотность вероятности (kernel density estimation)

Различия состава питания. Из 28 объектов питания, обнаруженных на обоих лежбищах, 11 входили в рацион сивуча на протяжении всего периода исследования. Основные объекты питания – тихоокеанская песчанка, получешуйники, северный однопёрый терпуг и минтай – сохраняли своё доминирующее значение в рационе на протяжении всего анализируемого периода. Мы так же не смогли обнаружить межгодовых трендов изменения частоты встречаемости главных компонентов рациона. Исключением может являться однопёрый терпуг, значение которого в питании снижалось от 2004 к 2008 году ($FO_{2004} = 85,0\%$; $FO_{2006} = 68,5\%$; и $FO_{2008} = 38,5\%$), но при этом он всегда оставался важным компонентом рациона на обоих

исследованных лежбищах в течении всего периода исследования.

Главными объектами питания сивуча в исследуемом районе были массовые виды рыб – северный однопёрый терпуг, минтай, получешуйники, тихоокеанская песчанка. Вклад других объектов по отдельности был менее выражен. По частоте встречаемости у м. Козлова на первом месте находился северный однопёрый терпуг, а после него следовали минтай и песчанка. Это проявлялось в значительно большем количестве проб с содержанием одного объекта питания на лежбище у м. Козлова, чем на м. Кекурный (24,4 и 8,0%, соответственно). При этом пробы с одним объектом питания на лежбище у м. Козлова содержали преимущественно остатки северного однопёрого терпуга (75,7%), а на м. Кекурный – остатки либо терпуга, либо минтая (50 и 40%, соответственно). Пробы с содержанием только одного объекта отражают акцентированное питание наиболее значимым источником пищи или значительное преобладание данной добычи в ихтиоценозе конкретного района.

Количество кормовых видов, обнаруженных в одной пробе, может отражать видовое разнообразие добычи. Несомненно, что содержимое, съеденное в один кормовой поход, может быть представлено несколькими актами дефекации. В этом случае одна проба экскрементов будет отражать меньшее разнообразие пищи. Однако мы не смогли найти в опубликованной литературе индексов коррекции для количества объектов пищи, найденных в пробе экскрементов, к общему числу съеденной добычи. Поэтому мы считали, что количество видов пищи, идентифицированных в непеваренных остатках отражает видовое разнообразие добычи в районах кормления животных.

Наш анализ показал, что размножающиеся сивучи с м. Козлова питались в процессе отдельного кормово-

го похода узким набором кормовых объектов (два объекта питания на одну пробу), при этом главным объектом охот являлся северный однопёрый терпуг. Рацион особей, не участвующих в размножении, с м. Кекурный был более разнообразен, включая четыре объекта питания на одну пробу. Поскольку сивуч генералист (не избирателен) в питании, эти различия, вероятно, обусловлены различиями в видовом составе рыб, их биомассе и численности в изучаемых районах.

Лежбища, которые мы изучали, имели различное значение для жизни сивуча и, как следствие, отличающийся половозрастной состав их населения [Burkanov, Loughlin, 2005]. На м. Козлова структура рациона отражала питание взрослых, размножающихся особей, главным образом, кормящих самок, а на м. Кекурном – всех возрастных и половых групп вида, с преобладанием молодых животных. Исследования показали, что кормовые путешествия самок, участвующих в размножении, короткие [Burkanov et al., 2011], места их охот, как правило, находятся вблизи лежбища [Merric, Loughlin, 1997; Rehberg et al., 2009; Olivier et al., 2011]. В то время как неразмножающиеся особи могут кормиться значительно дальше от лежбища, и поэтому их питание может быть более разнообразным.

В пределах анализируемого периода наблюдалось сохранение доминирования преобладающих объектов питания сивуча (минтай, северный однопёрый терпуг, получешуйники, песчанка) и стабильности их количества, приходящихся на одну пробу (во всех случаях – по три пищевых объекта). Пробы с содержанием одного объекта питания в пределах исследованного периода составляли от 13,3 до 24,3% и содержали в большинстве случаев минтай или северный однопёрый терпуг. Значение однопёрого терпуга в рационе плавно снижалось, что может быть связано со снижением запасов этого вида в исследованном районе в течение 2000-х гг. [Золотов и др., 2015].

В предшествующей работе [Waite, Burkanov, 2006] отмечается, что в питании сивуча у побережья Камчатки (м. Козлова, м. Кекурный, м. Шипунский, бухта Железная) в 2000–2003 гг. преобладали северный однопёрый терпуг ($FO=57,9\%$), минтай ($FO=52,4\%$), рогатковые ($FO=58,7\%$), тихоокеанская песчанка ($FO=41,3\%$), мойва ($FO=32,1\%$). Интересно отметить высокую частоту встречаемости последней из них, которая в 2004–2008 гг. присутствовала только на м. Кекурный. Мойва не является объектом промышленного рыболовства на восточном побережье Камчатки. Различия можно объяснить естественными изменениями в обилии данного объекта питания и особенностями его распределения в изучаемом районе. Другие кормовые организмы в целом сохраняли своё высокое значение в питании

сивуча на протяжении всего периода исследования, что может свидетельствовать о стабильной кормовой базе сивуча в исследованном районе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Идентификация добычи по 276 экскрементам, собранным на лежбищах мыс Кекурный и мыс Козлова, восточное побережья Камчатки в течение 2004–2008 гг., позволила составить список 48 потребляемых таксонов из 17 семейств рыб и одного семейства головоногих моллюсков. К основным общим видам кормовой базы относятся северный однопёрый терпуг, минтай, тихоокеанская песчанка и бычки полчешуйники.

Состав добычи, обнаруженной в экскрементах с репродуктивного лежбища у м. Козлова и нерепродуктивного у м. Кекурного, отличался. Основу рациона размножающихся особей на м. Козлова составляет северный однопёрый терпуг. В отличие от этого, рацион сивучей, не участвующих в размножении, был значительно разнообразнее, с преобладанием в порядке убывания минтая, северного однопёрого терпуга, бычков шлемоносцев, песчанки. Найденные нами различия рациона могут быть обусловлены разным составом ихтиоценозов и различным половозрастным составом животных, выходящих на эти лежбища.

Состав и общая структура рациона сивуча Восточной Камчатки в целом были стабильны в 2000-х гг.

Необходимо продолжение исследований питания сивуча для оценки взаимодействия с ключевыми популяциями рыб (такими как северный однопёрый терпуг и минтай), оценки влияния со стороны промышленного рыболовства на морские ресурсы, а также оценки влияния изменения климата.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарны Уэйт Д.Н., Калкинсу Д.Г., Третьякову А.В. и Желату Т.П. за помощь в сборе и обработке проб. Работа была выполнена при финансовой поддержке Marine Mammal Laboratory of Alaska Fisheries Science Center, NOAA Fisheries, Alaska SeaLife Center и North Pacific Wildlife Consulting, LLC.

ЛИТЕРАТУРА

- Барабаш-Никифоров И.И. 1935. Ластоногие Командорских островов // Труды ВНИРО. Т. 3. С. 223–237.
- Золотов А.О., Зоттов О.Г., Спиринов И.Ю. 2015. Многолетняя динамика и современный промысел северного однопёрого терпуга *Pleurogrammus monopterygius* в тихоокеанских водах Камчатки и Курильских островов // Известия ТИНРО. Т. 181. С. 3–21.
- Никулин П.Г. 1937. Сивуч Охотского моря и его промысел // Известия ТИНРО. Т. 10. С. 35–48.

- Панина Г.К. 1966. О питании сивуча и тюленей на Курильских островах // Известия ТИНРО. Т. 58. С. 235–236.
- Перлов А.С. 1975. Питание сивучей в районе Курильских островов // Экология. № 4. С. 106–108.
- Тихомиров Э.А. 1964. О распределении и промысле сивучей в Беринговом море и сопредельных районах Тихого океана // Труды ВНИРО – Известия ТИНРО. Т. 53/52. С. 287–291.
- Шейко Б.А., Федоров В.В. 2000. Класс Cephalaspidomorphi – Миноги. Класс Chondrichthyes – Хрящевые рыбы. Класс Holoccephali – Цельноголовые. Класс Osteichthyes – Костные рыбы. Каталог позвоночных животных Камчатки и сопредельных морских акваторий. Петропавловск-Камчатский: Камчатский печатный двор. С. 7–69.
- Alaska Sea Grant. 1993. Is it food? Addressing marine mammal and sea bird declines. Alaska Sea Grant Rep. 93–01. University Alaska Fairbanks, Fairbanks, AK. 65 p.
- Altukhov A.V., Andrews R.D., Calkins D.G., Gelatt T.S., Gurarie E.D., et al. 2015. Age Specific Survival Rates of Steller Sea Lions at Rookeries with Divergent Population Trends in the Russian Far East // PLOS ONE. V.10 (5): e0127292. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0127292>
- Burkanov V.N., Gurarie E., Altukhov A., Mamaev E., Permyakov P., Trukhin A., Waite J., Gelatt T. 2011. Environmental and biological factors influencing maternal attendance patterns of Steller sea lions (*Eumetopias jubatus*) in Russia. Journal of Mammalogy // V. 92 (2). P. 352–366.
- Burkanov V.N., Loughlin T.R. 2005. Distribution and Abundance of Steller Sea Lions on the Asian Coast, 1720's – 2005 // Marine Fisheries Review. V. 67 (2). P. 1–62.
- Calkins D., Pitcher K. 1982. Population Assessment, Ecology and Trophic Relationships of Steller Sea Lions in the Gulf of Alaska. Final Report: Research Unit 243 Contract 03–5–022–69. 387 p.
- DeMaster D., Atkinson S. 2002. Steller sea lion decline: is it food? Univ. Alaska Sea Grant, AK-SG-02–02, Fairbanks, AK. 80 p.
- Imler R.H., Sarber H.R. 1947. Harbor seals and sea lions in Alaska. USFW Service species Scientific Report 28. 22 p.
- Mathisen O.A., Baade R.T., Lopp R.J. 1962. Breeding habits, growth and stomach contents of the Steller sea lion in Alaska // J. of Mammal. V. 43. P. 464–477.
- McKenzie J., Wynne K.M. 2008. Spatial and temporal in the diet of Steller sea lions in the Kodiak Archipelago, 1999 to 2005 // Marine ecology progress series. V. 360. P. 266–283.
- Merrick R.L., Chumbley M.K., Byrd G.V. 1997. Diet diversity of Steller sea lions (*Eumetopias jubatus*) and their population decline in Alaska: a potential relationship // Canadian J. of Fisheries and Aquatic Sciences. V. 54. P. 1342–1348.
- R Development Core Team. 2019. "R: A Language and Environment for Statistical Computing". Vienna, Austria. url: <http://www.R-project.org> (ISBN: 3–900051–07–0).
- Rehberg M.J., Andrews R.D., Swain U.G., Calkins D.G. 2009. Foraging behavior of adult female Steller sea lions during the breeding season in Southeast Alaska // Marine Mammals Science. V. 25. P. 588–604.
- Sinclair E.H., Johnson D.S., Zeppelin T.K., Gelatt T.S. 2013. Decadal Variation in the Diet of Western Stock Steller Sea Lions (*Eumetopias jubatus*). NOAA Technical Memorandum NMFS-AFSC-248. 79 p.
- Sinclair E.H., Zeppelin T.K. 2002. Seasonal and spatial differences in diet in the western stock of Steller sea lions (*Eumetopias jubatus*) // J. of Mammalogy. V. 83 (4). P. 973–990.
- Thorsteinson F.V., Lensink C.J. 1962. Biological observations of Steller sea lions taken during an experimental harvest // The J. of Wildlife Management. V. 26. P. 353–359.
- Trites A.W., Calkins D.G., Winship A.J. 2007. Diets of Steller sea lions (*Eumetopias jubatus*) in Southeast Alaska, 1993–999 // Fishery Bulletin. V. 105(2). P. 234–248.
- Trites A.W., Joy R. 2005. Dietary analysis from fecal samples: how many scats are enough? // J. of Mammalogy. V. 86. P. 704–712.
- Trites, A.W., Calkins D.G. 2008. Diets of mature male and female Steller sea lions (*Eumetopias jubatus*) differ and cannot be used as proxies for each other // Aquatic Mammals. V. 34(1). P. 25–34.
- Waite J.N., Burkanov V.N. 2006. Steller sea lion feeding habits in the Russian Far East, 2000–2003 // Sea lions of the world / A.W. Trites, S.K. Atkinson, D.P. DeMaster, L.W. Fritz, T.S. Gelatt, L.D. Rea, K.M. Wynne ed. Alaska Sea Grant College Program, Anchorage. P. 223–234.
- Waite J.N., Burkanov V.N., Andrews R.D. 2012 a. Prey competition between sympatric Steller sea lions (*Eumetopias jubatus*) and northern fur seals (*Callorhinus ursinus*) on Lovushki Island, Russia // Canadian J. of Zoology. V. 90 (1). P. 110–127.
- Waite J.N., Trumble S.J., Burkanov V.N., Andrews R.D. 2012b. Resource partitioning by sympatric Steller sea lions and northern fur seals as revealed by biochemical dietary analyses and satellite telemetry // J. of Experimental Marine Biology and Ecology. V. 416–417. P. 41–54.
- Waite, J. N. 2010. Resource Partitioning Among Sympatric Steller Sea Lions and Northern Fur Seals on Lovushki Island, Russia. University of Alaska. Dissertation. 150 p.
- Womble J.N., Sigler M.F. 2006. Seasonal availability of abundant, energy-rich prey influences the abundance and diet of a marine predator, the Steller sea lion *Eumetopias jubatus* // Marine Ecology Progress Series 325. P. 81–293.

Поступила в редакцию 27.03.2021 г.

Принята после рецензии 30.03.2021 г.

Steller sea lion diet in the Eastern Kamchatka

I.A. Usatov^{1,2},
A.M. Tokranov¹,
I.S. Trukhanova^{1,3},
V.N. Burkanov^{1,4}

¹ Kamchatka Branch of Pacific Geographical Institute («KB PGI FEB RAS»), Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia

² Kronotsky State Nature Biosphere Reserve («Kronotsky SNBR»), Yelizovo, Russia

³ North Pacific Wildlife Consulting, LLC, Seattle, USA

⁴ Marine Mammal Laboratory, AFSC, NMFS, NOAA, Seattle, USA

We studied the diet of Steller sea lion (*Eumetopias jubatus*) on the eastern coast of Kamchatka based on the remains of undigested food parts found in feces at terrestrial sites near Cape Kozlova (rookery) and Cape Kekurny (haulout) in the summer. A total of 276 fecal samples were analyzed from 2004 to 2008. Forty eight food items of 17 fish families and one family of cephalopod mollusks were identified. Steller sea lion diet was diverse yet dominated by only several species. The pollock *Gadus chalcogrammus*, Atka mackerel *Pleurogrammus monoptyerygius*, Pacific sand lance *Ammodytes hexapterus* and Hemilepidotus sp. were dominant by frequency of occurrence in decreasing order at both sites. Differences were found in the Steller sea lion diet in the studied sites. Prey diversity at Kekurny Cape within scat samples ranged from one to twelve objects within the median of four prey item per a sample. The median of prey diversity at Kozlov Cape within scat samples was two food objects within a range of one to nine prey types per sample. Of the 37 scats (24,5%) collected at Kozlov Cape that contained a single prey item, 75,7% contained Atka mackerel. Among scats collected at Kekurny Cape that contained a single prey species (n=10, 8,0%), 50,0% contained Atka mackerel and 40,0% pollock. In contrast to the high diet diversity at Kekurny Cape haulout, breeding Steller sea lions at Kozlova Cape rookery fed on a narrow set of prey items. Interannual changes in the diet structure at each site were not statistically significant.

Keywords: Steller sea lion *Eumetopias jubatus*, prey, diet, Atka mackerel *Pleurogrammus monoptyerygius*, Pollock *Gadus chalcogrammus*, Rookery, Eastern Kamchatka.

REFERENCES

- Barabash-Nikiforov I.I. 1935. Lastonogie Komandorskikh ostrovov [Commander Islands Pinnipeds] // Trudy VNIRO. T. 3. S. 223–237.
- Zolotov A.O., Zototov O.G., Spirin I. Yu. 2015. Mnogoletnyaya dinamika i sovremennyy promysel severnogo odnoperogo terguga *Pleurogrammus monoptyerygius* v tikhookeanskikh vodakh Kamchatki i Kuril'skikh ostrovov [Long-term dynamics and modern fishing of the Atka mackerel *Pleurogrammus monoptyerygius* in the Pacific waters of Kamchatka and the Kuril Islands] // Izvestiya TINRO. T. 181. S. 3–21.
- Nikulin P.G. 1937. Sivuch Okhotskogo morya i ego promysel [The Steller sea lion of the Sea of Okhotsk and its harvest] // Izvestiya TINRO. T. 10. S. 35–48.
- Panina G.K. 1966. O pitanii sivucha i tyulenej na Kuril'skikh ostrovakh [About feeding of Steller's sea lion and seals on the Kuril Islands] // Izvestiya TINRO. T. 58. S. 235–236.
- Perlov A.S. 1975. Pitanie sivuchej v rajone Kuril'skikh ostrovov [Feeding Steller's sea lions in the Kuril Islands] // Ehkologiya. № 4. S. 106–108.
- Tikhomirov Eh.A. 1964. O raspredelenii i promysle sivuchej v Beringovom more i sopredel'nykh rajonakh Tikhogo okeana [On Distribution and Fisheries of Steller's sea lions in the Bering Sea and Neighboring Pacific Ocean] // Trudy VNIRO – Izvestiya TINRO. T. 53/52. S. 287–291.
- Shejko B.A., Fedorov V.V. 2000. Klass Cephalaspidomorphi – Minogi. Klass Chondrichthyes – Khryashchevye ryby. Klass Holocephali – Tsel'nogolovye. Klass Osteichthyes – Kostnye ryby. Katalog pozvonochnykh zhivotnykh Kamchatki i sopredel'nykh morskikh akvatorij [Class Cephalaspidomorphi – lamprey. Class Chondrichthyes – cartilaginous fish. Class Holocephali – complete heads. Class Osteichthyes – bony fish. Catalog of vertebrates of Kamchatka and adjacent waters.]. Petropavlovsk-Kamchatskij: Kamchatskij pechatnyj dvor. S. 7–69.
- Alaska Sea Grant. 1993. Is it food? Addressing marine mammal and sea bird declines. Alaska Sea Grant Rep. 93-01. University Alaska Fairbanks, Fairbanks, AK. 65 p.
- Altukhov A.V., Andrews R.D., Calkins D.G., Gelatt T.S., Gurarie E.D., et al. 2015. Age Specific Survival Rates of Steller Sea Lions at Rookeries with Divergent Population Trends in the Russian Far East // PLOS ONE. V.10 (5): e0127292. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0127292>
- Burkanov V.N., Gurarie E., Altukhov A., Mamaev E., Permyakov P., Trukhin A., Waite J., Gelatt T. 2011. Environmental and biological factors influencing maternal attendance patterns of Steller sea lions (*Eumetopias jubatus*) in Russia. Journal of Mammalogy // V. 92 (2). P. 352–366.
- Burkanov V.N., Loughlin T.R. 2005. Distribution and Abundance of Steller Sea Lions on the Asian Coast,

- 1720's – 2005 // Marine Fisheries Review. V. 67 (2). P. 1–62.
- Calkins D., Pitcher K. 1982. Population Assessment, Ecology and Trophic Relationships of Steller Sea Lions in the Gulf of Alaska. Final Report: Research Unit 243 Contract 03–5–022–69. 387 p.
- DeMaster D., Atkinson S. 2002. Steller sea lion decline: is it food? Univ. Alaska Sea Grant, AK-SG-02–02, Fairbanks, AK. 80 p.
- Imler R.H., Sarber H.R. 1947. Harbor seals and sea lions in Alaska. USFW Service species Scientific Report 28. 22 p.
- Mathisen O.A., Baade R.T., Lopp R.J. 1962. Breeding habits, growth and stomach contents of the Steller sea lion in Alaska // J. of Mammal. V. 43. P. 464–477.
- McKenzie J., Wynne K.M. 2008. Spatial and temporal in the diet of Steller sea lions in the Kodiak Archipelago, 1999 to 2005 // Marine ecology progress series. V. 360. P. 266–283.
- Merrick R.L., Chumbley M.K., Byrd G.V. 1997. Diet diversity of Steller sea lions (*Eumetopias jubatus*) and their population decline in Alaska: a potential relationship // Canadian J. of Fisheries and Aquatic Sciences. V. 54. P. 1342–1348.
- R Development Core Team. 2019. "R: A Language and Environment for Statistical Computing". Vienna, Austria. url: <http://www.R-project.org> (ISBN: 3-900051-07-0).
- Rehberg M.J., Andrews R.D., Swain U.G., Calkins D.G. 2009. Foraging behavior of adult female Steller sea lions during the breeding season in Southeast Alaska // Marine Mammals Science. V. 25. P. 588–604.
- Sinclair E.H., Johnson D.S., Zeppelin T.K., Gelatt T.S. 2013. Decadal Variation in the Diet of Western Stock Steller Sea Lions (*Eumetopias jubatus*). NOAA Technical Memorandum NMFS-AFSC-248. 79 p.
- Sinclair E.H., Zeppelin T.K. 2002. Seasonal and spatial differences in diet in the western stock of Steller sea lions (*Eumetopias jubatus*) // J. of Mammalogy. V. 83 (4). P. 973–990.
- Thorsteinson F.V., Lensink C.J. 1962. Biological observations of Steller sea lions taken during an experimental harvest // The J. of Wildlife Management. V. 26. P. 353–359.
- Trites A.W., Calkins D.G., Winship A.J. 2007. Diets of Steller sea lions (*Eumetopias jubatus*) in Southeast Alaska, 1993–999 // Fishery Bulletin. V. 105(2). P. 234–248.
- Trites A.W., Joy R. 2005. Dietary analysis from fecal samples: how many scats are enough? // J. of Mammalogy. V. 86. P. 704–712.
- Trites, A.W., Calkins D.G. 2008. Diets of mature male and female Steller sea lions (*Eumetopias jubatus*) differ and cannot be used as proxies for each other // Aquatic Mammals. V. 34(1). P. 25–34.
- Waite J.N., Burkanov V.N. 2006. Steller sea lion feeding habits in the Russian Far East, 2000–2003 // Sea lions of the world / A.W. Trites, S.K. Atkinson, D.P. DeMaster, L.W. Fritz, T.S. Gelatt, L.D. Rea, K.M. Wynne ed. Alaska Sea Grant College Program, Anchorage. P. 223–234.
- Waite J.N., Burkanov V.N., Andrews R.D. 2012 a. Prey competition between sympatric Steller sea lions (*Eumetopias jubatus*) and northern fur seals (*Callorhinus ursinus*) on Lovushki Island, Russia // Canadian J. of Zoology. V. 90 (1). P. 110–127.
- Waite J.N., Trumble S.J., Burkanov V.N., Andrews R.D. 2012b. Resource partitioning by sympatric Steller sea lions and northern fur seals as revealed by biochemical dietary analyses and satellite telemetry // J. of Experimental Marine Biology and Ecology. V. 416–417. P. 41–54.
- Waite, J. N. 2010. Resource Partitioning Among Sympatric Steller Sea Lions and Northern Fur Seals on Lovushki Island, Russia. University of Alaska. Dissertation. 150 p.
- Womble J.N., Sigler M.F. 2006. Seasonal availability of abundant, energy-rich prey influences the abundance and diet of a marine predator, the Steller sea lion *Eumetopias jubatus* // Marine Ecology Progress Series 325. P. 81–293.

TABLE CAPTIONS

- Table 1.** The number of samples collected for analysis of Steller sea lion feeding in 2004–2008.
- Table 2.** Primary components of the Steller sea lion diet based on feces on Kozlova and Kekurny capes
- Table 2.** Other components of the Steller sea lion diet based on feces on Kozlova and Kekurny capes, not included in the analysis of the diet.

FIGURE CAPTIONS

- Fig. 1.** The Number of samples investigated in study of Steller sea lion diet by region. CI–Commander Islands.; NPSO – North Sea of Okhotsk; EK – Eastern Kamchatka; KI -Kuril Islands.; AI – Aleutian Islands.; SEA – Southeast Alaska; GOA – Alaska Bay; ORE – Oregon
- Fig. 2.** Study area
- Fig. 3.** The differences of Steller sea lion prey FO in samples on Kozlov and Kekurny capes (calculated as $FO_{\text{Kekurny}} - FO_{\text{Kozlova}}$). The first block shows the food objects prevailing on Kekurny cape, in the second block on Kozlova cape
- Fig. 4.** The Number of Steller sea lion prey items per one sample (S) on Kozlov and Kekurny capes
- Fig. 5.** The probability density of the number of prey items extracted from one sample from on Kozlov and Kekurny capes
- Fig. 6.** The Number of Steller sea lion prey items per one sample in different years at the studied haulouts
- Fig. 7.** The probability density of the number of prey items extracted from one sample on Kozlov and Kekurny capes in 2004; 2006; 2008

УДК 599.537.2; 591.531.22/.29; 574.36

DOI: 10.36038/2307-3497-2021-185-68-83

К вопросу о питании охотоморских косаток

Л.К. Сидоров,
И.Ф. Белокобыльский

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

E-mail: lev_sidorov@mail.ru

Представлены результаты по суточному и годовому потреблению пищи косатками при круглогодичном содержании в сетевых вольерах в бухте Средняя. Рацион питания состоял из двух видов рыб: горбуши и сельди. Для самок суточное потребление рыбы варьировало от 9 до 50,9 кг при среднем 32,6 кг, для самцов от 6 до 45,1 кг при среднем 34,1 кг. Годовое минимальное количество рыбы для содержания одной молодой особи в неволе составляет от 11,5 до 12,1 тонн горбуши, что соответствует энергетическим потребностям в размере 15,9 Гкал/год для самок и 16,7 Гкал/год для самцов. Установлено возрастание необходимого количества пищи для животного с понижением температуры воды. По результатам фактического материала по питанию рассчитано годовое потребление разновозрастной находящейся в естественных условиях группы из десяти косаток. Эта величина в пересчёте на горбушу оценена на уровне 200 тонн корма в год. Приведён теоретический расчёт годового потребления различных видов гидробионтов косатками. По результатам исследования и анализа современных литературных источников в сравнении с историческими данными по питанию косаток предложено не разделять этот вид в Охотском море на «плотоядный» и «рыбоядный» экотипы. По нашему мнению, следует рассматривать проявление разных видов поведения (резидентный тип, транзитный тип) у особей косаток в зависимости от климатических условий и наличия объектов питания. В местах охоты у особей косаток преобладает резидентный тип, который изменяется на транзитный тип поведения при смене района нагула или сезонной миграции.

Ключевые слова: косатка *Orcinus orca*, популяция, плотоядные-транзитные и рыбоядные-резидентные экотипы, поведение, валовая калорийность, суточное и годовое потребление пищи.

ВВЕДЕНИЕ

Состояние и степень доступности кормовых ресурсов являются одними из важнейших факторов, лимитирующих численности популяций морских млекопитающих. От состояния кормовой базы и трофических взаимоотношений её потребителей зависит структура популяций как прибрежной, так и морской части акватории.

Косатка (*Orcinus orca* (L., 1758)) является хищником высшего трофического уровня в Мировом океане. Объектами их питания являются головоногие моллюски, рыбы, птицы, морские млекопитающие [Томилин, 1957; Nishiwaki, Handa, 1958; Яблоков и др., 1972], иногда и наземные животные [Kochman, 1992]. В северной части Тихого океана косатки охотятся на рыб, крупных китообразных, дельфинов, морских свиней, ластоногих, каланов и даже на морских птиц и уток [Odlum, 1948; Scheffer, Slipp, 1948; Ford, Ford, 1981; Stacey, Baird, 1989; Morton, 1990; Stacey et al., 1990;

Matkin, Saulitis, 1994; Barrett-Lennard et al., 1995; Vos et al., 2006]. По результатам вскрытия косаток, выловленных в районе японских островов, был определён большой спектр питания этого вида [Nishiwaki, Handa, 1958]. В желудках особей находили: белокрылую морскую свинью (*Phocaenoides dallii*), полосатого дельфина (*Stenella coeruleoalba*), клюворылого кита (*Ziphiidae*) и сейвала (*Balaenoptera borealis*). Также в рационе косаток отмечены обыкновенный тюлень (*Phoca vitulina*) и кольчатая нерпа (*Pusa hispida*). Из рыбы преобладали треска (*Gadus macrocephalus*), различные виды камбал (*Pleuronectiformes*), сардина (*Sardinops melanostictus*). Из беспозвоночных тихоокеанский кальмар (*Todarodes pacificus*).

В Охотском море косатки охотятся на лахтака (*Erignathus barbatus*), белуху (*Delphinapterus leucas*), гренландского кита (*Balaena mysticetus*) [Шпак, Шулежко, 2013; Джикия и др., 2021], в районе Курильских островов – на рыбу и кальмара [Бетешева, 1961; Ива-

нова, 1961]. Отмечены случаи объедания косатками уловов чёрного палтуса (*Reinhardtius hippoglossoides*) [Корнев и др., 2014].

Прожорливость косаток велика: из желудка одной особи извлекали остатки до 14 котиков или до 600 штук трески с птицами одновременно [Томилин, 1957]. В 2020 г. на Командорских островах при вскрытии косатки обнаружено семь каланов (*Enhydra lutris*) [Фомин, 2021].

Для понимания трофических процессов в системе и оценки ёмкости биоценоза необходимо знать суточное и годовое потребление корма хищника высшего трофического уровня – косатки, входящей в экосистему.

Ключевым компонентом в изучении взаимодействий «хищник-жертва» является понимание ежедневных энергетических потребностей отдельных членов популяции, а также общих энергетических потребностей всей популяции.

Частота употребления пищевого объекта (вида) косатками соответствует количеству этого вида в местах охоты хищника [Nishiwaki, Handa, 1958]. Отмечено, что предпочитаемым кормом у зубатых китов является тот, который наиболее доступен и многочислен [Яблоков и др., 1972; Мельников, 2014]. При сокращении численности массового объекта питания происходит изменение охотничьей стратегии косаток – переквалификация на другой объект. Так, основу питания косаток из Авачинского залива в начале 2000-х гг. составлял однопёрый терпуг (*Pleurogrammus monopterygius*) [Тарасян, 2005], а во второй половине 2000-х гг. отмечено снижение его значения и возрастание значения лососей [Нагайлик и др., 2011]. Из-за сокращения численности ластоногих на юго-востоке Аляски косатки переквалифицировались на добычу каланов (*Enhydra lutris*) [Estes et al., 1998]. Изменение приоритета охоты косатки в сторону массового объекта не противоречит основному положению теории оптимального фуражирования [MacArthur, Wilson, 1967] в применении к выбору рациона, которое заключается в том, что набор поедаемых видов жертв должен быть таким, чтобы обеспечивать хищнику максимально возможную в данных условиях скорость поступления энергии.

Математические расчёты суточной потребности одной особи в энергии для свободноживущих косаток, населяющих восточную часть Тихого океана, варьируют от 41 376 до 269 458 ккал для самок и от 41 376 до 217 775 ккал для самцов [Noren, 2011].

На основании имеющихся данных о суточном питании китообразных в условиях неволи – океанариумах, ранее были рассчитаны нормы суточного рацио-

на (в процентах от массы тела). Для косаток этот коэффициент определён около 4% [Sergrants, 1969; Томилин, 1974]. Фактическое годовое потребление пищи одной особью в возрасте 4–8 лет оценивается в 7–4 т [Kastelein, Vaughan, 1989], а к 20 годам увеличивается в среднем до 19 т [Kastelein et al., 2003]. Однако эти работы были проведены в полностью искусственных условиях океанариума – практически при постоянной температуре воды. Для оценки потребления пищи животными в естественной среде предлагается данные по китам океанариумов использовать с поправочным коэффициентом 25% для учёта разницы в уровнях активности содержащихся в неволе и свободных особей [Barrett-Lennard et al., 1995].

В водах тихоокеанского побережья Северной Америки косаток делят на «резидентный» и «транзитный» экотипы [Ford et al., 2000], которые специализируются на питании рыбой и охоте на морских млекопитающих соответственно. В Охотском море предложили разделить косаток по типу пищевой специализации на «рыбоядных» и «плотоядных» [Шулежко, 2008; Филатова и др., 2014], однако, сами авторы, признавая проблему терминологии, используют деление косаток на резидентных (R-тип) и транзитных (T-тип) [Филатова, 2018; Filatova et al., 2019].

Цель работы – оценить минимальное годовое потребление пищи группой из десяти косаток Охотского моря и дать представление об обоснованности разделения этого вида по способу питания на «плотоядный» и «рыбоядный» экотипы.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Исследование проводилось на десяти особях косаток, выловленных в Охотском море и содержавшихся в трёх сетевых вольерах с 16 июля 2018 года по 22 августа 2019 года в бухте Средняя залива Восток Японского моря под открытым небом.

Каждый вольер представлял собой инженерное сооружение понтонного типа шириной – 15 м, длиной – 27 м, глубиной – 6 м и объёмом – 2430 м³. Надводная часть вольера высотой 4 м выполнена из стеклопластика в виде оранжерейного покрытия с двускатной крышей. Подводная часть вольера представлена сетью с размером ячеи 90 мм, исключающей повреждение кожных покровов при отлове косаток для ветеринарных процедур и препятствующей попаданию крупного мусора внутрь вольера. Данная сеть позволяла беспрепятственно обмениваться водным массам вольера с водными массами окружающей среды (рис. 1).

Вольеры были оборудованы системами аэрации воды для предотвращения образования шуги и льда.



Рис. 1. Вид вольеров с оранжерейным покрытием: а – снаружи, б – внутри

В холодное время года воздух внутри каждого вольера дополнительно подогревали с помощью двух электрических тепловых «пушек» мощностью до 15 кВт каждая, однако это никак не оказывало влияния на изменение температуры воды. Обеззараживание воздуха производили только в холодное время года, когда вольер был полностью закрыт. Эту процедуру осуществляли облучателями – рециркуляторами «Дезар-3» по 6 штук на каждый вольер. В тёплое время года оранжерейное покрытие частично разбирали, и над вольером оставалась только крыша.

Для измерения длины использовали ленточную фиброглассовую линейку с точностью 1 см. Взвешивание производили с помощью крановых весов (модель CAS Caston-III 5 THD, 5 т/ 2 кг) с точностью 2 кг. Длина (проекция тела) и вес каждой особи были измерены дважды: в начале исследования и при выпуске в естественную среду обитания.

Для кормления животных использовались два вида рыб: горбуша (*Oncorhynchus gorbusha*) и сельдь тихоокеанская (*Clupea pallasii*). В тёплое время косаток кормили только горбушей. В холодное время (октябрь – апрель) добавляли в рацион сельдь для увеличения калорийности пищи. Перед использованием рыбу хранили в промышленных морозильных камерах при температуре не выше -18°C . Дефростацию рыб проводили в эмалированных ваннах в специально подготовленном помещении – кормокухне, при температуре около 10°C . Несколько раз рыбу проливали холодной водой и перебирали на предмет брака. Выбраковке подвергалась тушки рыбы с любыми внешними повреждениями, изменениями цвета и структуры кожного покрова, жабер, с запахом, отличным от нормального. Далее рыба раскладывалась в индивидуальные гастротары, содержимое которых

в летний период пересыпалось льдом из льдогенератора. Навеска рыбы взвешивалась перед каждым кормлением на электронных весах с погрешностью в 100 г в соответствии с индивидуальным рационом, составленным ветеринарным врачом. Кормление начиналось сразу же после приготовления навески в течение 10–15 минут и проходило индивидуально 3 раза в сутки. Рыба закладывалась в ротовую полость, не соприкасаясь с окружающей водой. Тем самым минимизировали возможную контаминацию пищи. Рыба скармливалась целиком. Кормление происходило ежедневно с одним разгрузочным днём в неделю, когда животному задавалась 1/3–1/4 часть от его рациона. После кормления данные по каждой особи заносились в электронные таблицы. Анализ питания включал сбор данных о суточном качественном и количественном потреблении пищи косатками.

Следует отметить, что в ходе обязательных мероприятий по адаптации животных к содержанию в неволе приучали косаток к питанию дефростированной рыбой. Этот процесс занимал в среднем от недели до двух, во время которого для определения индивидуальной суточной потребности в пище животное в количестве рыбы не ограничивалось. По окончании исследований, перед выпуском косаток в естественную среду после длительного содержания в неволе, проводился комплекс мероприятий по реадaptации животных – меры по восстановлению утраченных или ослабленных рефлексов, обеспечивающих приспособление к жизни в естественной среде.

Для контроля физиологического состояния и точной потребности животных в корме определяли стандартными методами (энзиматический, фотометрия) уровни концентраций глюкозы, мочевины, холестерина и триглицеридов в крови. В ветеринарной

практике известно, что понижение уровней глюкозы, мочевины, холестерина и одновременное повышение уровня триглицеридов в крови свидетельствует о нарушении питания, т. е. фиксируется голодание у морских млекопитающих [Nollens et al., 2018].

Взятие крови проводилось натошак. Кровь у косаток отбирали из хвостовой вены, для чего косатку отделяли от группы, подводили к борту вольера и фиксировали положение её тела ремнями, проведёнными под брюхом. Кожу перед пункцией вены обрабатывали марлевой салфеткой, смоченной 96%-ным спиртом. Для пункции использовали катетер для вливания в малые вены типа «бабочка», размер 18G. Затем кровь из шприца разливалась по заранее подготовленным пробиркам VACUETTE (Greiner Bio-One, Австрия) с К-2-ЭДТА антикоагулянтом для гематологических исследований. Обработка анализов крови проводилась в специализированной ветеринарной лаборатории.

Ежедневно проводился внешний осмотр, подразумевавший обследование кожных покровов, исследование видимых слизистых оболочек и контроль состояния упитанности, который включал фиксацию при наличии видимого провала позади дыхала (deer depression posterior) [Joblon et al., 2008].

Каждой особи был присвоен индивидуальный номер от к-1 до к-10. Статистический анализ данных проводился в программе Microsoft Excel 2010. В расчётах потребления не использовались первый и последний месяцы содержания зверей из-за мероприятий по адаптации и реадaptации. Для всех особей были проведены расчёты, включающие определение:

- отношения съеденной пищи к массе тела (k) по каждому месяцу,
- фактического количества съеденной пищи за время содержания,
- суточного (кг/сутки) и годового (кг/год) потребления пищи,
- теоретической величины средней массы животного (W), которая описывается уравнением:

$$W = L^2 \times G / 44000, \quad (1)$$

где W – расчётный вес в кг; L – длина тела в см; G – максимальный обхват между грудными плавниками и спинным [Kastelein, Vaughan, 1989] плавником в см.

- валовой энергии корма (ВК) [Перельдик и др., 1987] – энергетической ценности потребляемой пищи в калориях:

$$ВК = 1380 \times m(r) \times d(r) + 1350 \times m(c) \times d(c), \quad (2)$$

где $m(r)$ – масса горбуши в кг; $m(c)$ – масса сельди в кг; $d(r)$ – доля горбуши в рационе; $d(c)$ – доля сель-

ди в рационе; 1380 ккал/кг – калорийность горбуши; 1350 ккал/кг – калорийность сельди тихоокеанской [Вафина и др., 2013].

Для расчёта годового потребления рыбы группой из десяти разновозрастных косаток применяли поправочный коэффициент, который увеличивает на 25% количество необходимой для существования пищи, для учёта разницы в уровнях активности содержащихся в неволе и особей, находящихся в естественных условиях [Barrett-Lennard et al., 1995].

РЕЗУЛЬТАТЫ

По каждой косатке собраны данные о ежедневном количестве съеденной рыбы за весь период нахождения в сетевых вольерах. Время содержания варьировало от 272 суток до 328 суток. В табл. 1 представлены результаты исследования по фактическому потреблению рыбы косатками и расчёты значений валовой энергии корма по месяцам.

Величины индивидуального потребления пищи особями различны и определяются их размерами и физиологическим состоянием. Для самок среднее суточное потребление варьировало от 9,0 до 50,9 кг, при среднем 32,6 кг, для самцов от 6,0 до 45,1 кг, при среднем 34,1 кг. Минимальные значения приходились на период обязательных мероприятий по адаптации животных к содержанию в неволе или на дни разгрузки животных, максимальные приурочены к зимнему периоду.

Установлено влияние температуры на изменение потребления количества пищи косатками (рис. 2). В сентябре при температуре воды около плюс 20 °С суточное потребление количества пищи составило в среднем около 2% от массы тела. С понижением температуры воды до минус 0,1 °С в феврале суточное потребление превышало 4%.

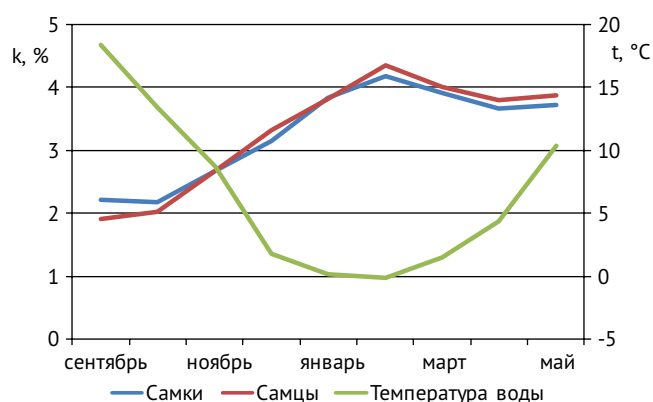


Рис. 2. Зависимость потребления количества пищи (k) от изменения средней месячной температуры воды (t)

Таблица 1. Фактическое потребление рыбы и расчётная валовая энергия корма по месяцам

Показатели	Месяцы									
	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	январь	февраль	март	апрель	май	
к-1 (самка, 309 ¹ суток, 10299 ² кг)										
М, кг	762	470	691	978	1186	1424	1462	1260	1182	
т, кг/сут.	ср.зн.	28,2	18,1	25,6	34,9	43,9	50,9	47,2	43,4	38,1
	min-max	12-38	2-27	12-31	13-41	35-51	48-51	17-51	16-51	4-51
ВК, ккал/месяц	1051836	644820	946020	1340190	1625160	1953060	2007150	1732260	1631160	
к-2 (самец, 299 суток, 9746 кг)										
М, кг	785	439	672	977	1115	1209	1383	1214	1182	
т, кг/сут.	ср.зн.	29,1	16,3	24,0	34,9	41,3	43,2	44,6	41,9	40,8
	min-max	14-38	4-26	10-32	13-43	28-47	41-47	16-50	16-48	16-48
ВК, ккал/месяц	1083438	601917	919590	1338420	1528020	1656450	1898160	1668480	1631160	
к-3 (самец 287 суток, 9678 кг)										
М, кг	860	638	781	982	1092	1215	1346	1188	1215	
т, кг/сут.	ср.зн.	31,8	22,0	27,9	35,1	40,4	45,0	43,4	41,0	41,9
	min-max	20-37	8-36	18-32	15-42	28-43	43-47	15-48	15-47	15-47
ВК, ккал/месяц	1186110	875910	1069200	1345350	1496820	1664970	1847820	1632720	1676700	
к-4 (самка, 287 суток, 7778 кг)										
М, кг	575	487	690	770	902	1005	1090	959	1006	
т, кг/сут.	ср.зн.	21,3	16,8	24,6	27,5	33,4	37,2	35,2	33,1	34,7
	min-max	15-29	6-28	13-32	12-34	31-37	36-39	12-39	12-38	12-39
ВК, ккал/месяц	793362	668400	945360	1055580	1236630	1378980	1499160	1320000	1388280	
к-5 (самка, 287 суток, 10487 кг)										
М, кг	916	834	763	915	1131	1239	1520	1338	1375	
т, кг/сут.	ср.зн.	33,9	28,8	28,2	32,7	41,9	45,9	49,0	46,1	47,4
	min-max	22-40	12-37	18-32	12-39	29-51	42-54	17-53	17-53	17-53
ВК, ккал/месяц	1263942	1145670	1044630	1252920	1550190	1698330	2088000	1839720	1897500	
к-6 (самка, 328 суток, 10290 кг)										
М, кг	603	555	802	1013	1242	1234	1421	1253	1362	
т, кг/сут.	ср.зн.	22,3	19,8	28,6	36,2	46,0	45,7	45,8	43,2	43,9
	min-max	3-36	2-32	9-33	14-46	30-48	42-51	16-50	16-50	16-50
ВК, ккал/месяц	832416	765900	1106208	1396440	1708980	1695150	1956870	1725660	1879560	
к-7 (самка, 277 суток, 10025 кг)										
М, кг	825	838	840	1024	1220	1377	1427	1286	1040	
т, кг/сут.	ср.зн.	30,6	28,9	30,0	36,6	45,2	51,0	46,0	44,3	45,2
	min-max	15-37	4-37	21-35	13-45	30-51	51-51	16-53	17-51	17-51
ВК, ккал/месяц	1138362	1151175	1150140	1403715	1671720	1888470	1959090	1767960	1435200	
к-8 (самец, 291 суток, 10435 кг)										
М, кг	61	775	961	1194	1218	1547	1383	1249	1407	
т, кг/сут.	ср.зн.	10,2	27,7	34,3	42,6	45,1	55,3	44,6	43,1	45,4
	min-max	4-16	7-36	24-37	12-54	13-57	45-61	14-60	14-51	17-52
ВК, ккал/месяц	84180	1063470	1317030	1636380	1669260	2123010	1898940	1716960	1941660	

Показатели	Месяцы									
	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	январь	февраль	март	апрель	май	
к-9 (самец, 272 суток, 8482 кг)										
М, кг	365	602	800	896	1049	1215	1275	1128	1147	
m, кг/сут	ср.зн.	13,5	20,7	28,6	32,0	38,9	45,0	41,1	38,9	39,6
	min-max	3-21	6-28	21-32	12-38	27-45	45-45	14-45	14-45	15-45
ВК, ккал/месяц	503838	825840	1096320	1226850	1437840	1664910	1748970	1549800	1582860	
к-10 (самка, 292 суток, 7590 кг)										
М, кг	72	652	788	828	872	933	870	741	866	
m, кг/сут	ср.зн.	9,0	23,3	28,1	29,6	32,3	34,6	28,1	25,6	27,9
	min-max	2-15	9-29	18-32	8-35	24-36	32-39	9-36	10-33	10-31
ВК, ккал/месяц	99360	895320	1079130	1134720	1195080	1280520	1195020	1017660	1195080	

Примечание: ¹ – время нахождения в сетевых вольерах; ² – фактическое количество съеденной рыбы за время нахождения в сетевых вольерах; к-1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 – индивидуальные номера особей; М – общая масса съеденной рыбы за месяц; m – суточная масса съеденной рыбы; ВК – общая валовая энергия корма за месяц.

Фактическое количество съеденной рыбы за время нахождения в вольерах (около 300 суток) десятью косатками составило 94 т, из них 76 т горбуши и 18 т сельди. Индивидуальные значения варьирует от 7,5 до 10,5 т при среднем 9,5 т для самок и от 8,5 до 10,5 т для самцов при среднем 9,5т.

В итоге потребление группой из десяти молодых косаток в пересчёте на год составило 115 т горбуши, в среднем по 11,5 т на одну особь.

При внешнем осмотре в течение года все звери выглядели упитанными, у всех особей отсутствовал видимый провал позади дыхала. Обследования кожных покровов и исследования видимых слизистых оболочек не выявили отклонений от нормы. Регистрировались единичные повреждения физического характера в апикальной части рострума.

На момент поступления косаток в вольеры в крови каждого животного (рис. 3) отмечалось пониженное со-

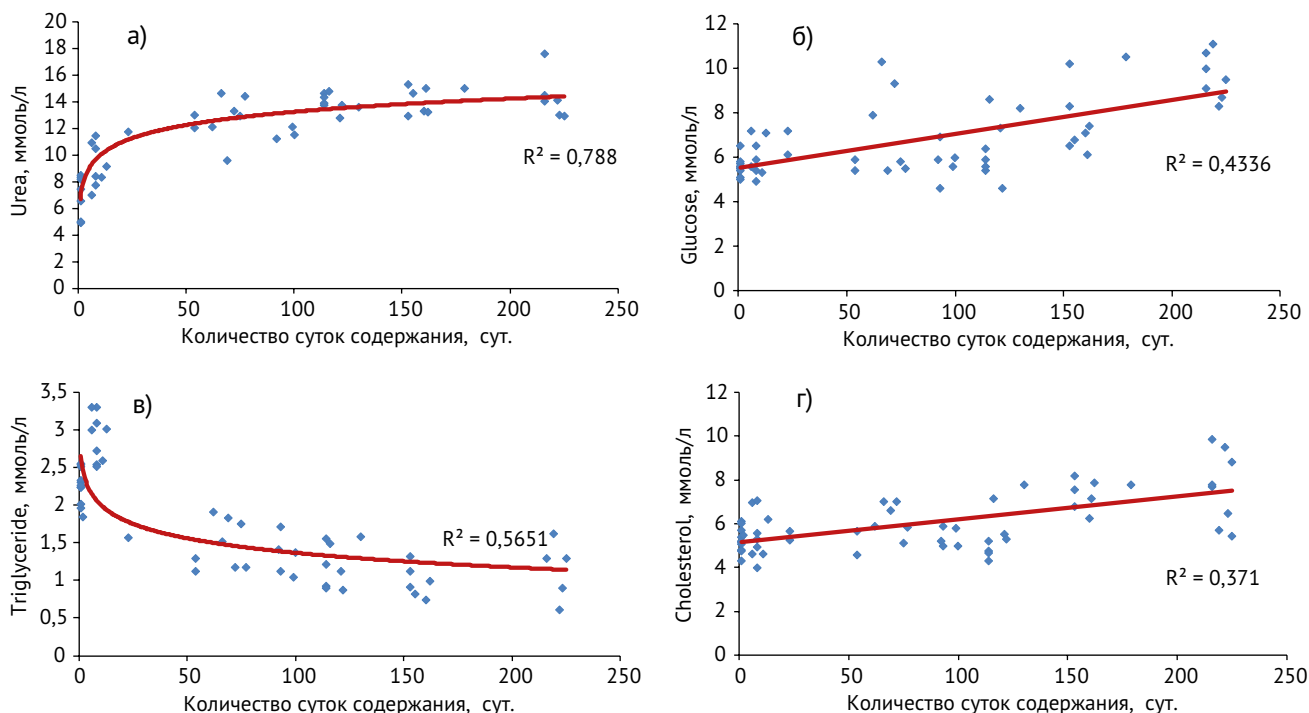


Рис. 3. Изменения мочевины (а), глюкозы (б), триглицеридов (в) и холестерина (г) в крови косаток во время содержания в сетевых вольерах

Таблица 2. Изменение размерно-весовых показателей у косаток до и после содержания в сетных вольерах

Особь	пол	m1, кг	m2, кг	Привес		L1, см	L2, см	Прирост		G1, см	G2, см	Прирост объёма	
				кг	%			см	%			см	%
к-1	♀	1220	1386	166	14	440	475	35	8	260	280	20	8
к-2	♂	1230	1510	280	23	445	470	25	6	250	300	50	20
к-3	♂	910	1225	315	35	420	453	33	8	225	255	30	11
к-4	♀	660	840	180	27	357	392	35	10	205	227	22	11
к-5	♀	1150	1490	340	30	443	474	31	7	240	271	31	0
к-6	♀	1120	1276	156	14	450	460	10	2	250	254	4	2
к-7	♀	1166	1300	134	11	410	440	30	7	250	256	6	2
к-8	♂	1102	1366	264	24	435	450	15	3	233	250	17	7
к-9	♂	750	930	180	24	362	412	50	14	216	232	16	6
к-10	♀	632	916	284	45	345	394	49	14	201	222	21	4

Примечание: к-1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 – индивидуальные номера особей; m1 – масса в начале исследования; m2 – масса в конце исследования; L1 – максимальная длина в начале исследования; L2 – максимальная длина в конце исследования; G1 – наибольший обхват между грудными плавниками и спинным плавником в начале исследования; G2 – наибольший обхват между грудными плавниками и спинным плавником в конце исследования.

держание мочевины (4,9–8,5 ср. 7,0 ммоль/л при видовом нормативе 10,7–17,9 ммоль/л), глюкозы (5,0–6,5 ср. 5,6 ммоль/л при видовом нормативе 6,1–7,5 ммоль/л), холестерина было в пределах референтных значений (4,3–6,1 ср. 5,3 ммоль/л при видовом нормативе 3,6–7,2 ммоль/л) и повышенное содержание триглицеридов (2,0–2,6 ср. 2,3 ммоль/л). Значения этих показателей связано с тем, что на протяжении всего времени транспортировки от места поимки к месту содержания особей не кормили по гигиеническим рекомендациям.

После двухнедельной адаптации животных к нахождению в сетных вольерах, результатом которой был переход животного на активное питание, отмечалась положительная динамика изменения анализов крови. Уровень триглицеридов уменьшился (0,6–1,6 ср. 1,2 ммоль/л), тогда как концентрации глюкозы (8,2–11,1 ср. 9,5 ммоль/л), мочевины (12,9–17,6 ср. 14,1 ммоль/л) и холестерина (5,4–9,8 ср. 7,8 ммоль/л) в крови увеличились. Такая динамика показателей косвенно свидетельствует о достаточном питании. Как результат, у всех косаток за период содержания произошли увеличение длины и массы тела.

Размеры особей при поступлении варьировали от 3,62 до 4,45 м для самцов, от 3,45 до 4,50 м для самок (табл. 2). Прирост у самцов за время содержания в сетных вольерах (около 300 суток) составил от 15 до 50 см, в среднем 31 см., у самок составил от 10 до 49 см, в среднем 32 см. Большой разброс связан с различным возрастным составом особей и разным темпом роста у самцов и самок.

Вес животных при поступлении составлял от 750 до 1230 кг для самцов, от 632 до 1220 кг для самок.

Привес у самцов за время содержания в сетных вольерах (около 300 суток) составил от 180 до 315 кг, в среднем – 235 кг, у самок от 156 до 340 кг, в среднем – 210 кг. Вес каждой особи отличался от расчётного (по формуле 1) минимального веса в незначительных пределах от –31 кг (недостаток) до +211 кг (избыток) при среднем +81 кг до содержания и от –50 кг (недостаток) до +215 кг (избыток) при среднем +78 кг в конце содержания косаток в сетных вольерах. Этот результат позволяет предположить о достаточности корма для животных.

Установлено, что существует зависимость суточного потребления энергии на килограмм массы животного для особей разного размера (рис. 4). С увеличением массы (размера) этот показатель снижается как у самцов, так и у самок. При весе животного менее 1000 кг суточная потребность составляет 50 ккал/кг

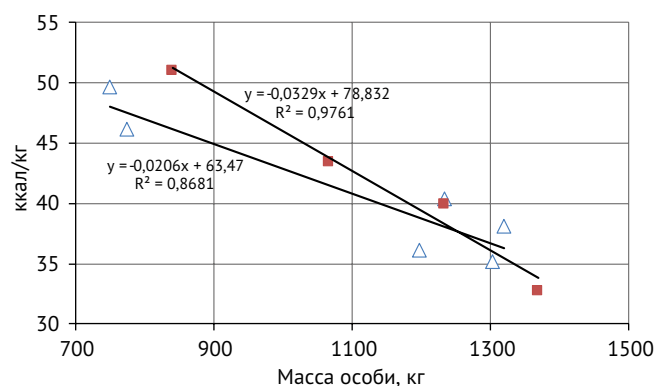


Рис. 4. Зависимость суточного потребления энергии на килограмм массы для животных разного размера: квадраты – самцы; треугольники – самки

в сутки, тогда как при весе свыше 1200 кг – менее 40 ккал/кг.

Суточная потребность в валовой энергии корма (ВК) для самок варьировала от 35711 до 50215 ккал/сут. при среднем значении 43651 ккал/сут., для самцов – от 42814 до 49258 ккал/сут. при среднем значении 45796 ккал/сут. Данные по суточному потреблению самками и самцами находятся в одном диапазоне, так как все особи молодые и сопоставимы по массе и длине и находились в одинаковых условиях при одинаковой температуре воды. Расчет годового потребления энергии показал, что для обеспечения достаточного количества ее для молодых особей косаток необходимо около 15932000 ккал в год для самок и 16716000 ккал в год для самцов. С учётом этих значений для косаток массой от 700 до 1200 кг произведён теоретический расчёт необходимого минимального годового количества кормового объекта (в тоннах) для обеспечения потребности одной особи

(табл. 3). Это количество зависит от калорийности потребляемого гидробионта. Предполагаемый объём высококалорийных кормовых объектов, таких как палтус, составит 9 т/год, тогда как низкокалорийных, таких как тихоокеанский кальмар, составит 22 т/год.

ОБСУЖДЕНИЕ

На основании проведённых исследований и полученных результатов можно сделать вывод о том, что 11,5 тонн корма в год, состоящего из горбуши и сельди, может считаться минимально достаточным количеством для удовлетворения потребностей молодых особей косаток при длительном содержании в сетных морских вольерах. Этот вывод основывается на удовлетворительном физиологическом состоянии зверей в течение года, о чём свидетельствуют данные ежедневного внешнего осмотра и гематологических анализов, а также данные о привесе и приросте и незначительные отклонения от расчётной массы.

Таблица 3. Минимальные суточные и годовые энергетические потребности косаток и теоретический расчёт необходимого минимального годового потребления различных видов гидробионтов

Особь	Фактическая энергетическая потребность		Кормовые объекты* <i>теоретический расчёт годового потребления гидробионтов на основе оценки минимальной фактической энергетической потребности</i>							
	ВК, ккал/сут	ВК, Гкал/год	Горбуша, т/год	Сельдь, т/год	Палтус, т/год	Белуха, т/год	Морж, т/год	Лактак, т/год	Кашалот, т/год	Кальмар, т/год
<i>Самки</i>										
к-1	45796	16,72	12,1	12,4	9,4	15,9	13,6	11,9	14,1	22,9
к-4	37237	13,59	9,8	10,1	7,7	12,9	11,1	9,6	11,5	18,6
к-5	50215	18,33	13,3	13,6	10,4	17,5	14,9	13,0	15,5	25,1
к-6	43230	15,78	11,4	11,7	8,9	15,0	12,8	11,2	13,4	21,6
к-7	49715	18,15	13,1	13,4	10,3	17,3	14,8	12,9	15,4	24,9
к-10	35711	13,03	9,4	9,7	7,4	12,4	10,6	9,2	11,0	17,9
X ± x	43651±2290	15,93±0,8	11,5 ±0,6	11,8±0,6	9,0±0,5	15,2±0,8	12,9±0,7	11,3±0,6	13,5±0,7	21,8±1,1
σ	5610	2,05	1,5	1,5	1,2	2,0	1,7	1,5	1,7	2,8
CV, %	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
<i>Самцы</i>										
к-2	44779	16,34	11,8	12,1	9,2	15,6	13,3	11,6	13,8	22,4
к-3	46333	16,91	12,3	12,5	9,6	16,1	13,7	12,0	14,3	23,2
к-8	49258	17,98	13,0	13,3	10,2	17,1	14,6	12,8	15,2	24,6
к-9	42814	15,63	11,3	11,6	8,8	14,9	12,7	11,1	13,2	21,4
X ± x	45796±1178	16,72±0,4	12,1±0,3	12,4±0,3	9,4±0,2	15,9±0,4	13,6±0,4	11,9±0,3	14,2±0,4	22,9±0,6
σ	2356	0,86	0,6	0,6	0,5	0,8	0,7	0,6	0,7	1,1
CV, %	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6

Примечание: * – для расчёта использовали справочные материалы по калорийности на 100 грамм: горбуша – 138 ккал, сельдь тихоокеанская – 135 ккал, палтус – 177 ккал, белуха – 105 ккал, морж – 123 ккал, кальмар тихоокеанский – 73 ккал [Вафина и др., 2013], морской заяц – 141 ккал [Слапогузова и др., 2016], кашалот – 118 [Подкорытова и др., 2017]; ВК – валовая энергия корма, калорийность; к-1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 – индивидуальные номера особей.

С помощью математических расчётов оценена годовая потребность в энергии для одной особи косатки. Для самок эта величина составляет 15,9 Гкал/год, для самцов – 16,7 Гкал/год. Эти значения сопоставимы с минимальными расчётными уровнями необходимой энергии для свободноживущих особей косаток, населяющих восточную часть Тихого океана [Noren, 2011].

Количество пищи (калорий), которое требуется косатке ежедневно, зависит от нескольких факторов, включая возраст, массу тела, рост, температуру воды и образ жизни. При содержании в условиях неволи температура воды [Kastelein et al., 2000], по-видимому, является основным фактором, влияющим на количество потребления пищи животным при отсутствии активности (перемещений на большие расстояния, охота) по сравнению с животными, находящимися в естественной среде. В океанариуме температура воды поддерживается на постоянном уровне и поэтому суточная потребность в пище животными практически не меняется. Тогда как в сетевых вольерах, в условиях сезонного изменения температуры воды, количество потребления пищи косатками зимой и летом различно. Низкие температуры воды приводят к большим теплопотерям, что влияет на увеличение потребления корма.

Полученные в исследовании результаты являются основой для оценки минимального количества корма для существования животного в неволе, а также позволяют экстраполировать данные для косаток в естественных условиях. Установлено, что группа из десяти молодых находившихся в сетевых вольерах косаток за год фактически съедает 115 т рыбы. Принимая во внимание, что годовое потребление пищи у взрослых особей в неволе достигает 19 т [Kastelein et al., 2003], и, что потребление пищи из-за разницы в уровнях активности животных в ограниченном пространстве (океанариум) и естественных условиях [Barrett-Lennard et al., 1995] увеличивается на 25%, можно предположить, что необходимое количество пищи для

обеспечения энергетической потребности в год разновозрастной находящейся в естественных условиях группы из десяти косаток составит около 200 тонн рыбы.

Дальнейшие расчёты показали, что для удовлетворения энергетических потребностей этой группы в год необходимо, в пересчёте на морских млекопитающих – порядка 1000 особей лахтака или 400 моржей, или около 300 белух. Вес гренландского кита велик, однако при охоте на это животное косатки, как и при охоте на серого кита, съедают в основном язык, подчелюстной мешок и губы нижней челюсти [Мельников, 2014]. Поэтому для расчёта потенциально необходимого количества китов требуется определить количество «удачных» охот. Если предположить, что группа косаток из десяти голов охотится раз в неделю, то годовое потребление составит порядка 52 гренландских китов. Таким образом, для всей популяции так называемой «плотоядной» косатки западной части Охотского моря с численностью в 240 особей [Шпак и др., 2016] годовое потребление составит либо 1248 китов, либо 7200 белух.

Все эти величины теоретические, однако, приведённые расчёты позволяют усомниться в том, что косатки специализируются только на питании морскими млекопитающими, игнорируя рыб и других гидробионтов. По результатам вскрытия более 400 желудков косаток разного размера за десятилетний период (рис. 5) установлено большое видовое разнообразие кормовых объектов, на которых охотится косатка [Nishiwaki, Handa, 1958].

Косатка – разносторонний хищник, который эволюционировал, чтобы успешно занять множество специализированных экологических ниш в Мировом океане. В процессе эволюции этот вид приобрёл множество различных жизненных стратегий, которые обеспечивают успешное сосуществование вида.

Косаток, обитающих в Охотском море, некоторые авторы делят в зависимости от типа питания на два

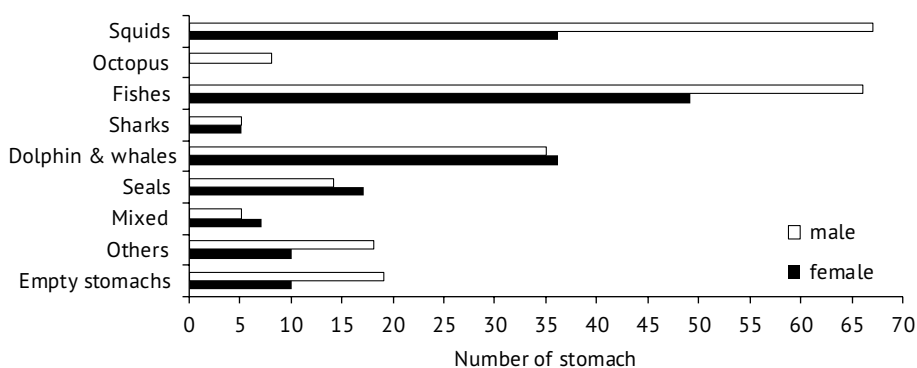


Рис. 5. Содержимое желудков косатки [по Nishiwaki, Handa, 1958]

экоотипа: «плотоядный» (транзитный или Т-тип) и «рыбоядный» (резидентный или R-тип) [Шулежко, 2008; Филатова и др., 2014; Филатова, 2018; Filatova et al., 2019]. Для этих двух разных типов косаток были предложены виды пищевой специализации. Для R-типа – добыча рыбы, для Т-типа – морских млекопитающих. Сторонники этого считают, что демонстрируемые предпочтения чрезвычайно сильны, и нет никаких доказательств того, что один тип когда-либо переключается на вид добычи другого или обладает поведенческой гибкостью для этого. Однако, они же отмечают [Ford, Ellis, 2014], что получить представление о привычках питания китообразных, живущих в естественных условиях, трудно, потому что питание обычно происходит под водой и вне поля зрения. В связи с этим результаты их исследований основаны на косвенных данных. Так, исследование диеты R-типа и Т-типа косаток проводилось с использованием четырёх различных методов: прямое наблюдение за хищником; сбор фрагментов добычи, оставленных в толще воды; исследование содержимого желудков найденных на побережье туш; химический анализ образцов биопсии кожи и жира на наличие изотопа азота ^{15}N [Krahn et al., 2007a; Ford, Ellis, 2014].

Содержание стабильного изотопа азота ^{15}N у косаток R-типа было ниже ($\delta^{15}\text{N} = 3\%$), чем у косаток Т-типа, что позволило авторам отнести их к различным трофическим уровням [Филатова и др., 2014]. Хотя, как отмечает А.И. Болтнев (2017), такие различия могут быть следствием неучтённых факторов – возрастных или пространственных изменений содержания изотопа азота ^{15}N в тканях косаток, но никак не следствием питания рыбой или морскими млекопитающими. Это суждение он основывает и на том, что содержание изотопа азота ^{15}N в тканях южной резидентной (R-типа) группы косаток Северной Америки [Krahn et al., 2007b] было такое же, как и у косаток Т-типа. У «плотоядного» Т-типа косаток Охотского моря значение содержания азота ^{15}N в образцах ткани составило 16,8% [Филатова и др., 2014], что явилось доказательством плотоядности, однако анализ того же изотопа в тканях тихоокеанской трески (*Gadus macrocephalus*) показал, что значение меняется в зависимости от размерно-возрастных характеристик. Так, по данным К.М. Горбатенко и др. (2008) у молодых рыб значение содержания азота ^{15}N в среднем составляло 13,7%, с ростом длины тела значение достигает 17,2%. У северных морских котиков *Callorhinus ursinus* было показано неоднородное содержание ^{15}N в разных тканях одного животного, которое варьировало от 14,9% (мех) до 17,1% (липиды) [Kurle, Worthy, 2002]. Следует отметить, что у молодых особей

косатки (менее 4 м) на первых этапах после прекращения вскармливания матерью в рационе преобладают рыба и кальмары [Nishiwaki, Handa, 1958]. К тому же, в желудках всех размерных групп косаток рыбы присутствуют постоянно, тогда как крупные объекты питания – киты или дельфины, были отмечены только у взрослых особей [Nishiwaki, Handa, 1958]. Поэтому использование химического анализа образцов кожи и жира на наличие изотопа азота ^{15}N , для разделения косаток Охотского моря на R-тип и Т-тип – не корректно.

В литературе приводится множество наблюдений за охотой косаток на морских млекопитающих [Томилин, 1957; Мельников, 2014]. Многие наблюдения проводились в местах скопления рыб, но факт охоты фиксировался только на морских животных, отвергая возможность охоты на рыбу. Это связано с трудностью идентификации поимки рыбы, находящейся под водой вне поля зрения, относительно охоты на морского млекопитающего, который крупнее и находится у поверхности воды. Фиксирование охоты на рыбу проводят либо в местах скопления рыбы при отсутствии поблизости морских млекопитающих или при регистрации случаев «нахлебничества» на ярусном промысле [Корнев и др., 2014]. Следует отметить отсутствие визуальных наблюдений по охоте за головоногими моллюсками, хотя осьминоги и кальмары не раз регистрировались в желудках косаток [Nishiwaki, Handa, 1958; Бетешева, 1961; Иванова, 1961; Шевченко, 1975; Vos et al., 2006]. Поэтому, считаем, что визуальное наблюдение за питанием, менее объективно, чем результаты вскрытия желудков животных.

Основное положение теории оптимального фуражирования, в применении к выбору пищевого рациона, заключается в том, что набор поедаемых видов жертв, должен быть таким, чтобы обеспечивать хищнику максимально возможную в данных условиях скорость поступления энергии [MacArthur, Wilson, 1967]. В водах Чукотского полуострова лосось немногочислен, головоногих моллюсков почти нет, из-за отсутствия других пищевых объектов, по мнению В.В. Мельникова, объясняется специализация косаток в этом районе на питании морскими млекопитающими, преимущественно молодняком серых китов [Мельников, 2014]. По сведениям В.И. Шевченко (1975) спектр питания косаток изменяется в широтном направлении. Так в желудках косаток, добытых в холодных водах Антарктики (южнее 50° ю. ш.), чаще всего встречались остатки малых полосатиков и ластоногих, значительно реже – фрагменты рыб и кальмаров. В желудках косаток добытых в умеренно-тёплой зоне (30° – 50° ю. ш.) преобладали дельфины и рыба, реже ласто-

ногие и зубатые киты, отмечен даже случай каннибализма [Шевченко, 1975]. Приведённые примеры подтверждают, что в «целом предпочитаемым кормом является у зубатых китов тот, который в данном месте и в данное время наиболее доступен и многочислен» [Яблоков и др., 1972].

Классически, по степени кормовой специализации животных, делят на стенофагов, использующих ограниченный набор кормов, и эврифагов — всеядных. Питание разнообразной пищей в значительной мере обуславливается географическими и сезонными изменениями обилия и доступности различных кормовых объектов. В условиях умеренных и холодных зон северного полушария типичных стенофагов сравнительно мало, большинство видов здешних млекопитающих — эврифаги. В суровой среде обитания наибольшие шансы выжить имеют те виды, которые не ограничиваются каким-либо узкоспециализированным источником пищи или способом ее добычи. Было отмечено, что косатки в менее продуктивных тропических или субтропических водах являются универсальными хищниками, которые включают в свой рацион большее разнообразие видов [Baird et al., 2006]. В связи с этим возникают сомнения, когда для косаток отмечается приоритет определённого пищевого объекта. Так, было установлено [Ford, Ellis, 2014], что некоторые популяции косаток специализируются на питании чавычей (*Oncorhynchus tshawytscha*), однако авторы не указывают объектов питания при прекращении нереста лососёвых в зимний период. Скорее эти исследования являются подтверждением теории оптимального фуражирования — хищник питается наиболее крупным из тихоокеанских лососей, обеспечивая высокую скорость поступления энергии за счёт высокого содержания липидов у чавычи.

Если принять разделение косаток в Охотском море на рыбадный тип и плотоядный тип, то возникает вопрос, а есть ли рыбадная косатка в Охотском море? В обосновании включения плотоядной косатки в Красную книгу Российской Федерации написано, что рыбадные косатки встречаются повсеместно, тогда, как по Охотскому морю ничего о рыбадном экотипе не написано. Все работы по рыбадному экотипу относятся к прибрежным водам Камчатки. Заявляемая некоторыми авторами [Филатова и др., 2014] разница между этими типами основана на сравнении генетических проб, собранных у восточного побережья Камчатки и Командорских островов, и выборкой проб от косаток из различных районов Охотского моря. Все пробы из Охотского моря авторы относят к плотоядным косаткам. С нашей точки зрения по результатам этой работы скорее следует рассматривать охотомор-

скую группировку косаток как отдельную единицу (популяцию), которая отличается от восточно-камчатской. Косвенным доказательством этой гипотезы служат данные по спутниковому слежению [Болтнев и др., 2017; 2020]. Ни одна из 16 косаток из Охотского моря (2015 г.— 3 особи, 2018 г.— 3 особи, 2019–10 особей) не направилась в сторону восточного побережья Камчатки.

Считаем, не стоит рассматривать деление популяций косаток на «плотоядный» и «рыбадный» экотипы. По нашему мнению, следует рассматривать проявление разных видов поведения (резидентный тип, транзитный тип) у особей косаток в зависимости от климатических условий и наличия объектов питания. В местах охоты у особей косаток преобладает резидентный тип, который изменяется на транзитный тип поведения при смене района нагула или сезонной миграции. Для косаток Охотского моря по результатам спутникового слежения [Болтнев и др., 2017; 2020] очевидно чередование резидентного типа поведения (длительное время нахождения в одном районе) с транзитным (миграция на большие расстояния). Похожая смена типов поведения установлена для косаток в восточной части Канадской Арктики. Помеченные особи длительное время до момента появления льдов оставались в бухтах Адмиралтейства и Принс-Риджент, в местах скопления морских млекопитающих, а затем мигрировали в открытую часть северной Атлантики, пройдя более 5400 км [Matthews et al., 2011].

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают глубокую благодарность Василию Васильевичу Романову за рекомендации и замечания, которые сыграли важную роль в подготовке статьи, а также сотрудникам ООО «Афалина», ООО «Белый кит», ООО «Океанариум ДВ», ООО «Сочинский дельфинарий», оказавшим помощь в проведении эксперимента.

ЛИТЕРАТУРА

- Бетешева Е.И. 1961. Питание промысловых китов Прикурльского района // Китообразные дальневосточных морей. Труды ИМЖ им. А.М. Северцова. Т. 34. С. 7–32.
- Болтнев А.И. 2017. Плотоядные или рыбадные: критические заметки к проблеме исследований популяционной структуры косаток // Труды ВНИРО. Т. 168. С. 49–61.
- Болтнев А.И., Болтнев Е.А., Сидоров Л.К., Жариков К.А. 2020. Береговые наблюдения и спутниковое прослеживание миграций косаток и белух в Охотском море в летне-осенний период 2018 года // Труды ВНИРО. Т. 182. С. 48–63.

- Болтнев А.И., Жариков К.А., Сомов А.Г., Сальман А.Л. 2017. Спутниковое слежение за косатками в Охотском море в летне-осенний период 2015 г. // Труды ВНИРО. Т. 168. С. 62–74.
- Вафина Л.Х., Бакштанский Э.Л., Копыленко Л.Р., Рубцова Т.Е. 2013. Информационные сведения о пищевой ценности продуктов из гидробионтов // Качество, безопасность и методы анализа продуктов из гидробионтов. Вып. 4. М.: Из-во ВНИРО. 100 с.
- Горбатенко К.М., Кияшко С.И., Лаженцев А.Е., Надточий В.А., Савин А.Б. 2008. Трофические связи пелагических и донных животных западной части Берингова моря по данным содержания желудков и анализа стабильных изотопов углерода и азота // Известия ТИНРО. Т. 154. С. 144–164.
- Джикия Е.Л., Цидулко Г.А., Цидулко А.Г., Назаров Л.С., Коростелев М.Ю. 2021. Наблюдения охот косаток (*Orcinus orca*) на гренландских китов (*Balaena mysticetus*) Охотоморской популяции в 2018–2020 гг. // Сб. тез. XI Межд. конф. «Морские млекопитающие Голарктики», онлайн, 01–05 марта 2021 г. С. 38.
- Иванова Е.И. 1961. О тихоокеанской косатке (*Orcinus orca* L.) // Труды ИМЖ им. А.М. Северцова АН СССР. Т. 34. С. 205–215.
- Корнев С.И., Белонович О.А., Никулин С.В. 2014. Косатки (*Orcinus orca*) и промысел чёрного палтуса (*Reinhardtius hippoglossoides*) в Охотском море // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. № 34. С. 35–50.
- Мельников В.В. 2014. Китообразные (Cetacea) тихоокеанского сектора Арктики: история промысла, современное распределение, миграции, численность. Владивосток: Дальнаука. 396 с.
- Нагайлик М.М., Ивкович Т.В., Филатова О.А., Бурдин А.М. 2011. Изменение охотничьей стратегии косаток Авачинского залива (Восточная Камчатка) // Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей. Петропавловск-Камчатский, 14–15 декабря 2011 г. С. 185–189.
- Парамонов С.Г., Смирнов А.П., Грязькин А.В. 2009. Экология организмов. СПб. 86 с.
- Перельдик, Н.Ш., Милованов, Л.В., Ерин, А.Т. 1987. Кормление пушных зверей. М.: Агропромиздат. 351 с.
- Подкорытова А.В., Игнатова Т.А., Родина Т.В. 2017. Пищевая и биологическая ценность мышечных тканей морских млекопитающих и их использование // Труды ВНИРО. Т. 168. С. 156–187.
- Слапогузова З.В., Болтнев А.И., Абдурахманов А.Г., Вафина Л.Х. 2016. Морские млекопитающие как сырьё для производства пищевой продукции // Труды ВНИРО. Т. 159. С. 87–94.
- Тарасян К.К. 2005. Экология косатки Лиачииского залива. Дис. ... канд. биол. наук. М.: МГУ им. М.В. Ломоносова. 146 с.
- Томилиן А.Г. 1957. Звери СССР и прилежащих стран, т. 9. Китообразные 756 с.
- Томилиן А.Г. 1974. В мире китов и дельфинов. М.: Знание. 208 с.
- Филатова О.А. 2018. Киты и дельфины М.: Фитон XXI, 168 с.
- Филатова О.А., Борисова Е.А., Шпак О.В., Мещерский И.Г., Тунов А.В., Гончаров А.А., Федутин И.Д., Бурдин А.М. 2014. Репродуктивно изолированные экотипы косаток *Orcinus orca* в морях Дальнего Востока России // Зоологический журнал. Т. 93. № 11. С. 1345–1353.
- Фомин С.В. 2021. Первое подтверждение хищничества косатки (*Orcinus orca*) в отношении калана (*Enhydra lutris*) в акватории Командорских островов // Сб. тез. XI Межд. конф. «Морские млекопитающие Голарктики», онлайн, 01–05 Марта 2021 г. С. 100.
- Шпак О.В., Шулежко Т.С. 2013. Наблюдения и фотоидентификация необычной группы плотоядных косаток (*Orcinus orca*) в западной части Охотского моря // Исследования водных биологических ресурсов камчатки и северо-западной части Тихого океана. № 28. С. 129–139.
- Шпак О.В., Филатова О.А., Волкова Е.В., Парамонов А.Ю. 2016. Предварительная оценка численности популяции плотоядных косаток (*Orcinus orca*) в Охотском море // Сб. тез. IX Межд. конф. «Морские млекопитающие Голарктики». С. 105.
- Шевченко В.И. 1975. Характер взаимоотношений касаток и других китообразных // Морские млекопитающие. Мат. VI Всесоюз. совещ. Киев: Наукова думка, С. 173–175
- Шулежко Т.С. 2008. Экологические типы косаток Российской части Тихого океана: фотоидентификация и акустический анализ. Дис. ... канд. биол. наук. М.: МГУ им. М.В. Ломоносова. 198 с.
- Яблоков А.В., Белькович В.М., Борисов В.И. 1972. Киты и дельфины. М.: Наука. 472 с.
- Baird R.W., McSweeney D.J., Bane C., Barlow J., Salden D.R., Antoine L.K., LeDuc R.G., Webster D.L. 2006. Killer whales in Hawaiian waters: information on population identity and feeding habits // Pacific Science. 60:523–530.
- Barrett-Lennard L.G., Heise K., Saulitis E., Ellis G., Matkin C. 1995. The impact of killer whale predation on Steller sea lion populations in British Columbia and Alaska // Report to the North Pacific Universities Marine Mammal Research Consortium, Vancouver, British Columbia, Canada (unpublished). Accessible via: https://mmru.ubc.ca/wp-content/pdfs/Barrett_etal1995-killer.pdf. 01.04.2021.
- Matthews C.J.D., Luque S.L., Petersen S.D., Andrews R.D., Ferguson S.H. 2011. Satellite tracking of a killer whale (*Orcinus orca*) in the eastern Canadian Arctic documents ice avoidance and rapid, long-distance movement into the North Atlantic // Polar Biol. 34, 1091–1096.
- Estes J.A., Tinker M.T., Williams T.M., Doak D.F. 1998. Killer Whale Predation on Sea Otters Linking Oceanic and Nearshore Ecosystems // Science. Vol. 282, № 5388 (Oct. 16, 1998), pp. 473–476.
- Filatova O.A., Shpak O.V., Ivkovich T.V., Volkova E.V., Fedutin I.D., Ovsyanikova E.N., Burdin A.M., Hoyt E. 2019. Large scale habitat segregation of fish-eating and mammal-eating killer whales (*Orcinus orca*) in the western North Pacific // Polar Biology. 42:931–941 <https://doi.org/10.1007/s00300-019-02484-6>

- Ford J.K.B., Ford D. 1981. The killer whales of B.C. // *Waters* 5: 1–32.
- Ford J.K.B., Ellis G.M., Balcomb K.C. 2000. Killer whales: the natural history and genealogy of *Orcinus orca* in British Columbia and Washington. UBC Press, Vancouver. 104 p.
- Ford J.K.B., Ellis G.M. 2014. You Are What You Eat: Foraging Specializations and Their Influence on the Social Organization and Behavior of Killer Whales // *Primates and Cetaceans*. pp. 75–98
- Joblon M., Pokras M.A., Morse B., Harry C.T., Rose K.S., Sharp S.M., Niemeyer M.E., Patchett K.M., Sharp W.B., Moore M.J. 2014. Body Condition Scoring System for Delphinids Based on Short-beaked Common Dolphins (*Delphinus delphis*) // *J. of Marine Animals and Their Ecology*. Vol. 7. No 2. pp. 5–13.
- Kastelein R.A., Vaughan N. 1989. Food consumption, body measurements and weight changes of a female killer whale (*Orcinus orca*) // *Aquatic Mammals*, 15(1), 18–21.
- Kastelein R.A., Walton S., Odell D., Nieuwstraten S.H., Wiepkema P.R. 2000. Food consumption of a captive female killer whale (*Orcinus orca*) // *Aquatic Mammals* 2000, 26.2, 127–131
- Kastelein R.A., Kershaw J., Berghout E., Wiepkema P.R. 2003. Food consumption and suckling in killer whales (*Orcinus orca*) at Marineland Antibes // *International Zoo Yearbook*. 38, 204–218. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1748-1090.2003.tb02081.x>
- Kochman S. 1992. Orcas feast on fresh moose // *Alaska Magazine*. October: p. 14.
- Krahn M.M., Herman D.P., Matkin C.O., Durban J.W., Barrett-Lennard L.G., Burrows D.G., Dahlheim M.E., Black N., Leduc R.G., Wade P.R. 2007 a. Use of chemical tracers in assessing the diet and foraging regions of eastern North Pacific killer whales // *Mar. Environ. Res.* 63: 91–114
- Krahn M.M., Hanson M.B., Baird R.W., Boyer R.H., Burrows D.G., Emmons C.K., Ford J.K.B., Jones L.L., Noren D.P., Ross P.S., Schorr G.S., Collier T.K. 2007 b. Persistent organic pollutants and stable isotopes in biopsy samples (2004/2006) from Southern Resident killer whales // *Mar. Poll. Bull.* V. 54, Is. 12. P. 1903–1911.
- Kurle C.M., Worthy G.A.J. 2002. Stable nitrogen and carbon isotope ratios in multiple tissues of the northern fur seal *Callorhinus ursinus*: implications for dietary and migratory reconstructions // *Mar. Ecol. Prog. Ser.* Vol. 236 P. 289–300
- MacArthur R.H., Wilson E.O. 1967. The theory of island biogeography. Princeton Univ. Press. Princeton. 203 p.
- Matkin C.O., Saulitis E.L. 1994. Killer whale, *Orcinus orca*, biology and management in Alaska. // U.S. Marine Mammal Commission: Washington, D.C. 46 pp.
- Morton A.B. 1990. A quantitative comparison of the behavior of resident and transient forms of the killer whale off the central British Columbia coast // *Rep. Int. Whal. Commn. (Sp. Iss. 12)*: 245–248.
- Nishiwaki M., Handa C. 1958. Killer whales caught in the coastal waters off Japan for recent ten years // *Whales Research Institute, Scientific Rep.* 13: 85–96.
- Nollens H.H., Venn-Watson S., Gill C., Mcbain J.F. 2018. Cetacean medicine // *CRC Handbook of Marine Mammal Medicine Press (3rd edition)*, Boca Raton, FL. Pp. 887–904
- Noren D.P. 2011. Estimated field metabolic rates and prey requirements of resident killer whales // *Marine mammal science*. V.27. (1). 60–77 p.
- Odlum G.C. 1948. An instance of killer whales feeding on ducks // *Can. Field-Nat.* 62: 42.
- Scheffer V.B., Slipp J.W. 1948. The whales and dolphins of Washington State with a key to the cetaceans of the west coast of North America // *Am Midl. Nat.* 39: 257–337.
- Sergeant D.E. 1969. Feeding rates of Cetacea // *Fisk. Dir. Skr. Havunders.* V. 15. P. 246–258.
- Stacey P.J., Baird R.W. 1989. Interactions between seabirds and marine mammals // *Victoria Field Naturalist* 45: 9–10.
- Stacey P.J., Baird R.W., Hubbard-Morton A.B. 1990. Transient killer whale (*Orcinus orca*) harassment, predation, and «surplus killing» in British Columbia // *Pacific Seabird Group Bull.* 17: 38.
- Vos D.J., Quakenbush L. T., Mahoney B.A., 2006. Documentation of sea otters and birds as prey for killer whales // *Marine Mammal Science* 22(1): P. 201–205.

Поступила в редакцию 24.06.2021 г.
Принята после рецензии 22.09.2021 г.

On the issue of food consumption by Okhotsk Sea killer whales

L.K. Sidorov,

I.F. Belokobylskiy

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

The results are presented on the daily and annual food consumption by killer whales with year-round keeping in net enclosures in Srednyaya Bay. The diet consisted of two species of fish: pink salmon and herring. For females, the daily fish consumption varied from 9 to 50.9 kg with an average of 32.6 kg, for males from 6 to 45.1 kg with an average of 34.1 kg. The annual minimum amount of fish for keeping one young individual in captivity ranges from 11.5 to 12.1 tons of pink salmon, which corresponds to energy requirements of 15.9 Gcal/year for females and 16.7 Gcal/year for males. An increase in the required amount of food for an animal with a decrease in water temperature was established. Based on the results of the factual material on nutrition, the annual consumption of a group of ten killer whales of different ages found in natural conditions was calculated. This value in terms of pink salmon is estimated at 200 tons of feed per year. The theoretical calculation of the annual consumption of various species of aquatic organisms by killer whales is presented. Based on the results of research and analysis of modern literature sources in comparison with historical data on the feeding of killer whales, it was proposed not to divide this species in the Sea of Okhotsk into “mammal-eating” and “fish-eating” ecotypes. In our opinion, the manifestation of different types of behavior (resident type, transit type) in killer whales should be considered, depending on climatic conditions and the availability of food objects. In hunting grounds, the resident type predominates in killer whales, which changes to a transit type of behavior when changing the feeding area or seasonal migration.

Keywords: ecotypes, population, transit mammal-eating and resident fish-eating killer whales *Orcinus orca*, gross calorie content, daily and annual food consumption.

REFERENCES

- Betesheva E.I.* 1961. Pitanie promyslovykh kitov Prikuril'skogo rajona [Food for game whales near the Kuril region] // *Kitoobraznye dal'nevostochnykh morej: Trudy IMZH im. A.M. Severtsova*. T. 34. S.7–32.
- Boltnev A.I.* 2017. Plotoyadnye ili ryboyadnye: kriticheskie zametki k probleme issledovaniy populyatsionnoy struktury kosatok [Mammals-eating or fish-eating: critical notes to the problem of studies of the population structure of killer whales] // *Trudy VNIRO*. T. 168. S. 49–61.
- Boltnev A.I., Boltnev E.A., Sidorov L.K., Zharikov K.A.* 2020. Beregovye nablyudeniya i sputnikovoe proslezhivanie migratsiy kosatok i belukh v Okhotskom more v letne-osennij period 2018 goda [Coastal observations and satellite tracking of migrations of killer whales and belugas in the Sea of Okhotsk in summer-autumn period of 2018] // *Trudy VNIRO*. T. 182. S. 48–63.
- Boltnev A.I., Zharikov K.A., Somov A.G., Sal'man A.L.* 2017. Sputnikovoe slezhenie za kosatkami v Okhotskom more v letne-osennij period 2015 g. [Satellite tracking of killer whales in the Okhotsk Sea in summer-autumn 2015] // *Trudy VNIRO*. T. 168. S. 62–74.
- Vafina L. Kh., Bakhtanskij Eh.L., Kopylenko L.R., Rubtsova T.E.* 2013. Informatsionnye svedeniya o pishchevoj tsennosti produktov iz gidrobiontov. Kachestvo, bezopasnost' i metody analiza produktov iz gidrobiontov [Information on the nutritional value of aquatic products. Quality, safety and methods of analysis of aquatic products]. Vyp. 4. M.: Iz-vo VNIRO. 100 s.
- Gorbatenko K.M., Kiyashko S.I., Lazhentsev A.E., Nadtochij V.A., Savin A.B.* 2008. Troficheskie svyazi pelagicheskikh i donnykh zhivotnykh zapadnoj chasti Beringova morya po dannym sodержaniya zheludkov i analiza stabil'nykh izotopov ugleroda i azota [Trophic benthic-pelagic relations in the western Bering Sea revealed by analysis of stomach contents and stable isotopes of carbon and nitrogen] // *Izvestiya TINRO*. T. 154. S. 144–164.
- Dzhikiya E.L., Tsidulko G.A., Tsidulko A.G., Nazarov L.S., Korostelev M. Yu.* 2021. Nablyudeniya okhot kosatok (*Orcinus orca*) na grenlandskikh kitov (*Balaena mysticetus*) Okhotomorskoj populyatsii v 2018–2020gg. [Observations of orca (*Orcinus orca*) hunts on Okhotsk Sea bowhead whales (*Balaena mysticetus*) 2018–2020.] // *Sb. tez. XI Mezhd. konf. «Morskije mlekoopitayushchie Golarktiki»*, onlajn, 01–05 Marta 2021 g. S. 38
- Ivanova E.I.* 1961. O tikhookeanskoj kosatke (*Orcinus orca* L.) [About the Pacific killer whale (*Orcinus orca* L.)] // *Trudy IMZH im. A.M. Severtsova AN SSSR*. T. 34. S. 205–215.
- Kornev S.I., Belonovich O.A., Nikulin S.V.* 2014. Kosatki (*Orcinus orca*) i promysel chernogo paltusa (*Reinhardtius*

- hippoglossoides*) v Okhotskom more [Killer whales (*Orcinus orca*) and greenland halibut (*Reinhardtius hippoglossoides*) fishery in the sea of Okhotsk] // Issledovaniya vodnykh biologicheskikh resursov Kamchatki i severo-zapadnoj chasti Tikhogo okeana. № 34. S. 35–50.
- Mel'nikov V.V. 2014. Kitoobraznye (Cetacea) tikho-okeanskogo sektora Arktiki: istoriya promysla, sovremennoe raspredelenie, migratsii, chislennost' [Whales (Cetacea) of the Pacific sector of the Arctic: history of whaling, modern distribution, migration, abundance]. Vladivostok: Dal'nauka. 396 s.
- Nagajlik M.M., Ivkovich T.V., Filatova O.A., Burdin A.M. 2011. Izmenenie okhotnich'ej strategii kosatok Avachinskogo zaliva (Vostochnaya Kamchatka) [Changes in killer whale hunting strategy in the Avacha gulf (Eastern Kamchatka)] // Sokhranenie bioraznoobraziya Kamchatki i prilgayushchikh morej. Petropavlovsk-Kamchatskij, 14–15 dekabrya 2011 g. S. 185–189.
- Paramonov S.G., Smirnov A.P., Gryaz'kin A.V. 2009. Ehkologiya organizmov [Ecology of organisms]. SPb. 86 s.
- Perel'dik, N. Sh., Milovanov, L.V., Erin, A.T. 1987. Kormlenie pushnykh zverej. [Feeding fur animals]: M.: Agropromizdat 351 s.
- Podkorytova A.V., Ignatova T.A., Rodina T.V. 2017. Pishchevaya i biologicheskaya tsennost' myshechnykh tkanej morskikh mlekopitayushchikh i ikh ispol'zovanie [The nutrition and biological value of marine mammals muscular tissue and their use] // Trudy VNIRO. T. 168. S. 156–187.
- Slapoguzova Z.V., Boltnev A.I., Abdurakhmanov A.G., Vafina L. Kh. 2016. Morskie mlekopitayushchie kak syr'e dlya proizvodstva pishchevoj produktsii [Marine mammals as raw materials for food production] // Trudy VNIRO. T. 159. S. 87–94.
- Tarasyan K.K. 2005. Ehkologiya kosatki Liachiiskogo zaliva [Ecology of the Liachi Bay killer whale]. Dis. ... kand. biol. nauk. M.: MGU im. M.V. Lomonosova. 146 s.
- Tomilin A.G. 1957. Zveri SSSR i prilzhashchikh stran, t. 9. Kitoobraznye. [Animals of the USSR and adjacent countries, vol. 9. Cetaceans]. 756 s.
- Tomilin A.G. 1974. V mire kitov i del'finov [In the world of whales]. M.: Znanie 208 s.
- Filatova O.A. 2018. Kity i del'finy [Whales and dolphins] M.: Fiton XXI. 168 s.
- Filatova O.A., Borisova E.A., Shpak O.V., Meshcherskij I.G., Tiunov A.V., Goncharov A.A., Fedutin I.D., Burdin A.M. 2014. Reproaktivno izolirovannye ehkotipy kosatok *Orcinus orca* v moryakh Dal'nego Vostoka Rossii [Reproductively isolated ecotypes of killer whales *Orcinus orca* in seas of the Russian far east] // Zoologicheskij zhurnal. T. 93. № 11. S. 1345–1353.
- Fomin S.V. 2021. Pervoe podtverzhenie khishchnichestva kosatki (*Orcinus orca*) v otnoshenii kalana (*Enhydra lutris*) v akvatorii Komandorskikh ostrovov [The first confirmation of killer whale (*Orcinus orca*) predation on sea otter (*Enhydra lutris*) in the Commander Islands, Russia] // Sb. tez. XI Mezhd. konf. «Morskie mlekopitayushchie Golarktiki», onlajn, 01–05 Marta 2021 g. S. 100
- Shpak O.V., Shulezhko T.S. 2013. Nablyudeniya i foto-identifikatsiya neobychnoj gruppy plotoyadnykh kosatok (*Orcinus orca*) v zapadnoj chasti Okhotskogo morya [Observations and photoidentification of an unusual group of mammal-eating killer whales (*Orcinus orca*) in the western sea of Okhotsk] // Issledovaniya vodnykh biologicheskikh resursov Kamchatki i severo-zapadnoj chasti Tikhogo okeana. № 28. S. 129–139.
- Shpak O.V., Filatova O.A., Volkova E.V., Paramonov A. Yu. 2016. Predvaritel'naya otsenka chislennosti populyatsii plotoyadnykh kosatok (*Orcinus orca*) v Okhotskom more [Preliminary population size estimation of mammal-eating killer whales (*Orcinus orca*) in the Okhotsk Sea] // Sb. tez. IX mezhd. konf. «Morskie mlekopitayushchie Golarktiki». S. 105.
- Shevchenko V.I. 1975. Kharakter vzaimootnoshenij kasatok i drugikh kitoobraznykh [The nature of the relationship between killer whales and other cetaceans] // Morskie mlekopitayushchie. Mat. VI Vsesoyuz. soveshch. Kiev: Naukova dumka. S. 173–175
- Shulezhko T.S. 2008. Ehkologicheskie tipy kosatok Rossijskoj chasti Tikhogo okeana: fotoidentifikatsiya i akusticheskij analiz [Ecological types of the Russian part of the Pacific Ocean: photo-identification and acoustic analysis] // Dis. ... kand. biol. nauk. M.: MGU im. M.V. Lomonosova. 198 s.
- Yablokov A.V., Bel'kovich V.M., Borisov V.I. 1972. Kity i del'finy [Whales and dolphins]. M.: Nauka, 472 s.
- Baird R.W., McSweeney D.J., Bane C., Barlow J., Salden D.R., Antoine L.K., LeDuc R.G., Webster D.L. 2006. Killer whales in Hawaiian waters: information on population identity and feeding habits // Pacific Science. 60:523–530.
- Barrett-Lennard L.G., Heise K., Saulitis E., Ellis G., Matkin C. 1995. The impact of killer whale predation on Steller sea lion populations in British Columbia and Alaska // Report to the North Pacific Universities Marine Mammal Research Consortium, Vancouver, British Columbia, Canada (unpublished). Accessible via: https://mmru.ubc.ca/wp-content/pdfs/Barrett_etal1995-killer.pdf. 01.04.2021.
- Matthews C.J.D., Luque S.L., Petersen S.D., Andrews R.D., Ferguson S.H. 2011. Satellite tracking of a killer whale (*Orcinus orca*) in the eastern Canadian Arctic documents ice avoidance and rapid, long-distance movement into the North Atlantic // Polar Biol. 34, 1091–1096.
- Estes J.A., Tinker M.T., Williams T.M., Doak D.F. 1998. Killer Whale Predation on Sea Otters Linking Oceanic and Nearshore Ecosystems // Science. Vol. 282, № 5388 (Oct. 16, 1998), pp. 473–476.
- Filatova O.A., Shpak O.V., Ivkovich T.V., Volkova E.V., Fedutin I.D., Ovsyanikova E.N., Burdin A.M., Hoyt E. 2019. Large scale habitat segregation of fish-eating and mammal-eating killer whales (*Orcinus orca*) in the western North Pacific // Polar Biology. 42:931–941 <https://doi.org/10.1007/s00300-019-02484-6>
- Ford J.K.B., Ford D. 1981. The killer whales of B.C. // Waters 5: 1–32.
- Ford J.K.B., Ellis G.M., Balcomb K.C. 2000. Killer whales: the natural history and genealogy of *Orcinus orca* in British Columbia and Washington. UBC Press, Vancouver. 104 p.

- Ford J.K.B., Ellis G.M. 2014. You Are What You Eat: Foraging Specializations and Their Influence on the Social Organization and Behavior of Killer Whales // Primates and Cetaceans. pp. 75–98
- Joblon M., Pokras M.A., Morse B., Harry C.T., Rose K.S., Sharp S.M., Niemeyer M.E., Patchett K.M., Sharp W.B., Moore M.J. 2014. Body Condition Scoring System for Delphinids Based on Short-beaked Common Dolphins (*Delphinus delphis*) // J. of Marine Animals and Their Ecology. Vol. 7. No 2. pp. 5–13.
- Kastelein R.A., Vaughan N. 1989. Food consumption, body measurements and weight changes of a female killer whale (*Orcinus orca*) // Aquatic Mammals, 15(1), 18–21.
- Kastelein R.A., Walton S., Odell D., Nieuwstraten S.H. Wiepkema P.R. 2000. Food consumption of a captive female killer whale (*Orcinus orca*) // Aquatic Mammals 2000, 26.2, 127–131
- Kastelein R.A., Kershaw J., Berghout E., Wiepkema P.R. 2003. Food consumption and suckling in killer whales (*Orcinus orca*) at Marineland Antibes // International Zoo Yearbook. 38, 204–218. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1748-1090.2003.tb02081.x>
- Kochman S. 1992 Orcas feast on fresh moose // Alaska Magazine. October: p. 14.
- Krahn M.M., Herman D.P., Matkin C.O., Durban J.W., Barrett-Lennard L.G., Burrows D.G., Dahlheim M.E., Black N., Leduc R.G., Wade P.R. 2007 a. Use of chemical tracers in assessing the diet and foraging regions of eastern North Pacific killer whales // Mar. Environ. Res. 63: 91–114
- Krahn M.M., Hanson M.B., Baird R.W., Boyer R.H., Burrows D.G., Emmons C.K., Ford J.K.B., Jones L.L., Noren D.P., Ross P.S., Schorr G.S., Collier T.K. 2007 b. Persistent organic pollutants and stable isotopes in biopsy samples (2004/2006) from Southern Resident killer whales // Mar. Poll. Bull. V. 54, Is. 12. P. 1903–1911.
- Kurle C.M., Worthy G.A.J. 2002. Stable nitrogen and carbon isotope ratios in multiple tissues of the northern fur seal *Callorhinus ursinus*: implications for dietary and migratory reconstructions // Mar. Ecol. Prog. Ser. Vol. 236 P. 289–300.
- MacArthur R.H., Wilson E.O. 1967. The theory of island biogeography. Princeton Univ. Press. Princeton. 203 p.
- Matkin C.O., Saulitis E.L. 1994. Killer whale, *Orcinus orca*, biology and management in Alaska. // U.S. Marine Mammal Commission: Washington, D.C. 46 pp.
- Morton A.B. 1990 A quantitative comparison of the behavior of resident and transient forms of the killer whale off the central British Columbia coast // Rep. Int. Whal. Commn. (Sp. Iss. 12): 245–248.
- Nishiwaki M., Handa C. 1958. Killer whales caught in the coastal waters off Japan for recent ten years // Whales Research Institute, Scientific Rep. 13: 85–96.
- Nollens H.H., Venn-Watson S., Gill C., Mcbain J.F. 2018. Cetacean medicine // CRC Handbook of Marine Mammal Medicine Press (3rd edition), Boca Raton, FL. Pp. 887–904.
- Noren D.P. 2011. Estimated field metabolic rates and prey requirements of resident killer whales // Marine mammal science. V.27. (1). 60–77 p.
- Odlum G.C. 1948. An instance of killer whales feeding on ducks // Can. Field-Nat. 62: 42.
- Scheffer V.B., Slipp J.W. 1948. The whales and dolphins of Washington State with a key to the cetaceans of the west coast of North America // Am Midl. Nat. 39: 257–337.
- Sergeant D.E. 1969. Feeding rates of Cetacea // Fisk. Dir. Skr. Havunders. V. 15. P. 246–258.
- Stacey P.J., Baird R.W. 1989. Interactions between seabirds and marine mammals // Victoria Field Naturalist 45: 9–10.
- Stacey P.J., Baird R.W., Hubbard-Morton A.B. 1990. Transient killer whale (*Orcinus orca*) harassment, predation, and «surplus killing» in British Columbia // Pacific Seabird Group Bull. 17: 38.
- Vos D.J., Quakenbush L.T., Mahoney B.A., 2006. Documentation of sea otters and birds as prey for killer whales // Marine Mammal Science 22(1): P. 201–205.

TABLE CAPTIONS

Table 1. Actual fish consumption and estimated gross food calories by month

Table 2. Changes in size and weight indicators in killer whales before and after keeping in net enclosures.

Table 3. Minimum daily and annual energy requirements of killer whales and theoretical calculation of the required minimum annual consumption of various species of hydrobionts

FIGURE CAPTIONS

Fig. 1. View of enclosures with a greenhouse covering (a – outside, b – inside)

Fig. 2. Changes in urea (a), glucose (b), triglycerides (c), and cholesterol (d) in the blood of killer whales during keeping in net enclosures. (X – number of days of captivity; Y – rate, mmol/l)

Fig. 3. Dependence of food intake (k) on changes in the average monthly water temperature (t) (X – month; Y – κ , %; Z – t, °C)

Fig. 4. Dependence of daily energy consumption per kilogram of mass for animals of different sizes (squares – males, triangles – females; X – weight of an killer whale, kg; Y – rate, kcal / kg)

Fig. 5. Kinds of stomach contents of killer whale [by Nishiwaki, Handa, 1958]

УДК 639.2.05:528.9:004.9

DOI: 10.36038/2307-3497-2021-185-84-93

Влияние динамики уровней воды в весенний период на площадь нерестилищ и эффективность естественного воспроизводства лимнофильных видов рыб Чебоксарского водохранилища

Л.М. Минина,
А.Е. Минин,
А.В. Мусеев

Нижегородский филиал ФГБНУ «ВНИРО»
(«НижегородНИРО»), г. Нижний Новгород

E-mail: lminina@yandex.ru

В статье представлен анализ многолетних колебаний площади нерестовых участков трёх отделов Чебоксарского водохранилища в зависимости от водности года и уровней воды в весенний период и их влияние на численность пополнения основных промысловых видов рыб. На основе дешифрирования космических снимков Landsat определены границы и площади пойменных и прибрежных нерестовых участков при различных уровнях. Получена формула зависимости площади нерестовых участков от уровней воды, разница между минимальным и максимальным значениями нерестовых площадей составила 1,65 раза. Показано, что высокие степени обводнения нерестилищ благоприятно сказываются на успешности размножения большинства промысловых видов рыб – установлена заметная положительная корреляция численности сеголеток с площадью нерестилищ (коэффициент корреляции Спирмена равен 0,65 при $p = 0,01$). Получена формула зависимости численности сеголеток от площади нерестилищ, на основе которой дан прогноз пополнения в годы различной степени водности. По предварительным расчётам эффективность естественного воспроизводства может увеличиваться в 20,5 раза в многоводные годы по сравнению с маловодными. С помощью географической привязки границ нерестилищ в геоинформационных системах также устранены разногласия в интерпретации описаний нерестилищ в Правилах рыболовства.

Ключевые слова: Чебоксарское водохранилище, уровень воды, половодье, площадь нерестовых участков, эффективность естественного воспроизводства, промысловые виды рыб, космические снимки Landsat.

ВВЕДЕНИЕ

Несмотря на проекты рыбохозяйственного освоения русловых водохранилищ [Уточнённое проектное ..., 1970], зарегулирование реки Волги оказало преимущественно отрицательное воздействие на состояние водных биоресурсов, режим эксплуатации водохранилищ в большинстве случаев не соответствует требованиям рыбного хозяйства.

Это воздействие выразилось, главным образом, в снижении рыбопродуктивности и уровня естественного воспроизводства промысловых рыб [Шакирова и др., 2012; Чавычалова, 2013; Астафьева и др., 2016; Васильев и др., 2016; Логинов, 2016; Логинов и др., 2016; Тарадина, Чавычалова, 2017; Чавычалова, Фомин, 2018], в первую очередь, за счёт неблагоприятного уровня режима в период воспроизводства большинства массовых водохранилищных видов рыб.

Уровненный режим имеет первостепенное значение для эффективности воспроизводства рыб водохранилищ [Минин и др., 2004; Интересова и др., 2009;

Клевакин и др., 2012; Шакирова и др., 2012; Логинов, 2016; Жезмер, Бубер, 2018; Чавычалова, Фомин, 2018; Go'rski et al., 2010]. Уровень воды водохранилища в нерестовый период влияет на естественное воспроизводство непосредственным образом: от колебаний уровня воды могут нарушаться условия размножения рыб [Клевакин и др., 2012; Шакирова и др., 2012; Чавычалова, 2013; Логинов, 2016; Логинов, Гелашвили, 2016]. Подсчитано, что резкое снижение уровня воды на водохранилищах приводит к колоссальным ущербам рыбному хозяйству [Чавычалова, 2013; Логинов, 2016].

В связи с этим, получение данных о связи динамики уровней воды и общей площади нерестовых участков представляется ценным и актуальным для оценки условий естественного воспроизводства рыб в условиях водохранилищ.

Известно, что площадь нерестовых участков напрямую зависит от уровня воды в весенний период [Отчёт ..., 2003; Подоляко и др., 2012; Васильев и др.,

2016; Чавычалова и др., 2020]. Зависимость площади затопления нерестилищ в дельте Волги от высоты стояния уровня половодья [Катунин, 2014] носит, по-видимому, экспоненциальный характер. При этом площадь нерестилищ изменяется в 4–6 раз. Ю.С. Васильевым с соавторами [2016] проанализировано изменение уровневого режима Рыбинского водохранилища и площади затопления мелководий. Определено, что эти показатели носят случайный характер, как во внутригодовом цикле, так и в разные годы.

Чебоксарское водохранилище образовано в результате перекрытия р. Волги плотиной ГЭС в 1980 году. Проектным заданием предусматривалось довести уровень воды до отметки 68 м, однако, в настоящее время водохранилище и гидроузел в г. Чебоксары эксплуатируется на непроектной отметке НПУ 63,00 м БС. Регулирующая ёмкость практически отсутствует, водохранилище представляет собой подпёртый бьеф, работающий на транзите стока. Гидроузел срезает высокую волну весеннего половодья, существенно не изменяя его внутригодового распределения. В связи с этим водный режим значительно отличается от других водохранилищ Волжско-Камского каскада, сочетая речные и озёрно-прудовые черты. Для водохранилища характерен высокий коэффициент водообмена – от 19,8 до 32,2 раз [Кочеткова, 2005]. Максимальные амплитуды колебаний отмечаются с апреля по май и захватывают возможный период нереста большинства промысловых видов рыб [Отчёт ..., 2016].

Таким образом, учитывая особенности эксплуатации Чебоксарского водохранилища, анализ взаимосвязи «уровень воды – площадь нерестилищ», а также зависимость численности пополнения от водности года и уровней воды представляет особый интерес.

В продольном направлении по морфологическим и гидрологическим параметрам Чебоксарское водохранилище подразделяется на четыре отдела (сверху вниз по течению р. Волги): верхний речной, средний речной, озёрный и приплотинный.

Верхний речной отдел расположен от плотины Горьковской ГЭС до г. Нижний Новгород, характеризуется наименьшей площадью, отсутствием подпора со стороны Чебоксарского гидроузла, речными условиями и сильной зависимостью суточных и годовых колебаний уровня воды от режима работы Нижегородской ГЭС. В связи с этим, в рамках данного исследования этот отдел Чебоксарского водохранилища не рассматривается.

Средний речной и озёрный отделы характеризуются большим количеством островов, мелководных заливов и проток, образовавшихся при затоплении

волжской поймы, имеют исключительное значение для размножения рыб. Приплотинный отличается от озёрного и среднего речного отдела значительно меньшими площадями мелководий [Отчёт ..., 2018]. В этих отделах суммарно сосредоточено около 80% по площади и 76% по количеству всех нерестовых участков водохранилища. Нерестилища на этой части акватории представляют собой пойменные береговые участки, заливы, устьевые участки рек, а также воложки и мелководья вокруг островов и у берегов, которые используются для размножения весенне-нерестующих видов рыб, создающих основу промысла и уловов рыболовов-любителей (лещ *Abramis brama* (L., 1758), щука *Esox lucius* L., 1758, плотва *Rutilus rutilus* (L., 1758), окунь *Perca fluviatilis* L., 1758, густера *Blicca bjoerkna* (L., 1758), синец *Ballerus ballerus* (L., 1758), язь *Leuciscus idus* (L., 1758), ряд других менее значимых). Состав рыбного сообщества водохранилища в настоящее время позволяет отнести водоём к лещёво-плотвичному типу.

С целью определения границ нерестовых участков, их оцифровки и географической привязки, а также определения их площадей применяются географические информационные системы [Золотухин, Ходжер, 2007; Тюрнин, 2007; Комарова, Филоненко, 2015; Калюжная и др., 2017]. При этом картирование нерестилищ проводится чаще всего с использованием данных дистанционного зондирования Земли из космоса. Преимущество этих методов в том, что они позволяют получить значения площадей нерестовых участков в разное время и при разных уровнях воды.

Целью работы стало установление связи между уровнями воды и площадями нерестовых угодий Чебоксарского водохранилища в весенний период, которые определялись по данным дистанционного зондирования Земли, а также оценка влияния динамики нерестовых площадей на величину естественного воспроизводства основных промысловых видов рыб.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Границы нерестовых участков оцифрованы и географически привязаны с помощью геоинформационных систем (рис. 1), при этом за основу взят список нерестовых участков в Приложении № 6 к Правилам рыболовства для Волжско-Каспийского рыбохозяйственного бассейна (Приказ Минсельхоза России от 18.11.2014 № 453, в редакции приказа от 25.07.2019 № 438). Дополнительно были учтены площади нерестилищ, рекомендованные для включения в перечень нерестовых участков отделом по Республике Чувашия Камско-Волжского филиала ФГБУ «Главрыбвод». Местоположение и границы нерестовых участков опре-

делялись в Нижегородской области по картам нерестилищ, приведённым в отчете Нижегородской лаборатории ГосНИОРХ [2003], в Республике Марий Эл и Республике Чувашия – по картографическим материалам отделов Камско-Волжского филиала ФГБУ «Главрыбвод» по этим регионам.

Картирование нерестилищ проводилось методом визуального дешифрирования и оцифровки береговой линии по космическим снимкам Landsat 5, Landsat 7 и Landsat 8 (мультиспектральным изображениям со средним разрешением каналов видимой части спектра – 30 м/пиксель). В границы нерестилищ включались участки с глубинами от 0 до 3 м. Глубины определялись по созданной ранее векторной карте распределения глубин Чебоксарского водохранилища [Минин, Минина, 2012].

Для оцифровки границ нерестовых участков использовались космические снимки со спутников Landsat из каталога данных Геологической службы США (USGS Global Visualization Viewer, 2014). В данном каталоге имеется только 5 пар космических снимков Landsat за 1997–2020 гг., покрывающих всю акваторию Чебоксарского водохранилища в нерестовый период, сделанных в безоблачную или малооблачную погоду, с небольшой разницей уровней воды (1–4 см) в даты их создания.

Анализ выполнен для наиболее значимых в воспроизводственном отношении отделов водохранилища – среднего речного, озёрного и приплотинного.

Материалом для исследования стал 21 комплект космических снимков Landsat на акваторию нижнего речного, озёрного и приплотинного участков Чебоксарского водохранилища за 1997, 1998, 2000–2003, 2005, 2007–2009, 2013–2015, 2019 и 2020 гг. в нерестовый период (с 10 апреля по 15 июня). При отсутствии космического снимка, полностью покрывающего изучаемую акваторию (в трёх случаях из 21), использовались пары снимков, отличающихся по времени соз-

дания на 1–2 суток, при этом разница уровней воды в даты создания снимков была не более 2 см (1–2 см). Проанализировано 6 космических снимков за разные годы, созданных в апреле, 10 снимков и 2 комплекта из двух снимков – в мае, 2 снимка и 1 комплект из двух снимков – в июне.

Уровни воды приняты по данным гидрологического поста в с. Просек Нижегородской области (код пункта наблюдений 75020, расположен примерно на равном расстоянии между Нижегородской и Чебоксарской ГЭС) за даты, соответствующие времени создания каждого космического снимка, получены из архива, размещенного в портале Центра регистра и кадастра [2020]. При отличии уровней воды в даты создания снимков из одной пары проводилось усреднение их значений.

Данные по количественным показателям успешности размножения основных промысловых видов рыб (лещ, щука, плотва, окунь, густера, белоглазка *Ballerus sapa* (Pallas, 1814), язь) были собраны в ходе неводных съёмов (мальковая волокуша и мальковый невод) на изучаемой части акватории Чебоксарского водохранилища в 2000, 2001, 2003, 2005–2013, 2017–2018 гг. Численность сеголеток получена путём умножения значений относительной численности на площадь глубин, облавливаемых соответствующими орудиями лова (мальковая волокуша – 0–1 м, мальковый невод – 1–3 м). Площади мелководий вычислены по карте глубин Чебоксарского водохранилища [Минин, Минина, 2012]. Далее суммировались значения численности на глубинах 0–1 м и 1–3 м.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Согласно сведениям многолетних мониторинговых исследований воспроизводства рыб Чебоксарского водохранилища, весенний нерест большинства видов рыб приходится на период со второй декады апреля по первую декаду июня (табл. 1) [Отчёт ..., 2018, 2019]. При этом в зависимости от температур-

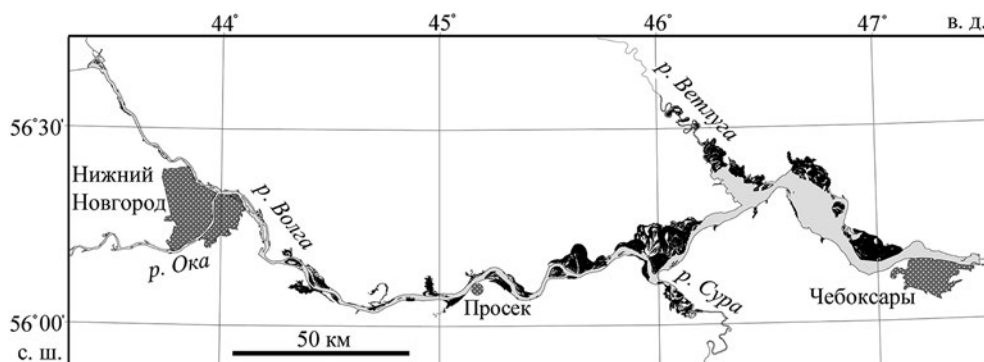


Рис. 1. Расположение нерестовых участков среднего речного, озёрного и приплотинного отделов Чебоксарского водохранилища:

серая сплошная заливка – Чебоксарское водохранилище, черная заливка – нерестилища

ных условий конкретного года возможен сдвиг пика нерестовой активности на 7–10 дней.

Таблица 1. Сроки нереста некоторых основных промысловых видов рыб Чебоксарского водохранилища

Виды рыб	Сроки нереста	Сроки массового нереста
Лещ	1 мая – 8 июня	14–22 мая
Плотва	29 апреля – 16 мая	4–9 мая
Окунь	30 апреля – 14 мая	3–7 мая
Щука	21 апреля – 7 мая	24–28 апреля
Густера	23 мая – 12 июня	28 мая – 1 июня
Судак	7 мая – 1 июня	10–24 мая

Режим пропуска воды через гидроузлы в весенний период существенно отличается в зависимости от условий водности года, которые принято условно оценивать как «средние», «маловодные» и «высоководные». Аналогичный подход применён и в данной статье как общепринятый. График изменения уровней воды различных по водности годов приведён на рис. 2.

По результатам дешифрирования космических снимков Landsat были оцифрованы и привязаны к географической сети координат границы 48 нерестовых участков Чебоксарского водохранилища, определён 21 вариант площади нерестилищ при различных уровнях воды (рис. 3).

95% доверительный интервал (рис. 3, 4) показывает диапазон вокруг регрессионной кривой, в кото-

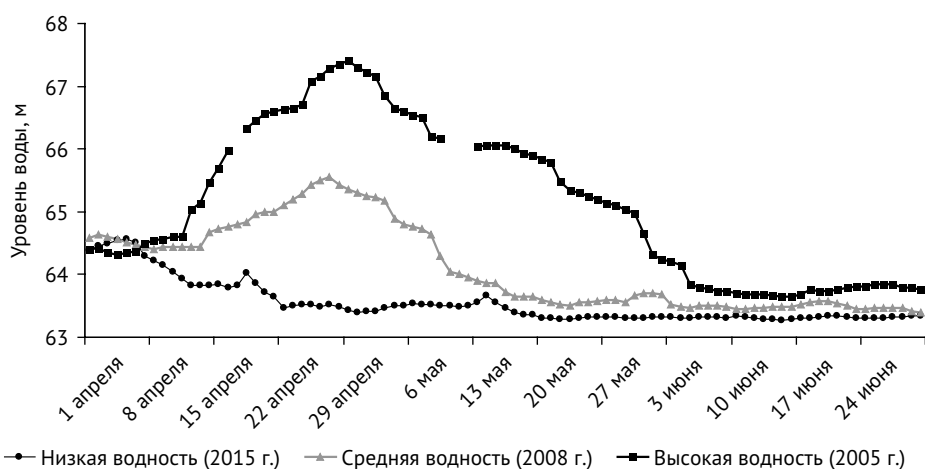


Рис. 2. Ход уровней воды Чебоксарского водохранилища в нерестовый период в годы различной водности (гидрологический пост Просек, код пункта наблюдений 75020)

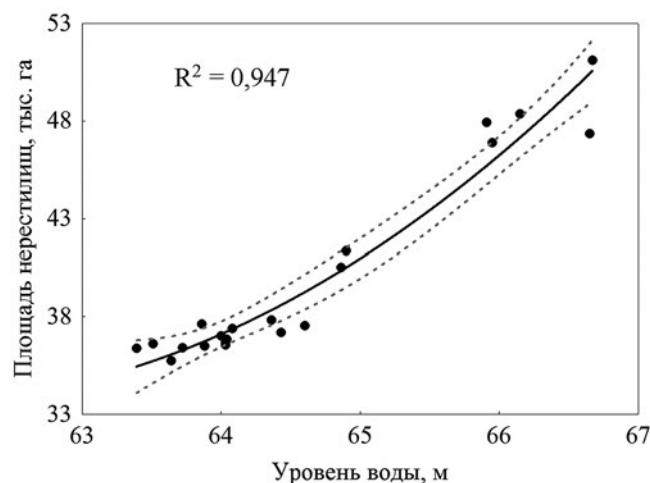


Рис. 3. Зависимость площади нерестовых участков среднего речного, озёрного и приплотинного отделов Чебоксарского водохранилища от уровня воды ($n = 21$): сплошная линия — кривая регрессии; пунктир — границы 95% доверительного интервала для регрессионной кривой

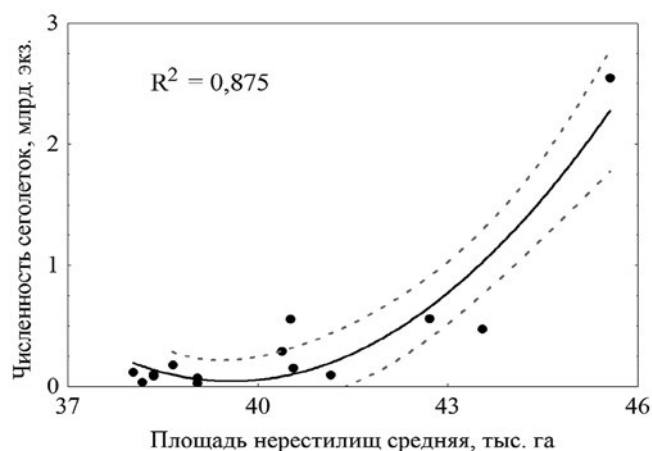


Рис. 4. Зависимость численности сеголеток основных промысловых видов рыб среднего речного, озёрного и приплотинного отделов Чебоксарского водохранилища от средней площади нерестилищ ($n = 14$): сплошная линия — кривая регрессии, пунктир — границы 95% доверительного интервала для регрессионной кривой

ром находится её истинное значение (с 95 % вероятностью) [Реброва, 2002].

Получена регрессионная зависимость площади нерестилищ от уровня воды:

$$y = 0,7051 x^2 - 87,098 x + 2723,2, \quad (1)$$

где: y – площадь нерестовых участков, тыс. га; x – уровень воды, м.

Выведенная формула позволяет восстанавливать общую площадь пойменных и прибрежных нерестилищ в годы высокой, средней и низкой водности и сопоставлять эти значения с показателями естественного воспроизводства рыб.

Анализ степени залития нерестовых угодий, проведённый по космическим снимкам и регрессионной модели, показал, что общая площадь нерестилищ изучаемой части Чебоксарского водохранилища меняется в зависимости от уровня воды в следующих пределах: минимум – 35,01 тыс. га, максимум – 57,68 тыс. га (при уровнях воды соответственно 63,23 и 67,62 м). Минимум и максимум уровней воды в нерестовый период определены по данным Центра регистра и кадастра на гидрологическом посту Просек за 1997–2019 гг. Таким образом, размах варьирования нерестовых площадей в весенний период достигает 1,65 раза.

С целью нивелирования влияния температурных условий, определяющих разброс дат нереста по годам, по формуле (1) по усреднённым значениям уровня воды за период половодья каждого года были вычислены средние площади нерестилищ. Полученные значения использовались для построения зависимости между площадью нерестилищ в различных по водности условиях и урожайностью поколений основных промысловых видов рыб (густера, жерех *Leuciscus aspius* (L., 1758), карась серебряный *Carassius auratus* (L., 1758), краснопёрка *Scardinius erythrophthalmus* (L., 1758), лещ, линь *Tinca tinca* (L., 1758), плотва, сазан *Cyprinus carpio* L., 1758, синец, щука) (рис. 4). Зависимость имеет характер полинома второй степени с высоким коэффициентом детерминации (более 0,8).

Наблюдается заметная положительная связь численности сеголеток со средней площадью нерести-

лищ, коэффициент корреляции Спирмена равен 0,65 ($p = 0,01$).

Анализ позволяет предположить, что наибольшая численность сеголеток в водохранилище достигается в годы с высокой степенью залития поймы, что отмечено и для других районов р. Волги [Клевакин и др., 2012; Столбунов, 2016; Чавычалова и др., 2020].

Регрессионное уравнение (2) показывает зависимость численности сеголеток от площади затопления нерестилищ и даёт возможность с определенной степенью достоверности ($R^2 = 0,88$) прогнозировать урожайность пополнения для большей части Чебоксарского водохранилища исходя из значений площади прибрежных и пойменных нерестилищ.

$$y = 62,58 x^2 - 4954,3 x + 98099, \quad (2)$$

где: y – численность сеголеток, млн экз., x – средняя площадь нерестилищ в нерестовый период, тыс. га.

Полученные формулы (1, 2) позволяют оценить примерную численность сеголеток в различные по водности годы (табл. 2). Формула (2) требует уточнения, поскольку для корректных расчётов мы считаем недостаточным использованное количество данных ($n = 14$).

По нашим данным, в Чебоксарском водохранилище в годы различной водности численность пополнения доминирующих видов рыб может изменяться как минимум в 20,5 раз. Для сравнения, в расположенном выше по каскаду Горьковском водохранилище [Клевакин и др., 2012] при разных значениях максимального уровня воды общая численность сеголеток может отличаться в 36–211 раз.

Таким образом, при незначительном увеличении площади нерестилищ (в 1,7 раза) численность пополнения может вырасти в 20 раз. Такая разница объясняется, на наш взгляд, различием коэффициентов регрессии в формулах (1 и 2). Как известно, коэффициент уравнения регрессии показывает, насколько сильно значение зависимого признака изменяется с каждой единицей изменения независимого [Реброва, 2002]. В уравнении зависимости численности сеголеток от площадей нерестилищ регрессионные коэффициенты существенно больше, чем для зависимости

Таблица 2. Динамика средней площади нерестилищ зависимости от водности года и возможная численность сеголеток основных промысловых видов рыб трёх отделов Чебоксарского водохранилища в годы различной водности

Водность	Уровень воды в половодье средний, м	Площадь нерестилищ средняя, тыс. га	Численность сеголеток, млн экз.	Частота встречаемости, лет, %
Низкая	63,6–64,4	35,9–38,4	менее 131,8	43,5
Средняя	64,4–65,2	38,4–41,8	131,8–351,5	39,1
Высокая	65,2–66,0	41,8–46,1	351,5–2701,4	17,4

площадей нерестилищ от уровня воды, поэтому численность сеголеток растёт быстрее, чем площади нерестилищ.

По частоте встречаемости лет определённой водности (табл. 2) можно судить о вероятности появления урожайных поколений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предлагаемый метод восстановления площадей нерестилищ по космическим снимкам в увязке с данными постов гидрологических наблюдений даёт возможность прямого сопоставления величины пополнения непосредственно с площадями нерестовых участков, а не с уровнями воды.

В зависимости от уровня воды общая площадь нерестовых участков наиболее важных для естественного воспроизводства отделов Чебоксарского водохранилища может изменяться в 1,65 раза, а численность сеголеток может меняться в 20,5 раза в зависимости от водности года.

По данным совместного анализа данных по эффективности размножения основных видов рыб и определённых при различной водообеспеченности площадей нерестилищ показано, что для Чебоксарского водохранилища урожайность поколений находится в заметной положительной связи с площадью нерестовых участков (коэффициент корреляции Спирмена равен 0,65).

Полученное уравнение, описывающее зависимость численности сеголеток от средней площади нерестилищ, нуждается в уточнении. При наличии достаточного количества данных возможно прогнозировать уровень естественного воспроизводства в конкретном году на основе связи наблюденных уровней воды и динамики общей площади нерестилищ в весенний период, что позволит снизить затраты на проведение мальковых съёмок.

Полученные зависимости могут быть использованы для разработки рекомендаций по оптимизации режимов пропуска половодья в интересах рыбного хозяйства в Правилах эксплуатации Чебоксарского водохранилища. Температурный режим весеннего нерестового периода неустойчив и непостоянен год от года, не поддается корректировке, но за счёт регулирования уровней воды вполне возможно обеспечить площадь заливаемых нерестилищ с максимальной для текущей водности численностью пополнения.

Дополнительно, благодаря точной пространственной привязке границ в геоинформационных системах, в Правилах рыболовства устранены разночтения с трактовкой описаний нерестовых участков и локализации их на местности, что имеет прямое практиче-

ское значение для регулирования рыболовства и ограничения хозяйственной деятельности.

ЛИТЕРАТУРА

- Астафьева С.С., Судакова Н.В., Ахметова А.Р., Карпенко Н.И.* 2016. Оценка влияния гидрологического режима низовьев дельты Волги на нерест рыб в современных условиях // Вопросы рыбного хозяйства Беларуси. № 32. С. 242–248.
- Васильев Ю.С., Масликов В.И., Шилин М.Б.* 2016. Режим регулирования стока Рыбинского водохранилища как основной фактор формирования экологической ситуации в осушной зоне // Учёные записки РГМУ. № 45. С. 28–42.
- Жезмер В.Б., Бубер А.Л.* 2018. Соответствие современных показателей гидроэкологического режима низовьев Волги основным требованиям нерестового цикла рыб Волго-Каспийского рыбопромыслового подрайона // Природообустройство. № 5. С. 21–30.
- Золотухин С.Ф., Ходжер Л.Ч.* 2007. Расчеты площади нерестового фонда лососей основных рек юга Амурского лимана // Известия ТИНРО. Т. 148. С. 130–142.
- Интересова Е.А., Ядрёнкина Е.Н., Савкин В.М.* 2009. Пространственная организация нерестилищ карповых рыб (Cyprinidae) в условиях зарегулированного стока верхней Оби // Вопросы ихтиологии. Т. 49. № 1. С. 78–84.
- Калужная Н.С., Калужная И.Ю., Хоружая В.В., Самотева В.В., Сохина Э.Н.* 2017. Опыт изучения состояния нерестилищ верхнего плёса Цимлянского водохранилища с использованием ГИС // Мат. межд. конф. ИнтерКарто/ИнтерГИС 23. М.: Изд-во МГУ. Т. 1. С. 308–322.
- Катунин Д.Н.* 2014. Гидроэкологические основы формирования экосистемных процессов в Каспийском море и дельте реки Волги. Астрахань: КаспНИРХ. 478 с.
- Клевакин А.А., Логинов В.В., Минин А.Е., Постнов Д.И.* 2012. Определение безвозвратного речного стока и установление экологического попуска в Горьковском водохранилище // Вода: химия и экология. № 8. С. 8–15.
- Комарова А.С., Филоненко И.В.* 2015. Оценка площади нерестилищ фитофильных рыб озера Белое с помощью ГИС-технологий // Мат. XIII Всеросс. науч. конф. «Вузовская наука – региону» 25 февраля 2015 г. Вологда: ВоГУ. С. 120–123.
- Кочеткова М.Ю.* 2005. Гидролого-гидрохимическая характеристика Чебоксарского водохранилища в XXI веке // Тез. докл. межд. Конгресса «Великие реки 2005». Нижний Новгород: ННГАСУ. Т. 1. С. 125–128.
- Логинов В.В.* 2016. Влияние уровня режима Нижегородского гидроузла на воспроизводство рыбного населения // Научный фонд «Биолог». № 2 (16). С. 4–7.
- Логинов В.В., Гелашвили Д.Б.* 2016. Вред водным биологическим ресурсам водохранилищ Волжско-Камского каскада от воздействия гидроэлектростанций // Принципы экологии. № 4. С. 4–26.

- Логинов В.В., Гелашвили Д.Б., Постнов Д.И. 2016. Экологические аспекты воздействия гидротехнических сооружений на устойчивое воспроизводство водных биоресурсов в бассейне реки Волги // 18-й Межд. науч.-пром. форум «Великие реки'2016». Т. 1. Н. Новгород: ННГАСУ. С. 84–87.
- Минин А.Е., Клевакин А.А., Баянов Н.Г., Анучин Ю.В. 2004. Условия нереста рыб и воспроизводство рыбных запасов в Чебоксарском водохранилище // Экологические проблемы литорали равнинных водохранилищ. Мат. межд. конф. Казань: Отечество. С. 11–15.
- Минин А.Е., Минина Л.М. 2012. Оценка рыбных запасов Чебоксарского водохранилища и их пространственного распределения с использованием ГИС-технологий // Бассейн Волги в XXI веке: структура и функционирование экосистем водохранилищ. Сб. мат. докл. участников Всеросс. конф. ИБВВ им. И.Д. Папанова РАН, Борок, 22–26 октября 2012 г. Ижевск: издатель Пермьяков С.А. С. 187–189.
- Отчёт о научно-исследовательской работе «Материалы, обосновывающие общий допустимый улов водных биологических ресурсов в Чебоксарском водохранилище и водных объектах, расположенных в границах Нижегородской области, Республики Марий Эл и Чувашской Республики на 2019 год (с оценкой воздействия на окружающую среду)». 2018. Фонды НижегородНИРО: Нижний Новгород. 128 с.
- Отчёт о научно-исследовательской работе «Осуществление государственного мониторинга водных биологических ресурсов во внутренних водах, в территориальном море Российской Федерации, на континентальном шельфе Российской Федерации и в исключительной экономической зоне Российской Федерации, в Азовском и Каспийском морях». 2019. Раздел 1 – Во внутренних водах Российской Федерации, за исключением внутренних морских вод Российской Федерации. Рыбохозяйственные водоемы в зоне ответственности Нижегородского отделения. (Заключительный). Фонды НижегородНИРО. Нижний Новгород. 87 с.
- Отчёт о научно-исследовательской работе «Характеристика особо охраняемых участков нереста рыб Нижегородской области. Этап 1. Характеристика особо охраняемых участков нереста рыб Чебоксарского водохранилища». 2003. Фонды НижегородНИРО. Нижний Новгород. 38 с.
- Отчёт «Оценка воздействия реконструкции и эксплуатации Чебоксарской ГЭС на водные биологические ресурсы и среду их обитания в Чебоксарском водохранилище». Книга 2. «Оценка воздействия реконструкции и эксплуатации Чебоксарской ГЭС на водные биологические ресурсы и среду их обитания». 2016. Фонды НижегородНИРО. Нижний Новгород. 143 с.
- 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, от 12.01.2016 № 1, от 19.04.2016 № 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/>. 13.04.2020.
- Подолько С.А., Благова Ю.А., Штепина Л.А. 2012. Влияние обводненности пойменных нерестилищ нижней зоны дельты р. Волги на развитие молоди рыб и ее кормовой базы // Водные ресурсы Волги: история, настоящее и будущее, проблемы управления. Мат. II межрег. науч.-практ. конф. 25–27 октября 2012 г. Астрахань: АИСИ. С. 40–43.
- Столбунов И.А. 2016. Распределение, видовой состав и численность молоди рыб в мелководной зоне Рыбинского водохранилища в разные по уровневому режиму годы // Вестник АГТУ. Сер. Рыбное хозяйство. № 2. С. 64–70.
- Реброва О.Ю. 2002. Статистический анализ медицинских данных. Применение пакета прикладных программ STATISTICA. М.: МедиаСфера. 312 с.
- Тарадина Д.Г., Чавычалова Н.И. 2017. О естественном воспроизводстве полупроходных и некоторых речных видов рыб в низовьях р. Волга в 2011–2015 гг. // Труды ВНИРО. Т. 166. С. 85–108.
- Тюрнин В.Б. 2007. Применение спутниковой космической информации для исследования нерестилищ охотской сельди // Чтения памяти академика К.В. Симакова. Тез. докл. Всеросс. науч. конф. Магадан, 27–29 ноября 2007 г. С. 171–172.
- Уточненное проектное задание рыбохозяйственного освоения водохранилища Чебоксарской ГЭС. 1970. Кн. 1. Пояснительная записка. Фонды ГосНИОРХ. М.: Гидрорыбпроект.
- Центр регистра и кадастра. Доступно через: <http://gis.vodinfo.ru>. 13.04.2020.
- Чавычалова Н.И. 2013. Современные проблемы естественного воспроизводства рыб в низовьях Волги // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. № 2. С. 80–87.
- Чавычалова Н.И., Фомин С.С. 2018. Эффективность естественного воспроизводства рыб в зависимости от гидрологического режима реки Волга в весенне-летний период // Рыбное хозяйство. № 6. С. 12–15.
- Чавычалова Н.И., Тарадина Д.Г., Васильченко О.М., Лардыгина Е.Г. 2020. Эффективность размножения полупроходных и речных рыб реки Волга в различные, по водности и режиму половодья, годовые периоды // Рыбное хозяйство. № 2. С. 67–73.
- Шакирова Ф.М., Таиров Р.Г., Северов Ю.А. 2012. Влияние уровня режима Куйбышевского водохранилища на формирование его рыбных запасов // Рыбное хозяйство. № 1. С. 40–43.
- Go'rski K., Winter H.V., De Leeuw J.J., Minin A.E., Nagelkerke L.A.J. 2010. Fish spawning in a large temperate floodplain: the role of flooding and temperature // Freshwater Biology. 55. P. 1509–1519.

Поступила в редакцию 15.02.2021 г.
Принята после рецензии 25.02.2021 г.

Influence of the dynamics of water levels in spring on the area spawning grounds and efficiency of natural reproduction limnophilic fish species of the Cheboksary reservoir

L.M. Minina,
A.E. Minin,
A.V. Moiseev

Nizhny Novgorod Branch of VNIRO
(«NizhegorodNIRO»), Nizhny Novgorod, Russia

The article presents an analysis of long-term fluctuations in the area of spawning areas of three sections of the Cheboksary reservoir, depending on the water content of the year and water levels in the spring period, and their effect on the number of replenishment of the main commercial fish species. Basing on the interpretation of Landsat satellite images, the boundaries and areas of floodplain and coastal spawning areas at different levels were determined. A formula was obtained for the dependence of the area of spawning areas on water levels; the difference between the minimum and maximum values of spawning areas was 1.65 times. It was shown that a high degree of watering of spawning grounds favorably affects the reproductive success of most commercial fish species – a noticeable positive correlation was established between the number of underyearlings and the area of spawning grounds (Spearman's correlation coefficient is 0.65 at $p = 0.01$). A formula was obtained for the dependence of the number of underyearlings on the area of spawning grounds, on the basis of which a forecast of recruitment in years with different degrees of water availability was given. According to preliminary calculations, the efficiency of natural reproduction can increase 20.5 times in high-water years compared to low-water years. By geo-referencing the boundaries of spawning grounds in geographic information systems, differences in the interpretation of the descriptions of spawning grounds in the Fishing Rules have also been eliminated.

Keywords: Cheboksary reservoir, water level, flood, area of spawning grounds, efficiency of natural reproduction, commercial fish species, Landsat satellite images.

REFERENCES

- Astaf'eva S.S., Sudakova N.V., Akhmetova A.R., Karpenko N.I. 2016. Otsenka vliyaniya gidrologicheskogo rezhima nizov'ev del'ty Volgi na nerest ryb v sovremennykh usloviyakh [Assessment of the influence of the hydrological regime of the lower Volga delta on fish spawning in modern conditions] // *Voprosy rybnogo khozaystva Belarusi*. № 32. S. 242–248.
- Vasil'ev Yu.S., Maslikov V.I., Shilin M.B. 2016. Rezhim regulirovaniya stoka Rybinskogo vodokhranilishcha kak osnovnoy faktor formirovaniya ekhologicheskoy situatsii v osushnoy zone [Regime for regulating the flow of the Rybinsk reservoir as the main factor in the formation of the ecological situation in the dry zone] // *Uchenye zapiski RGGMU*. № 45. S. 28–42.
- Zhezmer V.B., Buber A.L. 2018. Sootvetstvie sovremennykh pokazatelej gidroekhologicheskogo rezhima nizov'ev Volgi osnovnym trebovaniyam nerestovogo tsikla ryb Volgo-Kaspijskogo rybopromyslovogo podrajona [Correspondence of modern indicators of the hydroecological regime of the lower reaches of the Volga to the basic requirements of the spawning cycle of fish in the Volga-Caspian fishing subarea] // *Prirodoobustrojstvo*. № 5. S. 21–30.
- Zolotukhin S.F., Khodzher L. Ch. 2007. Raschety ploshchadi nerestovogo fonda lososej osnovnykh rek yuga Amurskogo limana [Calculations of the area of the salmon spawning fund of the main rivers in the south of the Amur estuary] // *Izvestiya TINRO*. T. 148. S. 130–142.
- Interesova E.A., Yadrenkina E.N., Savkin V.M. 2009. Prostranstvennaya organizatsiya nerestilishch karpovykh ryb (Cyprinidae) v usloviyakh zaregulirovannogo stoka verkhnej Obi [Spatial organization of spawning grounds for cyprinids (Cyprinidae) in conditions of regulated flow of the upper Ob] // *Voprosy ikhtiologii*. T. 49. № 1. S. 78–84.
- Kalyuzhnaya N.S., Kalyuzhnaya I. Yu., Khoruzhaya V.V., Samoteeva V.V., Sokhina E.N. 2017. Opyt izucheniya sostoyaniya nerestilishch verkhnego plesa Tsimlyanskogo vodokhranilishcha s ispol'zovaniem GIS [The experience of studying the state of spawning grounds in the upper reach of the Tsimlyansk reservoir using GIS] // *Mat. mezhd. konf. InterKarto/InterGIS 23*. M.: Izdvo MGU. T. 1. S. 308–322.
- Katunin D.N. 2014. Gidroekhologicheskie osnovy formirovaniya ekhosi-stemnykh protsessov v Kaspijskom more i del'te reki Volgi [Hydroecological foundations of the formation of ecosystem processes in

- the Caspian Sea and the Volga river delta]. Astrakhan': KaspNIRKH. 478 s.
- Klevakin A.A., Loginov V.V., Minin A.E., Postnov D.I.* 2012. Opredelenie bezvozvratnogo rechnogo stoka i ustanovlenie ehkologicheskogo popuska v Gor'kovskom vodokhranilishche [Determination of irreversible river flow and establishment of ecological release in the Gorky reservoir] // Voda: khimiya i ehkologiya. № 8. S. 8–15.
- Komarova A.S., Filonenko I.V.* 2015. Otsenka ploshchadi nerestilishch fi-tofil'nykh ryb ozera Beloe s pomoshch'yu GIS-tehnologij [Estimation of the area of spawning grounds for phytophilous fish in Lake Beloye using GIS technologies] // Mat. XIII Vseross. nauch. konf. «Vuzovskaya nauka – regionu» 25 fevralya 2015 g. Vologda: VoGU. S. 120–123.
- Kochetkova M. Yu.* 2005. Gidrologo-gidrokhimicheskaya kharakteristika CHEboksarskogo vodokhranilishcha v XXI veke [Hydrological and hydrochemical characteristics of the Cheboksary reservoir in the XXI century]. Tez. dokl. mezhd. Kongressa «Velikie reki 2005». Nizhnij Novgorod: NNGASU. T. 1. S. 125–128.
- Loginov V.V.* 2016. Vliyanie urovennogo rezhima Nizhegorodskogo gidrouzla na vosproizvodstvo rybnogo naseleniya [Influence of the level regime of the Nizhny Novgorod hydroelectric complex on the reproduction of the fish population] // Nauchnyj fond «Biolog». № 2 (16). S. 4–7.
- Loginov V.V., Gelashvili D.B.* 2016. Vred vodnym biologicheskimi resursami vodokhranilishch Volzhsko-Kamskogo kaskada ot vozdejstviya gidroehlektrostantsij [Harm to aquatic biological resources of reservoirs of the Volga-Kama cascade from the impact of hydroelectric power plants] // Printsipy ehkologii. № 4. S. 4–26.
- Loginov V.V., Gelashvili D.B., Postnov D.I.* 2016. Ehkologicheskie aspekty vozdejstviya gidrotekhnicheskikh sooruzhenij na ustojchivoje vosproizvodstvo vodnykh bioresursov v bassejne reki Volgi [Environmental aspects of the impact of hydraulic constructions on the sustainable reproduction of aquatic biological resources in the Volga river basin] // 18-j Mezhd. nauch.-promysl. forum «Velikie reki'2016». T. 1. N. Novgorod: NNGASU. S. 84–87.
- Minin A.E., Klevakin A.A., Bayanov N.G., Anuchin Yu.V.* 2004. Usloviya neresta ryb i vosproizvodstvo rybnikh zapasov v Cheboksarskom vodokhranilishche [Fish spawning conditions and reproduction of fish stocks in the Cheboksary reservoir] // Ehkologicheskie problemy litorali ravninnykh vodokhranilishch. Mat. mezhd. konf. g. Kazan': Otechestvo. S. 11–15.
- Minin A.E., Minina L.M.* 2012. Otsenka rybnikh zapasov Cheboksarskogo vodokhranilishcha i ikh prostranstvennogo raspredeleniya s ispol'zovaniem GIS-tehnologij [Assessment of fish stocks of the Cheboksary reservoir and their spatial distribution using GIS technologies] // Bassejn Volgi v XXI veke: struktura i funkcionirovanie ehkosistem vodokhranilishch. Sb. mat. dokl. uchastnikov Vseross. konf. IBVV im. I.D. Papanina RAN, Borok, 22–26 oktyabrya 2012 g. Izhevsk: izdatel' Permyakov S.A. S. 187–189.
- Otchet o nauchno-issledovatel'skoj rabote «Materialy, obosnovyuyushchie obshchij dopustimyj ulov vodnykh biologicheskikh resursov v CHEboksarskom vodokhranilishche i vodnykh ob'ektakh, raspolozhennykh v granitsakh Nizhegorodskoj oblasti, Respubliki Marij Ehl i Chuvashskoj Respubliki na 2019 god (s otsenкой vozdejstviya na okruzhayushchuyu sredu)»* [Report on the research work “Materials substantiating the total allowable catch of aquatic biological resources in the Gorky reservoir and water bodies located within the boundaries of the Yaroslavl, Kostroma, Ivanovo and Nizhny Novgorod regions for 2019 (with an assessment of the impact on environment)”]. 2018. Fondy NizhegorodNIRO: Nizhnij Novgorod. 128 s.
- Otchet o nauchno-issledovatel'skoj rabote «Osushchestvlenie gosudarstvennogo monitoringa vodnykh biologicheskikh resursov vo vnutrennikh vodakh, v territorial'nom more Rossijskoj Federatsii, na kontinental'nom shel'fe Rossijskoj Federatsii i v isklyuchitel'noj ehkonomicheskoy zone Ros-sijskoj Federatsii, v Azovskom i Kaspijskom moryakh»* [Report on research work “Implementation of state monitoring of aquatic biological resources in inland waters, in the territorial sea of the Russian Federation, on the continental shelf of the Russian Federation and in the exclusive economic zone of the Russian Federation, in the Azov and Caspian seas”]. 2019. Razdel 1 – Vo vnutrennikh vodakh Rossijskoj Federatsii, za isklyucheniem vnutrennikh morskikh vod Rossijskoj Federatsii. Rybokhozyajstvennyye vodoemy v zone otvetstvennosti Nizhegorodskogo otdeleniya. (Zaklyuchitel'nyj). Fondy NizhegorodNIRO. Nizhnij Novgorod. 87 s.
- Otchet o nauchno-issledovatel'skoj rabote «Kharakteristika osobo okhranyaemykh uchastkov neresta ryb Nizhegorodskoj oblasti. Etap 1. Kharakteristika osobo okhranyaemykh uchastkov neresta ryb Cheboksarskogo vodokhranilishcha»* [Report on research work “Characteristics of specially protected areas for fish spawning in the Nizhny Novgorod region. Stage 1. Characteristics of specially protected fish spawning areas of the Cheboksary reservoir”]. 2003. Fondy NizhegorodNIRO. Nizhnij Novgorod. 38 s.
- Otchet «Otsenka vozdejstviya rekonstruktsii i ehkspluatatsii Cheboksarskoj GEHS na vodnye biologicheskie resursy i sredu ikh obitaniya v Cheboksarskom vodokhranilishche». Kniga 2. «Otsenka vozdejstviya rekonstruktsii i ehkspluatatsii Cheboksarskoj GEHS na vodnye biologicheskie resursy i sredu ikh obitaniya»* [Report “Assessment of the impact of the reconstruction and operation of the Cheboksarskaya HPP on aquatic biological resources and their habitat in the Cheboksarsky reservoir”. Book 2. “Assessment of the impact of reconstruction and operation of the Cheboksary hydroelectric power station on aquatic biological resources and their habitat”]. 2016. Fondy NizhegorodNIRO. Nizhnij Novgorod. 143 s.
- Prikaz Minsel'khoza Rossii ot 18.11.2014 № 453 ((v red. Prikazov Minsel'khoza Rossii ot 26.05.2015 № 214, ot 12.01.2016 № 1, ot 19.04.2016 № 153, ot 27.07.2017 № 371, ot 18.04.2018 № 164, ot 06.11.2018 № 511, ot*

- 25.07.2019№ 438)) «Ob utverzhenii pravil rybolovstva dlya Volzhsko-Kaspijskogo rybokhozyajstvennogo bassejna» [Order of the Ministry of Agriculture of Russia dated November 18, 2014 No. 453 ((as amended by Orders of the Ministry of Agriculture of Russia dated May 26, 2015 No. 214, dated January 12, 2016 No. 1, dated April 19, 2016 No. 153, dated July 27, 2017 No. 371, dated April 18, 2018 No. 164, dated 06.11.2018 No. 511, dated 25.07.2019 No. 438)) "On approval of fishing rules for the Volga-Caspian fishery basin"]. Accessible via: <http://www.consultant.ru/>. 13.04.2020.
- Podolyako S.A., Blagova Yu.A., Shtepina L.A.* 2012. Vliyanie ob-vodnennosti pojmenykh nerestilishch nizhnej zony del'ty r. Volgi na razvitie molodi ryb i ee kormovoj bazy [Influence of watering of floodplain spawning grounds in the lower zone of the Volga river delta for the development of juvenile fish and its food base] // *Vodnye resursy Volgi: istoriya, nastoyashchee i budushchee, problemy upravleniya. Mat. II mezhhreg. nauch.-prakt. konf. 25–27 oktyabrya 2012 g.. Astrakhan': AISI. S. 40–43.*
- Stolbunov I.A.* 2016. Raspredelenie, vidovoj sostav i chislennost' molodi ryb v melkovodnoj zone Rybinskogo vodokhranilishcha v raznye po urovnevomu rezhimu gody [Distribution, species composition, and abundance of juvenile fish in the shallow zone of the Rybinsk Reservoir in years different by the level regime] // *Vestnik AGTU. Ser. Rybnoe khozyajstvo. № 2. S. 64–70.*
- Rebrova O. Yu.* 2002. Statisticheskij analiz meditsinskih dannykh. Primenenie paketa prikladnykh programm STATISTICA [Statistical analysis of medical data. Using the STATISTICA Application Package]. M.: MediaSfera. 312 s.
- Taradina D.G., Chavychalova N.I.* 2017. O estestvennom vosproizvodstve poluprokhodnykh i nekotorykh rechnykh vidov ryb v nizov'yakh r. Volga v 2011–2015 gg. [On the natural reproduction of semi-anadromous and some river fish species in the lower Volga river in 2011–2015] // *Trudy VNIRO. T. 166. S. 85–108.*
- Tyurnin V.B.* 2007. Primenenie sputnikovoj kosmicheskoy informatsii dlya issledovaniya nerestilishch okhotskoj sel'di [Application of satellite space information to study the spawning grounds of the Okhotsk herring] // *Chteniya pamyati akademika K.V. Simakova. Tez. dok. Vseross. nauchn. konf. Magadan, 27–29 noyabrya 2007 g. S. 171–172.*
- Utochnennoe proektnoe zadanie rybokhozyajstvennogo osvoeniya vodokhranilishcha Cheboksarskoj GEHS* [The revised design assignment for the fishery development of the reservoir of the Cheboksary HPP]. 1970. Kn. 1. Poyasnitel'naya zapiska. Fondy GosNIORKH. M.: Gidrorobproekt.
- Chavychalova N.I.* 2013. Sovremennye problemy estestvennogo vosproizvodstva ryb v nizov'yakh Volgi [Modern problems of natural fish reproduction in the lower Volga] // *Inzhenerno-stroitel'nyj vestnik Prikaspiya. № 2. S. 80–87.*
- Chavychalova N.I., Fomin S.S.* 2018. Ehffektivnost' estestvennogo vosproizvodstva ryb v zavisimosti ot gidrologicheskogo rezhima reki Volga v vesenne-letnij period [The efficiency of natural reproduction of fish depending on the hydrological regime of the Volga river in the spring-summer period] // *Rybnoe khozyajstvo. № 6. S. 12–15.*
- Chavychalova N.I., Taradina D.G., Vasil'chenko O.M., Lardygina E.G.* 2020. Ehffektivnost' razmnozheniya poluprokhodnykh i rechnykh ryb reki Volga v razlichnye, po vodnosti i rezhimu polovod'ya, godovye periody [Efficiency of reproduction of semi-anadromous and river fish of the Volga river in different, according to water level and flood regime, annual periods] // *Rybnoe khozyajstvo. № 2. S. 67–73.*
- Shakirova F.M., Tairov R.G., Severov Yu.A.* 2012. Vliyanie urovennogo rezhima Kujbyshevskogo vodokhranilishcha na formirovanie ego rybnykh zapasov [Influence of the level regime of the Kuibyshev reservoir on the formation of its fish stocks] // *Rybnoe khozyajstvo. № 1. S. 40–43.*
- Go'rski K., Winter H.V., De Leeuw J.J., Minin A.E., Nagelkerke L.A.J.* 2010. Fish spawning in a large temperate floodplain: the role of flooding and temperature // *Freshwater Biology. 55. P. 1509–1519.*

TABLE CAPTIONS

Table 1. Spawning dates of some of the main commercial fish species in the Cheboksary reservoir

Table 2. Dynamics of the average area of spawning grounds depending on the water content of the year and the possible number of underyearlings of the main commercial fish species in three sections of the Cheboksary reservoir in years of different water availability

FIGURE CAPTIONS

Fig. 1. Location of spawning areas of the middle river, lake and dam sections of the Cheboksary reservoir
Gray solid fill – Cheboksary reservoir, black fill – spawning grounds

Fig. 2. The course of water levels of the Cheboksary reservoir during the spawning period in years of different water levels (Prosek hydrological station, observation point code 75020)

Fig. 3. Dependence of the area of spawning areas of the middle river, lake and dam sections of the Cheboksary reservoir on the water level ($n = 21$)
Solid line – regression curve, dotted line – borders of 95% confidence interval for regression curve

Fig. 4. Dependence of the number of underyearlings of the main commercial fish species in the middle river, lake and dam sections of the Cheboksary reservoir on the average area of spawning grounds ($n = 14$)
Solid line – regression curve, dotted line – boundaries of 95% confidence interval for regression curve

Санитарно-микробиологическая характеристика среды обитания водных биоресурсов в Ладожском озере

Д.В. Белозерова¹,
Л.Л. Капустина^{1,2}

¹ Санкт-Петербургский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ГосНИОРХ» им. Л.С. Берга), Санкт-Петербург

² Институт Озероведения РАН (ФГБНУ «ИНОЗ РАН»), Санкт-Петербург

E-mail: larisa.kapustina@mail.ru

Представлена микробиологическая характеристика водных масс Ладожского озера, как среды обитания биоресурсов, по результатам наблюдений в июне и сентябре 2020 г. В начале лета отмечалось гетерогенное пространственное распределение бактериопланктона из-за разницы температур воды в различных частях озера. Максимальные величины общей численности бактерий (ОЧБ) наблюдались в юго-восточном побережье и в районе Сортавальских шхер, минимальные – в глубоководных районах. Осенью распределение бактериопланктона было более равномерным из-за выравнивания температур воды в поверхностном слое. По средним за период наблюдений величинам ОЧБ трофический статус вод в различных районах озера колебался от олиготрофного в бух. Петрокрепость до мезотрофно-эвтрофного в юго-восточном районе и Сортавальских шхерах. За период исследований по численности сапрофитных микроорганизмов (ОМЧ) водные массы озера, за исключением шхерного района, относились к категориям «чистые» и «очень чистые», что соответствует ксено- и олигосапрофитным водам. Численность общих колиформных бактерий (ОКБ) и термотолерантных колиформных бактерий (ТКБ) в воде была существенно ниже нормативов, установленных для различных категорий водопользования. Исключением был участок в устье р. Волхов в июне, где численность ОКБ и ТКБ значительно превышала нормативы. Наличие сальмонеллы в воде выявлено не было. По микробиологическим показателям качество вод в большинстве исследованных районов Ладожского озера может быть охарактеризовано как высокое. Однако выявлены отдельные зоны экологического риска, подверженные антропогенному воздействию: Волховская губа, включая устьевую часть р. Волхов, участки акватории в северном шхерном районе вблизи городов Сортавала, Лахденпохья и Питкяранта, акватория вблизи г. Приозерск.

Ключевые слова: Общая численность бактериопланктона, трофический статус, сапрофитные микроорганизмы, колиформные бактерии, качество воды.

ВВЕДЕНИЕ

Ладожское озеро – ведущий рыбохозяйственный водоём в Северо-Западном регионе России в силу богатства и разнообразия водных биологических ресурсов. Основную роль в рыболовстве в озере играют озёрные виды, жизненный цикл которых связан с открытыми участками водоёма: ряпушка, озёрные сиги, судак, паляя, а также корюшка, которая нагуливается и зимует в открытой акватории. К ценным промысловым объектам относятся также прибрежные рыбы – лещ и щука. Однако, в настоящее время запасы некоторых видов сократились, в первую очередь, лососёвых, сиговых, судака, что связано, наряду с другими факторами, с антропогенным воздействием на экосистему Ладожского озера [Кудерский, 2013]. В последние годы в Ладожском озере (особенно в южной мелководной зоне, основной зоне размножения и нагула

многих видов рыб) существенно ухудшились условия воспроизводства рыб и беспозвоночных (кормовой базы рыб), что отрицательно сказалось на выловах ценных рыбных ресурсов [Курашов и др., 2020]. Загрязнение поверхностных вод, влекущее деградацию многих рыбохозяйственных водоёмов, в настоящее время приняло угрожающие размеры. Разнообразие загрязняющих веществ, поступающих в водоёмы различными путями, чрезвычайно велико. Одним из наиболее распространённых является загрязнение различными органическими веществами, в частности, хозяйственно-бытовое, наносящее серьёзный урон биоресурсам.

В связи с этим, оценка качества вод озера как среды обитания биоресурсов представляется очень важной. Микроорганизмы играют первостепенную роль в процессах естественного самоочищения вод, за счёт

их деструкционной деятельности происходит трансформация большей части энергии, поступающей в водные экосистемы с автохтонным и аллохтонным органическим веществом [Кузнецов, 1970; Romero, 1974; Wetzel, 1982; Cole et al., 1988; Копылов, Косолапов, 2011]. Поэтому, при оценке качества воды обязательно должны приниматься во внимание значения микробиологических параметров. Общая численность бактериопланктона в воде является одним из показателей трофического статуса водоёмов [Кузнецов, 1970; Сорокин, 1972; Романенко, 1979; Boulion, Nakanson 2003; Копылов, Косолапов, 2007]. Количественное соотношение сапрофитных микроорганизмов, вырастающих при различных температурных режимах, свидетельствует об интенсивности и завершённости процессов самоочищения, а численность в воде общих и термотолерантных колиформных бактерий характеризует санитарное состояние водных объектов [МУК 4.2.1884-04-2004,

2004]. Пространственно-временное распределение и физиологическая активность бактериопланктона Ладожского озера хорошо изучены [Александрова, Капустина, 1982; Капустина, Каурова, 2002; Капустина, 2011; Капустина 2013]. Однако, санитарно-микробиологические исследования озера, важность которых для характеристики среды обитания биоресурсов трудно переоценить, не проводились.

Цель работы: оценить качество вод Ладожского озера как среды обитания биоресурсов по результатам сезонных микробиологических исследований в 2020 г.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА

Отбор проб производился из поверхностного горизонта воды на станциях, расположенных на всей акватории Ладожского озера (рис. 1) в течение июня (02–29) и в конце сентября (26–28) 2020 г. Пробы

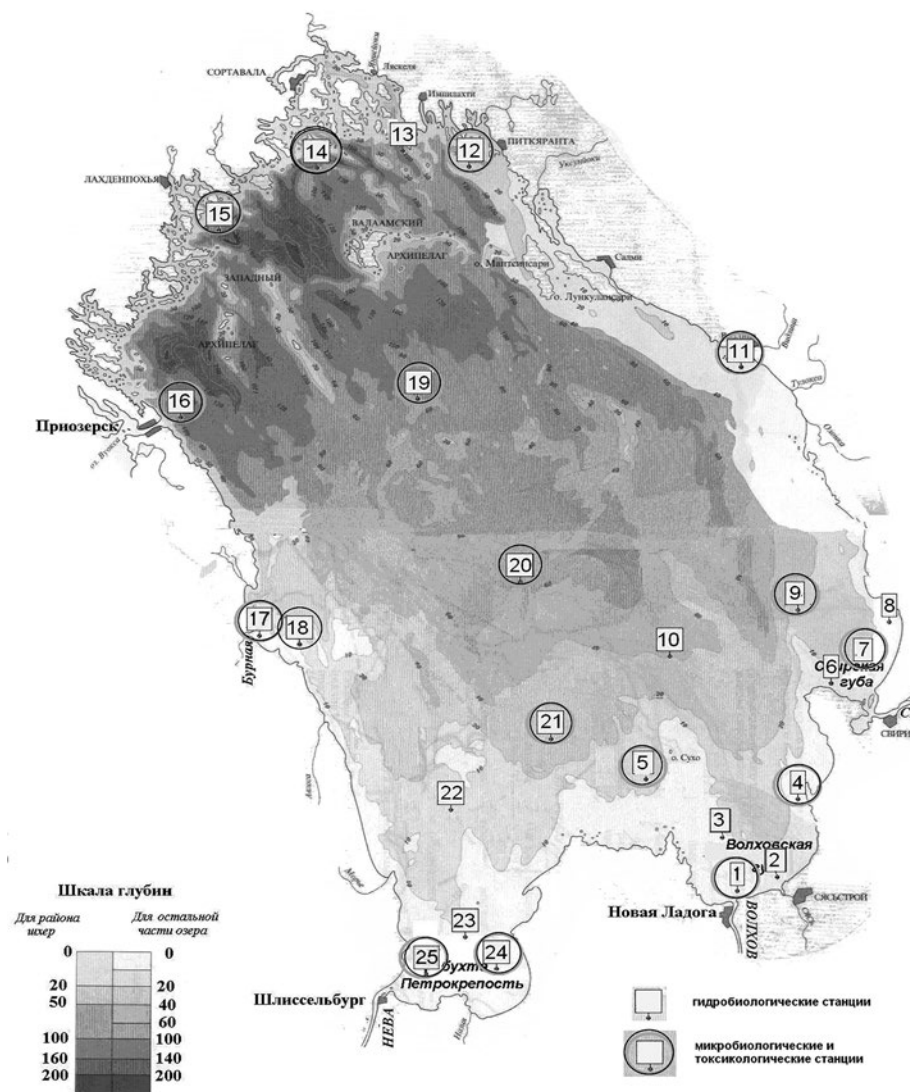


Рис. 1. Схема станций экологического мониторинга на акватории Ладожского озера

воды отбирали батометром Паталаса. Для определения ОЧБ в воде пробы фиксировались 40%-ным формалином до конечной концентрации 2%. Количество бактериальных клеток подсчитывали под люминесцентным микроскопом МИКМЕД 26 при увеличении $\times 1000$ на тёмных нуклеопоровых фильтрах (диаметр пор 0,20 мкм) с использованием флуорохрома акридина оранжевого [Hobbie et al., 1977; Кузнецов, Дубинина, 1989]. Трофический статус различных районов озера оценивался в соответствии с классификацией водоёмов по общей численности бактериопланктона [Копылов, Косолапов, 2007].

Численность сапрофитных микроорганизмов (ОМЧ) определялась методом глубинного посева на питательную среду ГРМ-агар [МУК 4.2. 1884–04, 2004].

Численность ОКБ и ТКБ, свидетельствующих о наличии хозяйственно-бытового и, в том числе, фекального загрязнения, определялась методом мембранной фильтрации [МУК 4.2.1884–04–2004, 2004]. Оценивалось превышение, нормативов, установленных для различных категорий водопользования [СанПиН 2.1.5.980–00, 2001].

Определение наличия в воде сальмонеллы как наиболее устойчивого представителя патогенных микроорганизмов проводилось с использованием

висмут-сульфит агара и среды микробиологической ХЛД [МУК 4.2.1884–04–2004, 2004].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В июне относительно высокие величины ОЧБ ($4,02–8,30 \times 10^6$ кл/мл) наблюдались в юго-восточном побережье (ст. 1, 4), на выходе из Свирской губы (ст. 9), у восточного берега (ст. 11), а также в районе Сортавальских шхер (ст. 14) в связи с антропогенным влиянием г. Сортавала. В центральной и северной частях Ладоги концентрация микроорганизмов в это время была относительно низкой и варьировала в пределах $(1,05–3,45) \times 10^6$ кл/мл. Минимальное количество бактериопланктона отмечалось в бух. Петрокрепость (табл. 1). Средняя для всего озера величина ОЧБ составляла $(3,15 \pm 2,00) \times 10^6$ кл/мл, по высокому значению стандартного отклонения от средней видно насколько неравномерно бактериопланктон распределён по акватории. Подобное пространственное распределение бактерий характерно для Ладожского озера в начале лета в связи с недостаточным прогревом вод в глубоководных частях озера, тем более, что в открытых районах пробы, в основном, отбирались в начале июня, когда в озере ещё мог существовать термический бар [Тихомиров, 1982; Rodgers, 1965]. Однако, абсолютные величины численности

Таблица 1. Величины общей численности бактериопланктона (ОЧБ, $\times 10^6$ кл/мл) в Ладожском озере в 2020 г.

Дата отбора (июнь)	№ станции	ОЧБ, $\times 10^6$ кл/мл		Дата отбора (сентябрь)	ОЧБ, $\times 10^6$ кл/мл	
		июнь	сентябрь		ср. за сезон	
15.06	1	5,83	27.09	4,82	5,33	
15.06	4	8,30	27.09	2,98	5,64	
15.06	5	3,27	26.09	5,31	4,29	
15.06	7	2,58	27.09	5,18	3,88	
15.06	9	5,03	27.09	5,82	5,43	
29.06	11	4,02	27.09	4,24	4,13	
02.06	12	3,45	28.09	4,24	3,85	
03.06	14	5,14	28.09	4,69	4,92	
03.06	15	2,01	28.09	4,00	3,00	
02.06	16	2,21	28.09	4,44	3,33	
16.06	17	1,44	28.09	4,67	3,06	
16.06	18	2,19	-	-	-	
02.06	19	1,35	28.09	4,77	3,04	
16.06	20	3,31	28.09	4,63	3,97	
09.06	21	1,39	26.09	5,76	3,58	
09.06	24	1,05	26.09	4,33	2,69	
09.06	25	0,98	26.09	4,29	2,64	

бактерий слишком высоки для начала лета, когда обычно наблюдается раннелетняя депрессия бактериопланктона [Капустина, 2013]. По-видимому, интенсивное развитие микроорганизмов в это время связано с климатическими особенностями 2020 г., когда температуры воды в поверхностном слое варьировали в диапазонах 3,0–8,8 °С в северной части и 13,4–19,7 °С на остальной акватории, что превышает средние многолетние июньские температуры (3,5–10 °С) [Науменко и др., 2013].

В конце сентября 2020 г. наблюдалось интенсивное развитие бактериопланктона на всей акватории Ладожского озера, концентрация бактерий в это время колебалась от $2,98 \times 10^6$ кл/мл (ст. 4, юго-восточный берег Волховской губы) до $5,82 \times 10^6$ кл/мл (ст. 9, недалеко от выхода из Свирской губы) (табл. 1). Средняя по озеру величина ОЧБ была равна $(4,64 \pm 0,69) \times 10^6$ кл/мл, т. е. выше, чем в июне, тогда как значение стандартного отклонения в сентябре значительно меньше, что свидетельствует о более равномерном распределении микроорганизмов по акватории озера. Обычно, к концу сентября ОЧБ в поверхностном горизонте воды снижается примерно в 1,5 раза по сравнению с таковой в разгар летнего периода и составляет $(0,9–2,3) \times 10^6$ кл/мл в разные годы [Капустина, 2002; 2013]. По-видимому, аномально высокие концентрации микроорганизмов в осенний период связаны с климатическими особенностями 2020 г., как уже упоминалось выше. Во время отбора проб в озере отмечались необычно высокие для этого времени температуры воды (12,3–12,6 °С), тогда как по данным многолетних наблюдений температура поверхностного слоя воды Ладоги в конце сентября составляет около 10 °С [Науменко и др., 2013]. Кроме того, очень высокой в это время была численность фитопланктона, являющегося источником органического вещества для бактерий. Наиболее значительные концентрации бактериопланктона наблюдались в юго-восточной части озера (ст. 1, 5, 7, 9, 21) (табл. 1; рис. 1). Среди других станций этого района сильно выделялась ст. 4 (юго-восточный берег Волховской губы), расположенная вблизи Сясьского ЦБК. В пробе воды на этой станции превалировали длинные палочки, по всей видимости, бациллы. Встречались, также, клостридии (анаэробы) и спириллы. Эти группы микроорганизмов принимают активное участие в разложении отходов целлюлозно-бумажных комбинатов. Вероятно, разбавленные стоки Сясьского ЦБК при соответствующей ветровой ситуации отжало к юго-восточному берегу Волховской губы. При этом ОЧБ на этой станции была даже ниже, чем на других (табл. 1). По-видимому, большая часть автохтонной микрофлоры не выживает

в сточных водах целлюлозно-бумажного производства. В целом, пространственное распределение бактериопланктона по акватории озера в конце сентября было достаточно равномерным, что характерно для осеннего периода [Капустина, 2013].

Общая численность бактерий в воде является одним из показателей трофического статуса водоёмов [Кузнецов, 1970; Сорокин, 1972; Романенко, 1979; Дрabbкова, 1981]. Обнаружено, что среднее за вегетационный сезон количество бактериопланктона составляет в олиготрофных водоёмах 0,2–1,4, в мезотрофных – 0,9–5,9, в эвтрофных – 4,2–12,9 и в гиперэвтрофных – $(8,4–26,5) \times 10^6$ кл/мл [Копылов, Косолапов, 2007]. Эти данные хорошо согласуются с величинами численности микроорганизмов, рассчитанными по уравнению зависимости между концентрациями хлорофилла и бактериопланктона [Bird, Kalff, 1984; Currie, 1990; Boulion, Hakanson 2003]. Нужно заметить, что определение трофического уровня водоёмов производится в первую очередь по количеству фосфора и уровню развития фитопланктона и может не всегда совпадать с таковым по микробиологическим параметрам. Однако, современные классификации, как правило, включают количественные характеристики как бактерио-, так и фитопланктона [Копылов, Косолапов, 2007]. Концентрация бактериопланктона обычно подвержена значительным сезонным колебаниям, тем не менее, средние значения его общей численности за вегетационный период или за год в стабильных водных экосистемах достаточно постоянны и обладают наибольшей надёжностью для определения трофического статуса. На основании средних величин ОЧБ в июне и в сентябре 2020 г. (табл. 1), трофический статус поверхностных вод Ладожского озера оценивался как мезотрофный [Копылов, Косолапов; 2007]. В последние два десятилетия уровень трофии озера по концентрации микроорганизмов колебался от олиго-мезотрофного в гиполимнионе глубоководных районов до типично мезотрофного в мелководном южном прибрежном районе. Оценка уровня трофии озера по численности бактериопланктона за последние 20 лет совпадает с таковым по концентрации хлорофилла [Капустина, 2013; Летанская, Протопопова, 2013; Капустина, 2021, в печати; Протопопова, 2021, в печати]. По-видимому, «повышение» трофического статуса Ладоги в 2020 г. объясняется аномально высокими температурами воды, интенсивным развитием альгоценозов и тем, что исследовался лишь поверхностный слой воды.

По численности сапрофитных микроорганизмов (ОМЧ 22 °С) большинство исследованных районов Ладожского озера в начале лета относилось к категори-

ям «очень чистые» и «чистые», что соответствует ксе-но- и олигосапробным водам [ГОСТ 17.1.2.04–77, 1977; ГОСТ 17.1.3.07–82, 1982]. Наиболее «чистыми» по этому показателю являлись Свирская губа (ст. 7), Бухта Петрокрепость (ст. 25), водные массы у восточного берега (ст. 11) и, что не тривиально, в устье р. Бурная (ст. 17) (табл. 2). Воды р. Бурная содержат значительное количество органической взвеси и ОМЧ обычно там довольно высокое [Капустина, 2013]. Известно, что в весенний и летний периоды воды реки часто прижимаются к западному берегу и могут распространяться до бух. Петрокрепость [Крючков, 2013], возможно, что во время отбора проб имела место такая ситуация и в пробу попала озёрная вода. Водные массы в районе г. Сортавала (ст. 14), вблизи г. Лахденпохьи (ст. 15) и г. Приозёрск (ст. 16) являлись «умеренно загрязнёнными», β-мезосапробными [ГОСТ 17.1.2.04–77, 1977; ГОСТ 17.1.3.07–82, 1982], что, по-видимому, связано с возможным попаданием в воду хозяйственно-бытовых стоков этих городов. Самые высокие абсолютные значения численности сапрофитов отмечались на наиболее «грязных» станциях – 14, 15 и 16. На большинстве станций величины ОМЧ при 22 °С существенно (в 4,3–41,1 раза) превышали таковые при 37 °С, что косвенно свидетельствовало об активности и завершённости процессов самоочищения [МУК 4.2. 1884–04, 2007]. На двух станциях (ст. 5, 7) юго-восточного района озера разница вели-

чин численности этих групп бактерий была невелика (2,1–2,5 раза), что указывало на невысокую активность процессов самоочищения, возможно, связанную с составом органического вещества в воде. Абсолютные величины ОМЧ при 22 °С на этих станциях были низкими. Наличие сальмонеллы в воде не выявлено ни на одной станции (табл. 2).

Численность ОКБ и ТКБ в воде исследованных районов озера в июне была невелика, а на многих станциях рост бактерий этих групп, вообще, не регистрировался (табл. 2). Исключением являлась акватория в устье р. Волхов (ст. 1), где наблюдалось превышение нормативов численности вышеуказанных групп микроорганизмов, установленных для различных видов водопользования [500–1000 КОЕ/100 мл и 100 КОЕ/100 мл, соответственно; СанПиН 2.1.5.980–00, 2000]. Судя по тому, что все общие колиформные бактерии являлись термотолерантными (причём, норматив для ТКБ был превышен в 50 раз), в воде присутствовало свежее фекальное загрязнение. Обнаруженная здесь существенная концентрация колиформных бактерий, а также высокие значения ОЧБ и ОМЧ при 37 °С, могут, по-видимому, объясняться влиянием следующих факторов: поступлением в воду недостаточно очищенных коммунально-бытовых сточных вод г. Новая Ладога и воздействием загрязнения, попадающего в воду на всем протяжении Волхова и концентрирующегося в устье. Бытовые сточные воды и про-

Таблица 2. Значения санитарно-микробиологических показателей в воде Ладожского озера в июне 2020 г.

Дата отбора	№ станции	ОМЧ 22 °С, ×10 ³ КОЕ/мл	ОМЧ 37 °С, ×10 ² КОЕ/мл	ОКБ, ×10 ¹ КОЕ/100 мл	ТКБ, ×10 ¹ КОЕ/100 мл	<i>Salmonella</i>
15.06	1	2,8	4,7	520	520	нет роста
15.06	4	0,99	1,6	нет роста	нет роста	нет роста
15.06	5	0,047	0,19	нет роста	нет роста	нет роста
15.06	7	0,038	0,18	1,8	нет роста	нет роста
15.06	9	2,9	4,4	нет роста	нет роста	нет роста
29.06	11	0,41	0,19	нет роста	нет роста	нет роста
02.06	12	4,7	4,1	1,7	1,7	нет роста
03.06	14	9,1	8,3	нет роста	нет роста	нет роста
03.06	15	8,5	7,9	2	2	нет роста
02.06	16	7,3	6,7	7	4	нет роста
16.06	17	0,42	0,84	нет роста	нет роста	нет роста
16.06	18	0,78	0,19	нет роста	нет роста	нет роста
02.06	19	4,9	3,4	9	9	нет роста
16.06	20	0,67	0,57	нет роста	нет роста	нет роста
09.06	21	0,87	1,2	4	4	нет роста
09.06	24	0,59	0,76	нет роста	нет роста	нет роста
09.06	25	0,19	0,44	7	нет роста	нет роста

мышленные стоки (г. Великий Новгород, г. Кириши, г. Волхов) превратили р. Волхов в наиболее загрязнённый водоём в системе оз. Ильмень – р. Волхов – оз. Ладожское. По результатам предыдущих исследований (макрозообентос, индексы Гуднайта и Уитлея) воды реки только на отдельных участках реки могли считаться «условно чистыми» (β -альфа мезосапробными). В основном, качество вод варьировало от «слабо загрязнённого» до «очень грязного» [Аршаница, 1988; Курашов и др., 2020]. По микробиологическим показателям (наши неопубликованные данные 2013–2014 гг.) на всем протяжении реки водные массы характеризовались как «условно чистые» (олигосапробные и β -мезосапробные), однако, в устьевом участке были «загрязнёнными» (α -мезосапробными). Обычно, в реках с большой антропогенной нагрузкой максимальные значения большинства биологических параметров наблюдаются в устьевой части. Нужно отметить, что оценки качества вод по планктонным и бентосным сообществам не всегда совпадают, особенно это касается лентических экосистем. Наличие сальмонеллы в июне в районах исследования не выявлено.

В сентябре по численности сапрофитных микроорганизмов (ОМЧ 22 °С) южная относительно мелководная часть озера и зона больших глубин Ладожского озера относились к категориям «очень чистые» и «чистые», что соответствует ксено- и олигосапробным водам [ГОСТ 17.1.2.04–77, 1977; ГОСТ 17.1.3.07–82, 1993]. Исключением являлся участок акватории

в районе ст. 19 (северная часть озера, глубины >100 м) (табл. 3), воды которой относились к категории «загрязнённые», что соответствует α -мезосапробным водам. Трудно предположить поступление загрязнённых водных масс в данный район, тем более, что рост ОКБ и ТКБ здесь не регистрировался (табл. 3).

По-видимому, это результат поступления в воду значительного количества лабильного органического вещества при разрушении осеннего пика развития фитопланктона в глубоководном районе. К категориям «умеренно загрязнённых» и «загрязнённых» (β - и α -мезосапробные) [ГОСТ 17.1.2.04–77, 1977; ГОСТ 17.1.3.07–82, 1993] относились воды западного и северного побережья озера (ст. 12, 14–17) (рис. 1). Станции 16 (вблизи г. Приозёрска) и 17 расположены в устьях обоих рукавов р. Вуокса, которая достаточно загрязнена, особенно р. Бурная (ст. 17). Станции 12, 14 и 15 расположены в районах Питкярантских, Сортавальских и Лахденпохских шхер, соответственно, и могли быть подвержены влиянию коммунальных стоков городов Питкяранта, Сортавала и Лахденпохья. Кроме того, на ст. 12 могло проследиваться влияние стоков Питкярантского целлюлозно-бумажного комбината. Самые высокие абсолютные значения численности сапрофитов, выросших при 22 °С и 37 °С, отмечались на наиболее «загрязнённых» станциях – 12, 14–17 (табл. 3). Так же, как в июне, на основной акватории озера численность сапрофитов, культивируемых при 37 °С была ниже, чем при 22 °С

Таблица 3. Значения санитарно-микробиологических показателей в воде Ладожского озера в сентябре 2020 г.

Дата отбора	№ станции	ОМЧ 22 °С, ×10 ³ КОЕ/мл	ОМЧ 37 °С, ×10 ² КОЕ/мл	ОКБ, КОЕ/100 мл	ТКБ, КОЕ/100 мл	<i>Salmonella</i>
27.09	1	0,54	1,2	2	2	Нет роста
27.09	4	0,11	1,0	1	1	Нет роста
26.09	5	0,81	0,64	21	21	Нет роста
27.09	7	1,1	8,7	3	Нет роста	Нет роста
27.09	9	1,5	6,2	32	Нет роста	Нет роста
27.09	11	3,0	11	Нет роста	Нет роста	Нет роста
28.09	12	12	17	Нет роста	Нет роста	Нет роста
28.09	14	8,8	18	Нет роста	Нет роста	Нет роста
28.09	15	9,3	15	1	1	Нет роста
28.09	16	11	17	1	1	Нет роста
28.09	17	6,1	2,0	10	10	Нет роста
28.09	19	11	13	Нет роста	Нет роста	Нет роста
28.09	20	2,6	17	1	1	Нет роста
26.09	21	0,63	0,48	Нет роста	Нет роста	Нет роста
26.09	24	0,26	0,89	2	Нет роста	Нет роста
26.09	25	2,3	0,14	5	5	Нет роста

(в 5–164 раза), что свидетельствует о высокой интенсивности процессов самоочистки и их завершённости [МУК 4.2. 1884–04, 2007]. Однако, на некоторых станциях в юго-восточном районе (ст. 4, 7, 9, 11) и в глубоководном районе (ст. 20) разница между численностью вышеуказанных групп бактерий была значительно меньше (1,1–2,4 раза). Наименьшее различие (1,1 раза) отмечалось на ст. 4, где, судя по наличию в пробе бацилл и клостридий, нехарактерных для незагрязнённых озерных вод, обнаруживались стоки Сясьского ЦБК. По-видимому, на этих участках акватории (кроме глубоководного района) можно предполагать наличие того или иного загрязнения. В пелагиали незначительная разница, по-видимому, объяснялась поступлением в воду автохтонного органического вещества при разрушении осеннего пика фитопланктона, как уже указывалось выше. Это способствовало интенсивному росту микроорганизмов, растущих на среде с высокой концентрацией органического вещества (ГРМ агар).

Численность общих и термотолерантных колиформных бактерий осенью в воде исследованных районов озера была невелика (существенно ниже установленного норматива), а на многих станциях рост бактерий этих групп не регистрировался (табл. 3). Это свидетельствовало об отсутствии хозяйственно-бытового (в том числе фекального) загрязнения на основной акватории Ладожского озера. Максимальная абсолютная величина численности ОКБ (более чем на порядок ниже верхней границы норматива, табл. 3) отмечалась недалеко от выхода из Свирской губы (ст. 9, рис. 1), что могло объясняться влиянием пос. Свирица, расположенного в устье р. Свирь. На этой же станции, как указывалось выше, наблюдалась максимальная абсолютная величина общей численности бактериопланктона. При определённых гидродинамических ситуациях численность ОКБ и ТКБ в этом районе может быть весьма существенной (Митрукова и др., 2020), т. е. это зона экологического риска. Наличие сальмонеллы осенью в районах исследования не выявлено.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Наиболее высокие величины общей численности бактериопланктона в поверхностном слое воды как в июне, так и в сентябре отмечались в юго-восточной части Ладожского озера в районе глубин 30–35 м, минимальные в глубоководной зоне и бух. Петрокрепость. На основании средних величин ОЧБ в июне и в сентябре 2020 г. трофический статус поверхностных вод Ладожского озера оценивался как мезотрофный, тогда как в последние два десятилетия уровень трофии озера по концентрации микроорганизмов ко-

лебался от олиго-мезотрофного в гипolimнионе глубоководных районов до типично мезотрофного в мелководном южном прибрежном районе. По-видимому, «повышение» трофического статуса озера в 2020 г. объясняется аномально высокими температурами воды, очень интенсивным развитием фитопланктона и тем, что исследовался только поверхностный слой воды.

В период исследований, по ОМЧ при 22 °С, водные массы большинства исследованных районов озера относились к категориям «очень чистые» и «чистые», что соответствует ксено- и олигосапробным водам. Как в июне, так и в сентябре к «умеренно загрязнённым» и «загрязнённым» – β-мезосапробным и α-мезосапробным водам относились участки акваторий в шхерной части озера вблизи городов Сортавала, Лахденпохья, Приозёрск и г. Питкяранта. В сентябре водные массы в центральной части озера (ст. 19, глубины >100 м), относились к категории «загрязнённые» (α-мезосапробные). Вероятно, в данном случае, это результат поступления в воду значительного количества лабильного органического вещества при разрушении осеннего пика развития фитопланктона в зоне больших глубин. Во время исследований, на всей акватории величины ОМЧ при 22 °С превышали таковые при 37 °С, что косвенно свидетельствует об интенсивности процессов самоочистки. В «чистых» водах эта разница была значительно больше, чем в «загрязнённых», что свидетельствовало о завершённости вышеуказанных процессов в районах, не подверженных антропогенному воздействию.

Численность ОКБ и ТКБ на основной акватории озера как в начале лета, так и в сентябре была существенно ниже установленных нормативов, на многих станциях рост бактерий этих групп не регистрировался. Это свидетельствовало об отсутствии хозяйственно-бытового загрязнения в большинстве исследованных районов. Исключением был участок акватории в устье р. Волхов в июне, где наблюдалось превышение установленного норматива численности ОКБ и ТКБ. Поскольку все общие колиформные бактерии здесь являлись термотолерантными, норматив ТКБ для всех видов водопользования был превышен в 50 раз, т. е. в воде присутствовало свежее фекальное загрязнение. Значительная концентрация колиформных бактерий, а также высокие значения ОЧБ и ОМЧ при 37 °С на этой станции, могут быть следствием воздействия коммунальных стоков г. Новая Ладога и/или влиянием загрязнения, попадающего в воду на протяжении р. Волхов и концентрирующегося в устье. Сальмонелла ни в июне, ни в сентябре в районах исследования не выявлена.

В настоящее время водные массы основной акватории Ладожского озера являются благоприятной средой обитания для водных биоресурсов. Однако по микробиологическим показателям выявлены отдельные зоны экологического риска, подверженные тому или иному виду антропогенного воздействия. Это: Волховская губа, включая устьевой участок р. Волхов, участки акватории в северном шхерном районе вблизи городов Сортавала, Лахденпохья и Питкяранта, акватория вблизи г. Приозёрск. Особое беспокойство вызывает ситуация в Волховской губе, подверженной интенсивному антропогенному воздействию, так как южная мелководная часть Ладожского озера является основной зоной размножения и нагула многих видов рыб.

Работа выполнена в рамках темы государственного задания Санкт-Петербургского филиала ФГБНУ «ВНИРО» («ГосНИОРХ» им. Л.С. Берга») № 076–00005–20–02.

ЛИТЕРАТУРА

- ГОСТ 17.1.2.04–77. 1977. Показатели состояния и правила таксации рыбохозяйственных водных объектов. М.: Издательство стандартов. 17 с.
- ГОСТ 17.1.3.07–82. 1982. Правила контроля качества воды водоёмов и водотоков. М.: Издательство стандартов. 8 с.
- Александрова Д.Н., Капустина Л.Л. 1982. Бактериопланктон Ладожского озера // Антропогенное эвтрофирование Ладожского озера. Л.: Наука. С. 156–163.
- Аршаница Н.М. 1988. Материалы ихтиотоксикологических исследований в бассейне Ладожского озера // Сб. науч. тр. ГосНИОРХ. Вып. 285. С. 12–23.
- Драбкова В.Г. 1981. Зональное изменение интенсивности микробиологических процессов в озёрах. Л.: Наука. 212 с.
- Капустина Л.Л. 2011. Бактериопланктон литорали Ладожского озера // Литоральная зона Ладожского озера. СПб.: Нестор-История. С. 139–156.
- Капустина Л.Л. 2013. Бактериопланктон Ладожского озера // Ладога. СПб.: Нестор-История. С. 289–298.
- Капустина Л.Л., Каурова З.Г. 2002. Современные тенденции развития бактериопланктона // Ладожское озеро. Прошлое, настоящее, будущее / Румянцев В.А., Драбкова В.Г. (ред.). СПб.: Наука. С. 180–191.
- Капустина Л.Л., Митрукова Г.Г. 2021. Бактериопланктон Ладожского озера и его притоков под воздействием природных и антропогенных факторов // Современное состояние и проблемы антропогенной трансформации экосистемы Ладожского озера в условиях изменяющегося климата / Кондратьев С.А., Поздняков Ш.Р., Румянцев В.А. (ред.). СПб.: Издательство РАН. В печати.
- Копылов А.И., Косолапов Д.Б. 2007. Микробиологические индикаторы эвтрофирования пресных водоёмов // Биоиндикация в мониторинге пресноводных экосистем. СПб.: ЛЕМА. С. 176–181.
- Копылов А.И., Косолапов Д.Б. 2011. Микробная «петля» в планктонных сообществах морских и пресноводных экосистем. Ижевск. 330 с.
- Крючков А.М. 2013. Распространение вод притоков на акватории озера // Ладога. СПб.: Нестор-История. С. 168–175.
- Кудерский Л.А. 2013. Биоресурсы и рыболовство // Ладога. СПб.: Нестор-История. С. 397–412.
- Кузнецов С.И. 1970. Микрофлора озёр и её геохимическая деятельность. М.: Наука. 440 с.
- Кузнецов С.И., Дубинина Г.А. 1989. Методы изучения водных микроорганизмов. М.: Наука. 285 с.
- Курашов Е.А., Аршаница Н.М., Стекольников А.А., Барбашова М.А., Гребцов М.Р. 2020. Воспроизводство рыб и беспозвоночных при воздействии загрязняющих веществ // Международный вестник ветеринарии. № 3. С. 105–115.
- Летанская Г.Т., Протопопова Е.В. 2013. Фитопланктон Ладожского озера // Ладога. СПб.: Нестор-История. С. 276–286.
- Митрукова Г.Г., Капустина Л.Л., Курашов Е.А. 2020. Экологическая оценка качества вод литоральной зоны Ладожского озера по результатам микробиологических исследований // Труды КарНЦ РАН. № 9. С. 88–100.
- МУК 4.2.1884–04. 2007. Санитарно-микробиологический и санитарно-паразитологический анализ воды поверхностных водных объектов. М.: Стандартинформ. 92 с.
- Науменко М.А., Гузиватый В.А., Каретников С.Г. 2013. Термический режим Ладожского озера // Ладога. СПб.: Нестор-История. С. 137–146.
- Протопопова Е.В. 2021. Фитопланктон Ладожского озера и его притоков под воздействием природных и антропогенных факторов // Современное состояние и проблемы антропогенной трансформации экосистемы Ладожского озера в условиях изменяющегося климата / Кондратьев С.А., Поздняков Ш.Р., Румянцев В.А. (ред.). СПб.: Издательство РАН. В печати.
- Романенко В.И. 1979. Микробиологические показатели качества воды и методы их определения // Водные ресурсы. № 6. С. 140–153.
- СанПиН 2.1.5.980–00. 2001. Водоотведение населённых мест, санитарная охрана водных объектов. Гигиенические требования к охране поверхностных вод. Санитарные правила и нормы. М.: Издательство стандартов. 18 с.
- Тихомиров А.И. 1982. Термика крупных озёр. Л.: Наука. 232 с.
- Bird D.F., Kalff J. 1984. Empirical relationship between bacterial abundance and chlorophyll concentrations in fresh and marine waters // Can. J. Fish. Aquat. Sci. Vol. 41. P. 1015–1023.
- Boulion V.V., Hakanson L.A. 2003. A new general dynamic model to predict biomass and production of bacterioplankton in lakes // Ecol. Model. Vol. 160. P. 91–114.

- Cole J.J., Findlay S., Pace M.L.* 1988. Bacterial production in fresh and saltwater ecosystems: A cross-system overview // *Mar. Ecol. Prog. Ser.* Vol. 43. P. 1–10.
- Currie D.J.* 1990. Large-scale variability and interactions among phytoplankton, Bacterioplankton, and phosphorus // *Limnol. Oceanogr.* Vol. 35 (7). P. 1437–1450.
- Hobbie L.E., Daley R.I., Jasper S.* 1977. Use of nucleopore filters for counting bacteria by fluorescence microscopy // *Appl. and Environ. Microb.* Vol. 33(5). P. 1225–1228.
- Pomeroy L.R.* 1974. The ocean's food web, a changing paradigm // *Bioscience.* Vol. 24. P. 499–504.
- Rodgers G.K.* 1965. The thermal bar in the Laurentian Great Lakes // *Proceedings of 8th Conference on Great Lakes Research.* Toronto. P. 89–96.
- Wetzel R.G.* 1982. *Limnology.* Philadelphia. Saunders Publishing. 860 p.

*Поступила в редакцию 31.03.2021 г.
Принята после рецензии 05.07.2021 г.*

Sanitary and microbiological characteristic of aquatic bio resources habitat in Lake Ladoga

*D.V. Belozerova*¹,
L.L. Kapustina^{1,2}

¹ St. Petersburg Branch of VNIRO
(«L.S. Berg «GosNIORKh»), St. Petersburg,
Russia

² Institute of Limnology RAS, St. Petersburg,
Russia

The microbiological characteristic of Lake Ladoga water masses as a habitat for bioresources, based on the results of observations in June and September 2020, is presented. At the beginning of summer, a heterogeneous spatial distribution of bacterioplankton was observed, because of the water temperature discrepancy in different regions. The maximum values of the total bacterial counts (TBC) were discovered in the southeastern coastal area and the area of the Sortavala skerries, whereas the minimum values were found in the deep-water region. In autumn, the distribution of bacterioplankton was rather uniform due to the equalization of water temperatures in the surface layer. The average values of the TBC during the observation period indicate that the trophic state of the various areas of the lake ranged from oligotrophic in Petrokrepost Bay to mesotrophic-eutrophic in the southeastern region and Sortavala skerries. According to the numbers of saprophytic microorganisms (SM), the water masses of the lake, except for the skerries, were identified as “clean” and “very clean”, which corresponds to xeno – and oligosaprobic waters. The amount of total coliform bacteria (TCB) and thermotolerant coliform bacteria (ThCB) was significantly lower than the standards established for different categories of water use. The exception was the site at the mouth of the Volkhov River in June, where the number of TCB and ThCB exceeded the norms by an order of magnitude, indicating the presence of fecal contamination. The presence of salmonella in the water masses was not detected. The values of microbiological parameters indicate high water quality in most regions of Lake Ladoga. However, some areas of environmental risk due to anthropogenic impact have been identified: the Volkhov Bay, including the mouth of the Volkhov River, areas in the skerries near the cities of Sortavala, Lakhdenpokhya, and Pitkyaranta, and the water area beside a city of Priozersk.

Keywords: total bacterial abundances; trophic state; saprophytic microorganisms; coliform bacteria; water quality.

REFERENCES

- GOST 17.1.2.04–77*. 1977. Pokazateli sostoyaniya i pravila taksatsii rybokhozyajstvennykh vodnykh ob"ektov [Indicators of the state and rules of taxation of fishery water bodies]. M.: Izdatel'stvo standartov. 17 s.
- GOST 17.1.3.07–82*. 1982. Pravila kontrolya kachestva vody vodoemov i vodotokov [Rules for water quality control of reservoirs and streams]. M.: Izdatel'stvo standartov. 8 s.
- Aleksandrova D.N., Kapustina L.L.* 1982. Bakterioplankton Ladozhskogo ozera [Bacterioplankton of Lake Ladoga] // Antropogennoe ehvtirovanie Ladozhskogo ozera. L: Nauka. S. 156–163.
- Arshanitsa N.M.* 1988. Materialy ikhtiotoksikologicheskikh issledovaniy v bassejne Ladozhskogo ozera [The materials of ichthyological investigations in Lake Ladoga basin] // Sb. nauch. tr. GosNIORKH. Vyp. 285. S. 12–23.
- Drabkova V.G.* 1981. Zonal'noe izmenenie intensivnosti mikrobiologicheskikh protsessov v ozerakh [Zonal changes in the intensity of microbiological processes in lakes]. L.: Nauka. 212 s.
- Kapustina L.L.* 2011. Bakterioplankton litorali Ladozhskogo ozera [Bacterioplankton of the littoral zone of Lake Ladoga] // Litoral'naya zona Ladozhskogo ozera. SPb.: Nestor-Istoriya. S. 139–156.
- Kapustina L.L.* 2013. Bakterioplankton Ladozhskogo ozera [Bacterioplankton of Lake Ladoga] // Ladoga. SPb.: Nestor-Istoriya. S. 289–298.
- Kapustina L.L., Kaurova Z.G.* 2002. Sovremennye tendentsii razvitiya bakterioplanktona [Current trends in the development of bacterioplankton community] // Ladozhskoe ozero. Proshloe, nastoyashchee, budushchee / Rumyantsev V.A., Drabkova V.G. (red.). SPb: Nauka. S. 180–191.
- Kapustina L.L., Mitrukova G.G.* 2021. Bakterioplankton Ladozhskogo ozera i ego pritokov pod vozdeystviem prirodnykh i antropogennykh faktorov [Bacterioplankton of Lake Ladoga and its tributaries under the nature and anthropogenic factors] // Sovremennoe sostoyanie i problemy antropogennoi transformatsii

- ehkosistemy Ladozhskogo ozera v uslovijakh izmenjajushchegosja klimata. / Kogdrat'ev S.A., Pozdnjakov Sh.R., Rumjantsev V.A. (red.). SPb.: Izdatel'stvo RAN. V pechati.
- Kopylov A.I., Kosolapov D.B.* 2007. Mikrobiologicheskie indikatory ehviroirovaniya presnykh vodoemov [Microbiological indicators of fresh waters eutrophication] // Bioindikatsiya v monitoringe presnovodnykh ehkosistem. SPb.: LEMA. S. 176–181.
- Kopylov A.I., Kosolapov D.B.* 2011. Mikrobnaya «petlya» v planktonnykh soobshchestvakh morskikh i presnovodnykh ehkosistem [Microbial «loop» in planktonic communities of marine and freshwaters ecosystems]. Izhevsk. 330 s.
- Kryuchkov A.M.* 2013. Rasprostranenie vod pritokov na akvatorii ozera [Distribution of tributary waters in the lake area] // Ladoga. SPb.: Nestor-Istoriya. S. 168–175.
- Kuderskiy L.A.* 2013. Bioresursy i rybolovstvo [Bioresources and fisheries] // Ladoga. SPb.: Nestor-Istoriya. S. 397–412.
- Kuznetsov S.I.* 1970. Mikroflora ozer i ee geokhimicheskaya deyatel'nost' [Microflora of the lakes and its geochemical activity]. M.: Nauka. 440 s.
- Kuznetsov S.I., Dubinina G.A.* 1989. Metody izucheniya vodnykh mikroorganizmov [Methods of studying aquatic microorganisms]. M.: Nauka. 285 s.
- Kurashov E.A., Arshanitsa N.M., Stekol'nikov A.A., Barbashova M.A., Grebtsov M.R.* 2020. Vosproizvodstvo ryb i bespozvonochnykh pri vozdejstvii zagryaznyayushchikh veshchestv [Reproduction of fish and invertebrates under the influence of pollutants] // Mezhdunarodnyj vestnik veterinarii. № 3. S. 105–115.
- Mitrukova G.G., Kapustina L.L., Kurashov E.A.* 2020. Ekologicheskaya otsenka kachestva vod litoral'noj zony Ladozhskogo ozera po rezul'tatam mikrobiologicheskikh issledovaniy [Ecological assessment of the water quality Lake Ladoga littoral zone based on the results of microbiological studies] // Trudy KarNTS RAN. № 9. S. 88–100.
- MUK 4.2.1884–04.* 2007. Sanitarno-mikrobiologicheskij i sanitarno-parazitologicheskij analiz vody poverkhnostnykh vodnykh ob'ektov [Sanitary-microbiological and sanitary-parasitological analysis of water in surface water bodies]. M.: Standartinform. 92 s.
- Naumenko M.A., Guzivatyj V.A., Karetnikov S.G.* 2013. Termicheskij rezhim Ladozhskogo ozera [Thermal regime of Lake Ladoga] // Ladoga. SPb.: Nestor-Istoriya. S. 137–146.
- Protopopova E.V.* 2021. Fitoplankton Ladozhskogo ozera i ego pritokov pod vozdeistviem prirodnykh i antropogennykh faktorov [Phytoplankton of Lake Ladoga and its tributaries under the nature and anthropogenic factors] in press // Sovremennoe sostojanie i problemy antropogennoi transformatsii ehkosistemy Ladozhskogo ozera v uslovijakh izmenjajushchegosja klimata / Kogdrat'ev S.A., Pozdnjakov Sh.R., Rumjantsev V.A. (red.). SPb.: Izdatel'stvo RAN. V pechati.
- Romanenko V.I.* 1979. Mikrobiologicheskie pokazateli kachestva vody i metody ikh opredeleniya [Microbiological indicators of water quality and methods of their determination] // Vodnye resursy. № 6. S. 140–153.
- SanPiN 2.1.5.980–00.* 2001. Vodootvedenie naselennykh mest, sanitarnaya okhrana vodnykh ob'ektov. Gigienicheskie trebovaniya k okhrane poverkhnostnykh vod. Sanitarnye pravila i normy [Water disposal of populated areas, sanitary protection of water bodies. Hygienic requirements for the protection of surface waters. Sanitary rules and regulations]. M.: Izdatel'stvo standartov. 18 s.
- Tikhomirov A.I.* 1982. Termika krupnykh ozer [Thermics of large lakes]. L.: Nauka. 232 s.
- Bird D.F., Kalff J.* 1984. Empirical relationship between bacterial abundance and chlorophyll cocentrations in fresh and marine waters // Can. J. Fish. Aquat. Sci. Vol. 41. P. 1015–1023.
- Boulion V.V., Hakanson L.A.* 2003. A new general dynamic model to predict biomass and production of bacterioplankton in lakes // Ecol. Model. Vol. 160. P. 91–114.
- Cole J.J., Findlay S., Pace M.L.* 1988. Bacterial production in fresh and saltwater ecosystems: A cross-system overview // Mar. Ecol. Prog. Ser. Vol. 43. P. 1–10.
- Currie D.J.* 1990. Large-scale variability and interactions among phytoplankton, Bacterioplankton, and phosphorus // Limnol. Oceanogr. Vol. 35 (7). P. 1437–14550.
- Hobbie L.E., Daley R.I., Jasper S.* 1977. Use of nucleopore filters for counting bacteria by fluorescence microscopy // Appl. and Environ. Microb. Vol. 33(5). P. 1225–1228.
- Pomeroy L.R.* 1974. The ocean's food web, a changing paradigm // Bioscience. Vol. 24. P. 499–504.
- Rodgers G.K.* 1965. The thermal bar in the Lawrentian Great Lakes // Proceedings of 8th Conference on Great Lakes Research. Toronto. P. 89–96.
- Wetzel R.G.* 1982. Limnology. Philadelphia. Saunders Publishing. 860 p.

TABLE CAPTIONS

Table 1. Total bacterial densities (TBD, $\times 10^6$ cells/ml) in Lake Ladoga in 2020.

Table 2. The values of sanitary-microbiological parameters in Lake Ladoga water masses in June 2020.

Table 3. The values of sanitary-microbiological parameters in Lake Ladoga water masses in September 2020.

FIGURE CAPTIONS

Fig. 1. Scheme of sampling stations in the water area of Lake Ladoga

УДК 665.215:517

DOI: 10.36038/2307-3497-2021-185-105-112

Научное обоснование получения жира из покровного сала нерпы в условиях промысла на территории Арктической Якутии

*М.М. Ершова¹,
А.В. Подкорытова²*

¹ Арктический государственный агротехнологический университет (ФГБОУ ВО «АГАТУ»), г. Якутск

² Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ФГБНУ «ВНИРО»), г. Москва

E-mail: ershova678@mail.ru

В статье представлена проблема получения и переработки жиросодержащего сырья из подкожного сала нерпы кольчатой (*Phoca hispida*), обитающей на территории Арктической Якутии. Экстремальные погодные и климатические условия в этой зоне обуславливают биосинтез липидов в покровном сале морских млекопитающих с высоким содержанием насыщенных и полиненасыщенных жирных кислот (НЖК и ПНЖК). Для организма человека ПНЖК крайне необходимы, так как они являются местными или тканевыми гормонами, моделирующими метаболизм и активность как самой клетки, так и её окружение. Особенностью жира морских млекопитающих и рыб является наличие ПНЖК с двойными связями, которых нет в растительных и некоторых животных липидах. Нерпа кольчатая – самый многочисленный и распространённый вид морских животных на территории Арктической Якутии. При этом особенности химического состава и биоактивных свойств подкожного жира нерпы обуславливают необходимость разработки специфических методов и технологий заготовки жирового сырья из нерпы. Продолжительность сезона отрицательных температур (8 месяцев в году) является существенным препятствием для промышленного промысла морских млекопитающих на территории Якутии. Их заготовка проводилась только в прошлом веке, но промышленных масштабов никогда не достигала. Добывали морского зверя для заготовки шкуры, жира и мяса. В настоящее время в Якутии местное население добывает нерпу кольчатую поштучно, для личных целей, промысел с целью промышленной переработки отсутствует.

Ключевые слова: кольчатая нерпа *Phoca hispida*, хоровина, жир, способы получения жира, состав ПНЖК и НЖК.

ВВЕДЕНИЕ

Народам Севера издревле известны целебные свойства жиров морских млекопитающих, уникальных по своему составу и играющих значительную роль в функционировании организма северного человека. Доказано, что только жиры рыбы и морских млекопитающих содержат ПНЖК с 5 и 6 двойными связями, обладающие высокой биологической активностью. Таких жирных кислот нет в составе липидов наземных животных и растительных масел. Покровное и брюшное сало у различных видов морских млекопитающих несколько отличается по химическому составу и составляет 20–40% от массы туши. Подкожное сало тюленей содержит 75–98% жира. Пищевая ценность подкожного сала характеризуется высоким содержанием триглицеридов – 89,2–90,1% в зависимости от вида тюленя, района и сезона вылова [Боева, Петрова, 2017]. В связи с этим рекомендуется использовать в качестве сырья покровное и брюшное сало тюленей для получения жиров ме-

дицинского, пищевого, ветеринарного, косметического и технического назначений [Мошенский, Владыкина, 2009; Слапогузова, Болтнев, 2016]. С другой стороны, нерпа также может быть источником красивого серебристого меха и пищевого белка, так как мясо нерпы обладает уникальными диетическими свойствами [Подкорытова и др., 2017].

Известны несколько способов получения жира из жиросодержащего сырья морских млекопитающих. Их можно классифицировать в зависимости от вида воздействия на жировую ткань [Привезенцев, 2001].

Механический способ. Механический способ получения жира из жиросодержащего сырья основан на обработке жировых тканей путём механического воздействия, самым распространённым из которых является измельчение. Чем меньше фракция обрабатываемого сырья [Кизеветтер, 1976], тем выход жира более полный. Способ экономичен, так как не требует теплового воздействия, сложного технологического оборудования. Но, при этом выход жира ниже на

10–16% по сравнению с методами термической обработки.

Физические способы. В научной литературе есть данные по воздействию на жировую ткань ультразвуковых волн (300–1500 кГц), способствующих распаду белковых молекул и более полному выходу жира из обрабатываемого сырья. Другим физическим способом получения жира является способ, в котором предусмотрено измельчение жиросодержащего сырья, нагревание измельченной массы до температуры 40 °С и электроимпульсная обработка, вызывающая кавитацию и механохимическую деструкцию до тонкого диспергирования [Лагунов, 1957]. Выход жира составляет до 95%, но для реализации данного метода требуется специальное оборудование.

Химические способы. Одним из известных химических способов является экстракция жира органическими растворителями. Было предложено в качестве растворителей использовать ацетон, этанол, дихлорэтан [Лагунов, 1957]. Выход жира составляет до 99%, но необходим контроль остаточного содержания органических растворителей.

Биотехнологические способы. Более мягким по воздействию на жировую ткань является ферментативный способ, основанный на разрушении белковой части сырья воздействием протеолитических ферментов [Боева, 2017]. Данный метод рекомендуется использовать для сырья с высоким содержанием белковых веществ, поэтому для покровного сала его применение нецелесообразно.

Термические способы. Самым доступным и производительным способом обработки жиросодержащего сырья является применение повышенной температуры (80–100 °С), которая вызывает разрушение оболочки жировой клетки, в результате чего выделяется содержащийся в ней жир. При получении жира указанным способом необходимо соблюдать два условия: температуру повышать постепенно для лучшего разрушения оболочек жировых клеток; не допускать образования стойкой эмульсии, снижающей выход жира (эмульсию разрушают добавлением водного раствора электролита, в частности, поваренной соли) [Бодров, 1958].

Учёными ВНИРО был предложен низкотемпературный способ получения жира при минусовой температуре. Этот способ предусматривает измельчение замороженного сырья, прессование, с последующим центрифугированием и сепарированием. При этом жир-сыроток, образующийся при разделывании хоровины, с целью увеличения выхода смешивают с жиром, полученным при прессовании измельченного сала [Боева, Петрова, 2017]. Такой жир характеризуется более высоким качеством по сравнению с жиром,

полученным посредством тепловой обработки сырья. Способ сложен в исполнении в регионах с тёплым климатом, так как это сопряжено с дополнительными расходами на холодильное оборудование. На территории Якутии данный способ доступен в позднесенний и ранневесенний периоды в условиях промысла в связи с естественным низкотемпературным режимом в это время.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКИ

Для исследований были отобраны 10 туш нерпы кольчатой Акиба (*Phoca hispida* (Schreber, 1775)), добытых в прибрежной зоне моря Лаптевых в разные периоды года на территории Булунского района Республики Саха Якутия. Исследования массы туши и органов проведены по классической схеме: определение общей массы туши нерпы, массы отдельных частей туши и внутренних органов. Использовались механические и электронные весы с наибольшим пределом взвешивания 150 кг и наименьшим 0,001 г.

Разделку нерпы проводили методом отделения хоровины (шкура с подкожным салом) от туши, так как это наиболее распространённый способ разделки ластоногих в условиях промысла [Рувиль, 2008].

Идентификация и определение концентрации жирных кислот (ЖК) в образцах жира кольчатой нерпы были проведены методом газо-жидкостной хроматографии (ГЖХ) [Ullah et al., 2011]. Для получения метиловых эфиров ЖК использовали метод кислотного гидролиза. Метиловые эфиры ЖК отделяли декантацией из супернатанта. Для анализа отбирали пробы в объёме 200 мкл.

Для анализа использовался хроматограф «МАЭСТРО» 7820/5975, который создан на базе газового хроматографа Agilent 7820 и масс-спектрометрического детектора 5975 того же производителя. Для разделения ЖК использовали капиллярную колонку HP-INNOWax (30 м, 0,25 мм, 0,25 мкм), скорость газа-носителя (гелий) 2 мл/мин. Идентификацию метиловых эфиров ЖК проводили с использованием набора стандартов метиловых эфиров ЖК фирмы Supelco. 37-Component FAME Mix (кат. номер 18919–1MP) и с применением базы данных NIST. Величину концентрации метиловых эфиров ЖК определяли по площадям хроматографических пиков соответствующих соединений по методу внутренней нормализации [Шаповалова, Пирогов, 2007]. Общую площадь пиков метиловых эфиров ЖК принимали за 100% и вычисляли процентную концентрацию отдельных ЖК по отношению к их общему содержанию.

Все аналитические измерения выполнены в трёх повторностях по каждому определяемому показателю.

лю. Результаты экспериментов представлены в виде средней арифметической величины со стандартным отклонением.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Специфические экстерьерные и интерьерные признаки каждого биологического вида формируются в зависимости от типа питания, климатической и экологической обстановки, т. е. и от среды обитания. Исследование морфофизиологических данных даёт возможность выявить биологическую специфику вида в зависимости от среды обитания и образа жизни. Экстремальные условия Арктической Якутии определяют высокую выживаемость нерпы. Акиба является типичным пагофильным видом среди морских млекопитающих. Большая часть её жизни проходит на льду, что приводит к образованию защитного толстого слоя подкожного сала. Достаточно много жира содержится в тканях мозга животного. Жировые прослойки на внутренних органах встречаются крайне редко.

Для подготовки экономического обоснования промысла нерпы с целью получения биологически активного жира было определено процентное соотношение массы хоровины к общей массе туши (табл. 1).

Первые три нерпы были добыты в осенний период года, остальные семь – в мае месяце, в брачный период. Все особи были взрослые. Как видно из табл. 1, самый высокий показатель хоровины от общей массы у нерпы № 4 – 44,4%, а наименьший – 25,6% у нерпы № 7. В то же время масса туши нерпы № 4 не самая большая и составляла 63,800 кг. Тогда как масса туши самой крупной нерпы № 5 – 81,100 кг, а масса туши нерпы № 7 – 39,500 кг, что является самым низким показателем среди исследованных животных. Очевидно, что масса туши зависит от возраста животного. При этом средний показатель составляет 38,5%, что соответствует ранее опубликованным данным [Подкорытова и др., 2017].

Существуют несколько способов заготовки жирового и кожевенного сырья морских млекопитающих. Наиболее распространённым на территории России является посол: хоровины консервируют солью в ко-

личестве 20–30% от их массы. Транспортируют в неметаллических ёмкостях и упаковках, так как металл способствует окислению жира.

В Арктической Якутии консервирование сырья солью можно применять летом. Экстремальные климатические условия в этой местности мало способствуют развитию промысла морского зверя, но в то же время данный факт может стать отправной точкой для организации современного промысла и заготовки высококачественного жирового сырья из морских млекопитающих: суровые арктические зимы продолжительностью 9 месяцев создают благоприятные условия для заготовки мороженого жиросодержащего сырья из морских млекопитающих. Прямо на месте промысла можно отделить хоровину и упаковать в полиэтиленовые мешки. Низкотемпературный режим (от минус 20 до минус 45 °С и ниже) в осенне-зимне-весенний сезоны позволяет исключить применение дополнительного консервирования, так как всё сырьё замораживают в естественных условиях. В замороженном виде жировое сырьё морских млекопитающих хранится до 6 месяцев и без потери своих биологически активных свойств. В дальнейшем покровное сало подвергают технологической обработке, в процессе которой получают жир и расфасовывают в неметаллические ёмкости. Для наших исследований была использована хоровина, содержание жира в которой составляло 95,0±1,5%. Для получения жира были использованы следующие термические параметры его вытопки: способ «на плите» при температуре вытапливания жира 130±5 °С, в сушильном шкафу при 100±5 °С, на водяной бане при температуре 80±5 °С и при комнатной температуре 20±2 °С (табл. 2). Нагревание проводили при перемешивании до получения однородной серой массы. Среднее время вытапливания составляло 15 мин. Вытопленный жир был очищен от белковых примесей и шварок путём фильтрации [Березкина, Хлебный, 2017]. Температура плавления жира нерпы составляет 18 °С [Ершова, Малтугуева, 2013], что предполагает высокое содержание ПНЖК, низкую степень окисления и его лёгкую усвояемость.

Таблица 1. Показатели нерпы по массам туш и хоровин из 10 особей, в кг

Измеряемые показатели	№ п/п туш нерпы									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Масса туши	47,150	44,200	45,300	63,800	82,100	47,300	39,500	51,800	60,200	42,750
Масса хоровины	19,900	17,100	17,500	28,300	32,200	15,500	10,100	22,500	25,430	16,200
Хоровина от общей массы туши	42,2%	38,7%	38,6%	44,4%	39,2%	32,8%	25,6%	43,4%	42,2%	37,9%

В процессе определения жирнокислотного состава была установлена разница в содержании жирных кислот полученных проб жира по суммарной площади пиков ЖК, так как объём пробы и способ пробоподготовки для всех вариантов были одинаковыми. Наиболее богатым ЖК оказался жир нерпы, вытопленный при высоких температурах: 130 ± 5 °C и 100 ± 5 °C (табл. 2).

Комплексный анализ данных, представленных в табл. 2, показывает, что при высокой температуре вытапливания достигается максимальный выход жира (более 90%), но жир характеризуется наихудшими органолептическими показателями и имеет признаки

окисления. Рациональным параметром получения жира из покровного сала тюленя является вытапливание его на водяной бане при температуре 80 ± 5 °C, что обеспечит выход не менее 86% и качественные органолептические характеристики.

По содержанию и составу ЖК жир нерпы разных видов является уникальным сырьём для создания биологически активной добавки к пище или же он может быть использован в качестве сырья в фармацевтическом и косметическом производствах, а также для технических целей [Аверина, 2003]. В жире нерпы, как видно из данных табл. 3, содержатся все три разновидности ЖК. В наибольшем количестве обнару-

Таблица 2. Физико-химическая характеристика жира нерпы, в зависимости от способа обработки сала

Выход и характеристика жира	Способ обработки сала нерпы			
	Температура окружающей среды, 20 ± 2 °C	Сушильный шкаф, 100 ± 5 °C	На водяной бане, 80 ± 5 °C	На плите, 130 ± 5 °C
Выход жира, % от общего содержания	55 ± 5	85 ± 5	88 ± 2	95 ± 1
Цвет	Прозрачный, желтый	Светло-коричневый прозрачный	Светло-коричневый, прозрачный	Коричневый, прозрачный
Запах	Слабый специфичный	Специфичный рыбный	Слабый специфичный	Специфичный рыбный с признаками окисления
Сумма ЖК*	$1,20 \pm 0,06$	$1,41 \pm 0,07$	$1,22 \pm 0,06$	$1,49 \pm 0,07$

Примечание: * – общее содержание ЖК оценивалось по сумме площадей пиков индивидуальных ЖК. Данные представлены как площадь пиков (в отн. ед. $\times 10^9$).

Таблица 3. Жирнокислотный состав липидов, выделенных из покровного сала нерпы

Название ЖК	Характеристика	Содержание, % от общей концентрации ЖК
цис-9-тетрадекановая кислота	ненасыщенная	$0,18 \pm 0,01$
цис-10-тетрадеценная кислота	ненасыщенная	$1,45 \pm 0,02$
Стеариновая кислота	насыщенная	$4,86 \pm 0,08$
Пентадекановая кислота	насыщенная	$7,70 \pm 0,12$
Тетрадекановая кислота	насыщенная	$0,62 \pm 0,01$
Пальмитиновая кислота	насыщенная	$8,72 \pm 0,14$
Стеариновая кислота	насыщенная	$4,86 \pm 0,08$
Тридекановая кислота	насыщенная	$5,83 \pm 0,09$
Гондоиновая кислота	омега-9	$4,68 \pm 0,07$
Олеиновая кислота	омега-9	$20,78 \pm 0,33$
Элаидиновая кислота	омега-9	$4,98 \pm 0,08$
Линоленовая кислота	омега-6	$1,13 \pm 0,01$
Арахидоновая кислота	омега-6	$1,64 \pm 0,03$
Линолевая кислота	омега-6	$5,89 \pm 0,09$
Эйкозодиеновая кислота	омега-6	$0,77 \pm 0,01$
α -Линоленовая кислота	омега-3	$4,32 \pm 0,07$
Эйкозатетраеновая кислота	омега-3	$2,06 \pm 0,03$
Эйкозопентаеновая кислота	омега-3	$9,21 \pm 0,15$

Название ЖК	Характеристика	Содержание, % от общей концентрации ЖК
Докозапентаеновая кислота	омега-3	5,50±0,09
Докозагексаеновая кислота	омега-3	9,69±0,15
∑ ненасыщенные (ПНЖК)		72,27±14,54
∑ насыщенные (НЖК)		27,73±5,58

жена олеиновая кислота (омега-9), которая проявляет онкопротекторные свойства [Рождественский, 2014].

Как видно из табл. 3, ПНЖК в 2,6 раза больше, чем НЖК. Наличие элаидиновой кислоты в жире нерпы, вероятно, можно объяснить тем, что она могла образоваться из олеиновой кислоты при температурном воздействии в процессе вытапливания жира [Аверина, 2003].

Жиры нерпы кольчатой содержат эйкозапентаеновую кислоту и докозагексаеновую кислоту, относящиеся к семейству омега-3 ПНЖК и играющие важную роль в строительстве мембран клеток и их функционировании. В связи с этим ПНЖК омега-3 являются жизненно необходимыми веществами для активной деятельности человека.

В прибрежных зонах территории Арктической Якутии нерпа кольчатая достаточно широко распространена и имеет промысловое значение. На основании установленного рекомендуемого вылова нерпы в 2020 г. [Новости рыболовства, 2021] (для нерпы моря Лаптевых в количестве 551 экз. (0,019 тыс. т), из которых можно получить не менее 180 кг высококачественного биологически ценного жира, очевидна необходимость организации промысла с целью её переработки).

При организации промысла и переработки нерпы в Якутии это направление может стать дополнительным источником дохода для охотников и местных общин. Поэтому восстановление промысла морских ластоногих для его комплексной переработки является производственной и социальной необходимостью. Проведённые исследования позволили нам подготовить технико-экономическое обоснование для создания промысла нерпы и её глубокой комплексной переработки на территории Арктической Якутии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании исследований соотношений масс хоровины к общей массе туши установлен средний выход хоровины из нерпы кольчатой, составляющий 38,5–44,4% от общей массы тела, что является показателем экономической эффективности заготовки жирового сырья и изготовления из него биологически активных добавок к пище (БАД).

Установлено, что суммарное содержание ПНЖК в жире нерпы составляет 72,27±14,54% от общей концентрации, НЖК – составляет 27,73±5,58%. Высокое содержание ПНЖК обуславливается рыбным рационом нерпы и экстремально долгими низкотемпературными сезонами года в Арктике. Этот же показатель ПНЖК обуславливает получение жира из покровного сала нерпы и его использование в качестве БАД.

ЛИТЕРАТУРА

- Аверина Е.С. 2003. Исследование жирнокислотного состава жира байкальской нерпы *Phoca (Pusa) sibirica* Gmel и разработка новых путей его применения. Дисс. ... канд. хим. наук. Улан-Удэ. СоРАН БИП. 149 с.
- Березкина М.М., Хлебный Е.С., Малтугуева М.Х. 2017. Особенности жирнокислотного состава подкожного жира нерпы кольчатой (акибы), добываемой на территории Якутии // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. № 4 (127). С. 152–158.
- Бодров В.А., Григорьев С.Н., Тверьянович В.А. 1985. Техника и технология обработки морских млекопитающих. М.: Пищепромиздат. 250 с.
- Боева Н.П., Петрова М.С., Баскакова Ю.А. 2017. Обоснование и разработка рациональных технологических параметров получения жира из покровного сала водных млекопитающих (тюленей) низкотемпературным способом // Труды ВНИРО. Т. 16. С. 188–196.
- Боева Н.П., Петрова М.С., Баскакова Ю.А. 2017. Показатели качества и биологическая ценность жиров морских млекопитающих // Труды ВНИРО. Т. 168. С. 198–208.
- Ершова М.М., Малтугуева М.Х. 2013. Некоторые качественные показатели мяса и жира нерпы в условиях Крайнего Севера // Инновации в науке. № 27. С. 77–82.
- Кизеветтер И.В., Макарова Т.И., Зайцев В.П., Миндер Л.П., Подсёвалов В.Н., Лагунов Л.Л. 1976. Технология обработки водного сырья. М.: Пищевая промышленность. 696 с.
- Лагунов Л.Л. 1950. Получение жиров водных животных с высоким содержанием витаминов. М.: Пищепромиздат. 72 с.
- Мошенский А.А., Владыкина Т.В. 2009. Основные результаты изучения медико-биологических аспектов пищевого использования морских млекопитающих отряда ластоногих // Тихоокеанский медицинский журнал. № 1. С. 67–79.
- Нечаев А.П., Траубенберг С.Е., Кочеткова А.А. 2003. Пищевая химия. 2-е изд. СПб.: ГИОРД. 640 с.

- Новости рыболовства*. Доступно через: https://fishnews.ru/_img/docs/1320/morskie.pdf 22.07.2021.
- Подкорытова А.В., Игнатова Т.А., Родина Т.В.* 2017. Пищевая и биологическая ценность мышечных тканей морских млекопитающих и их использование // Труды ВНИРО. Т. 168. С. 156–187.
- Привезенцев А.В.* 2001. К вопросу комплексной переработки каспийского тюленя // Мат. науч.-практ. конф. «Проблемы и перспективы развития аквакультуры в России». Краснодар: Изд-во КрасНИИРХ. С. 294–295.
- Ржавская Ф.М.* 1980. Состав и свойства липидов гидробионтов // Использование биологических ресурсов океана. М.: Наука, С. 189–210.
- Рождественский Д.А., Бокий В.А.* 2014. Клиническая фармакология омега-3 полиненасыщенных жирных кислот // Международные обзоры: клиническая практика и здоровье. № 3 (9). Доступно через: <https://cyberleninka.ru/article/n/klinicheskaya-farmakologiya-omega-3-polinenasyschennyh-zhirnyh-kislot> 22.07.2021.
- Рувиль В.С.* 2008. Морской зверобойный промысел – традиционный вид деятельности прибрежных территорий Севера // Вестник РАСХН. № 6. С. 18–19.
- Слапогузова З.В., Болтнев А.И., Абдурахманов А.Г., Вафина Л.Х.* 2016. Морские млекопитающие как сырье для производства пищевой продукции // Труды ВНИРО. Т. 159. С. 87–94.
- Шаповалова Е.Н., Пирогов А.В.* 2007. Хроматографические методы анализа. М.: МГУ. 109 с.
- Ullah R., Murphy B., Dorich B., Richter B., Srinivasan K.* 2011. Fat extraction from acid- and base-hydrolyzed food samples using accelerated solvent extraction // J. Agric. Food Chem. 59. Pp. 2169–2174.

*Поступила в редакцию 18.05.2021 г.
Принята после рецензии 01.09.2021 г.*

Scientific substantiation of obtaining lipids from the ringed seal fat under the conditions of fishing in the territory of Arctic Yakutia

*M.M Ershova*¹,
*A.V. Podkorytova*²

¹ Arctic State Technical University («AGATU») Yakutsk, Russia

² Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography («VNIRO»), Moscow, Russia

The article presents the problem of receiving and processing fat-containing raw materials from the covering fat of ringed seal (*Phoca hispida*) inhabiting the territory of Arctic Yakutia. The extreme weather and climatic conditions of Arctic Yakutia determine the high content of saturated and unsaturated fatty acids (PUFAs) in the covering fat of marine mammals. For the human body, these fatty acids are essential because PUFAs are local or tissue hormones that modulate the metabolism and activity of both the cell itself and its environment. A special feature of marine mammal and fish fat is the presence of PUFA acids with double bonds, which are not found in plant and animal lipids. Ringed seal is the most numerous and widespread type of marine animals on the territory of the Arctic Yakutia. The specific features of the chemical composition and bioactive properties of the seal blubber make it necessary to develop specific methods and technologies for fishing, harvesting and complex processing of this animal type in this territory. The duration of the season of negative temperatures (8 months a year) is a significant difficulty for commercial fishing of marine mammals in the territory of Yakutia. They were harvested only in the last century, but never on an industrial level. The seals were harvested for hides, fat and meat. Nowadays in Yakutia, the local population produces ringed seals by the piece, for personal purposes, and there is no commercial processing.

Keywords: ringed seal seals *Phoca hispida*, rawhide, fat, methods of receiving fat, fatty acid composition.

REFERENCES

- Averina E.S.* 2003. Issledovanie zhirkokislotojnogo sostava zhira bajkal'skoj nerpy *Phoca (Pusa) sibirica* Gmel i razrabotka novykh putej ego primeneniya [Investigation of fatty acid composition of Baikal seal fat *Phoca (Pusa) sibirica* Gmel and development of its application new ways]. Diss. ... kand. khim. nauk. Ulan-Udeh. SoRAN BIP. 149 s.
- Berezkina M.M., Khlebnij E.S., Maltugueva M. Kh.* 2017. Osobennosti zhirkokislotojnogo sostava podkozhnogo zhira nerpy kol'chatoj (akiby), dobyvaemoj na territorii Yakutii [Peculiarities of fatty acid composition of blubber fat of ringed seals (akiba) harvested in Yakutia] // Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. № 4 (127). S. 152–158.
- Bodrov V.A., Grigor'ev S.N., Tver'yanovich V.A.* 1985. Tekhnika i tekhnologiya obrabotki morskikh mlekopitayushchikh [Marine mammal processing techniques and technology]. M.: Pishchepromizdat. 250 s.
- Boeva N.P., Petrova M.S., Baskakova Yu.A.* 2017. Obosnovanie i razrabotka ratsional'nykh tekhnologicheskikh parametrov polucheniya zhira iz pokrovnogo sala vodnykh mlekopitayushchikh (tyulenej) nizkotemperaturnym sposobom [Justification and development of rational technological parameters for obtaining fat from the cover fat of aquatic mammals (seals) by low-temperature method] // Trudy VNIRO. T. 16. S. 188–196.
- Boeva N.P., Petrova M.S., Baskakova Yu.A.* 2017. Pokazateli kachestva i biologicheskaya tsennost' zhirov morskikh mlekopitayushchikh [Quality indicators and biological value of marine mammal fats] // Trudy VNIRO. T. 168. S.198–208.
- Ershova M.M., Maltugueva M. Kh.* 2013. Nekotorye kachestvennye pokazateli myasa i zhira nerpy v usloviyakh Krajnego Severa [Some quality indicators of seal meat and fat in the Far North conditions] // Innovatsii v nauke. № 27. S. 77–82.
- Kizevetter I.V., Makarova T.I., Zajtsev V.P., Minder L.P., Podsevalov V.N., Lagunov L.L.* 1976. Tekhnologiya obrabotki vodnogo syr'ya [Technology of water raw material processing]. M.: Pishchevaya promyshlennost'. 696 s.
- Lagunov L.L.* 1950. Poluchenie zhirov vodnykh zhivotnykh s vysokim sodержaniem vitaminov [Obtaining fats of aquatic animals with a high content of vitamins]. M.: Pishchepromizdat. 72 s.
- Moshenskij A.A., Vladykina T.V.* 2009. Osnovnye rezul'taty izucheniya mediko-biologicheskikh aspektov pishchevogo ispol'zovaniya morskikh mlekopitayushchikh otr'yada lastonogikh [The main results of medical and biological aspects study for the food use of marine mammals from the order of pinnipeds] // Tikhookeanskij meditsinskij zhurnal. № 1. S.67–79.

- Nechaev A.P., Traubenberg S.E., Kochetkova A.A.* 2003. Pishchevaya khimiya [Food chemistry]. 2-e izd. SPb.: GIORD. 640 s.
- Novosti rybolovstva* [Fishing News]. Accessible via: https://fishnews.ru/_img/docs/1320/morskie.pdf 22.07.2021.
- Podkorytova A.V., Ignatova T.A., Rodina T.V.* 2017. Pishchevaya i biologicheskaya tsennost' myshechnykh tkanej morskikh mlekopitayushchikh i ikh ispol'zovanie [Nutritional and biological value of marine mammal muscle tissues and their use] // *Trudy VNIRO*. T. 168. S. 156–187.
- Privezentsev A.V.* 2001. K voprosu kompleksnoj pererabotki kaspijskogo tyulenyia [On the issue of Caspian seal complex processing] // *Mat. nauch.-prakt. konf. «Problemy i perspektivy razvitiya akvakul'tury v Rossii»*. Krasnodar: Izd-vo KrasNIIRKH. S. 294–295.
- Rzhavskaya F.M.* 1980. Sostav i svojstva lipidov gidrobiontov [Composition and properties of hydrobiont lipids] // *Ispol'zovanie biologicheskikh resursov okeana*. M.: Nauka, S.189–210.
- Rozhdestvenskij D.A., Bokij V.A.* 2014. Klinicheskaya farmakologiya omega-3 polinenasyshchennykh zhirnykh kislot [Clinical pharmacology of omega-3 polyunsaturated fatty acids] // *Mezhdunarodnye obzory: klinicheskaya praktika i zdorov'e*. № 3 (9). Accessible via: <https://cyberleninka.ru/article/n/klinicheskaya-farmakologiya-omega-3-polinenasyshchennyh-zhirnyh-kislot> 22.07.2021.
- Ruvil' V.S.* 2008. Morskoj zverobojnyj promysel – traditsionnyj vid deyatel'nosti pribrezhnykh territorij Severa [Sea hunting is a traditional activity in the coastal areas of the North] // *Vestnik RASKHN*. № 6. S. 18–19.
- Slapoguzova Z.V., Boltnev A.I., Abdurakhmanov A.G., Vafina L.Kh.* 2016. Morskie mlekopitayushchie kak syr'e dlya proizvodstva pishchevoj produktsii [Marine mammals as raw materials for food production] // *Trudy VNIRO*. T. 159. S. 87–94.
- Shapovalova E.N., Pirogov A.V.* 2007. *Khromatograficheskie metody analiza* [Chromatographic methods of analysis]. M.: MGU. 109 s.
- Ullah R., Murphy B., Dorich B., Richter B., Srinivasan K.* 2011. Fat extraction from acid- and base-hydrolyzed food samples using accelerated solvent extraction // *J. Agric. Food Chem.* 59. P. 2169–2174.

TABLE CAPTIONS

Table 1. Indicators of seals by mass of carcasses and rawhide from 10 individuals, in kg

Table 2. Physical and chemical characteristics of seal lipids, depending on the method of processing fat

Table 3. Fatty acid composition of lipids isolated from the seal's sebum

Анализ цен рыбной продукции на внутрироссийском рынке

*К.В. Колончин,
О.И. Бетин,
Г.А. Волошин,
М.А. Горбунова*

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

E-mail: betin@vniro.ru

Проведён анализ механизма ценообразования на внутреннем рынке рыбной продукции Российской Федерации. Для этого использовались официальные данные, опубликованные Федеральной службой государственной статистики, о средних ценах на мороженую рыбу, доля которой составляет две трети всего внутреннего рынка продукции из водных биологических ресурсов. Рост цен на рыбную продукцию в рассматриваемом нами периоде (2016–2020 гг.) оказался в пределах инфляции (19,7%) и на уровне роста цен в целом продовольственной группы товаров. Сделана оценка устойчивости общероссийского внутреннего рынка рыбы и оптимизации цен на его продукцию. Произведена экспертная оценка долей участия производителей рыбной продукции, представителей оптового и розничного сегментов рынка в формировании цены. Определены уровни доходности от продажи каждого из них. Высказаны предложения по возможному дальнейшему развитию рыбохозяйственного комплекса Российской Федерации, в том числе источники финансирования и механизмы реализации.

Ключевые слова: внутрироссийский рынок рыбы и продукции из неё, цены, условия формирования цен, рентабельность, устойчивость рынка, финансовые институты развития, территориальные рыбные кластеры.

ВВЕДЕНИЕ

Россия входит в пятёрку крупнейших стран в мире по добыче (вылову) водных биоресурсов. Ежегодная добыча составляет порядка 5 млн т. Это огромный продовольственный ресурс. Однако, следует признать, что морская рыба и другие дары моря до настоящего времени не стали приоритетами в питании основной части населения страны. Хотя польза рыбы и морепродуктов для человека известны давно и без них невозможно внедрение здорового образа жизни. Они содержат все необходимые для здоровья питательные компоненты и отличаются высокой ценностью. Рыбные блюда широко используются не только в повседневном рационе, но и в детском и диетическом питании [Полезность рыбы ..., 2021].

Рыба – уникальный продукт, имея высокие пищевые качества, одновременно обладает не высокой энергетической ценностью. При её потреблении приобретать по весу необходимо больше, чем мяса, а деликатесные сорта имеют и большую стоимость. Но все это корректируется вкусами, привычками и покупательской возможностью.

Рекомендуемый Минздравом России объем потребления рыбных продуктов составляет 22 кг на человека в год. Этот нормативный уровень потребления

рыбной продукции закреплён Доктриной продовольственной безопасности как стратегический показатель развития рыбохозяйственного комплекса и социальной политики, проводимой государством [Указ Президента ..., 2020].

Рыба, как товарная категория, сложна в работе из-за коротких сроков хранения, высокой стоимости обработки по всей цепочке поставок до прилавка, а низкая логистическая доступность и сложности обеспечения широкого ассортимента рыб и морепродуктов дополнительно делают их дорогими [Выгодно ли торговать ..., 2021].

Интегральным индикатором уровня спроса и предложения, степени сбалансированности рынка может служить цена. Цена в условиях рыночных отношений приобретает важнейшее значение не только для всех участников производства, но и для потребителей рыбной продукции. Если ранее, в условиях плановой экономики, вплоть до начала 90-х годов прошлого века существовал директивный метод формирования цены и поставок произведённой продукции, то в результате реформ старая государственная административная система отраслевого управления стала неработающей и на её месте была законодательно закреплена принципиально новая система регулиро-

вания, соответствующая принципам рыночной экономики, которая не допускает прямого управления ценообразованием «сверху» и вообще деятельностью самостоятельных хозяйствующих субъектов.

Однако до сих пор в резолюциях профессиональных сообществ и ряде публикаций, посвящённых формированию цен на рыбу и изготовленную из неё продукцию, акцент делается на усиление административного ресурса со стороны государства, то есть на использование механизма, который уже давно не функционирует.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Цена на рыбную продукцию является сложной категорией для экономического анализа. Её величина и динамика зависят от множества факторов: экономического, природного, организационного и технического характера. Поэтому при разных условиях рыночные цены на рыбную продукцию могут иметь существенные отличия.

При проведении эмпирического исследования нами использовались показатели средних цен, публикуемых Росстатом, согласно действующему классификатору ОКПД2 [Приказ Росстандарта ..., 2014] на рыбу мороженую. Поскольку в структуре розничного потребления в нашей стране преобладает мороженая рыба, на долю которой приходится две трети ее общего потребления.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На причину установления высоких цен на рыбу мороженую существуют разные точки зрения. Так производители рыбной продукции [Эксперт рассказал ..., 2021] чаще всего высокие розничные цены и тщетность попыток их снижения связывают с большой цепочкой посредников в сфере реализации, что приводит к необоснованным наценкам и удорожанию про-

дукции. Представители же логистического звена и исследователи рынка [Выгодно ли торговать ..., 2021] считают, что отставание фактического потребления от рекомендованных норм при высокой добыче рыбы является следствием нарастающего дефицита сырья на внутреннем рынке из-за роста экспорта и дисбаланса цен на внутреннем и внешних рынках.

В противоположность им авторы системного анализа ёмкости и розничных цен на основе разработки модели развития внутреннего российского рынка рыбных товаров Рамазанов И.А. и Перельман М.А. [2018] пришли к выводу о том, что внутренний рынок рыбы и продуктов их переработки характеризуется не дефицитом предложений, а обострением конкуренции среди поставщиков продукции, которая усиливается более быстрыми темпами, чем темпы расширения ёмкости этого рынка. Причиной этого прежде всего являются сложившиеся устойчивые традиции потребления, которые не совпадают с научно обоснованными нормами потребления. По мнению этих авторов с 2012 года в целом в России установились устойчивые традиции потребления. В разрезе же регионов наблюдаются различные тенденции развития рынков, которые обусловлены отличиями традиций потребления, физической и ценовой доступностью продуктов и маркетинговыми усилиями участников рынка в конкретном регионе.

На рисунке представлены диаграммы изменения средних рыночных цен на рыбу мороженую: производителей, оптовые и розничные цены за 2016–2020 годы [Колончин и др., 2021]. Из него видно, что без учёта незначительных от года к году колебаний внутри рассматриваемого периода, все категории цен имеют общую тенденцию роста в пределах инфляции, которая за этот период составила 19,7%. В предшествующем периоде 2014–2017 годы динамика цен на рыбную продукцию была значительно выше, чем по

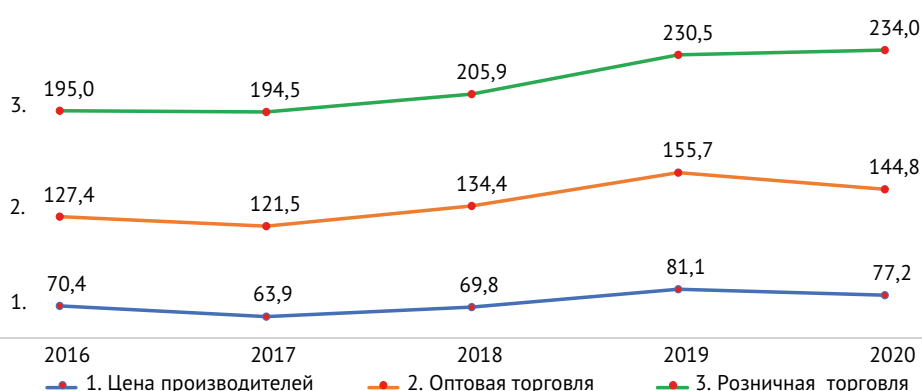


Рис. Динамика среднегодовых цен на рыбную продукцию по категориям (производители продукции, оптовая торговля и розничная торговля) в период 2016–2020 гг., руб./кг

всей продовольственной группе [Колончин, 2019]. Теперь они сравнялись и стали сопоставимы.

Из этого можно сделать вывод, что в целом общероссийский рынок мороженой продукции за последнее время стал достаточно стабильным, а принимаемые меры со стороны государства по минимизации влияния сезонного фактора и других системных проявлений стали давать отдачу. А там, где все же возникали резкие колебания рыночных цен, о чем в печати непременно возникала острая дискуссия, эти процессы в большей части носили локальный или временный характер. Данный вывод коррелируется с оценкой авторов [Рамазанов, Перельман, 2018] о том, что рынок рыбы и рыбной продукции в целом находится на стадии насыщения (мы бы добавили при сложившемся балансе цен и покупательской способности населения), а изменения в основном касаются региональных рынков.

В пользу стабилизации внутрироссийского рыбного рынка говорит и сформировавшаяся новая диспропорция динамики цен. Если ранее более высокие темпы были характерны для сферы производства, то теперь динамика цен в розничном секторе рынка стала выше их вдвое (таблица).

Это свидетельствует о том, что если в предшествующем периоде (2014–2017 гг.) основная конкуренция происходила за влияние в сфере производства, то по мере насыщения и стабилизации рынка борьба стала разворачиваться за сбыт, а главное, за покупателя, который становится хозяином положения со своими потребностями, запросами и традициями потребления. Этими процессами и будет определяться будущее внутреннего рынка рыбы и рыбной продукции в нашей стране.

Конечно, отмеченные изменения протекают во времени, на них сказывается влияние большого удельного веса экспортной продукции, которая сегодня составляет более 45% от общей добычи водных биологических ресурсов. Но с развитием ёмкости и ассортимента, ввода в строй действующих новых мощностей логистики и переработки внутренний рынок будет в состоянии не только обеспечить рекомендуемые среднестатистические нормы потребления рыбной продукции, но и значительно их превысить.

Отказ государства в ходе реформ 90-х годов прошлого столетия от прямого регулирования ценами на потребительском рынке продовольственной продукции привёл к разрыву партнёрских отношений между участниками рыбного рынка, которые были основаны на принципах административного управления. Формирование же новых рыночных отношений оказалось достаточно сложным и длительным процессом, незавершённым до настоящего времени. Поэтому вопросы объективного ценообразования на потребительском рынке рыбной продукции и долевого участия в цене каждого участника пропорционально его вклада в добавленную стоимость до сих пор являются предметом постоянных горячих дискуссий [Рамазанов, Перельман, 2018; Розничные цены ..., 2019; Балашов, 2021].

Для подкрепления своих позиций спорящие стороны не редко апеллируют к органам государственной власти, чтобы определить крайнего и наказать виновных. Чаще всего такие разборки сводятся к мифическим посредникам, накручивающим высокий процент доходности за счёт других. А организованные после этого проверки не приводят к снижению цены на глобальном внутреннем рыбном рынке страны.

Это ещё раз подтверждает, что в условиях рыночных отношений административное регулирование цен малоэффективно. А самое главное, что по мере стабилизации внутреннего рыбного рынка цены на продукцию, преодолев все противоречия разных интересов, достигают устойчивости и становятся сбалансированными. Естественно, цена динамичная категория, её величина изменяется под воздействием множества различных факторов [Эксперты подсчитали ..., 2019], но в условиях устойчивого рынка она всегда будет стремиться к минимизации и отвечать критериям оптимальности и баланса интересов всех участников рынка.

При сложившейся структуре внутреннего рынка мороженой рыбы, как следует из рисунка, роль и влияние каждой из участвующих на рынке заинтересованных групп в формировании цены примерно равны. Более наглядно это представлено в работе «Мониторинг цен на рыбу мороженую на внутреннем рынке. Анализ динамики, определение факторов изменения»

Таблица. Изменение среднегодовых цен на рыбную продукцию по категориям (производители продукции, оптовая торговля и розничная торговля)

Категория цены	Цены в 2020 г. (руб./кг)	Прирост цены за 2016–2020 гг.
Розничная	234,0	+ 20%
Оптовая	144,8	+ 13,7%
Производители	77,2	+ 9,7%

[Колончин и др., 2021]. Из этого вытекает и их равная совместная социальная ответственность за ценообразование, при всех внутренних противоречиях и сложностях партнёрских отношений.

В работе [Колончин и др., 2021] нами была произведена оценка доходности каждого участника при равных долях в формировании цены. Для этого была использована официальная бухгалтерская отчётность по полному кругу организаций в разделах рыболовство, оптовая и розничная торговля, а также данные о средних ценах на мороженую рыбу за 2016–2020 гг. Получено, что средняя прибыль на кг продукции в рассматриваемый период составила:

- производителя – 24,8 руб.;
- оптовой торговли – 3,6 руб.;
- розничной торговли – 8,2 руб.

На основании этих данных была произведена оценка уровня рентабельности, как отношение прибыли к затратам на производство продаж за период с 2016 по 2019 годы. Этот показатель составил для:

- производителя – 47,4%;
- оптовой торговли – 1,8%;
- розничной торговли – 3,3%.

Конечно, произведённые расчёты носят экспертный характер и могут быть недостаточно точны, но они подкрепляют выводы А.Г. Мнацаканяна и соавторов [Мнацаканян и др., 2021] об образовании в рыбохозяйственной отрасли, начиная с 2014 г. значительной избыточной прибыли, природа которой носит не производственный характер, причём существенная её часть, не менее 50%, образуется на внутреннем рынке России. Более того, по мнению авторов исследования использование этой прибыли не эффективно ни с точки зрения развития отрасли, ни с точки зрения влияния на общественное благосостояние.

Высокую рентабельность в рыбохозяйственном комплексе, которая выше, чем в других отраслях страны, чаще всего связывают с искусственно созданными преимуществами в виде государственных преференций и налоговых льгот. Поэтому для использования этих средств на развитие рыбохозяйственного комплекса обычно предлагается увеличить налоговые сборы, а собранные средства целевым образом направить для дополнительного финансирования программ социально-экономического развития.

Практика показала, что такие подходы не дают должной отдачи. Кроме того, в рыбодобыче среди предприятий действует сложная внутренняя схема распределения доходов. Росстатом отмечается, что при высокой доходности в целом в рассматриваемом нами периоде, 23–27% рыбодобывающих предприятий от их общего количества работали с убытками от

продаж своей продукции, что в 1,5–2 раза больше, чем среди предприятий оптового звена и розничной торговли, имеющих гораздо более низкую рентабельность. Все это в совокупности с большим влиянием на конечные финансовые результаты экспорта и «серых» финансовых схем позволят достаточно свободно уходить от дополнительной фискальной нагрузки.

В качестве альтернативного более эффективного подхода предлагается создание действенных стимулов для вложения свободных средств предприятий рыбного комплекса в конкретные объекты и программы, а также предусмотреть непосредственное участие собственников этих средств в реализации проектов. К сожалению, в рыбохозяйственном комплексе на сегодня не получили широкого развития финансовые структуры, которые бы могли выступить в качестве институтов развития: аккумуляции свободных средств предприятий, привлечения стороннего капитала, эмиссии ценных бумаг, организации проектного финансирования, по опыту, например, строительной или других отраслей.

Учитывая, что добывающие и рыбоперерабатывающие предприятия рассредоточены по всей стране в основном в виде малых и средних предприятий, в качестве таких базовых финансовых структур для этих целей наиболее подходят системные банки, такие как профильный Россельхозбанк или Сбер. По экспертной оценке Россельхозбанка, прозвучавшей на пленарной сессии IV Международного рыбопромышленного форума в Санкт-Петербурге в сентябре текущего года, потребность в инвестициях в рыбопромышленный комплекс на ближайшие пять лет составляет порядка 500 млрд рублей. Перспективные направления – переработка, логистика, аквакультура. Так, только для доведения возможностей по переработке до 80% уловов необходимо не менее 70 млрд рублей, считают эксперты банка.

Большую перспективу может дать также активное взаимодействие с институтами развития ВЭБ РФ, которые занимаются инфраструктурными проектами общероссийского значения. Предполагаемый общий объем инвестиций согласно подписанным ВЭБом на Восточном экономическом форуме соглашениям о реализации инвестиционных проектов по комплексному развитию рыбной логистики оценивается в 52 млрд рублей. Новая инфраструктура должна упростить доступ продукции на внутренний российский рынок. Кроме того, формирование цельных логистических цепочек с соблюдением температурных режимов позволит повысить качество товаров.

В качестве конкретных механизмов можно было бы также рассмотреть возможность использования

инфраструктурных государственных облигаций, апробация которых в текущем году проходит при строительстве инженерных и социальных объектов в регионах.

В этом случае совсем другие результаты можно было бы ожидать от территориальных рыбопромышленных кластеров при переориентации их финансового механизма на инвестиционное развитие необходимых производственных и инфраструктурных объектов и привлечение свободных средств. Общий анализ структуры и механизма функционирования ныне существующих кластеров в рыбохозяйственном комплексе был дан нами ранее в статье [Колончин и др., 2021].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При анализе внутреннего российского рынка рыбы в качестве критерия использовались уровень и динамика цен на мороженую рыбу за последние пять лет (2016–2020 гг.). Сделан вывод о стабилизации в целом общероссийского рынка рыбы и перемещения центра конкуренции между его участниками из производственной сферы в сферу услуг, борьбу за покупателя, чьи запросы, потребности и традиции потребления станут вектором будущего развития всех рыночных отношений.

Показано, что в условиях стабильного рынка цены, преодолевая противоречивость интересов его участников, стремятся к минимизации, достигая в ходе этого оптимального равновесия.

В ходе исследования было установлено, что при примерно равных долях в конечной цене продукции всех групп участников рынка: производителей, оптовой и розничной торговли, они имеют отличающийся в разы уровень прибыльности от продажи рыбы.

Предложено для привлечения свободных средств рыбодобывающих предприятий и внешних инвесторов на развитие рыбохозяйственного комплекса рассмотреть возможности задействования финансовых структур, которые могли бы стать институтами развития, используя для этих целей механизмы рыночной экономики.

ЛИТЕРАТУРА

- Балашов В. 2021. Рыбный стол от правительства России. Доступно через: https://iarex.ru/articles/800009.html?utm_source=smm-lj. 09.07.2021.
- Выгодно ли торговать рыбой – требования к продаже. Доступно через: <https://www.retail.ru/articles/ryba-problemnaya-i-pribylnaya/>. 15.07.2021
- Данные ЕМИСС–Средние цены производителей промышленных товаров. Средние потребительские цены на товары и услуги; Доступно через: <https://www.fedstat.ru/indicator/57606>; <https://www.fedstat.ru/indicator/31448>. 03.06.2021.
- Колончин К.В. 2019. Научные основы формирования ценовой политики на рынке рыбной продукции // Пищевая промышленность. № 6. С. 40–44
- Колончин К.В., Бетин О.И., Волошин Г.А. 2021. Государственные меры по развитию рыбохозяйственного комплекса Российской Федерации. Политика кластеризации. Потенциал развития рыбопромышленных кластеров в Азово-Черноморском бассейне полуострова Крым // Труды ВНИРО. Т. 183. С. 113–126.
- Колончин К.В., Бетин О.И., Волошин Г.А., Горбунова М.А. 2021. Мониторинг цен на рыбу мороженую на внутреннем рынке. Анализ динамики, определение факторов изменения // Вопросы рыболовства. Т. 22. № 3. С. 97–110.
- Мнацаканян А.Г., Карлов А.М., Кузин В.Н., Харин А.Г. 2021. О некоторых особенностях развития российского рыбного хозяйства в 2010–2019 гг. // Труды ВНИРО. Т. 183. С. 127–139.
- Приказ Росстандарта от 31.01.2014 г. № 14-ст «О принятии и введении в действие Общероссийского классификатора видов экономической деятельности (ОКВЭД2) ОК 029–2014 (КДЕС Ред.2) и Общероссийского классификатора продукции по видам экономической деятельности (ОКПД2) ОК 034–2014 (КПЕС 2008)» Доступно через: <https://www.law.ru/npd/doc/docid/58209/modid/97>. 10.06.2021.
- Полезность рыбы в питании человека. Доступно через: <http://04.rospotrebnadzor.ru/index.php/san-nadzor/2015-10-01-05-48-10/11989-19022020>. 12.06.2021.
- Рамазанов И.А., Перельман М.А. 2018. Прогнозирование ёмкости и розничных цен на российском В2С рынке рыбных товаров // Российское предпринимательство. Т. 19. № 3. С. 825–840.
- Распоряжение Правительства РФ от 26 ноября 2019 г. № 2798-р «Об утверждении стратегии развития рыбохозяйственного комплекса РФ на период до 2030 г. и плана мероприятий по её реализации». Доступно через: <http://government.ru/docs/38448/>. 15.06.2021.
- Розничные цены на рыбу не снижаются из-за цепочки посредников и квот на вылов. 2019. Доступно через: <https://www.fishnet.ru/news/rynok/85460.html>. 21.06.2021.
- Указ Президента РФ от 21 января 2020 г. № 20 «Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации». Доступно через: <https://mcx.gov.ru/upload/iblock/3e5/3e5941f295a77fdcfed2014f82ecf37f.pdf>. 15.06.2021.
- Эксперт рассказал, кто накручивает цены на рыбу // Российская газета. 15.12.2020. Доступно через: <https://rg.ru/2020/12/15/ekspert-rasskazal-kto-nakruchivaet-ceny-na-rybu.html>. 05.07.2021.
- Эксперты подсчитали, как вырастут цены на рыбную продукцию. 2019. Доступно через: <https://konkurent.ru/article/22219>. 27.05.2021 г.

Поступила в редакцию 14.09.2021 г.
Принята после рецензии 02.10.2021 г.

Analysis of prices of fish frozen on the domestic market

*K.V. Kolonchin,
O.I. Betin,
G.A. Voloshin,
M.A. Gorbunova*

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

The analysis of the pricing mechanism in the domestic market of fish products of the Russian Federation is carried out. To do this, we used official data published by the Federal State Statistics Service on average prices for frozen fish, which accounts for two-thirds of the entire domestic market for products from aquatic biological resources. The growth in prices for fish products in the period under review (2016–2020) was within the inflation (19.7%) and at the level of the growth in prices for the food group as a whole. An assessment is made of the stability of the all-Russian domestic fish market and the optimization of prices for its products. An expert assessment of the shares of participation of manufacturers of fish products, representatives of the wholesale and retail market segments in the formation of prices was carried out. The levels of profitability from the sale of each of them have been determined. Suggestions were made on the possible further development of the fishery complex of the Russian Federation, including sources of financing and implementation mechanisms.

Keywords: domestic Russian market of fish products, prices, conditions of price formation, profitability, market stability, financial development institutions, territorial fish clusters.

REFERENCES

- Balashov V.* 2021. Fish table from the Russian government. Accessible via: https://iarex.ru/articles/80009.html?utm_source=smm-lj. 09.07.2021 g.
- Is it profitable to trade fish – requirements for sale.* Accessible via: <https://www.retail.ru/articles/ryba-problemnaya-i-pribyl'naya/>. 15.07.2021.
- Dannye EMISS – Average prices of manufacturers of industrial goods. Average consumer prices for goods and services;* Accessible via: <https://www.fedstat.ru/indicator/57606>; <https://www.fedstat.ru/indicator/31448>. 03.06.2021.
- Kolonchin K.V.* 2019. Scientific basis for the formation of pricing policy in the market of fish products // *Pishchevaya promyshlennost'*. № 6. S. 40–44
- Kolonchin K.V., Betin O.I., Voloshin G.A.* 2021. Gosudarstvennye mery po razvitiyu rybokhozyajstvennogo kompleksa Rossijskoj Federatsii. Politika klasterizatsii. Potentsial razvitiya rybopromyshlennykh klasterov v Azovo-Chernomorskom bassejne poluostrova Krym [State measures for the development of the fisheries complex of the Russian Federation. Clustering policy. Development potential of fishing clusters in the Azov-Black Sea basin of the Crimean Peninsula] // *Trudy VNIRO*. T. 183. S. 113–126.
- Kolonchin K.V., Betin O.I., Voloshin G.A., Gorbunova M.A.* 2021. Monitoring of prices for frozen fish in the domestic market. Dynamics analysis, determination the factors of change // *Fishing issues*. T. 22. № 3. P. 97–110.
- Mnatsakanyan A.G., Karlov A.M., Kuzin V.N., Kharin A.G.* 2021. O nekotorykh osobennostyakh razvitiya rossijskogo rybnogo khozyajstva v 2010–2019 gg. [Some features of the development of Russian fisheries in 2010–2019] // *Trudy VNIRO*. T. 183. S. 127–139.
- Order of Rosstandart.* January 31, 2014 № 14-st “On the adoption and implementation of the All-Russian Classifier of Economic Activities (OKVED2) OK 029–2014 (NACE Rev. 2) and the All-Russian Classifier of Products by Types of Economic Activity (OKPD2) OK 034–2014 (CPA 2008)”. Accessible via: <https://www.law.ru/npd/doc/docid/58209/modid/97>. 10.06.2021.
- The usefulness of fish in human nutrition.* Accessible via: <http://04.rospotrebnadzor.ru/index.php/san-nadzor/2015-10-01-05-48-10/11989-19022020>. 12.06.2021.
- Ramazanov I.A., Perel'man M.A.* 2018. Forecasting capacity and retail prices in the Russian B2c fish market // *Rossijskoe predprinimatel'stvo*. T. 19. № 3. S. 825–840.
- Rasporyazhenie Pravitel'stva RF* November, 26 2019 g. № 2798-r Forecasting capacity and retail prices in the Russian B2c fish market. Accessible via: <http://government.ru/docs/38448/> 15.06.2021.
- Fish retail prices are not reduced due to the chain of intermediaries and catch quotas.* 2019. Accessible via: <https://www.fishnet.ru/news/rynok/85460.html>. 21.06.2021.
- Decree of the President of the Russian Federation* of January 21, 2020 No. 20 “On the approval of the Doctrine of

food security of the Russian Federation.” Accessible via: <https://mcx.gov.ru/upload/iblock/3e5/3e5941f295a77fdcfed2014f82ecf37f.pdf>. 15.06.2021.

The expert told who cheats the fish prices // Rossiyskaya Gazeta. // Rossijskaya gazeta. 15.12.2020. Accessible via: <https://rg.ru/2020/12/15/ekspert-rasskazal-kto-nakruchivaet-ceny-na-rybu.html>. 05.07.2021.

Experts have calculated how the prices for fish products will rise. 2019. Accessible via: <https://konkurent.ru/article/22219>. 27.05.2021.

TABLE CAPTIONS

Table. Change in average annual prices for fish products by category (producers of products, wholesale and retail trade).

FIGURE CAPTIONS

Fig. 1. Dynamics of average annual fish products prices by category (producers of products, wholesale and retail trade) in the period 2016–2020, RUB/kg.

Перспективы товарного выращивания лососевых на Европейском Севере России

М.А. Александрова

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

E-mail: alexmarina@bk.ru

Рассмотрено мировое развитие аквакультуры на примере 10 стран и России. С помощью метода экстраполяции выявлена динамика развития товарного рыбоводства в Российской Федерации. Проанализирована инвестиционная привлекательность развития аквакультуры на Европейском Севере России (на примере предприятия ООО «Русское море – Аквакультура»). Приведены объёмы выращивания Атлантического лосося в мире и в России. Проанализировано производство товарной рыбы по субъектам Российской Федерации за 2020 год. Представлен аквафонд внутренних водоёмов и прибрежных акваторий морей России, в том числе территории Северо-Западного федерального округа, – потенциал для ускоренного развития аквакультуры. Раскрыта политика импортозамещения и помощь государства как важного стимулирующего фактора развития аквакультуры Европейского Севера России. Среди полученных результатов можно выделить следующие: обоснованы факторы, снижающие экономическую эффективность выращивания и реализации продукции лососевых; раскрыты причины болезней лососей на Европейском Севере России; представлен анализ влияния развития товарного выращивания Атлантического лосося на импортозамещение; выявлен уровень воздействия садкового выращивания рыбы на экологию и на генофонд природных популяций лососевых. Особое внимание уделено экономической эффективности кормов.

Ключевые слова: Европейский Север России, атлантический лосось, аквакультура, импортозамещение, инвестиционная привлекательность, динамика и перспективы развития, генетическое модифицирование.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время мировое потребление рыбы в мире на душу населения неуклонно растёт и достигнет 21,2 кг в 2030 г. по сравнению со средним показателем в 20,5 кг в 2018–2020 гг., в ближайшем будущем ожидается рост ещё больше, но темпы роста замедлятся по сравнению с предыдущим десятилетием до 0,4% в год против 1,1%.

Потребление рыбы на душу населения растёт в Азии, Европе и Америке, но на континенте с самым быстрорастущим населением – в Африке снижается. Мировое население приближается к 10 млрд человек, при этом формируется негативная тенденция – растёт число людей, страдающих от недоедания и неполноценного питания.

Сегодня перед мировым сообществом поставлена задача – обеспечить продовольствием 9,7 млрд людей к 2050 г. Для достижения этой задачи следует учитывать влияние следующих факторов: климатические изменения, экономическая и финансовая неста-

бильность, растущая конкуренция за природные ресурсы. В 2015 г. государства – члены ООН утвердили повестку дня в области устойчивого развития на период до 2030 г. При этом в долгосрочной программе, утвержденной членами ООН, поставлены задачи в отношении вклада рыболовства и производства аквакультуры в обеспечении продовольственной безопасности, полноценного питания населения с учётом требований устойчивого развития с экономической, социальной и экологической точек зрения.

Большое значение в обеспечении продовольственной безопасности имеет рыбная продукция. Эффективное управление рыболовством и наблюдаемое в течение ряда лет устойчивое развитие аквакультуры поддерживают развитие этих тенденций. Объём мирового производства рыбы (вылов и аквакультура) к 2030 г. должен увеличиться на 12,8% по сравнению с 2020 г. – до 201 млн т (по оценкам ФАО).

Согласно докладу «Состояние мирового рыболовства и аквакультуры» (СОФИЯ) к 2030 г. совокупный

объём производства рыбы вырастет до 204 млн тонн, будет расти и доля аквакультуры, которая в настоящее время достигла 46%.

Удельный вес товарного производства в общем объёме поставок рыбной продукции после 1995 г. увеличился более чем в два раза. Доля продукции аквакультуры в общем объёме добытых и произведённых водных биоресурсов Китая на 2018 г. (по данным Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН) составляет порядка 76,5%.

Общепризнано, что рыба, продукция рыболовства и рыбоводства являются одними из наиболее диетических продуктов питания на нашей планете, наименее воздействующими на природную среду, поэтому им следует уделять весомую роль в стратегии продовольственной безопасности.

Рыба — источник необходимых для здоровья человека элементов: легкоусвояемый белок, микроэлементы (железо, цинк, кальций, фосфор и др.), витамины групп А, В, Д, Е, но самое ценное в рыбе — жир, который состоит из полиненасыщенных жирных кислот (омега 3 и омега 6), и полностью усваивается организмом.

В период пандемии рыба остаётся важнейшим источником животного белка, микроэлементов и жирных кислот омега 3 для населения с заболеваниями или нарушениями сердечно-сосудистой системы, органов внутренней секреции и пищеварения, и, главным образом, используется для поддержания иммунитета.

Состояние мировых запасов водных биологических ресурсов характеризуется следующими данными: 7% — опустошены; 17% — чрезмерно разработаны; 52% — практически полностью использованы; 1% — находится на восстановлении. Эксперты ФАО считают, что невозможно увеличивать объёмы промысла в ближайшем будущем, а продолжение добычи

в существующих объёмах приведёт к серьёзным биологическим и экономическим последствиям для рыболовства в целом [Александрова, 2017].

Российские рыбодобывающие компании ведут промысел в 200-мильных зонах иностранных государств на основании международных соглашений и договоров в области рыболовства и за пределами данной зоны в открытых районах Мирового океана, а также в рыболовной зоне России и внутренних водоёмах.

Несмотря на то, что запасы морских промысловых гидробионтов отечественной 200-мильной экономической зоны находятся в напряжённом состоянии и по отдельным популяциям они подорваны, существуют потенциальные возможности, реализуемые при соответствующем управлении и контроле над промыслом, позволяющие ещё пока российскому промысловому флоту добывать ежегодно около 5 млн т водных биоресурсов.

Необходимо обратить внимание на тот факт, что в ходе производственных процессов аквакультура использует кормовые ресурсы намного эффективнее, чем при выращивании говядины (в 4,5 раза) и свинины (в 2,8 раза) [Васильев, Александрова, 2021].

По оценке ФАО ООН, аквакультура в мировом рыбном хозяйстве — один из надёжных источников обеспечения населения рыбной продукцией и одна из самых быстрорастущих отраслей производства продовольствия.

Доля аквакультуры в объёмах мирового производства продукции из гидробионтов постоянно расширяется. Последнее время за рубежом морская аквакультура характеризуется как стремительно развивающаяся отрасль производства.

Приоритетное внимание необходимо уделять развитию аквакультуры в Африке и других регионах, где в связи со значительным ростом населения продовольственные системы окажутся в наиболее сложном положении. Универсальных путей решения проблемы обеспечения продовольственной безопасности нет, но можно с уверенностью констатировать тот факт, что для наращивания продовольствия, обеспечения доступа к нему и улучшения положения в области питания населения потребуются инновационные решения.

В странах с большей численностью населения, таких как страны Юго-Восточной Азии сосредоточено основное производство товарного выращивания рыбы и других водных объектов, их доля в общем производстве аквакультуры (по данным 2018 г.) составляет 88,69%, в том числе Китая — 57,9% (рис. 2, табл. 1) [Ежегодник ФАО, 2018].

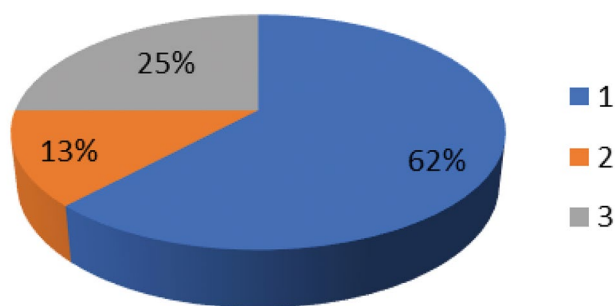


Рис. 1. Распределение улова по зонам, в %: 1 — 200-мильные прибрежные воды зарубежных государств; 2 — рыболовная зона РФ; 3 — открытая часть океана за пределами 200-мильных прибрежных вод зарубежных государств

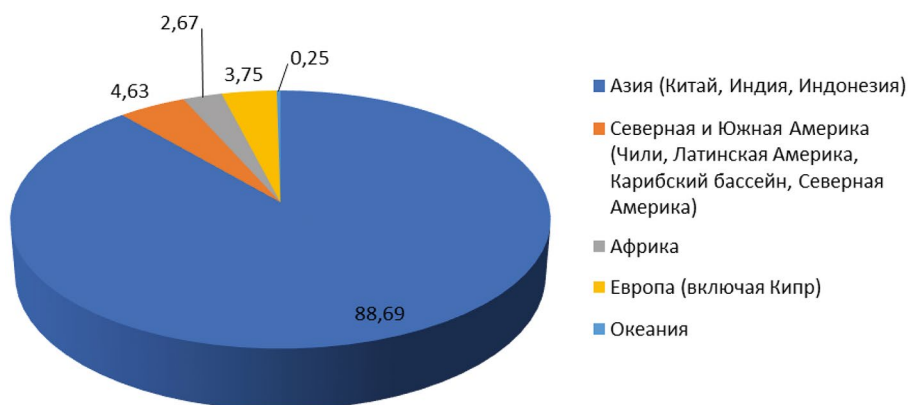


Рис. 2. Производство рыбы в аквакультуре по основным производителям в 2018 г. (% от мирового объёма)

Таблица 1. Производство рыбы в аквакультуре по основным производителям, тыс. т [Ежегодник ФАО, 2018]

Регионы/отдельные страны	2005 год	2010 год	2015 год	2018 год
Азия (за вычетом Кипра)	39185,9	51228,8	64591,8	72812,2
Китай (континентальный)	28120,7	35513,4	43748,2	47559,1
Индия	2967,4	3785,8	5262,0	7066,0
Индонезия	1197,1	2304,8	4342,5	5426,9
Азия, остальные страны	6600,8	9624,7	11241,2	12760,1
Северная и Южная Америка	2176,9	2514,6	3274,7	3799,2
Чили	723,9	701,1	1045,8	1266,1
Латинская Америка и Карибский бассейн, остальные страны	784,5	1154,5	1615,5	1873,6
Северная Америка	668,5	659,0	613,4	659,6
Африка	646,4	1285,8	1777,6	2195,9
Европа (включая Кипр)	2137,3	2527,0	2948,6	3082,6
Норвегия	661,9	1019,8	1380,8	1354,9
Страны – члены Европейского союза	1272,4	1263,3	1263,7	1364,4
Европа, остальные страны	203,1	243,9	304,0	363,2
Океания	151,5	187,8	178,5	205,3
Россия	115,1	121,1	154,1	204,0
Весь мир	44298,0	57743,9	72771,3	82095,1

Производство аквакультуры Европы составляет 1,2% (по объёму) и около 3% (по стоимости) от мирового производства.

Страны Северной Америки (США и Канада), как и Россия, обладают значительным водным фондом, большими запасами водных биологических ресурсов, но производство аквакультуры в сравнении с мировым производством по объёмному показателю характеризуется как незначительное (0,8% – страны Северной Америки) и (0,2% – Россия). Правительство стран Европы, Северной Америки и России первостепенное значение придают экологическим проблемам природопользования, но и их влиянию на здоровье человека. В США долгое время товарное производство и упо-

ребление в пищу генномодифицированной рыбы было запрещено. Так, например, в Канаде до 2023 г. будут закрыты 17 предприятий товарного выращивания, а в Шотландии потребительская организация SumOfus собрала 40 тысяч подписей под обращением к правительству с требованием установить контроль над предприятиями аквакультуры по выращиванию лососей [Васильев, Александрова, 2021].

Современное состояние аквакультуры в мире и в России

Россия располагает значительным потенциалом для ускоренного развития аквакультуры – крупнейшим в мире аквафондом внутренних водоёмов

и прибрежных акваторий морей. В состав рыбохозяйственного фонда внутренних пресноводных водоёмов России включены 22,5 млн га озёр, 4,3 млн га водохранилищ, 0,96 млн га сельскохозяйственных водоёмов косвенного назначения, 142,9 млн га прудов и 523 млн км рек. Большим фондом рыбохозяйственных водоёмов располагают такие федеральные округа как Сибирский (7516,6 тыс. га), Северо-Западный (650,4 тыс. га), Уральский (6270,4 тыс. га), но для товарного выращивания рыбы используется только около 110 тыс. га прудов [Мировое производство ..., 2020].

Протяжённая линия морского побережья России составляет около 60 тыс. км, площадь морских акваторий в Чёрном, Каспийском, Баренцевом, Белом, Азовском и дальневосточных морях, пригодная для размещения комплексов аквакультуры, составляет всего около 0,38 млн км², современная площадь акваторий, используемая для выращивания морских биоресурсов, не превышает 25 тыс. га.

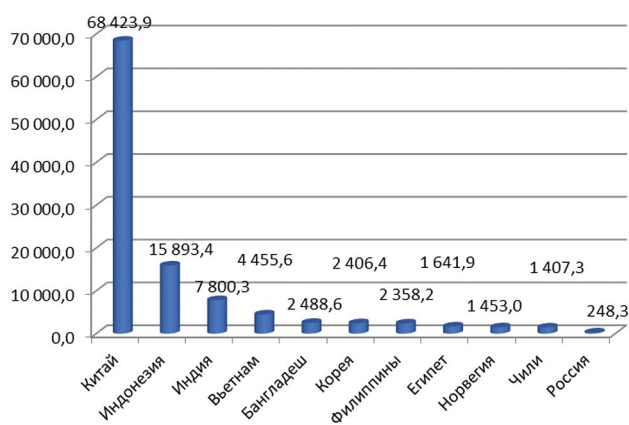


Рис. 3. Мировое развитие аквакультуры, тыс. т (на примере 10 стран и России) [Мировое производство ..., 2021]

Но при этом по производству продукции аквакультуры наша страна занимает 26-е место в мире (по данным ФАО ООН), то есть Россия значительно отстаёт по развитию товарного рыбоводства даже от тех стран, которые не имеют выхода к морю. Доля аквакультуры в объёмах мирового производства продукции из гидробионтов постоянно расширяется. Последнее время за рубежом морская аквакультура характеризуется как стремительно развивающаяся отрасль производства. В настоящее время развитием товарного рыбоводства занимаются 196 стран (рис. 3).

Большое внимание развитию товарного рыбоводства уделяет Правительство Российской Федерации, и планирует с его помощью не только повысить участие рыбной отрасли в выполнении Доктрины продовольственной безопасности, а также уменьшить остроту проблемы высоких цен на рыбную продукцию. Анализ развития производства продукции рыбоводства в России с 2010 по 2020 гг. выявил положительную динамику – наблюдается устойчивый рост. Выявленная тенденция развития производства продукции аквакультуры в России за период 2010–2020 гг. с помощью метода экстраполяции представлена на рис. 4.

В период с 2010 по 2020 гг. рост объёма производства продукции аквакультуры не только сохранился, но и продолжает расти. Общий объём производства продукции аквакультуры в России составил в 2020 г. 291,2 тыс. т, что на 170,2 тыс. т или 41,6% больше, чем в 2010 г. Продукция рыбоводства в общем объёме товарной рыбной продукции составляла 4,7%. При этом на лососевые рыбы в общем объёме выращивания приходится 36,0%, на карповые – 42,0%. Объём продукции (из карповых) снизился в 2020 г. на 19,0%, а лососевых – повысился на 8,0% (по сравнению с 2018 г.) [Мировое производство ..., 2021].

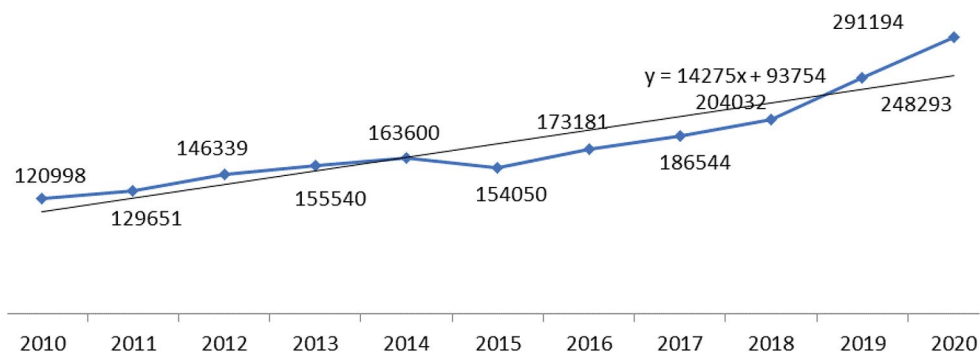


Рис. 4. Динамика объёма российского производства продукции товарного рыбоводства (включая рыбопосадочный материал) за 2010–2020 гг., т

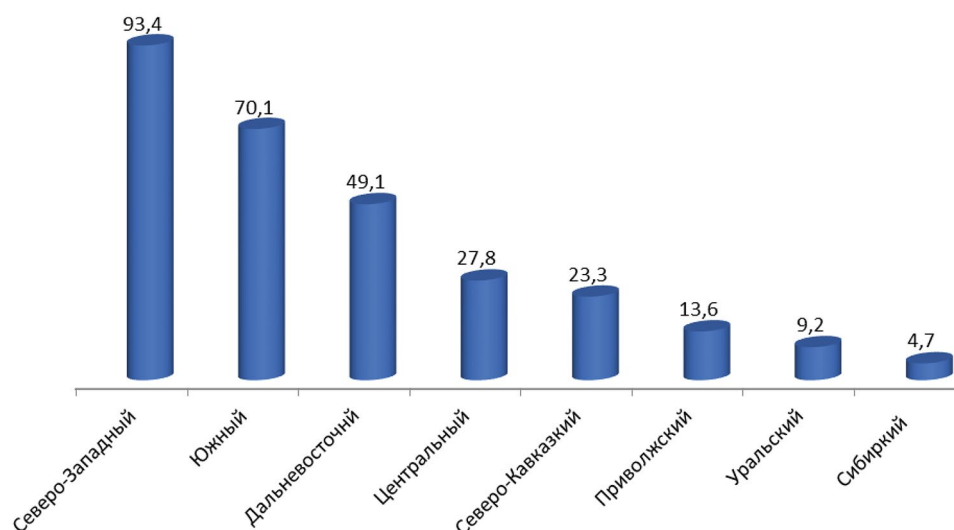


Рис. 5. Производство товарной рыбы по субъектам Российской Федерации за 2020 г., тыс. т

По объёмам выращивания рыбы в 2020 г. ведущее место занимают следующие федеральные округа: Северо-Западный (32%), Южный (24%), Дальневосточный (16%), Центральный (9,5%), Северо-Кавказский (8%).

Лидерами по товарному рыбоводству в стране являются Северо-Западный, Южный, Дальневосточный федеральные округа, на долю которых приходится свыше 73% всего производства продукции отрасли (рис. 5).

Развитие аквакультуры лососевых на Европейском Севере России: современное состояние и перспективы

Для территории Северо-Западного федерального округа характерны следующие особенности: огромный водный потенциал, уникальные озёрно-речные системы, значительная протяжённость нерестовых рек, обильный видовой состав и качественное богатство ихтиофауны, что предоставляет возможность для развития различных направлений рыбного хозяйства (промысла, воспроизводства, аквакультуры).

Одной из актуальных проблем Европейского Севера России является сохранение качества водной среды и её биоресурсов. По некоторым оценкам, для акваторий Северо-Западного федерального округа характерны следующие параметры: площадь озёр и водохранилищ – 72 тыс. км², количество озёр – 422 тыс. единиц, рек – 245 тыс. единиц, протяжённость рек 803 тыс. км, акватории Белого моря – 90 тыс. км², акватория Баренцева моря – 30 тыс. км².

В Северо-Западном федеральном округе, в основном в Мурманской области (52,4 тыс. т) и в Карелии (26,5 тыс. т), в 2020 г. было произведено 78,9 тыс. т

аквакультурной товарной продукции (84,4% от общего объёма выращивания).

Морская аквакультура является фактором, стимулирующим деятельность рыбохозяйственного комплекса страны, способствующим получению дополнительной рыбной продукции и восполняющим промысловые ресурсы морей.

Продолжает своё развитие Российско-Норвежское сотрудничество в научно-исследовательской сфере в области аквакультуры, стороны уделяют повышенное внимание потенциальному воздействию аквакультуры на экосистему, здоровье рыб и снижение распространения инвазий и эпизоотий. Сотрудничество способствует обмену отраслевым опытом и передаче знаний в рамках Смешанная Российско-Норвежской комиссии по экономическому, промышленному и научно-техническому сотрудничеству. Мурманский государственный технический университет и Университет Нурланда успешно продолжают проект по подготовке кадров по аквакультуре.

Успешно развивается в Норвегии российский бизнес в области аквакультуры лососевых (не далеко от Киркенеса), где предприятие «KirkenesCharr» уже много лет производит до 120 т арктического гольца (*Salvelinus alpinus*) в год. Этому предприятию товарного выращивания рыбы уже на втором году работы было присвоено звание «Лучший продукт Норвегии». Предприятие «KirkenesCharr» было инвестировано российскими предпринимателями, но в настоящее время акционерами являются российские, норвежские и финские бизнесмены. Выращивают арктического гольца в общих наземных зелёных резервуарах в потоке ледяной воды, которая поступает из горного озера естественным путём покрывает тело рыбы вместе с есте-

ственной слизи, обеспечивая защиту гидробионту от инфекции и паразитов. Устройство резервуаров позволяет рыбе постоянно находиться в движении.

По мнению рыбоводов, арктический голец — это рыба экологически чистая и очень жизнеспособная сама по себе, требующая мало корма. Забой этой рыбы происходит особенно: рыба голодает 14 дней (жесткая диета позволяет получить очень мускулистую и здоровую рыбу), что способствует очищению её организма и повышению качества продукции [Терехин, 1984; Михайлеченко, 1992; Журавлёва, 2005; Анохина, 2012; Макаревич и др., 2018].

Выращиваемый на предприятии «KirkenesCharr» арктический голец поставляется на российский рынок. Данный представитель гидробионтов практически не наносит вреда окружающей среде.

В настоящее время это совместное предприятие российских, финских и норвежских инвесторов приобрело международную известность — стало лауреатом многих международных конкурсов и примером регионального сотрудничества в Баренцрегионе.

Руководство предприятия планирует его расширение — открытие ещё одного предприятия не только в Киркенесе, но и в Мурманске. Ценят этот экологически чистый продукт и в России — наши покупатели готовы платить за него более высокую цену (стоимость его в России (20 евро), выше, чем в Норвегии (15 евро)).

Рыбоводы находятся в постоянном поиске, на предприятии постоянно проводятся научно-исследовательские работы, фирма сотрудничает со многими научно-исследовательскими институтами и университетами, так, например, с университетом Тромсе.

Проводятся исследования по влиянию освещённости на скорость выращивания рыбы и ряд других [Siikavuorio, 2009; Gunnarsson, 2012; Jeuthe, 2013]. Результаты исследования по рыбопродуктивности арктического гольца свидетельствуют, что после моделирования зимних световых условий увеличение времени освещения может повысить продуктивность данного гидробионта для выращивания на 25–30%. Таким образом, большое внимание необходимо уделять световому режиму выращивания рыбы.

Проведённые исследования выявили улучшение роста арктического гольца в результате увеличения потребления корма и повышения эффективности конверсии корма за период после перевода из короткого фотопериода на непрерывный свет [Gunnarsson, 2012].

Ведутся исследования по врождённому и приобретённому иммунитету, в том числе по адаптивной иммунной реакции организма арктического гольца на бактериальную инфекцию [Schwenteit, 2013].

В 1980 г. в России впервые проводили на рыбноводном заводе «Имандра» Европейского Севера России выращивание озёрной формы арктического гольца от оплодотворённой икры до формирования маточного стада рыб, полученные результаты характеризовались как положительные, но индустриального внедрения данная разработка не получила [Терехин, 1984].

Разработаны рекомендации по выращиванию озёрной формы арктического гольца, усовершенствована биотехника инкубации икры, содержания и подращивания личинок [Михайличенко, 1992].

Существуют определённые трудности при выращивании гольца, несмотря на то, что данный вид обладает способностью расти в ледяной воде, что представляет уникальную возможность его товарного выращивания на Европейском Севере России, темпы роста невысокие — для достижения половой зрелости требуется до 30 месяцев [Черницкий, 1987; Анохина, 2012].

Вклад учёных академических и отраслевых институтов в развитие аквакультуры лососевых Европейского Севера России

Одна из важнейших задач аквакультуры заключается в искусственном воспроизводстве ценных видов рыб в Российской Федерации, выполнение которой началось с середины XX столетия — периода интенсивного гидростроительства, который изменил среду обитания многих видов рыб, в том числе условия размножения и роста молоди [Бурлаченко, Яхонтова, 2015]. В большей степени это коснулось осетровых, лососевых и других ценных видов рыб.

Обширные знания биологии сёмги и радужной форели в различные периоды жизни делают их основными и наиболее перспективными видами индустриальной аквакультуры Европейского Севера России. Рыбоводы Европейского Севера России имеют полувековой опыт разведения данных видов рыб, учёные академических и отраслевых институтов выполнили большое число разработок, способствующих совершенствованию рыбноводного процесса и повышению жизнестойкости получаемой молоди. Большое число широкомасштабных исследований, направленных на решение проблемы товарного выращивания сёмги и других лососевых, проводилось сотрудниками Полярного филиала ФГБНУ «ВНИРО» в районах Тюва-губы, губы Чупа, Княжая, Палкина, Пильская, прибрежных водах Белого моря) и Мурманского биологического института в Восточном Мурмане (пос. Дальние Зеленцы). Результаты и выводы проведённых работ способствуют увеличению продуктивности маточного стада, улучшению биотехники пастбищного и то-

варного лососеводства [Журавлёва, 2005; Воробьёва, Карасева, 2021].

На Европейском Севере России продолжает работать научно-консультативный центр по вопросам аквакультуры, созданный ранее на базе Полярного филиала ФГБНУ «ВНИРО», в котором сотрудниками института проводятся научные консультации для рыбоводов предприятий товарного выращивания по широкому кругу биотехнических вопросов, болезней рыб, рыбным кормам и сохранению безопасного состояния акваторий рыбоводных хозяйств [Воробьёва, Карасева, 2021].

В 1958 г. на базе ПИНРО для изучения особенностей акклиматизации лососевых (горбуши) в бассейнах Белого и Баренцева морей была создана лаборатория акклиматизации и воспроизводства, которая и положила начало исследованиям по проблемам искусственного воспроизводства ценных видов рыб. Сотрудниками лаборатории проводилось культивирование норвежского лосося в специализированных условиях Западного Мурмана, полученные результаты демонстрируют несостоятельность практики ведения рыбоводного бизнеса на основе импортного посадочного материала и необходимость организации собственного производства товарного атлантического лосося (качественного смолта, адаптированного к гидрологическим условиям побережья Баренцева моря России) [Анохина, Винокуровов, 2014].

В лаборатории болезней промысловых гидробионтов проводят разработку методов и средств диагностики, профилактики и лечения болезней объектов аквакультуры, достигнуты определённые успехи [Карасев, 1997; 2003; Митенев 1997; 1999; 2000; 2003; Воробьёва, Карасева, 2021].

В рамках ихтиопатологических исследований учёными Полярного филиала ФГБНУ «ВНИРО» ежегодно проводится мониторинг внешней патологии морских рыб и беспозвоночных с целью своевременного выявления заболеваний, которые представляют угрозу промысловым популяциям гидробионтов. По результатам мониторинга сотрудниками института сформирована и ежегодно пополняется база данных «Патология рыб морей Северного Ледовитого океана и Северо-Восточной Атлантики».

Произведена оценка влияния рыбоводных ферм на экологическую ситуацию рыбопромысловых водоемов [Воробьёва, Карасева, 2021].

Результаты исследований в области развития аквакультуры Европейского Севера России нашли отражение в многочисленных публикациях, нормативных документах, диссертационных работах сотрудников [Митенёв, 1997; 1999; 2000; 2003; Карасёв, 1997; Воробьёва, Карасёва, 2021].

Инвестиционная привлекательность развития аквакультуры Европейского Севера России

Интерес к аквакультуре растёт не только в научно-исследовательской сфере, но и среди инвесторов. Проанализируем инвестиционную привлекательность развития аквакультуры Мурманской области на примере предприятия ООО «Русское море – Аквакультура». Перспективность развития аквакультуры в Мурманской области демонстрируют инвестиционные показатели предприятия:

1. Чистая текущая стоимость (*NPV*):

Итоговое значение чистого дисконтированного денежного потока – это показатель *NPV* или то количество денег, которое планируется получить по достижении горизонта планирования с учётом временного фактора. Данный показатель рассчитывается по формуле:

$$NPV = \sum_{n=1}^n (CF_n * \frac{1}{(1+i)^n}) - I_0,$$

где *CF_n* – чистый доход; *i* – проектная ставка дисконтирования; *n* – год реализации проекта; *I₀* – первоначальные инвестиционные затраты.

NPV характеризует конечный результат инвестирования в денежном выражении и определяется как разница между суммой чистого дохода, полученного при реализации проекта, приведённого к текущей стоимости путём дисконтирования, и инвестиционным затратам по нему.

Расчёт конечного значения чистой текущей стоимости:

$$NPV = 366698000 * \frac{1}{(1+0,137)^1} + 140000000 * \frac{1}{(1+0,137)^1} + 452030000 * \frac{1}{(1+0,137)^1} + 498220000 * \frac{1}{(1+0,137)^1} - 1200000000 = 45303067,17.$$

В данном проекте *NPV* равен 45303067,17 руб. Положительное значение показывает, что вызываемый инвестициями денежный поток в течение всей экономической жизни проекта превысит первоначальные капитальные вложения, обеспечит необходимый уровень доходности на вложенные фонды и увеличение рыночной стоимости.

2. Внутренняя норма доходности (*IRR*):

Внутренняя норма доходности – это такая ставка дисконтирования, при которой чистая текущая стоимость проекта (*NPV*) равна нулю.

Данный показатель находится методом интерполяции (подбора) по формуле:

$$IRR = i_1 + \frac{NPV(i_1)}{NPV(i_1) - NPV(i_2)} * (i_2 - i_1),$$

где i_1 и i_2 – ставки дисконтирования.

Для нахождения внутренней нормы доходности используют те же методы, что и для чистой текущей стоимости, но вместо дисконтирования потоков наличности при заданной минимальной норме процента определяют такую её величину, при которой чистая текущая стоимость равна нулю. Значения NPV при различных ставках приведены в табл. 2.

Таблица 2. Значения NPV при различных ставках дисконта

NPV	10,0	152112586,6
NPV	11,0	121837142,2
NPV	12,0	92632260,81
NPV	13,0	64448765,97
NPV	14,0	37240209,21
NPV	15,0	10962694,24
NPV	16,0	-14425286
NPV	17,0	-38963000,4

Таким образом, чистая текущая стоимость имеет положительное значение 10962694,24 при ставке 15% и отрицательное значение -14425286 при ставке 16%.

Рассчитаем значение IRR по формуле:

$$IRR = 15 + \frac{10962694,24}{10962694,24 - (-14425286)} * (16 - 15) = 15,432\%.$$

Внутренняя норма доходности сравнивается с проектной ставкой дисконтирования: чем больше разница между ними, тем меньший уровень риска имеет проект. Анализируя полученный показатель IRR , можно сделать вывод о том, что проект не является рисковым, поскольку значение внутренней нормы доходности превышает проектную ставку дисконтирования ($15,432 > 13,7$)

3. Индекс рентабельности (PI):

Метод расчёта индекса рентабельности является производным от метода расчёта NPV . Данный метод характеризует отдачу каждого инвестированного рубля. Для расчёта индекса рентабельности применяется формула:

$$PI = \frac{\sum_{n=1}^N CF_n * \left(\frac{1}{(1+i)^n} \right)}{I_0},$$

где CF_n – чистый доход; i – проектная ставка дисконтирования; n – год реализации проекта; I_0 – первоначальные инвестиционные затраты.

Подставив следующие значения получим:

$$PI = \frac{366698000 * \frac{1}{(1+0,137)^1} + 410000000 * \frac{1}{(1+0,137)^2} + 452030000 * \frac{1}{(1+0,137)^3} + 498220000 * \frac{1}{(1+0,137)^4}}{1200000000} = 1,038.$$

Поскольку индекс рентабельности больше единицы, проект считается рентабельным.

Значения этих показателей свидетельствуют о выгодном вложении инвестора в предприятие ООО «РМ-аквакультура». Инвестиционные показатели предприятия отражают основную тенденцию финансового состояния и направления развития предприятий аквакультуры на Европейском Севере России.

По мнению специалистов, одна из основных причин большого внимания инвесторов к товарному выращиванию лососевых рыб в мире и России – высокий уровень экономической эффективности. Операционная рентабельность садковой системы для выращивания атлантического лосося составляет около 40%, рентабельность инвестиций – 18%, окупаемость 5–6 лет [Сравнение экономики ..., 2016].

Индустриальная аквакультура генетически модифицированного атлантического лосося на Европейском Севере России: проблемы, перспективы

В настоящее время Мурманская область – это единственный регион Европейского Севера России, где выращивают генетически модифицированного атлантического лосося (ГМ-лосось). Объёмы мирового производства данного аквакультурного объекта представлены в табл. 3.

Представленные данные (табл. 3) свидетельствуют, что основным производителем Атлантического ГМ-лосося в мире является Норвегия. Её доля в общем объёме выращивания 2019 г. составляла 52,5%.

В Мурманской области выращиванием Атлантического ГМ-лосося занимаются только две компании: «Русский лосось» и «Русская аквакультура».

Политика импортозамещения и помощь государства – важные стимулирующие факторы для развития аквакультуры на Европейском Севере России, в том числе лососевых рыб. Стратегией развития рыбохо-

Таблица 3. Аквакультура атлантического лосося, тыс. т

Страна	2017 год	2018 год	2019 год
Норвегия	1236,3	1282,0	1364,0
Чили	614,2	661,1	702,1
Великобритания	189,7	166,0	190,5
Канада	120,5	123,5	118,6
Фарерские острова	86,8	78,9	95,0
Австралия	52,6	61,2	57,1
Россия	13,0	20,6	32,3
США	14,7	16,1	16,5,5
Исландия	11,3	13,4	27,1
Ирландия	18,3	12,0	11,3
Прочие	1,16	1,09	1,7
ВСЕГО	2358,6	2435,9	2599,7

зйственнного комплекса Российской Федерации предусмотрено увеличение объёма производства продукции аквакультуры к 2030 г. – до 618 тыс. т (планируется увеличение почти в 3 раза).

Мурманская область благодарна Правительству России за увеличение объёма средств, выделяемых региону на развитие аквакультуры, объём субсидий на 2021–2022 гг. составил 146141,7 тыс. рублей, что на 5,3 % больше выделенных средств в 2020 г. (138819,9 тыс. руб.) [Федеральный закон ..., 2021]. Ставится вопрос о возмещении капитальных затрат на товарную аквакультуру в размере от 25 до 30% сметной стоимости [Вовченко, 2012].

На экономическую эффективность выращивания атлантического лосося влияет ряд факторов, главный из которых – использование высококачественных кормов на основе рыбной муки и жира. Кормовой коэффициент при выращивании ГМ-лосося зависит от вида корма и ряда других причин и измеряется от 0,6 до 1,4. Качество и цены отечественных кормов не удовлетворяют рыбоводов, поэтому они чаще предпочитают использовать зарубежные корма. В целом, зависимость рыбных кормов от импорта составляет 69% (по оценке ассоциации «Росрыбхоз») [Овчинников и др., 2018].

Для придания мясу лососей естественного цвета их кормят красителями как натурального, так и синтетического происхождения – кантаксантином, которые пагубно влияют на зрение человека [Arrowsmith, Marks, 1989]. Пигмент является необходимым для эмбрионального развития лососей, обеспечивая выживаемость мальков. В природе каротиноиды попадают в тело рыб также с кормом, так как организм самой рыбы его не вырабатывает.

На снижение экономической эффективности выращивания ГМ-лосося влияют так же болезни рыб,

лечение которых ведётся с помощью антибиотиков, и такая продукция аквакультуры поступает в продажу.

На Европейском Севере России процесс развития садкового выращивания лососевых находится на начальном этапе и в течение последних лет аквакультура не получала планируемого развития.

Серьёзное опасение вызывает корм для рыб, содержащий полихлорированные дифенилы (ПХД). Проведённые исследования свидетельствуют, что уровень ПХД в мясе искусственно выращенного лосося был заметно выше, чем у диких особей. Данные токсичные вещества могут накапливаться в организме гидробионтов и некоторые из них могут нарушать нормальное функционирование нервной, иммунной и репродуктивной систем [White, Birnbaum, 2009].

Генетически модифицированный лосось растёт круглый год из-за введённого гормона роста и достигает необходимых размеров за 16–18 месяцев. Исследования свидетельствуют, что использование рекомбинантного гормона у живых организмов может потенциально способствовать развитию рака. Результаты многочисленных исследований свидетельствуют, что ГМ-продукция может вызвать проблемы с почками, печенью и поджелудочной железой, репродуктивные проблемы и негативно повлиять на кровообращение и иммунитет [Кузнецов, Куликов, 2005].

Влияние аквакультуры на природную среду очень велико. Основное негативное воздействие аквакультуры на дикие виды выражается в распространение опасных вирусов, бактерий и паразитов; в появлении в природных водоёмах чужеродных видов рыб (их выпуск), что может привести к межвидовой конкуренции; в появлении в водоёмах отдалённых популяций, что возможно будет способствовать «генетическому загрязнению».

Россия располагает большими запасами лососевых видов рыб, и промысловая добыча диких лососей обеспечит спрос на эти ценные водные биологические ресурсы. Решаются вопросы увеличения поставок рыбной продукции с Дальнего Востока в Европейскую часть России. Предполагается, что с увеличением объёмов перевозок рыбопродукции морским путём тарифы будут снижены, что даст возможность уменьшить цены на рыбную продукцию [Васильев, Александрова, 2021].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Россия обладает значительным водным фондом, большими запасами водных биологических ресурсов, но производство аквакультуры в сравнении с мировым производством по объёмному показателю характеризуется как незначительное (0,2%). Наша страна

значительно отстаёт от мирового уровня рыбоводства и это правильно, так как у нас не осваиваются промысловые запасы дикой рыбы. С помощью метода экстраполяции выявленная тенденция развития производства продукции аквакультуры в Российской Федерации указывает на неуклонный рост.

Территория Кольского п-ова имеет огромный водный потенциал для развития аквакультуры, но температура природных вод Мурманской области несколько ниже, чем в Карелии и Северной Норвегии. По мнению рыбоводов при более низкой температуре расход кормов (основная статья расходов при искусственном воспроизводстве водных биологических ресурсов) увеличивается, и себестоимость продукции товарного выращивания возрастает. В связи с этим развитие товарного выращивания некоторых объектов водных биологических ресурсов (арктический голец) перемещается с Кольского п-ова на территории Карелии и Северной Норвегии (Киркенес).

Несмотря на раскрытые в статье серьёзные опасения по поводу выращивания и потребления Атлантического ГМ-лосося в мире и в России, существует спрос на него. Выявлена возможность обеспечения полного импортозамещения лососевой продукции, поступающей ранее из Норвегии, совместными поставками на российский рынок продукции с предприятий товарного выращивания Европейского Севера России и Дальнего Востока с помощью водного транспорта по Северному морскому пути (СПМ).

По расчётам экономистов ВНИРО, несмотря на сравнительно низкие цены закупки отечественных кормов, по сравнению с зарубежными, экономическая эффективность их значительно ниже, чем зарубежных.

Значения инвестиционных показателей предприятий подтвердили инвестиционную привлекательность развития аквакультуры Европейского Севера России, в связи с этим академическим и отраслевым институтам в тесном сотрудничестве с рыбоводами аквакультурных хозяйств необходимо продолжить широкомасштабные исследования по развитию товарного выращивания ценных видов водных биологических ресурсов на этой территории.

ЛИТЕРАТУРА

- Агеев А.В. 2018. Состояние и перспективы мирового и отечественного производства кормов для объектов аквакультуры, производства и потребления рыбной муки // Рыбное хозяйство. № 5. С. 81–85.
- Аквакультура в Европе: Экономический обзор. 2019. Доступно через: <https://fishretail.ru/news/akvakultura-v-evrope-ekonomicheskij-obzor-401293>. 25.12.2020.
- Александрова М.А. 2017. К вопросу об обеспечении продовольственной безопасности страны // Экономика и предпринимательство. № 4–1 (81). С. 231–237.
- Алексеев А. 2019. Какую пользу приносит и какой вред наносит выращивание лосося // Коммерсантъ. 24.08.2019. Доступно через: fishnet.ru/news/aquaculture_news/86112.html.
- Алексеев М.Ю., Зубченко А.В. 2017. Причины депрессивного состояния стада Атлантического лосося (сёмги) реки Варзуга (Кольский полуостров) // Учёные записки Петрозаводского государственного университета. № 2 (163). С. 16–23.
- Анохина В.С. 2012. Рыбоводно-биологическая оценка заводского выращивания гольца озёрного на предприятиях Мурманской области // Вестник МГТУ, Т. 15, № 3, с. 493–504.
- Анохина В.С., Виноградов А.С. 2014. Культивирование норвежского лосося в специфических условиях Западного Мурмана // Рыбное хозяйство. № 5. С. 80–85.
- Бурлаченко И.В., Яхонтова И.В. 2015. Рыбоводные технологии в искусственном воспроизводстве: современное состояние, проблемы, решения // Труды ВНИРО. Т. 153. С. 137–153.
- Васильев А.М., Александрова М.А. 2021. Проблемы и перспективы развития марикультуры Атлантического лосося в Российской Арктике // Север и Арктика. № 43. С. 5–18.
- Вовченко Е. 2012. Эксперты расходятся в оценках перспектив строительства лососевых рыбопроизводных заводов на Сахалине. Доступно через: <https://ecosakh.ru/2012/04/13/rybackaya-gazeta-za-aprel-2012-g-statya-e-vovchenko>. 17.12.2020.
- Воробьев В.В., Проскура Д.Ю. 2018. Основа развития промышленной марикультуры — эффективная комплексная переработка культивируемых гидробионтов // Рыбное хозяйство. № 1. С. 87–91.
- Воробьева И.К., Карасева Т.А. 2021. Аквакультура // ПИНРО. Путь к столетию. / Сост. Л.И. Пестрикова; отв. ред. В.А. Мухин. Изд. 2-е, перераб. и доп. Мурманск: ПИНРО им. Н.М. Книповича. С. 172–180.
- Глобальный голод продолжает расти, говорится в новом докладе ООН. 2018. Доступно через: <https://ru.wfp.org/news/globalnyy-golod-prodolzhaet-rastigovoritsya-v-novom-doklade-oon>. 27.08.2021.
- Журавлёва Н.Г. 2005. Академическая наука — лососеводству Мурмана // Рыбное хозяйство. № 2. С. 66–67.
- Ежегодник ФАО по статистике рыболовства и аквакультуры. 2018. Доступно через: <http://www.fao.org/fishery/statistics/yearbook/en>. 03.01.2021.
- Корма для рыбы: современные решения. 2015. // Рыбная сфера. № 2 (13). Доступно через: https://www.fishnet.ru/news/aquaculture_news/49525.html. 24.08.2021.
- Кузнецов В.В., Куликов А.М. 2005. Генетически модифицированные организмы и полученные из них продукты: реальные и потенциальные риски // Российский химический журнал. Т. 49. № 4. С. 70–83.
- Карасёв А.Б. 2003. Каталог паразитов рыб Баренцева моря. Мурманск: Изд-во ПИНРО. 149 с.

- Макаревич П.Р., Облучинская Е.Д., Дворецкий А.Г., Журавлёва Н.Г. 2018. Современные тенденции развития и культивирования нетрадиционных объектов аквакультуры (арктический голец, камчатский краб, морской ёж) и технологии переработки гиробионтов // Вестник МГТУ. Т. 21. № 2. С. 355–370.
- Митенёв В.К., Карасёв А.Б. 1997. Паразиты лососевых рыб Мурманской области. Мурманск: Изд-во ПИНРО. 65 с.
- Митенёв В.К., Шульман Б.С. 1999. Паразиты рыб водоёмов Мурманской области. Мурманск: Изд-во ПИНРО. 73 с.
- Митенёв В.К. 2000. Паразиты карповых рыб *Cyprinidae* Кольского Севера (фауна, экология, зоогеография). Мурманск: Изд-во ПИНРО. 84 с.
- Митенёв В.К. 2003. Паразиты сиговых рыб Кольского Севера (фауна, экология, зоогеография). Мурманск: Изд-во ПИНРО. 135 с.
- Михайленко В.Г. 1992. Разведение арктического гольца: Рекомендации по разведению озёрной формы арктического гольца. Апатиты: КНЦ РАН. 44 с.
- Мировое производство аквакультуры (по материалам ФАО). 2020. Статистический сборник. М.: ВНИРО. 193 с.
- Мировое производство рыбной продукции (по материалам ФАО). 2021. Статистический сборник. М.: ВНИРО. 274 с.
- Никандров В.Я., Павлисов А.А., Шиндавина Н.И., Лукин А.А., Голод В.М., Липатова М.И. 2018. Арктический голец – перспективный объект аквакультуры Севера России // Арктика: Экология и экономика. № 3 (31). С. 137–142.
- Норвежский лосось в 5 раз вреднее и токсичнее, чем любые другие продукты, – утверждают экологи. 2015. Доступно через: <https://roscontrol.com/journal/news/norvegskiy-losos-v-5-raz-vrednee-i-toksichnee-chem-lyubie-drugie-produkti-utvergdayut-ekologi/>. 26.08.2021.
- Овчинников А.С., Скоков Р.Ю., Сейдалиев Т.А., Петрухина Л.С., Уланов Е.В. 2018. Управление эффективным импортозамещением кормов в отечественном рыбном хозяйстве // Рыбное хозяйство. № 6. С. 67–71.
- Распоряжение Правительства РФ от 26 ноября 2019 г. № 2798-р «Об утверждении стратегии развития рыбохозяйственного комплекса РФ на период до 2030 г. и плана мероприятий по её реализации». Доступно через: <http://government.ru/docs/38448/>. 25.08.2021.
- Регулярным перевозкам рыбы по Севморпути помогут субсидии и загрузка обратных рейсов. 2020. Доступно через: <https://tass.ru/ekonomika/8542475>. 26.08.2021.
- Сравнение экономики и экологичности моделей с установкой замкнутого водоснабжения (УЗВ) и садковой системы для выращивания Атлантического лосося. 2016. Доступно через: <https://aquavitro.org/2016/04/23/sravnenie-ekonomiki-i-ekologichnosti-modelej-uzv-i-sadkovej-sistemy-dlya-vyrashhivaniya-atlanticheskogo-lososya/>. 25.08.2021.
- Терехин Ю.В. 1984. Рекомендации по искусственному разведению гольцов на рыбноводном заводе «Имандра» Мурманской области. Мурманск: ПИНРО. 10 с.
- Федеральный закон от 02.12.2019. № 380-ФЗ «О федеральном бюджете на 2020 год и на плановый период 2021 и 2022 годов». Доступно через: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_339305/26.08.21
- Черницкий А.Г., Матишов Г.Г., Ермолаев В.В. 1987. Возможность использования арктического гольца для товарного лососеводства в Баренцевом море. Апатиты: Кольский филиал АН СССР. 37 с.
- Arrowsmith P.N., Marks R.G. 1989. Visual, refractive and keratometric results of radial keratotomy. Five-year follow up // Arch. Ophthalmol, V. 107 (4). pp. 506–511.
- Gunnarsson S., Imsland A.K., Siikavuopio S.I., Árnason J., Gústavsson A., Thorarensen H. 2012. Enhanced growth of farmed Arctic charr (*Salvelinus alpinus*) following a short-day photoperiod // Aquaculture. V. 350–353. P. 75–81.
- Jeuthe H., Brännäs E., Nilsson J. 2013. Effects of egg size, maternal age and temperature on egg, viability of farmed Arctic charr // Aquaculture. V. 408–409. pp. 70–77.
- Schwenteit J.M., Breithaupt A., Teifke J.P., Koppang E.O., Bornscheuer U.T, Fischer U., Gudmundsdottir B.K. 2013. Innate and adaptive immune responses of Arctic charr (*Salvelinus alpinus*, L.) during infection with *Aeromonas salmonicida* subsp. *Achromogenes* and the effect of the AsaP1 toxin // Fish Shellfish Immunology. V. 35. Is. 3. pp. 866–873.
- Siikavuopio, S.I. Sæther B.-S., Skybakmoen S., Uhlig C., Haugland E. 2009. Effects of a simulated short winter period on growth in wild caught Arctic charr (*Salvelinus alpinus* L.) held in culture // Aquaculture. V. 287. pp. 431–434.
- White S.S., Birnbaum L.S. 2009. An Overview of the Effects of Dioxins and Dioxin-Like Compounds on Vertebrates, as Documented in Human and Ecological Epidemiology // J. of Environmental Science and Health. Part C. Environmental Carcinogenesis and Ecotoxicology Reviews. V. 27. pp. 197–211.

Поступила в редакцию 17.09.2021 г.
Принята после рецензии 11.10.2021 г.

Prospects for commercial salmon farming in the European North of Russia

M.A. Aleksandrova

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

The world development of aquaculture is disclosed on the example of 10 countries and Russia. Using the extrapolation method, the dynamics of the development of commercial fish farming in the Russian Federation has been revealed. The investment attractiveness of the development of aquaculture in the European North of Russia is analyzed (by the example of the enterprise LLC «Russian Sea – Aquaculture»). The volume of Atlantic salmon cultivation in the world and in Russia is given. The production of marketable fish in the constituent entities of the Russian Federation for 2020 is analyzed. The water fund of inland water bodies and coastal waters of the seas of Russia, including the territory of the North-West Federal District, is presented – the potential for the accelerated development of aquaculture. The policy of import substitution and government assistance are disclosed as an important stimulating factor in the development of aquaculture. European North of Russia. Among the results obtained, the following can be distinguished: the factors that reduce the economic efficiency of growing and selling salmon products have been substantiated; the causes of salmon diseases in the European North of Russia are revealed, and an analysis of the impact of the development of commercial farming of Atlantic salmon on import substitution is presented, and the level of impact of cage farming on the ecology and on the gene pool of natural salmon populations is revealed. Particular attention is paid to the economic efficiency of feed.

Keywords: European North of Russia, Atlantic salmon, aquaculture, import substitution, investment attractiveness, dynamics and development prospects, genetic modification.

REFERENCES

- Ageev A.V. 2018. Sostoyanie i perspektivy mirovogo i otechestvennogo proizvodstva kormov dlya ob'ektov akvakul'tury, proizvodstva i potrebleniya rybnoj muki [State and prospects of world and domestic production of feed for aquaculture facilities, production and consumption of fish meal] // *Rybnoe khozyajstvo*. № 5. S. 81–85.
- Akvakul'tura v Evrope: ehkonomicheskij obzor [Aquaculture in Europe: an economic overview]. 2019. Accessible via: <https://fishretail.ru/news/akvakultura-v-evrope-ekonomicheskij-obzor-401293>. 25.12.2020.
- Aleksandrova M.A. 2017. K voprosu ob obespechenii prodovol'stvennoj bezopasnosti strany [On the issue of ensuring the country's food security] // *Ehkonomika i predprinimatel'stvo*. № 4–1 (81). S. 231–237
- Alekseev A. 2019. Kakuyu pol'zu prinosit i kakoj vred nanosit vyrashchivanie lososya // *Kommersant*. 24.08.2019. Accessible via: fishnet.ru/news/aquaculture_news/86112.html.
- Alekseev M. Yu., Zubchenko A.V. 2017. Prichiny depressivnogo sostoyaniya stada Atlanticheskogo lososya (semgi) reki Varzuga (Kol'skij poluostrov) [Reasons for the depressive state of the Atlantic salmon (salmon) herd of the Varzuga River (Kola Peninsula)] // *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta*. № 2 (163). S. 16–23
- Anokhina V.S. 2012. Rybovodno-biologicheskaya otsenka zavodskogo vyrashchivaniya gol'tsa ozernogo na predpriyatiyakh Murmanskoy oblasti [Fish-breeding biological assessment of commercial cultivation of lake char at the enterprises of the Murmansk region] // *Vestnik MGTU*. T. 15, № 3, s.493–504.
- Anokhina V.S., Vinogradov A.S. 2014. Kultivirovanie norvegskogo lococa v cpezificheskikh usloviyah Zapadnogo Murmana [Cultivation of Norwegian salmon in the specific conditions of West Murman] // *Rybnoe khozyajstvo*. No. 5, pp. 80–85.
- Burlachenko I.V., Yakhontova I.V. 2015. Rybovodnye tekhnologii v iskusstvennom vosproizvodstve: sovremennoe sostoyanie, problemy, resheniya [Fish breeding technologies in artificial reproduction: current state, problems, solutions] // *Trudy VNIRO*. T. 153. S. 137–153.
- Vasil'ev A.M., Aleksandrova M.A. 2021. Problemy i perspektivy razvitiya marikul'tury Atlanticheskogo lososya v Rossijskoj Arktike [Problems and prospects for the

- development of Atlantic salmon mariculture in the Russian Arctic] // Sever i Arktika. № 43. S. 5–18.
- Vovchenko E. 2012. Ehksperty raskhodyatsya v otsenkakh perspektiv stroitel'stva lososevykh ryborazvodnykh zavodov na Sakhaline [Experts differ in their assessments of the prospects for the construction of salmon fish hatcheries on Sakhalin]. Accessible via: <https://ecosakh.ru/2012/04/13/rybackaya-gazeta-zaprel-2012-g-statya-e-vovchenko>. 17.12.2020
- Vorob'ev V.V., Proskura D. Yu. 2018. Osnova razvitiya promyshlennoj marikul'tury – ehffektivnaya kompleksnaya pererabotka kul'tiviruemykh gidrobiontov [The basis for the development of industrial mariculture is an effective complex processing of cultivated aquatic organisms] // Rybnoe khozyajstvo. № 1. S.87–91
- Vorob'eva N.V., Karaseva T.A. 2021 Akvakul'tura [Aquaculture] // PINRO. Put' k stoletiyu. / Sost. L.I. Pestrikova; otv. red. V.A. Mukhin. Izd. 2-e, pererab. i dop. Murmansk: PINRO im. N.M. Knipovicha. S. 172–180.
- Global'nyj golod prodolzhaet rasti, govorit'sya v novom doklade OON [Global hunger continues to grow, says new UN report]. 2018. Accessible via: <https://ru.wfp.org/news/globalnyy-golod-prodolzhaet-rasti-govorit'sya-v-novom-doklade-oon>. 27.08.2021.
- Zhuravleva N.G. 2005 Akademicheskaya nauka – lososevodstvu Murmana [Academic Science for Salmon Farming in Murman] // Rybnoe khozyajstvo. № 2. S. 66–67.
- Zhegodnik FAO po statistike rybolovstva i akvakul'tury [FAO Fisheries and Aquaculture Statistics Yearbook]. 2018. Accessible via: <http://www.fao.org/fishery/statistics/yearbook/en>. 03.01.2021.
- Federalnij zakon 02.12.19 № 380 «On the federal budget for 2020 and for the planning period of 2021 and 2022» [Federal Law of 02.12.2019. No. 380-FZ «On the Federal Budget for 2020 and for the Planning Period of 2021 and 2022»]. Accessible via: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_339305/. 26.08.2021
- Korma dlya ryby: sovremennye resheniya [Fish feed: modern solutions.]. 2015. // Rybnaya sfera. № 2 (13). Accessible via: https://www.fishnet.ru/news/aquaculture_news/49525.html. 24.08.2021.
- Kuznetsov V.V., Kulikov A.M. 2005. Geneticheski modifitsirovannye organizmy i poluchennye iz nikh produkty: real'nye i potentsial'nye riski [Genetically modified organisms and products derived from them: real and potential risks] // Rossijskij khimicheskij zhurnal. T. 49. № 4. S. 70–83.
- Karasev A.B. 2003 Katalog parazitov ryb Barentseva morya [Catalog of fish parasites in the Barents Sea]. Murmansk: izd-vo PINRO. 149 s.
- Makarevich P.R., Obluchinskaya E.D., Dvoret'skij A.G., Zhuravleva N.G. 2018 Sovremennye tendentsii razvitiya i kul'tivirovaniya netraditsionnykh ob'ektov akvakul'tury (arkticheskij golets, kamchatskij krab, morskoy ezh) i tekhnologii pererabotki girobiontov [Modern trends in the development and cultivation of non-traditional aquaculture objects (Arctic char, Kamchatka crab, sea urchin) and technologies for processing gyrobionts] // Vestnik MGTU. T. 21. № 2. S. 355–370.
- Mitenev V.K., Karasev A.B. 1997. Parazity lososevykh ryb Murmanskoy oblasti [Parasites of salmon fish of Murmansk region]. Murmansk: izd-vo PINRO. 65s.
- Mitenev V.K., Shul'man B.S. 1999. Parazity ryb vodoemov Murmanskoy oblasti [Fish parasites of water bodies of the Murmansk region]. Murmansk: izd-vo PINRO. 73s.
- Mitenev V.K. 2000 Parazity karpovykh ryb Cyprinidae Kol'skogo Severa (fauna, ehkologiya, zoogeografiya) [Parasites of cyprinids Cyprinidae of the Kola North (fauna, ecology, zoogeography)]. Murmansk: izd-vo PINRO. 84 s.
- Mitenev V.K. 2003 Parazity sigovykh ryb Kol'skogo Severa (fauna, ehkologiya, zoogeografiya) [Parasites of whitefishes of the Kola North (fauna, ecology, zoogeography)]. Murmansk: izd-vo PINRO. 135s.
- Mikhajlenko V.G. 1992 Razvedenie arkticheskogo gol'tsa: Rekomendatsii po razvedeniyu ozernoj formy arkticheskogo gol'tsa [Breeding Arctic char: Recommendations for breeding the lacustrine form of Arctic char]. Apatity: KNTS RAN. 44 s.
- Mirovoe proizvodstvo akvakul'tury (po materialom FAO). 2020. [World aquaculture production (according to FAO)]. Statisticheskij sbornik. M.: VNIRO. 193 p.
- Mirovoe proizvodstvo rybnoj produktsii (po materialom FAO). 2021. [World production of fish products (according to FAO)]. Statisticheskij sbornik. M.: VNIRO. 274 p.
- Nikandrov V. Ya., Pavlisov A.A., Shindavina N.I., Lukin A.A., Golod V.M., Lipatova M.I. 2018. Arkticheskij golets – perspektivnyj ob'ekt akvakul'tury Severa Rossii [Arctic char – a promising object of aquaculture in the North of Russia] // Arktika: Ehkologiya i ehkonomika. № 3(31). S. 137–142.
- Norvezhskij losos'v 5 raz vrednee i toksichnee, chem lyubye drugie produkty, – utverzhdayut ehkologi [Norwegian salmon is 5 times more harmful and toxic than any other products, environmentalists claim]. 2015. Accessible via: <https://roscontrol.com/journal/news/norvegskiy-losos-v-5-raz-vrednee-i-toksichnee-chem-lyubie-drukie-produkti-utverzhdayut-ekologi/>. 26.08.2021.
- Ovchinnikov A.S., Skokov R. Yu., Sejdaliev T.A., Petrukhina L.S., Ulanov E. V. 2018. Upravlenie ehffektivnym importozameshcheniem kormov v otechestvennom rybnom khozyajstve [Management of effective import substitution of feed in the domestic fisheries] // Rybnoe khozyajstvo. № 6. S.67–71.
- Rasporyazhenie Pravitel'stva RF ot 26 noyabrya 2019 g. № 2798-r «Ob utverzhdenii strategii razvitiya rybokhozyajstvennogo kompleksa RF na period do 2030 g. i plana meropriyatij po ee realizatsii» [Order of the Government of the Russian Federation of November 26, 2019 No. 2798-r «On approval of the strategy for the development of the fishery complex of the Russian Federation for the period up to 2030 and an action plan for its implementation»]. Accessible via: <http://government.ru/docs/38448/>. 25.08.2021.

- Regulyarnym perevozkam ryby po Sevmorputi pomogut subsidii i zagruzka obratnykh rejsov* [Subsidies and loading of return flights will help regular transportation of fish along the Northern Sea Route]. 2020. Accessible via: <https://tass.ru/ekonomika/8542475>. 26.08.2021.
- Sravnienie ehkonomiki i ehkologichnosti modelej s ustanovkoj zamknutogo vodosnabzheniya (UZV) i sadkovoj sistemy dlya vyrashchivaniya Atlanticheskogo lososya* [Comparison of the economics and environmental friendliness of models with the installation of a closed water supply system and a cage system for growing Atlantic salmon]. 2016. Accessible via: <https://aquavitro.org/2016/04/23/sravnienie-ekonomiki-i-ekologichnosti-modelej-uzv-i-sadkovojsistemy-dlya-vyrashchivaniya-atlanticheskogo-lososya/>. 25.08.2021.
- Terekhin Yu.V.* 1984. Rekomendatsii po iskusstvennomu razvedeniyu gol'tsov na rybovodnom zavode «Imandra» Murmanskoy oblasti [Recommendations for artificial breeding of loaches at the Imandra fish hatchery in the Murmansk region]. Murmansk: PINRO. 10 s.
- Chernitskij A.G., Matishov G.G., Ermolaev V.V.* 1987. Vozmozhnost' ispol'zovaniya arkticheskogo gol'tsa dlya tovarnogo lososevodstva v Barentsevom more [The possibility of using Arctic char for commercial salmon farming in the Barents Sea]. Apatity: Kol'skij filial AN SSSR. 37 s.
- Arrowsmith P.N., Marks R.G.* 1989. Visual, refractive and keratometric results of radial keratotomy. Five-year follow up // *Arch. Ophthalmol.* V. 107 (4). pp. 506–511
- Gunnarsson S., Imsland A.K., Siikavuopio S.I., Árnason J., Gústavsson A., Thorarensen H.* 2012. Enhanced growth of farmed Arctic charr (*Salvelinus alpinus*) following a short-day photoperiod // *Aquaculture*. V. 350–353. P. 75–81.
- Jeuthe H., Brännäs E., Nilsson J.* 2013. Effects of egg size, maternal age and temperature on egg, viability of farmed Arctic charr // *Aquaculture*. V. 408–409. pp. 70–77.
- Schwenteit J.M., Breithaupt A., Teifke J.P., Koppang E.O., Bornscheuer U.T, Fischer U., Gudmundsdottir B.K.* 2013. Innate and adaptive immune responses of Arctic charr (*Salvelinus alpinus*, L.) during infection with *Aeromonas salmonicida* subsp. *Achromogenes* and the effect of the AsaP1 toxin // *Fish Shellfish Immunology*. V. 35. Is. 3. pp. 866–873.
- Siikavuopio, S.I. Sæther B.-S., Skybakmoen S., Uhlig C., Haugland E.* 2009. Effects of a simulated short winter period on growth in wild caught Arctic charr (*Salvelinus alpinus* L.) held in culture // *Aquaculture*. V. 287. pp. 431–434.
- White S.S., Birnbaum L.S.* 2009. An Overview of the Effects of Dioxins and Dioxin-Like Compounds on Vertebrates, as Documented in Human and Ecological Epidemiology // *J. of Environmental Science and Health. Part C. Environmental Carcinogenesis and Ecotoxicology Reviews*. V. 27. pp. 197–211.

TABLE CAPTIONS

Table 1. Fish production in aquaculture by main producers, thousand tons

Table 2. NPV values at different discount rates

Table 3. Aquaculture of Atlantic salmon, thousand tons

FIGURE CAPTIONS

Fig. 1. Distribution of catch by zones in%: 1–200-mile coastal waters of foreign countries; 2 – fishing zone of the Russian Federation; 3 – Open part of the ocean for the adhesives of the 200-mile coastal waters of foreign countries

Fig. 2. Production of fish in aquaculture for major manufacturers in 2018 (% of global volume)

Fig. 3. World aquaculture development, thousand tons (for example 10 countries and Russia)

Fig. 4. Dynamics of the volume of Russian production of products of commodity fish farming (including fishing material) for 2010–2020, tons

Fig. 5. Production of consight fish on the subjects of the Russian Federation for 2020, thousand tons

Опыт и перспективы использования малых беспилотных летательных аппаратов в морских прибрежных биологических исследованиях

*А.А. Дуленин,
П.А. Дуленина,
Д.В. Коцюк,
В.В. Свиридов*

Хабаровский филиал ФГБНУ «ВНИРО»
(«ХабаровскНИРО»), г. Хабаровск

E-mail: dulenin@mail.ru

На основании результатов собственных работ и анализа опубликованных сведений показано, что малые БПЛА могут эффективно использоваться для экономического учёта рыб, млекопитающих, донной растительности, ННН-вылова и ландшафтного картирования. Эти устройства позволяют выполнять точечные, выборочные и тотальные обследования морских участков. БПЛА хорошо вписываются в комплексные прибрежные НИР, использующие разнообразные методы. Использование малых беспилотников позволяет значительно сократить как время, необходимое для проведения исследований, так и их стоимость. Для максимальной отдачи от применения беспилотников необходимо учитывать их технические возможности, ограничения и уязвимости. Важным способом повышения эффективности БПЛА является оптимизация способов доставки к месту работ. Применение программ для автоматического выполнения полётных миссий позволяет расширить область работ, снизить их аварийность. Использование программного обеспечения для автоматизированной фотограмметрической обработки отснятых материалов позволяет создавать ортофотопланы, которые служат основой для оценки распределения и численности гидробионтов, визуализации в ГИС. Небольшая стоимость и высокие функциональные характеристики современных потребительских БПЛА позволяют им уже в настоящий момент занять одно из ключевых мест в морских прибрежных биологических исследованиях. Их значимость как инструмента для подобных НИР будет расширяться в ближайшем будущем по мере неизбежного роста их технических возможностей и снижения стоимости.

Ключевые слова: морские прибрежные биологические исследования, БПЛА, аэрофотосъёмка, ортофотоплан, картирование, ГИС.

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы в различных хозяйственных отраслях (сельское хозяйство, строительство, энергетика, геодезия, нефтегазовая отрасль и т. п.) всё более широко используются беспилотные летательные аппараты (БПЛА) [Коротаев, Новопашин, 2015; Бузмаков и др., 2016; Мещанинова, Нилюкина, 2018; и др.]. Обрисованы общие перспективы использования БПЛА в экологических исследованиях [Whitehead et al., 2014, Christie et al., 2016]. Кроме того, БПЛА применяют для решения частных задач в рыбохозяйственной науке [Maselko, Connor, 2016; Запорожец, Запорожец, 2017; Бизиков и др., 2019; Запорожец и др., 2020]. В целом, как следует из этих и других публикаций, использование БПЛА в экологических и рыбохозяйственных исследованиях находится на стадии тестирования и внедрения, тогда как в инженерно-производственной сфере они уже закрепились как эффективный и широко применяемый инструмент.

Одной из областей, в которых использование малых БПЛА представляет значительные перспективы, являются морские прибрежные биологические исследования. Они могут иметь различные направления: ресурсные, прикладные, экологические и т. п. Прибрежные биологические экспедиции часто бывают комплексными, направленными на учёт целого ряда объектов: морских макрофитов, рыб, млекопитающих и т. п. В то же время прибрежные исследования обычно являются малобюджетными: выполняются с маломерных судов, с использованием относительно простых и дешёвых технических средств небольшим числом специалистов. Эти особенности диктуют необходимость разработки методов и подбора инструментов, обеспечивающих необходимую комплексность прибрежных исследований и повышающих их эффективность при одновременном снижении стоимости и трудозатрат. Очевидно, БПЛА постепенно становятся одним из таких инструментов [Merrill et al., 2013;

Goebel et al., 2015; Moreland et al., 2015; Joyce et al., 2018; Xu et al., 2018].

Однако, комплексный подход к использованию БПЛА в морских прибрежных рыбохозяйственных исследованиях, по-видимому, до сих пор не разработан. Широкому внедрению БПЛА в этой области препятствует, помимо объективных причин, ряд предубеждений, широко распространённых в среде специалистов в области рыбохозяйственной науки. Авторы встречали мнения о том, что области применения малых беспилотников (БПЛА) слишком узки, чтобы получить значимые результаты, а их автономность чрезмерно мала. Высказывались соображения о том, что программное обеспечение для полётов и обработки полученных материалов слишком сложно, выработка необходимых полётных навыков требует долгого обучения и поэтому такие инструменты вряд ли доступны для широкого освоения биологами. Озвучивались опасения по поводу высокой вероятности крушения беспилотника при потере связи, сильном ветре и в разнообразных нештатных ситуациях. Кроме того, ещё несколько лет назад стоимость БПЛА была слишком высока, чтобы рассчитывать на их широкое внедрение. В целом, по мнению авторов, в настоящее время назрел вопрос популяризации использования малых БПЛА среди морских биологов различных специальностей. В связи с этим, цели настоящей работы – обобщить полученный авторами опыт и обрисовать наиболее очевидные перспективы использования малых БПЛА в прибрежных исследованиях.

Поэтому мы поставили перед собой следующие задачи:

- 1) Показать основные направления использования БПЛА для рыбохозяйственных исследований в прибрежной зоне.
- 2) Оценить технические возможности и ограничения использования малых БПЛА при их проведении.
- 3) Оценить возможности освоения БПЛА и технологий работы с ними рядовыми научными и инженерно-техническими сотрудниками.
- 4) Показать экономическую эффективность использования беспилотных технологий.
- 5) Выбрать конкретные модели, присутствующие на рынке, наиболее подходящие для прибрежных исследований.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Работы выполняли в прибрежной зоне северо-западной части Татарского пролива в границах Хабаровского края (бух. Фальшивая, Датта, о. Токи, участок от м. Травяной до м. Бычий) осенью 2020 г. Аэрофотосъёмку проводили с использованием БПЛА DJI Mavic 2

Zoom. Некоторые полёты были выполнены на DJI Mavic Mini. Фотографии делали в максимальном для указанных аппаратов разрешении в 12 мегапикселей. Фотосъёмку выполняли в надир (камера наклонена под углом – 90°, перпендикулярно поверхности). Высота полётов составляла от 4 до 500 м, протяжённость от 100 м до 10 км, удаление от оператора от 0 до 4 км. Продолжительность полётов была от 1 до 25 минут. Во время каждого полёта расходовалось от 5 до 95% заряда батареи. На одном заряде батареи выполняли от 1 до 5 полётов. В течение дня делали от 2 до 24 полётов, в зависимости от задач и режима съёмки.

Для тотальной аэрофотосъёмки отдельных бухт либо длинных участков прибрежной зоны выполняли протяжённые полёты (0,5–10 км) на высоте от 150 до 500 м. Во время таких полётов вели интервальную фотосъёмку. Интервал устанавливали по времени (2–20 секунд) или по расстоянию (через каждые 30–100 м), в зависимости от высоты и скорости движения. Для последующей фотограмметрической обработки снимков и построения ортофотопланов обследованных участков побережий, интервалы планировали таким образом, чтобы обеспечить необходимое для этого 80% перекрытие смежных снимков. Фотосъёмку выполняли так, чтобы в каждом кадре была видна часть берега.

Для выборочной фотосъёмки выполняли протяжённые полёты (3–5 км) на высоте 10 м с интервалом в 20 м. В отдельных случаях интервал был сокращён до 2 м. Для точечной рекогносцировочной съёмки БПЛА поднимали над оператором на высоту от 10 до 500 м, выполняя несколько дублирующих снимков.

Полёты проводились в режиме ручного управления либо в режиме заранее подготовленной автономной миссии. Автономные миссии строили с использованием специализированного программного пакета Litchi [2021]. Маршрут миссий, параметры полётов и фотосъёмки задавали в интернет-сервисе Litchi Mission Hub через ПК (рис. 1). Спутниковые карты локаций без сотового интернет-покрытия заранее кэшировали на мобильные устройства (смартфон, планшет), с которых управляли полётами. Непосредственное управление полётами осуществляли при помощи мобильного полётного приложения Litchi для ОС Android. До начала полётов построенные миссии и закэшированные спутниковые карты локаций, на которых планировалось выполнять полёты, загружали через интернет в мобильную версию Litchi. Параметры миссий при необходимости корректировались непосредственно перед началом полётов на месте, с мобильного устройства. После старта автономной миссии БПЛА самостоятельно осуществлял выход на на-



Рис. 1. Примеры планирования автономных миссий для выборочной фотосъёмки в бухте Фальшивая (слева) и тотальной фотосъёмки в бухте Датта (справа) в сентябре 2020 г. Числа обозначают номер путевой точки (в сиреновом значке), высоту полёта на данном участке миссии (в чёрном значке) и длину сегмента между смежными путевыми точками (в чёрном значке с окончанием «m») в метрах

чальную точку маршрута и после её окончания возвращался в домашнюю точку либо оставался в режиме ожидания в конечной точке миссии. Полёты выполняли как на участках с сотовым интернет-покрытием, так и в местах, где оно отсутствовало. Миссии выполнялись как при наличии связи с пультом управления, так и при её отсутствии. После выполнения полётов, полученные фотоматериалы загружали с карты памяти БПЛА на ПК для дальнейшей обработки. Всего выполнено около 70 полётов. Подробные характеристики полётов приводятся при обсуждении специфических особенностей съёмки отдельных объектов в прибрежной зоне.

По суше доставку БПЛА к обследуемым участкам выполняли пешком и на автомобиле. В качестве средства доставки по морю использовали маломерный пластиковый катер Yamaha Fish 22 длиной 6,5 м. В течение 2 дней были выполнены обследования прибрежной зоны в окрестностях залива Советская Гавань протяжённостью 150 км.

Из полученных снимков строили ортофотопланы обследованных участков при помощи пакета фотограмметрического ПО Agisoft Metashape Professional [Руководство, 2019]. Ортофотопланы и одиночные фото располагали в виде слоёв на картах местности в ГИС-пакете NextGIS QGIS [Команда NextGIS, 2019]. В этом же пакете выполняли промеры, подсчёты, создание площадных и точечных объектов. Построенные объекты экспортировали в Веб-ГИС Хабаровск-НИРО на базе NextGIS Web.

По необходимости, частные методические особенности отдельных обследований приводятся в разделе «Результаты и обсуждение».

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Во время исследований были получены результаты по обозначенным ниже направлениям.

Оценка объёма ННН. К настоящему времени уже имеются работы, в которых обсуждается использование беспилотников для предотвращения браконьерства как на суше [Mulero-Pázmán et al., 2014], так и в рыбном хозяйстве [Тоопен, Буш, 2018]. Традиционные промысловые объекты на Дальнем Востоке – лососи. Однако при определении общего объёма их изъятия наибольшее затруднение вызывает учёт ННН-вылова. Достоверно оценить объёмы ННН-вылова тихоокеанских лососей обычно не представляется возможным. Все оценки в силу объективных причин носят экспертный характер [Дронова, Спиридонов, 2008].

Для отработки возможности определения объёмов нелегального вылова с помощью БПЛА нами были проведены экспериментальные аэровизуальные облёты бухты Датта и устья реки Тумнин в период нерестового хода кеты. Коптер в режиме заранее спланированной автономной миссии поднимали на высоту 150 м и совершали облёт внутренней части бухты (рис. 2). При ветре 8–12 м/с протяжённость миссии составила 8,5 км, продолжительность полёта – 17 мин. За это время заряд аккумулятора был исполь-

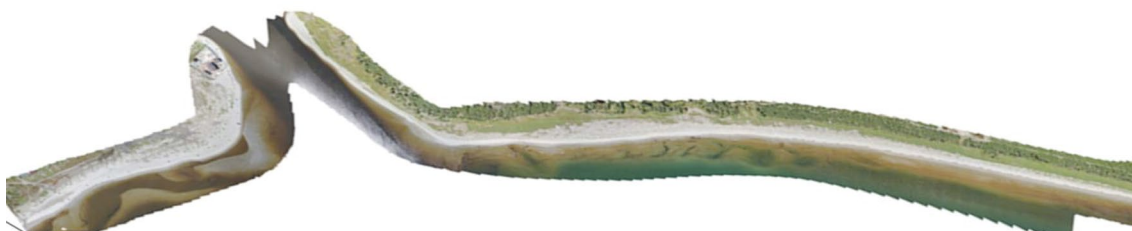


Рис. 2. Ортофотоплан внутренней части бухты Датта, западное побережье Татарского пролива, сентябрь 2020 г.

зован на 60 %. Разрешение снимков составило 5 см/пикс. В настоящее время на рынке бюджетных потребительских беспилотников представлены аппараты с разрешением матрицы от 12 до 20 мегапикселей. Поэтому, если съёмка с высоты 150 м у нас давала разрешение 5 см в пикселе, то при использовании БПЛА с разрешением матрицы в 20 мегапикселей оно составит 3,8–4,1 см в пикселе в зависимости от модели. Такое разрешение позволяет учитывать рыб средних размеров, крупные бурые водоросли и т. п. даже с большой высоты.

В результате облётов на фотоснимках бухты было зафиксировано 8 сетей (рис. 3). Допустив, что количество сетей в бухте находится на среднем уровне и исходя из величины среднемесячного вылова на усилие по данным НИР был рассчитан ННН-вылов в течение месяца: 8 сетей*0,3 экз. кеты на сеть в час*12 часов*30 дней = 864 экземпляра в месяц или, при средней индивидуальной массе рыбы 4,1 кг, 3,5 тонны. При двухмесячной продолжительности хода общий вылов в этой бухте следует оценить в 7 т.

Помимо сетей, на снимках хорошо видны люди, лодки, автомобили, палатки и прочие объекты (рис. 3), что позволяет при регулярных наблюдениях собирать весьма полную статистику об ННН-промысле. При проведении штатных НИР подобные облёты можно делать ежедневно или даже несколько раз в день (например, утром, в обед и вечером), что позволит собрать данные о среднем ежедневном количестве людей, транспорта и орудий добычи на лову, о продолжительности лова, о вывозе рыбы и другие подобные сведения.

Небеспопченны опасения о том, что браконьеры могут препятствовать наблюдениям, или даже сбить БПЛА из стрелкового оружия. Однако, полученный опыт показал, что использованный БПЛА уже на высоте 150 м был незаметен и не слышен для присутствующих на берегу людей. Ясно, что порог заметности у разных моделей будет отличаться: например, более крупные аппараты серии DJI Phantom придется поднимать на высоту порядка 250 м, (что, впрочем, не приведёт к ухудшению качества съёмки благодаря до-

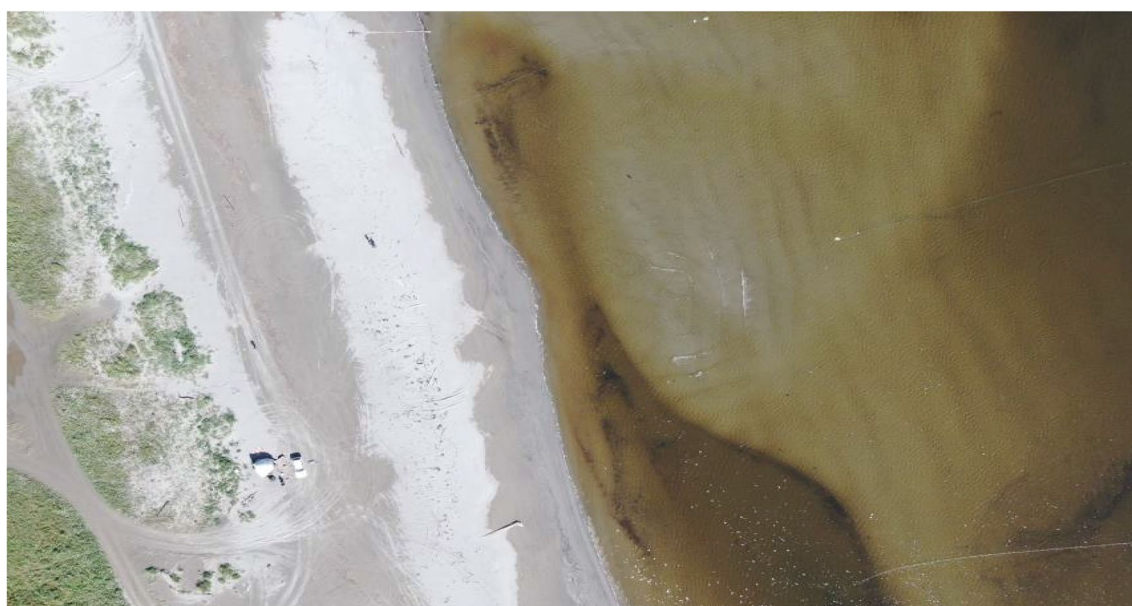


Рис. 3. Лов кеты в бухте Датта (западная часть Татарского пролива). Видны выставленные в море сети, автомобиль, палатка

статочному разрешению матрицы), в то время как аппараты серии DJI Mini, по нашему опыту, перестают обнаруживаться уже на высоте 70–100 м. Прицельный огонь по беспилотникам в таких условиях невозможен.

Также высказывались опасения о том, что беспилотники не могут безопасно эксплуатироваться в сложных погодных условиях [Weissensteiner et al., 2015]. Однако практика показала, что запуски аппаратов на значительную высоту при свежем ветре (8–10 м) не приводят к каким-либо отрицательным последствиям – БПЛА уверенно держит курс, не снижая скорости. Впрочем, следует заметить, что запуски с маломерных судов не следует выполнять при скорости ветра более 6 м/с. Что касается других неблагоприятных погодных условий, ясно, что регулярные запуски серийных модификаций малых БПЛА в дождь и туман приведут к скорому выходу оборудования из строя. Однако, такие мероприятия лишены практического смысла, поскольку качество получаемых в дождливую и туманную погоду фотоматериалов будет заведомо неудовлетворительным.

Учёт численности морских млекопитающих. Традиционно ластоногие учитываются наблюдателем визуально: на лежбищах – с берега либо с лодок, используя бинокли, видео-, фотоаппаратуру; в открытом море – с борта судна либо с вертолётов [Грачев, 2000; Челинцев и др., 2017 и др.]. При этом уже накоплен существенный опыт учёта морских млекопитающих при помощи БПЛА [Koski et al., 2015; Moreland et al., 2015; Pomeroy et al., 2015].

Мы провели аэровизуальный учёт численности дальневосточной нерпы (ларги) *Phoca largha* Pallas, 1811 на самом большом её лежбище в Хабаровском крае у о. Токи (рис. 4).

Протяжённость миссии составила 4,3 км, скорость – 40 км/ч, продолжительность – 9 минут, высота – 200 м, разрешение полученных снимков – 7 см в пикселе. В течение одного полёта была охвачена вся площадь лежбищ вокруг острова и на близлежащей валунной косе. При увеличении полученных фотографий с коптера особи ларги хорошо видны и легко поддаются учёту (рис. 5, слева). Было учтено 714 голов вокруг острова и 513 особей на косе к юго-юго-западу от него, всего 1227 голов. После этого были выполнены облёты залежек на высоте 10 м со съёмкой видео и интервальным фотографированием. Эти съёмки позволили установить, что порядка 20% особей находятся в воде, их учёт с большой высоты невозможен или сильно затруднён. Итоговая численность была оценена на уровне около 1,5 тыс. голов, что в 2–3 раза превышает ранее дававшиеся оценки по данным визуального учёта с маломерных судов. При среднем весе ларги 85 кг, общая биомасса животных оценена в 130 т. Серии фотоснимков, сделанные с высоты 10 м (рис. 5, справа) через каждые 20 м и имеющие площадь охвата около 100 м² позволили провести выборочное исследование плотности ларги на залежках, которая составила $5,4 \pm 1,8$ (1–21) экз/100 м². Далее, облёт залежек на высоте 10 м с видеосъёмкой позволил провести наблюдения за поведением животных. При скорости 40 км/ч животные не проявляют беспокойства. Однако, при зависании беспилотника над животными, они пугаются, покидают залежки и уходят в воду. Безопасное расстояние, на котором животные не проявляют признаков беспокойства – порядка 50 м, причём, наблюдения можно вести как в надир, так и под любым удобным для наблюдателя углом.

При запуске БПЛА с борта судов, в т. ч. маломерных, подобные учётные работы в ближайшем буду-

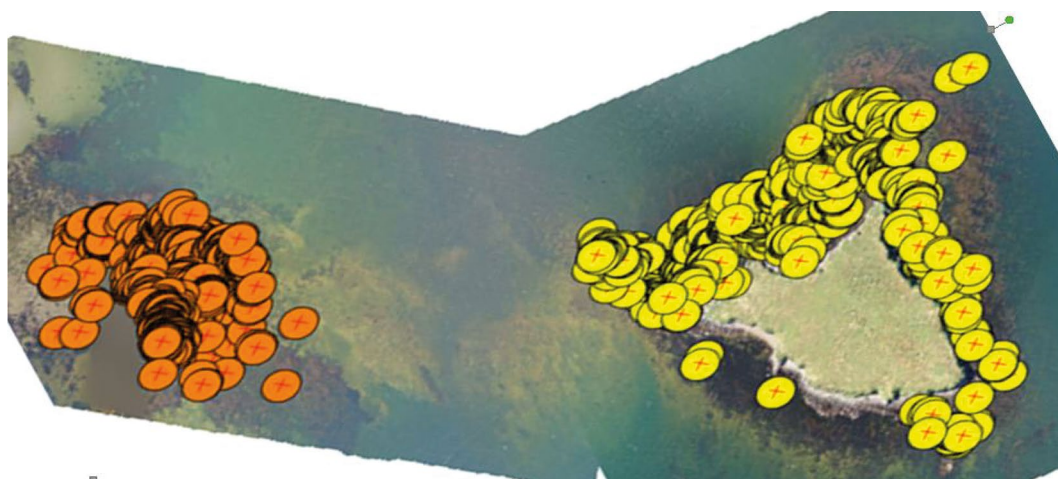


Рис. 4. Ортофотоплан о. Токи с окрестностями. Кружками обозначены отдельные экземпляры нерпы, жёлтыми – у острова, оранжевыми – на прилегающей каменистой косе



Рис. 5. Фрагменты фото залежек ларги у о. Токи. Слева – с высоты 200 м, увеличено, справа – с высоты 10 м

щем можно провести у протяжённых морских побережий. Кроме того, представляется весьма перспективным проведение таких работ в Охотском море на скоплениях белухи (*Delphinapterus leucas* (Pallas, 1776)). Визуальные наблюдения показывают, что только в одном заливе Алдома во время нереста тихоокеанской сельди её отмечается до сотни голов.

Учет численности рыб. Во время облётов о. Токи были зафиксированы скопления кефали-лобана (*Mugil cephalus* L. 1758) среди зарослей zostеры (рис. 6). Исходя из известной площади в кадре, были получены данные о его плотности – $7 \pm 2,6$ (1–14) экз/100 м². Интересно, что лобан находился в воде в непосредственной близости от ларги – порой на расстоянии порядка 5–10 м, не проявляя при этом признаков тревоги. При съёмке с высоты 10 м рыбы также не проявляют признаков беспокойства. Изображения рыб относительно мало контрастны, однако это не препятствует их подсчёту. Ясно, что использование аппаратов с большим разрешением матрицы послужит улучшению качества изображения при учёте рыб.

Очевидно, на мелководьях в прибрежной зоне вполне возможен беспилотный учёт различных видов рыб. Вполне возможен выборочный либо тотальный учёт относительно крупных рыб (прежде всего лососей), аналогично тому, как беспилотный учёт лососей проводится на реках и озёрах [Maselko, Connor, 2016; Запорожец, Запорожец, 2017]. В то же время количественный учёт относительно мелких рыб (корюшек, сельди) на крупных скоплениях, вероятнее всего будет затруднён или вовсе невозможен. Однако, при помощи аэроучёта можно, во всяком случае, определять площадь скоплений и направление их миграций. Поскольку на мелководьях прибрежной зоны сосредоточен береговой рыбный промысел (добыча при помощи ставных сетей, закидных и ставных неводов, вентерей, и т. п.), малые БПЛА могут вполне успешно служить для целей промразведки – определения локализации и сроков подхода косяков рыб, степени заполнения ставных неводов и т. п.

Картирование донной растительности. Наиболее доступно картирование донной растительности ло-

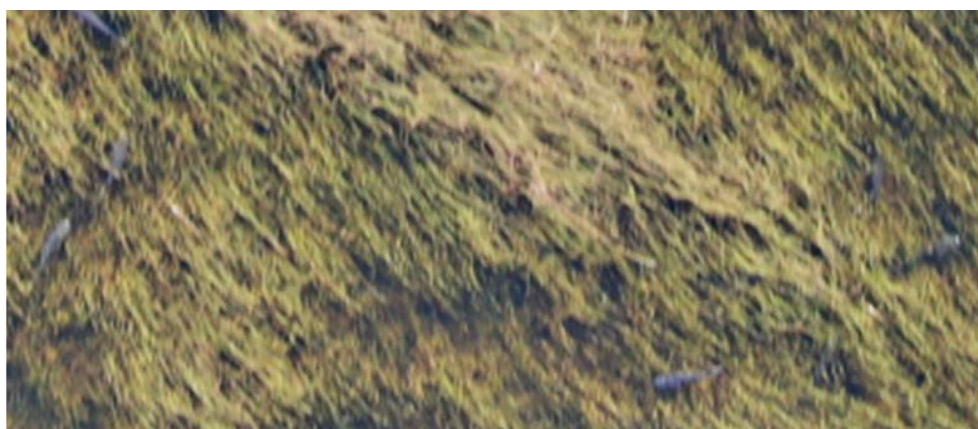


Рис. 6. Лобан на мелководьях у о. Токи

кальных прибрежных участков, например, небольших мелководных бухт. Задача по их картированию существенно облегчается, если доступен подъезд к ним на автотранспорте, а запуск БПЛА возможен непосредственно с берега. Для отработки практических навыков картирования донной растительности нами был выбран один из таких участков – бухта Фальшивая, расположенная близ г. Советская Гавань. Доставка БПЛА к месту полётов осуществлялась пешком. Обследования были выполнены в режиме автономных миссий на высоте 500 м. Протяжённость маршрута съёмки составила 3 км, время съёмки – 8–10 минут, выполнение миссий требовало 35% заряда аккумулятора, при ветре 10–12 м/с.

Рассмотрение снимков, выполненных с высоты 500 м показало, что при разрешении 20 см в пикселе, на фото при увеличении видны элементы мезорельефа дна, валуны, бревна, пятна растительности и т. п. (рис. 7, вверху слева). Однако, на отдельных снимках существенные помехи создают блики от облаков и тени близ берега (рис. 7, вверху справа). Видно, что отдельный снимок (прямоугольник в центре рисунка) имеет существенно худшее качество, чем готовый ор-

тофотоплан. Фотограмметрическая обработка, благодаря 80%-ному перекрытию исходных снимков, позволяет существенно улучшить качество итогового изображения (рис. 7, внизу слева). Некоторые наблюдаемые артефакты (например, серия диагональных тёмных пятен в юго-западной части бухты) не критичны и не мешают дальнейшей обработке данных. Последующая векторизация ортофотоплана в ГИС позволяет оконтурить отдельные пояса растительности, вычислить их площади и по известной средней удельной биомассе оценить общую фитомассу в пределах каждого пояса растительности (рис. 7, внизу справа).

Для опознания ценоотических поясов, видимых с большой высоты, и для сбора данных о проективном покрытии дна растительностью (ПП), были сделаны серии снимков с высоты 10 м с интервалом 20 м. Однако, в зависимости от погоды, состояния водной поверхности и наличия посторонних предметов в кадре фотографии на этой высоте получаются весьма различного качества. При получении хороших снимков на всей их площади визуально определяются доминирующий вид растительности, её проективное по-

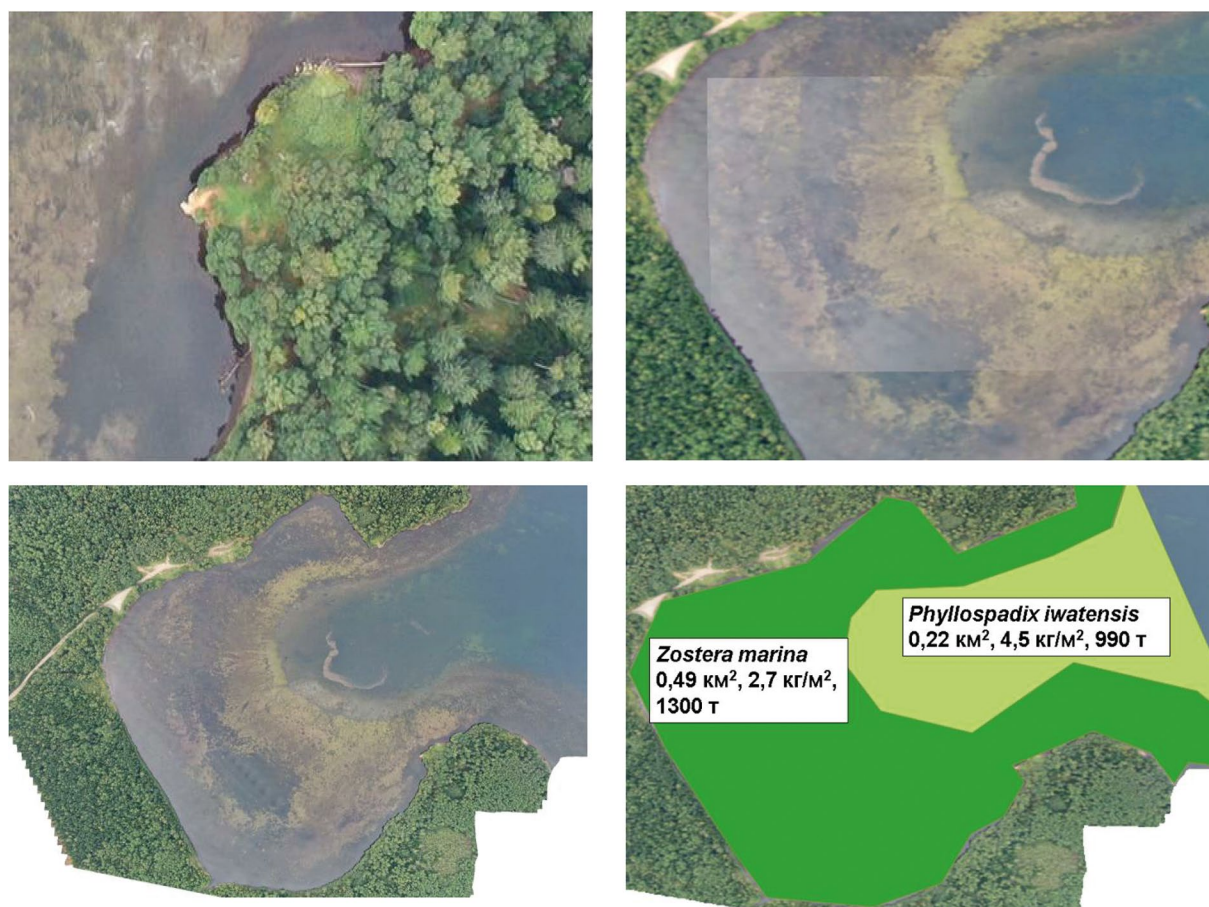


Рис. 7. Результаты аэрофотосъёмки бухты Фальшивой (северо-западная часть Татарского пролива) с высоты 500 м

крытие и характер сложения растительного покрова. На фото (рис. 8, слева) это *Zostera marina* со средним ПП 90%, поселения которой представляют собой луга с отдельными прогалинами. Различимы отдельные листья. На некачественных снимках видны поваленные деревья, тени от наземной растительности, отражения облаков, рябь. Тем не менее, картинка остаётся читаемой, вид растительности и ПП определимы. Это возможно, если хотя бы 1% фото (1 м²) свободен от помех (рис. 8, справа).

Таким образом, полученные результаты показали возможность работы как в солнечную, так и в пасмурную погоду без критического ухудшения качества получаемых на мелководьях материалов. Однако съёмки при плотной облачности и/или низком положении солнца будут иметь сниженную продуктивность. Дело в том, что для минимизации смаза изображения на фотоматериалах в условиях слабой освещённости требуется соответствующее уменьшение скорости полёта. Это приведёт к меньшему площадному покрытию аэрофотосъёмки за единицу времени. Аэрофотосъёмки отдельных участков материкового побережья позволяют картировать расположение грунтов, ландшафтов, ценоотических поясов донной растительности. Следующим шагом было усложнение условий исследования для проверки возможности использования БПЛА для выборочных съёмок протяжённых морских побережий с борта маломерного судна.

Нами получен как положительный, так и отрицательный опыт беспилотной аэрофотосъёмки отдельных участков материкового побережья Татарского пролива в условиях экспедиции большой протяжённости с борта маломерного катера. За 1 день обследовано 60 км побережья. Через каждые 5 км выполняли полётные станции и трансекты. Всего было выполнено

12 полётов на высоте 300–500 м (в зависимости от просматриваемой ширины водорослевого пояса) и 12 полётов на высоте 10 м. Для того, чтобы обеспечить выполнение 24 полётов в течение дня, использовали 5 сменных батарей, которые заряжали от переносной бензиновой электростанции. Управление такими полётами осуществляли в ручном режиме, ориентируясь на видео, передаваемое пультом управления на мобильное устройство в реальном времени. На максимальной высоте полёта делали небольшие серии фотографий с интервалом 30–50 м, в зависимости от высоты. В лучших случаях такие съёмки позволили получить данные об общей ширине пояса растительности, сведения о его характере, прерывистости, общем проективном покрытии дна растительностью (рис. 9, вверху справа). При неблагоприятных условиях съёмки получаемые материалы позволяли, во всяком случае, оценить видимую ширину пояса растительности.

Далее, как в режиме автономных миссий, так и в режиме ручного управления выполняли трансекты протяжённостью 100–200 м на высоте 10 м, делая фотографии с интервалом 2 м. Выяснилось, что в отличие от мелководных бухт, качество съёмки у открытых побережий на малой высоте сильно зависит от крайне изменчивых факторов – состояния локальных участков моря, положения солнца, уклона дна и т. п. Для съёмки крайне желательно выбирать время и локальные участки с максимально спокойной водой. Следует избегать расположения камеры против солнца; желательно выполнять съёмки при положении солнца под углом 30–60° к горизонту или при любой его позиции в случае рассеянного освещения при равномерной облачности. Выполнение съёмок с малой высоты – весьма творческий процесс. Рассчитывать на получение

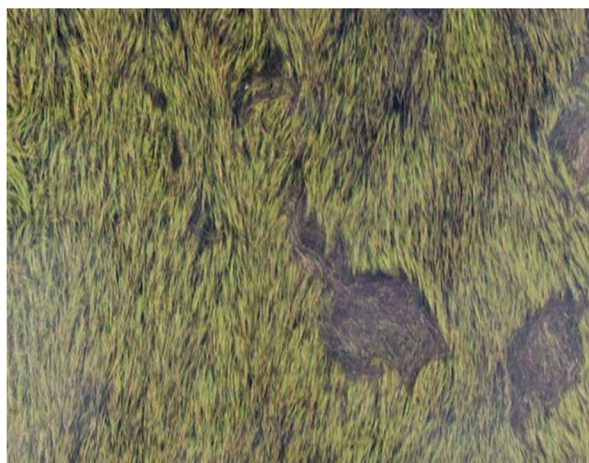


Рис. 8. Луга зостеры морской в бухте Фальшивая (северо-западная часть Татарского пролива) с высоты 10 м. Слева – фото без оптических помех, справа – с помехами (отражения облаков, рябь, тени, поваленное дерево)

ние хороших результатов в режиме автономной миссии можно только при условиях съёмки, близких к идеальным. В этом случае получение на трансекте серии снимков хорошего качества займёт 1–2 минуты. На хороших снимках видны отдельные растения, рельеф, участки грунта и т. п. (рис. 9, слева сверху). При осложнённых условиях съёмку следует проводить в ручном режиме, корректируя направление трансекты, беспилотника и его камеры, и выбирая наиболее подходящие для съёмки участки. Время полёта может составлять до 10 минут. Следует быть готовым к тому, что доля отбракованных кадров может быть весьма велика. Тем не менее, на плохих снимках порой можно опознать только наличие растительности на дне. В районе исследования с БПЛА позволяют с высоты просматривать глубины до 6 м, иногда несколько больше. Задачи съёмки и промысловой разведки облегчает тот факт, что в западной части Татарского пролива 2/3 промысловых поселений основного объекта добычи среди макрофитов – сахарины японской (*Saccharina japonica*) расположены на глубинах не бо-

лее 6 м [Дуленин, 2016], на эти же глубины приходится ядро растительности района, где сосредоточены поселения большей части доминирующих видов донной растительности [Дуленин, 2019].

На глубинах более 6 м, а также при плохой видимости, в комплексе с БПЛА для опознавания ценоотических поясов, а также для сбора количественных данных целесообразно применение подводной привязной видеотехники [Sheehan et al., 2014; Дуленин, Кудревский, 2019]. Следует понимать, что в связи с высокой дискретностью биоты и изменчивостью условий исследования в прибрежной зоне, её изучение по необходимости должно носить комплексный характер, который подразумевает комплементарное использование различных инструментов и подходов в зависимости от задач и конкретных характеристик обследуемых объектов. При плохих условиях съёмки БПЛА могут служить лишь дополнительным инструментом получения данных. В таких случаях основными источниками данных должны быть подходящие инструменты подводных видеосъёмок.

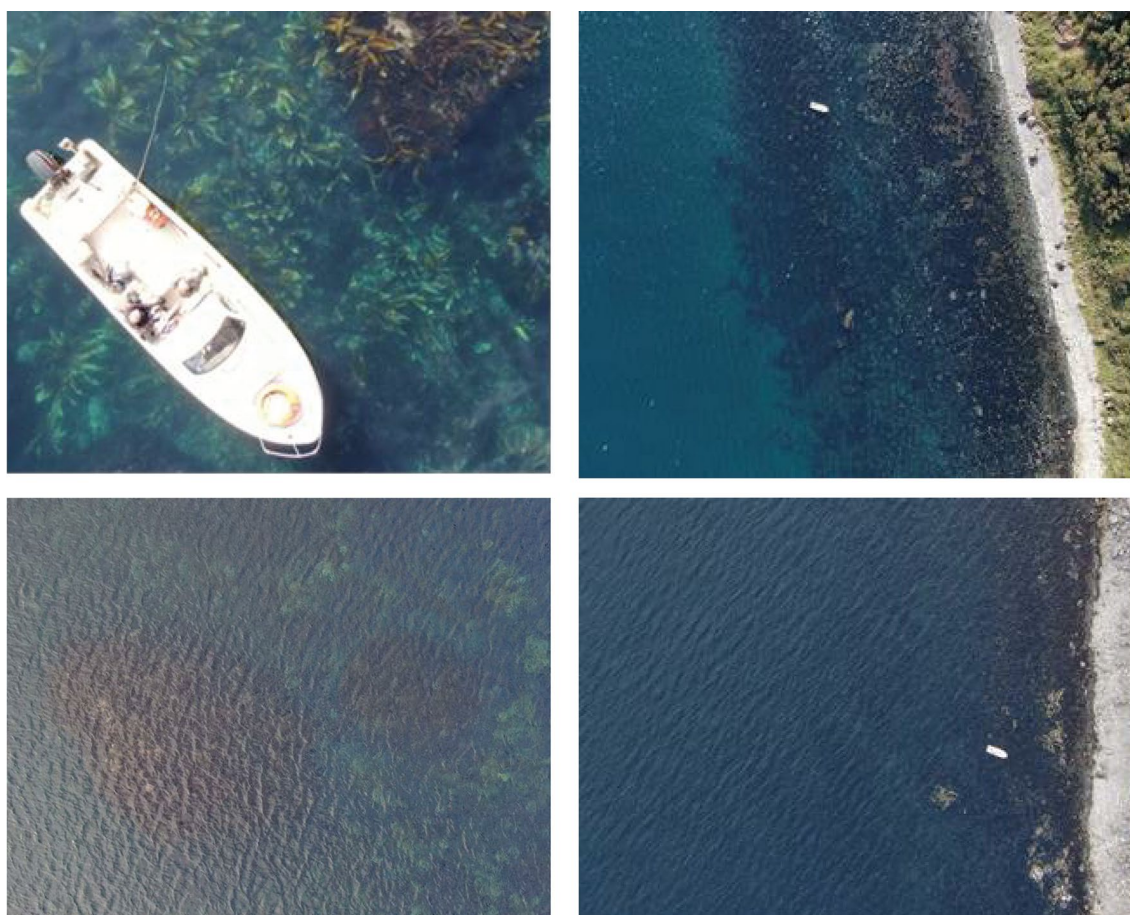


Рис. 9. Поселения сахарины японской у северо-западных побережий Татарского пролива. Фрагменты одиночных снимков. Слева – с высоты 10 м, глубины 1–4 м, справа – с высоты 300 м, глубины 1–6 м, сверху – снимки, сделанные при хороших условиях, снизу – при плохих

Как и в локальных мелководных акваториях бухт, при работе вдоль протяжённых открытых морских побережий значительного улучшения качества съёмки помогает добиться сборка ортофотопланов отснятого побережья. Поэтому, после отработки необходимых полетных навыков, была предпринята тотальная съёмка участка побережья в режиме преследования катера. Управление осуществлялось в ручном режиме. В течение одного полёта (за 25 минут) на одной батарее был обследован участок побережья протяжённостью 10 км и площадью 5 км² (рис. 10) при скорости ветра от 4 до 10 м/сек. В результате при высоте 500 м и скорости 0–52 км/ч были получены снимки с разрешением 18 см в пикселе. Дно на снимках просматривается на расстоянии 50–800 м от берега, в зависимости от уклона. Хорошо виден характер грунтов, отдельные пояса растительности, участки её отсутствия. Вдоль открытого побережья при благоприятных условиях полётов и невысоких требованиях к качеству съёмки протяжённость полётов на одной батарее может быть даже большей. При аэрофотосъёмке протяжённых побережий преследование может быть максимально эффективным режимом с точки зрения отношения обследованной площади к затраченному времени. Поскольку беспилотнику в таком режиме нет нужды возвращаться в исходную точку, преследование позволяет добиться максимальной рабочей протяжённости полёта. Однако следует понимать, что съёмки в режиме преследования возможны только при наличии хорошего полётного опыта. Прибегать к более сложным съёмкам с воды следует только тогда, когда съёмки с суши технически невозможны.

Проведённые экспериментальные съёмки вдоль открытого побережья и оконтуривания пояса растительности при помощи малых БПЛА позволяют говорить о перспективах проведения подобным способом

учёта нерестовых площадей тихоокеанской сельди (*Clupea pallasii* Valenciennes, 1847) в Охотском море для оценки её нерестового запаса. Кроме того, очевидны весьма широкие перспективы проведения прибрежных ландшафтных исследований. В случае использования быстроходных маломерных судов необходимой мореходности и автономности в качестве средств доставки БПЛА к участкам выполнения облётов, проведение таких работ будет значительно дешевле аналогичных аэрофотосъёмок с помощью пилотируемой авиации.

Эффективность НИР. Обобщение полученного опыта позволило оценить эффективность работ с использованием малых БПЛА с точки зрения трудозатрат, потребных для получения необходимых результатов и стоимости исследований. Планирование любых малобюджетных экспедиций в прибрежье — это всегда вопрос выбора оптимальных с точки зрения соотношения цены и качества исследовательских инструментов. В этом смысле современные потребительские БПЛА, присутствующие на рынке, представляются оптимальными. Несмотря на то, что их стоимость сравнима со стоимостью персонального компьютера или фотокамеры (от десятков до первых сотен тысяч рублей, в зависимости от модели и навесного оборудования), их возможности уже позволяют получать результаты профессионального уровня. Даже использование дешёвых потребительских аппаратов (например, DJI Mini 2 [2020]), позволяет получать описанные настоящей работе результаты и делать фотосъёмки поверхности с разрешением до сантиметров в пикселе, в то время как наиболее качественные спутниковые снимки имеют разрешение не более 0,3 м в пикселе. Далее, ещё 5 лет назад БПЛА стоимостью в 25 тыс. долл. обеспечивали максимальное полётное время 16 минут при удалении

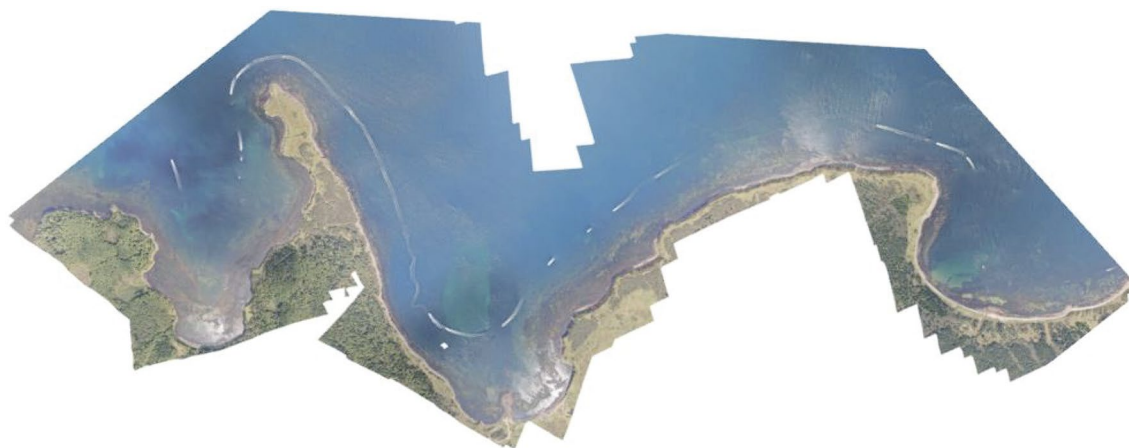


Рис. 10. Ортофотоплан участка побережья Татарского пролива, сентябрь 2020 г.

от точки базирования до 600 м [Christie et al., 2016]. Современные потребительские беспилотники, будучи на 1–2 порядка дешевле, имеют полётное время до 30–40 минут и летают в радиусе 6–9 км от точки базирования [Mavic 2 ..., 2018; User manual ..., 2020]. При этом современные БПЛА более высокого класса имеют стоимость в миллионы и десятки миллионов рублей, что фактически исключает возможность их применения в низкобюджетных прибрежных морских исследованиях. В связи с этим, следует понимать, что в ближайшие годы только потребительские беспилотники способны обеспечить широкое внедрение аэрофотосъёмки в бюджетные прибрежные исследования.

Выполненные с борта маломерного катера работы показали принципиальную возможность съёмок морских побережий большой протяжённости при помощи малых БПЛА. Общие подходы к использованию маломерных судов для проведения комплексных экспедиций у морских побережий большой протяжённости были обоснованы ранее [Дуленин, 2017]. В благоприятных условиях в течение светового дня может быть отснято до 100 км протяжённости прибрежной зоны. При переменной погоде, частой для морских побережий, когда в работе в течение дня делаются перерывы (обычно ветреное время приблизительно с 11 до 16–17 часов), протяжённость съёмки в течение дня может сократиться до 30–50 км или еще менее. Таким образом, относительно небольшое время и протяжённость полёта малых БПЛА по сравнению со средними и тяжёлыми, в значительной мере компенсируется наличием средств доставки, поскольку автомобили и маломерные суда много дешевле как «большой» беспилотной, так и пилотируемой авиации.

Кроме того, использование малых БПЛА совместно со средствами доставки обеспечивает весьма гибкий режим проведения исследований. В отличие от пилотируемой малой авиации, которая порой ожидает лётной погоды днями, а время подготовки к полёту составляет часы, применение малых БПЛА отличается гибкостью и ситуативностью. Для последних время подготовки к полёту измеряется несколькими минутами. Кроме того, оператор может воспользоваться даже получасом благоприятной погоды для обследования необходимого участка. При ухудшении погодных условий время посадки с максимальной рабочей высоты в 500 м составляет около 3 минут, при этом взлётные полосы и специальные посадочные площадки не требуются, поскольку аппарат такого класса в штатном режиме выполняет посадку в руку оператора или на участок ровной поверхности площадью около четверти квадратного метра.

Следует констатировать, что использование потребительских беспилотников обеспечивает наилучшую ценовую эффективность при проведении прибрежных исследований. Например, текущие расходы на обследование 60 км прибрежной зоны в течение дня при полётах с борта маломерного катера составили в 2020 г. 6 тыс. руб. (5 тыс. руб. — стоимость 100 л бензина, 1000 руб. — командировочные судоводителя и оператора беспилотника).

Благодаря внедрению малых БПЛА целый ряд съёмок площадью от сотен квадратных метров и до 5 км² за один полет может проводиться с максимальной оперативностью. Это позволяет весьма быстро получать материалы о вновь обнаруженных скоплениях растений и животных, человеческой деятельности в прибрежной зоне и т. п. Разумеется, между отснятой площадью и разрешением отснятых материалов на местности существует обратная зависимость: для получения ортофотоплана с сантиметровым разрешением на участок в квадратный километр потребуется отлетать беспилотником несколько десятков часов на высоте около 50 м. Однако ортофотоплан такой же площади можно получить за несколько минут полёта, если снизить требования к разрешению на местности до 14 см в пикселе и производить съёмку с высоты 500 м. Повышение целевого разрешения ортофотоплана не только приведёт к существенному увеличению времени на аэрофотосъёмку, но и значительно замедлит фотограмметрическую обработку отснятых фотоматериалов. Поэтому важнейшим элементом рационализации работ является выбор разрешения аэрофотоснимков на местности исходя из задач исследования.

Кроме того, только малые БПЛА могут обеспечить проведение регулярных мониторинговых облётов вплоть до нескольких раз в день для контроля промысловой обстановки, ННН-промысла, скоплений млекопитающих, птиц, рыб и т. п. Все эти съёмки могут выполняться попутно при осуществлении любой деятельности на побережье. Дополнительное преимущество таких съёмок состоит в том, что они незаметны и неинвазивны, то есть не требуют изъятия ВБР из среды обитания. Подобного рода работы практически невозможны при помощи пилотируемой авиации и больших БПЛА. При этом трудозатраты на выполнение таких съёмок минимальны, затраты времени составляют от нескольких минут до получаса на каждый полет, а необходимые человеческие ресурсы ограничиваются одним оператором. Помимо этого, при выполнении попутной аэрофотосъёмки при проведении НИР или иной основной деятельности, эти съёмки не требуют дополнительных финансовых затрат.

Предварительное планирование миссий в полётном ПО и точность навигации вплоть до нескольких метров обеспечивает повторяемость исследований.

Обработка данных. Полевые съёмки являются начальной стадией работ с БПЛА. После их выполнения требуется камеральная обработка данных. Прежде всего, это сборка ортофотопланов в специализированном ПО для фотограмметрической обработки снимков. Практика показывает, что хорошие результаты с наименьшим количеством артефактов и искажений даёт использование отечественного пакета Agisoft Metashape Professional [Руководство ..., 2019]. Как явствует из фото, приведённых выше, ортофотопланы фактически являются фотографическими картами местности, выполненными с весьма высоким разрешением. В наших материалах оно составляет 6–20 см в пикселе. Имеющиеся на рынке малые БПЛА позволяют получить разрешение от 0,2 см в пикселе, в зависимости от задач и высоты полёта. Таким образом, ортофотопланы являются более подробными локальными аналогами спутниковых карт, на которых видны элементы рельефа и которые позволяют учитывать ценотические пояса, прежде всего растительные, относительно крупных рыб, млекопитающих и других животных. После сборки ортофотопланы экспортируют в ГИС для дальнейшей обработки. В ГИС могут быть измерены длины и площади протяжённых объектов, выполнен подсчёт точечных, проведена более сложная геостатистическая обработка данных. Все такого рода материалы доступны для последующего объединения и обобщения. Полученные результаты обработки могут служить основой для создания реестров геореферированных рыбохозяйственных данных. Кроме того, в случае использования веб-ГИС и при наличии интернет-соединения создаваемые базы могут оперативно пополняться. При этом доступны также оперативный конфиденциальный обмен картографическими данными с заинтересованными специалистами, государственными органами и т. д. [Свиридов, Золотухин, 2020]. Необходимые данные могут быть направлены заинтересованным лицам в виде ссылок на страницы в интернете, а также на электронную почту или даже на популярные мессенджеры (WhatsApp, Telegram и т. п.). Эти возможности обеспечивают полную проверяемость получаемых результатов.

Подготовка операторов. Отдельное внимание нужно уделить необходимому уровню подготовки, которую должен иметь оператор БПЛА для выполнения научно-исследовательских работ. Прежде всего, нужно отметить, что управление малыми потребительскими БПЛА несравнимо проще, чем управление аппаратами более высокого класса, не говоря уже о пилотируемой авиации. Преимущество потребительских БПЛА в том, что

они изначально разработаны для нужд рядового пользователя-непрофессионала. Это позволяет легко осваивать управление такими БПЛА лицами, не имеющими отношения к авиации, в частности, биологами. Необходимый уровень подготовки может быть совершенно различен, в зависимости от задач НИР.

Минимальная подготовка нужна для выполнения заранее спланированных автономных миссий: для этого необходимо уметь пользоваться полётной программой, создавать и загружать миссию на мобильное устройство и контролировать посадку беспилотника. Для обучения этим навыкам может быть достаточно одного дня. Несколько более сложна техника ручного пилотирования для выполнения коротких обследований в пределах прямой видимости. Для уверенного управления беспилотником в этом случае требуется обучение в течение нескольких дней.

Существенно сложнее и аварийно опаснее выполнение протяжённых полётов над морем, с борта маломерного судна, особенно движущегося. Приобретение необходимой практики таких полётов потребует не менее 2 недель. До выхода в поле оператор в обязательном порядке должен выполнить необходимый объём тренировочных занятий и приобрести необходимые навыки для уверенного решения стоящих перед ним задач. Освоение полётных навыков должно быть последовательным и постепенным. Разумно, если оно будет осуществляться коллективно, небольшой группой заинтересованных лиц. Наконец, наибольшего времени требует освоение полного цикла работ: планирование миссий в полётных программах, полёты, сборка ортофотопланов, первичные навыки обработки материалов в ГИС. При интенсивном обучении, на освоение такого объёма знаний и умений потребуются не менее месяца.

Ограничения и недостатки. Для любого исследовательского инструмента характерны свои возможности и ограничения, достоинства и недостатки. Поэтому, несмотря на то, что малые беспилотники могут использоваться в широком спектре морских прибрежных исследований, у специалиста-биолога должно быть ясное понимание возможностей и ограничений в применении этих инструментов на всех стадиях работы: от планирования экспедиций до размещения материалов в веб-ГИС. Поскольку съёмки протяжённых участков возможны только в сочетании со средствами доставки, исследователь при необходимости должен иметь автомобиль (при наличии дорог) или маломерный катер, обеспечивающий доступ БПЛА в район исследований. Охват съёмками по глубине всегда будет ограничен прозрачностью воды и метеорологическими условиями, которые необходимо принимать во внимание. Учёт отдельных экземпляров животных и растений при по-

мощи БПЛА возможен, скорее всего, только для крупных объектов; что касается мелких, для них будет возможен учёт только площади и расположения их скоплений. Сборка ортофотопланов из малококонтрастных изображений, а также фото не неподвижных объектов (рыб, водорослей), сделанных с малой высоты (5–20 м), по-видимому невозможна.

Протяжённость полётов должна быть спланирована так, чтобы их целевая продолжительность расходовала не более $\frac{3}{4}$ заряда аккумулятора. Несмотря на хорошую ветроустойчивость (10–16 м/с у разных моделей) современных малых БПЛА [Mavic 2 ..., 2018; User manual ..., 2020], в любом случае, приоритетом при проведении аэрофотосъёмки должна оставаться безопасность людей и оборудования. При любом существенном усилении ветра, ухудшении погоды, возникновении нештатных ситуаций съёмка должна быть немедленно прекращена, БПЛА посажен, а научная группа и оборудование с максимально возможной скоростью доставлены в заранее запланированное укрытие.

Планируя использование БПЛА, необходимо понимать, что срок эксплуатации аппарата может быть довольно недолгим. Несмотря на относительную лёгкость управления и техническую надёжность, практика показывает, что при его эксплуатации не исключены технические и программные сбои, ошибки пилотирования, нападения птиц и другие обстоятельства, которые могут привести к повреждению или утрате аппарата. Тем

не менее, все более широкое распространение потребительской беспилотной техники в профессиональной среде показывает, что выгоды от её использования многократно превышают ущерб от потерь. Учитывая сказанное, при планировании больших экспедиций с использованием БПЛА необходимо предусматривать наличие дополнительного аппарата, возможно, более дешёвого, который позволил бы завершить НИР в случае повреждения основного.

Оптимальные модели. Несмотря на большое количество потребительских беспилотников, представленных на рынке, оптимальными для картографических и мониторинговых работ в прибрежной зоне можно считать лишь несколько моделей (таблица). Множество прочих вариантов имеют либо неудовлетворительные технические характеристики, либо значительные недостатки программного обеспечения. Подробное обсуждение техники и ПО выходит за рамки настоящей работы, здесь имеет смысл высказать лишь несколько соображений по этому поводу. В случае жёстких бюджетных ограничений безальтернативным является приобретение DJI Mini 2. Разрешение его камеры невелико, доступное полётное ПО не всегда оптимально. Однако, в ряде ситуаций определяющими могут оказаться его преимущества: аппарат крайне малозащитен, имеет буквально карманные размеры.

Использование потребительских беспилотников весом от 250 г до 30 кг регламентируется постановле-

Таблица. Сравнительные характеристики потребительских БПЛА, оптимальных для прибрежных съёмок

Модель	DJI Mini 2	DJI Mavic 2 Pro	DJI Phantom IV v.2	Autel Evo II
Цена, тыс. руб.	45 в стандартной комплектации, 61 в расширенной комплектации с 3 аккумуляторами и кейсом	141–147, требуется покупка дополнительных аккумуляторов и аксессуаров	145–176, требуется покупка дополнительных аккумуляторов и аксессуаров	133 в стандартной комплектации, 179 – в расширенной комплектации с 3 аккумуляторами и кейсом
Камера, мегапикс.	12, электронный затвор, приемлемое качество	20, электронный затвор, неплохое качество	20, механический затвор, наилучшее качество	20, электронный затвор, хорошее качество
Время полета, мин., до	31	31	30	40
Скорость, км/ч, до	58	72	72	72
Ветер, м/с, до	10,5	10,5	10	16
Полётное ПО	Ограниченное количество, местами недоработано	Наибольшее количество и наилучшее качество	Наибольшее количество и наилучшее качество	Ограниченное количество, местами недоработано
Связь, км, до	6	6	6	9
Компактность	Высокая	Средняя	Низкая	Средняя
Обслуживание и ремонт, возможности	Неплохие	Хорошие	Наилучшие	Возможны затруднения

Примечание: За время подготовки статьи вышли еще две пригодных для исследований модели: DJI Mavic 3 и Swell Pro SplashDrone 4.

нием Правительства Российской Федерации от 25.05.2019 г. № 658 [Постановление правительства ..., 2019]) и подлежит регистрации в Росавиации. Постановка беспилотников на учёт осуществляется в рабочем порядке и не вызывает каких-либо проблем. Тем не менее, дополнительным преимуществом сверхлегких БПЛА, таких как DJI Mini 2 является то, что благодаря малому весу эти аппараты не требуют регистрации в государственных регулирующих органах.

Хорошие возможности съёмки имеет несколько менее компактный DJI Mavic 2 Pro, для которого доступно наилучшее полётное ПО. Однако, наиболее популярен в профессиональных кругах DJI Phantom IV v. 2. Помимо оптимального ПО, его преимуществом является камера с механическим затвором, что позволяет избежать артефактов на ортофотопланах при съёмке с сложных условиях. При этом он наименее компактен, поэтому его использование может оказаться неудобным на пешеходных маршрутах. Autel Evo II имеет наилучшие полётные характеристики и относительно компактен. Однако, доступное для него полётное ПО не лишено недостатков, а сервисная сеть в России не налажена. При всем том, если не предполагается планирование сложных автономных миссий или фотосъёмки в тяжёлых условиях, этот аппарат может быть приемлемым для прибрежных исследований.

Подробное описание полётных методик для нужд рыбохозяйственных исследований авторы планируют представить в отдельной публикации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итак, опыт использования малых БПЛА показал, что они пригодны для учёта ННН-вылова, рыб, млекопитающих, донной растительности, ландшафтного картирования, позволяют выполнять точечные, выборочные и тотальные обследования как локальных акваторий, так и протяжённых морских побережий, хорошо сочетаются с другими инструментами и методами НИР и обеспечивают комплексность прибрежных исследований. Очевидно, что список возможных направлений использования БПЛА для морских прибрежных исследований в ближайшее время будет только расширяться, в т. ч. по причине удешевления и улучшения техники и ПО. Малые БПЛА способны к автономным многокилометровым полётам, достаточно ветроустойчивы и на значительной высоте незаметны для окружающих. Доставка БПЛА к местам исследований может осуществляться пешком, автомобильным и водным транспортом. Использование малых беспилотников позволяет значительно сократить как время, необходимое для проведения исследований, так и их стоимость. Малые беспилотники обеспе-

чивают возможность как ситуативных съёмок, так и регулярного мониторинга площадей до 5 км² в течение каждого полёта. Текущая цена потребительских беспилотников обеспечивает их широкое распространение. Наличествующее ПО позволяет обеспечивать планирование полетов, получение ортофотопланов участков съёмки, накопление, обработку и адресное распространение картографических данных. Использование БПЛА в комплексе с ПО для фотограмметрической обработки данных и ГИС обеспечивает получение высокоточных, повторяемых и проверяемых результатов.

ЛИТЕРАТУРА

- Бизиков В.А., Болтнев Е.А., Петров Е.А., Петерфельд В.А., Черноок В.И. 2019. Экспериментальная авиасъёмка байкальской нерпы с использованием БПЛА большой дальности // Труды ВНИРО. Т. 175. С. 226–229.
- Бузмаков А.С., Санников П.Ю., Андреев Д.Н. 2016. Подготовка и применение материалов аэрофотосъёмки для изучения лесов // Известия Самарского научного центра РАН. Т. 18. № 2 (2). С. 313–316.
- Грачев А.И. 2000. Результаты обследований лежбищ сивуча и моржа в Охотском, Беринговом и Чукотском морях в 1997 году // Мат. Межд. конф.: Морские млекопитающие Голарктики. Архангельск. С. 99–104.
- Дронова Н.А., Спиридонов В.А. 2008. Незаконный, неучтённый и нерегулируемый вылов тихоокеанских лососей на Камчатке. М.: Всемирный фонд дикой природы. 52 с.
- Дуленин А.А. 2016. О применимости визуальных наблюдений для оценки обилия макрофитов на примере сахарины японской северо-западной части Татарского пролива // Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промысловое и техническое использование. Мат. VII Всеросс. науч.-практ. конф. с межд. участием. Часть 1. (22–24 марта 2016 г.). Петропавловск-Камчатский. С. 80–84.
- Дуленин А.А. 2017. Комплексный подход к организации прибрежных рыбохозяйственных исследований в условиях сокращения их финансирования // Водные биологические ресурсы России: состояние, мониторинг, управление. Сб. мат. Всерос. науч. конф. с межд. участием, посвящённой 85-летию КамчатНИРО (3–6 октября 2017 г., Петропавловск-Камчатский). Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО. С. 112–118.
- Дуленин А.А. 2019. Распределение видов-доминантов макрофитов по глубине в северо-западной части Татарского пролива // Биология моря. Т. 45, № 2. С. 97–107.
- Дуленин А.А., Кудревский О.А. 2019. Использование лёгкого телеуправляемого необитаемого подводного аппарата для морских прибрежных гидробиологических исследований // Вестник КамчатГТУ. № 48. С. 6–17.
- Запорожец О.М., Запорожец Г.В. 2017. Использование фото- и видеофиксации для оценки количества производителей тихоокеанских лососей на нерестилищах и путях их миграций: некоторые методические подходы // Исследования водных биологических ре-

- сурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. Вып. 47. С. 77–90.
- Запорожец О.М., Запорожец Г.В., Фельдман М.Г. 2020. Оценка численности производителей нерки и их распределение по нерестовым станциям в бассейне Начикинского озера (Камчатка) в 2019 г. // Известия ТИНРО. Т. 200. Вып. 3. С. 618–634.
- Команда NextGIS. 2019. Документация NextGIS QGIS. Выпуск 17.0. 25–10–2019. 227. Доступно через: https://docs.nextgis.ru/_downloads/340c10edc4ee3eb26e18ef9398e87567/NextGISQGIS.pdf. 24.02.2021.
- Кортаев А.А., Новопашин Л.А. 2015. Применение беспилотных летательных аппаратов для мониторинга сельскохозяйственных угодий и посевных площадей в аграрном секторе // Аграрный вестник Урала. Т. 12. № 142. С. 38–42.
- Мещанинова Е.Г., Николюкина В.О. 2018. Перспективы использования БПЛА при осуществлении земельного надзора // Экономика и экология территориальных образований. Т. 2. № 3. С. 122–128.
- Свиридов В.В., Золотухин С.Ф. 2020. Методы ГИС для инвентаризации нерестилищ тихоокеанских лососей р. Амур // Известия ТИНРО. Т. 200 № 3. С. 730–746.
- Постановление Правительства Российской Федерации от 25.05.2019 № 658 «Об утверждении Правил учёта беспилотных гражданских воздушных судов с максимальной взлётной массой от 0,25 килограмма до 30 килограммов, ввезённых в Российскую Федерацию или произведённых в Российской Федерации». 8 с.
- Челинцев Н.Г., Горяев Ю.И., Ежов А.В., Макаревич П.Р., Ишуклов Д.Г. 2017. Опыт оценки численности тюленей методом судового трансектного учёта с применением секторной экстраполяции по результатам наблюдений в юго-западной части Карского моря в летний период 2015 г. // Труды ВНИРО. Т. 168. С. 117–124.
- Agisoft. 2019. Руководство пользователя Agisoft Metashape Professional Edition, версия 1.5. Agisoft LLC. 169 с. Accessible via: https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro_1_5_ru.pdf. 20.01.2021.
- Autel Robotics. 2020. User manual for Evo II Series. 74 p. Accessible via: <https://www.autelpilot.com/blogs/support/autel-evo-ii-drone-user-manual>. 15.02.2021.
- Christie K.S., Gilbert S.L., Brown C.L., Hatfield M., Hanson L. 2016. Unmanned aircraft systems in wildlife research: current and future applications of a transformative technology // *Frontiers in Ecology and the Environment*. V. 14. Issue 5. P. 241–251.
- DJI. 2018. Mavic 2 Pro/Zoom user manual. V. 1.4. 69 p. Accessible via: https://dl.djicdn.com/downloads/Mavic_2/Mavic+2+Pro+Zoom+User+Manual+V1.4.pdf. 15.02.2021.
- DJI. 2021. DJI Mini 2. Руководство пользователя. Версия 1.2. 2021.02. 51 с. Accessible via: https://dl.djicdn.com/downloads/DJI_Mini_2/20210222/DJI_Mini_2_User_Manual_RU.pdf. 15.02.2021.
- Goebel M.E., Perryman W.L., Hinke J.T., Krause D.J., Hann N.A., Gardner S., LeRoi D.J. 2015. A small unmanned aerial system for estimating abundance and size of Antarctic predators // *Polar Biology*. V. 38. P. 619–630.
- Joyce K., Duce S., Leahy S., Leon J.X., Maier S. 2018. Principles and practice of acquiring drone based image data in marine environments // *Mar. Freshw. Res.* V. 70. P. 952–963.
- Koski W.R., Gamage G., Davis A.R., Mathews T., LeBlanc B., Ferguson S.H. 2015. Evaluation of UAS for photographic re-identification of bowhead whales, *Balaena mysticetus* // *J. of Unmanned Vehicle Systems*. V. 3. P. 22–29.
- Litchi. 2021. User Guide. Accessible via: <https://flylitchi.com/help>. 24.02.2021.
- Maselko J.M., Connor W.P. 2016. Testing unmanned aircraft systems for salmon spawning surveys // *FACETS*. V. 1. P. 187–204.
- Merrill J., Pan Z., Mewes T., Herwitz S. 2013. Airborne hyperspectral imaging of seagrass and coral reef // *AGU Fall Meeting, San Francisco, Dec. 9–13. Abstracts*. V. 1. P. 1741.
- Moreland E.E., Cameron M.F., Angliss R.P., et al. 2015. Evaluation of a ship-based unoccupied aircraft system (UAS) for surveys of spotted and ribbon seals in the Bering Sea pack ice // *J. of Unmanned Vehicle Systems*. V. 3. 114–122.
- Mulero-Pázmány M., Stolper R., van Essen L.D., Negro J.J., Sassen T. 2014. Remotely piloted aircraft systems as a rhinoceros anti-poaching tool in Africa // *PLoS ONE*. V. 9 (1). P. 1–10.
- Pomeroy P., O'Connor L., Davies P. 2015. Assessing use of and reaction to unmanned aerial systems in gray and harbor seals during breeding and molt in the UK // *J. of Unmanned Vehicle Systems*. V. 3. P. 102–113.
- Sardà-Palomera F., Bota G., Padilla N., Brotons L. Sardà, F. 2017. Unmanned aircraft systems to unravel spatial and temporal factors affecting dynamics of colony formation and nesting success in birds // *J. of Avian Biology*. V. 48. P. 1273–1280.
- Sheehan E., Rodriguez-Rodriguez D., Foster N., Nancollas S., Cousens S., Holmes L., Attrill M., Pettifer E., Jones I., Vaz S., Facq J.-V., Germain G. 2014. A comparative study of towed underwater video methodology to monitor benthic habitats in Marine Protected Areas. Ifremer, Sussex IFCA and Marine Institute for the Protected Area Network Across the Channel Ecosystem (PANACHE) project. INTERREG programme. 46 p.
- Toonen H.M., Bush S.R. 2018. The digital frontiers of fisheries governance: fish attraction devices, drones and satellites // *J. of Environmental Policy and Planning*. V. 22 (1). P. 125–137.
- Weissensteiner M.H., Poelstra J.W., Wolf J.B.W. 2015. Low-budget ready-to-fly unmanned aerial vehicles: an effective tool for evaluating the nesting status of canopy-breeding bird species // *J. of Avian Biology*. V. 46. P. 001–006.
- Xu F, Gao Z, Jiang X, Shang W, Ning J, et al. 2018. A UAV and S2A data-based estimation of the initial biomass of green algae in the South Yellow Sea // *Marine Pollution Bulletin*. V. 128. P. 408–414.

Поступила в редакцию 14.05.2021 г.
Принята после рецензии 19.05.2021 г.

Experience and perspectives of small unmanned aerial vehicles application for marine coastal biological studies

A.A. Dulenin,
P.A. Dulenina,
D.V. Kotsyuk,
V.V. Sviridov

Khabarovsk Branch of VNIRO
(«KhabarovskNIRO»), Khabarovsk, Russia

Based on the results of own work and published research analysis it is shown that small UAVs can be used efficiently for cost-effective evaluation of fishes, mammals, benthic vegetation, IUU catches and landscape mapping. These devices enable point, sample and total surveys of marine areas. UAVs are well suited for integrated research programs utilizing diverse methods. Small UAVs application enables significant savings of research time and expenditures. To achieve peak efficiency of drones it is necessary to account for their technical capabilities, constraints and vulnerabilities. Optimization of UAVs deployment to survey area is an important factor in increasing their efficiency. Software for automatic flight mission execution allows to expand surveyed area and decrease accident rate. Software for automated photogrammetric processing of acquired aerial photography allows to minimize efforts for orthophotos production. Created orthophotos serve as a basis for aquatic species distribution mapping, abundance estimates and GIS visualization. Due to low cost and high functional characteristics modern consumer UAVs already can play a key role in marine coastal biological studies. Their importance as an instrument for such research programs will increase shortly along inevitable growth of their technical characteristics and decrease in price.

Keywords: marine coastal biological research, UAVs, aerial imagery, orthophoto, mapping, GIS.

REFERENCES

- Bizikov V.A., Boltnev E.A., Petrov E.A., Peterfel'd V.A., Chernook V.I.* 2019. Eksperimental'naya avias"yomka bajkal'skoj nerpy s ispol'zovaniem BPLA bol'shoj dal'nosti [Experimental aerial survey of the Baikal seal using long-range UAVs] // Trudy VNIRO. T. 175. S. 226–229.
- Buzmakov A.S., Sannikov P. Yu., Andreev D.N.* 2016. Podgotovka i primeneniye materialov aerofotos"emki dlya izucheniya lesov [Preparation and applying the aerial photography for the forest studying] // Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra RAN. T. 18. № 2 (2). S. 313–316.
- Grachev A.I.* 2000. Rezul'taty obsledovaniy lezhbishch sivucha i morzha v Ohotskom, Beringovom i Chukotskom moryah v 1997 godu [Results of Steller sea lion and walrus rookeries observations in Okhotsk, Bering and Chukchi Seas in 1997] // Mat. Mezhd. konf: Morskije mlekokopitayushchie Golarktiki. Arhangel'sk. S. 99–104.
- Dronova N.A., Spiridonov V.A.* 2008. Nezakonnyj, neuchtennyj i nereguliruemyy vylov tihookeanskih lososej na Kamchatke [Illegal, unreported and unregulated catches Pacific salmon in Kamchatka]. M.: Vsemirnyj fond dikoj prirody. 52 s.
- Dulenin A.A.* 2016. O primenimosti vizual'nyh nablyudenij dlya ocenki obiliya makrofitov na primere sahariny yaponskoj severo-zapadnoj chasti Tatarskogo proliva [On applicability of visual observations for macrophyte abundance estimation by example of *Saccharina japonica* at north-western Tatar Strait] // Prirodnye resursy, ih sovremennoe sostoyanie, ohrana, promyslovoe i tekhnicheskoe ispol'zovanie. Mat. VII Vseross. nauch.-prak. konf. s mezhd. uchastiem. Chast' 1. (22–24 marta 2016 g.). Petropavlovsk-Kamchatskij. S. 80–84.
- Dulenin A.A.* 2017. Kompleksnyj podhod k organizacii pribrezhnyh rybohozyajstvennyh issledovaniy v usloviyah sokrashcheniya ih finansirovaniya [Integrated approach to organizing coastal fisheries research in conditions of reduced funding] // Vodnye biologicheskie resursy Rossii: sostoyanie, monitoring, upravlenie. Sb. mat. Vseros. nauch. konf. s mezhd. uchastiem, posvyashchennoj 85-letiyu KamchatNIRO (3–6 oktyabrya 2017 g., Petropavlovsk-Kamchatskij). Petropavlovsk-Kamchatskij: KamchatNIRO. S. 112–118.
- Dulenin A.A.* 2019. Raspredeleniye vidov-dominantov makrofitov po glubine v severo-zapadnoj chasti Tatarskogo proliva [The depth distribution of dominant species of macrophytes in the northwestern part of Tatar Strait] // Biologiya morya. T. 45, № 2. S. 97–107.
- Dulenin A.A., Kudrevskij O.A.* 2019. Ispol'zovanie legkogo teleupravlyаемого neobitaемого podvodnogo apparata dlya morskikh pribrezhnyh gidrobiologicheskikh issledovaniy [The use of lightweight remote operated vehicle for marine coastal hydrobiological investigations] // Vestnik KamchatGTU. № 48. S. 6–17.

- Zaporozhets O.M., Zaporozhets G.V.* 2017. Ispol'zovanie foto- i videofiksacii dlya ocenki kolichestva proizvoditelej tihookeanskikh lososej na nerestilishchah i putyah ih migracij: nekotorye metodicheskie podhody [Using the photo- and video records for assessment of Pacific salmon escapement on migration routes and spawning grounds: some methodical approaches] // *Issledovaniya vodnyh biologicheskikh resursov Kamchatki i severozapadnoj chasti Tihogo okeana*. Vyp. 47. S. 77–90.
- Zaporozhec O.M., Zaporozhec G.V., Fel'dman M.G.* 2020. Ocenka chislennosti proizvoditelej nerki i ih raspredelenie po nerestovym stacyam v bassejne Nachikinskogo ozera (Kamchatka) v 2019 g. [Estimation of the number of sockeye salmon adults and their distribution by spawning stations in the basin of Lake Nachikinskoye (Kamchatka) in 2019] // *Izvestiya TINRO*. T. 200. Vyp. 3. S. 618–634.
- Komanda NextGIS.* 2019. Dokumentaciya NextGIS QGIS [NextGIS QGIS documentation]. Vypusk 17.0. 25–10–2019. 227. Accessible via: <https://docs.nextgis.ru/downloads/340c10edc4ee3eb26e18ef9398e87567/NextGISQGIS.pdf>. 24.02.2021.
- Korotaev A.A., Novopashin L.A.* 2015. Primenenie bespilotnyh letatel'nyh apparatov dlya monitorirovaniya sel'skohozyajstvennyh ugodij i posevnyh ploshchadej v agrarnom sektore [Application of unmanned aerial vehicles for monitoring agricultural lands and cultivation areas in agrarian sector] // *Agrarnyj vestnik Urala*. T. 12. № 142. S. 38–42.
- Meshchaninova E.G., Nikolyukina V.O.* 2018. Perspektivy ispol'zovaniya BPLA pri osushchestvlenii zemelnogo nadzora [Prospects for the use of UAVs in the implementation of the land supervision] // *Ekonomika i ekologiya territorial'nyh obrazovanij*. T.2. № 3. S. 122–128.
- Postanovlenie Pravitel'stva Rossijskoj Federatsii* ot 25.05.2019 № 658. 2019. Ob utverzhdenii Pravil ucheta bespilotnykh grazhdanskikh vozдушnykh sudov s maksimal'noj vzletnoj massoj ot 0,25 kilogramma do 30 kilogrammov, vvezennykh v Rossijskuyu Federatsiyu ili proizvedennykh v Rossijskoj Federatsii [The decree of the Government of the Russian Federation. 2019. On approval of the rules for accounting for unmanned civil aircraft with a maximum take-off weight from 0.25 kilograms to 30 kilograms imported into the Russian Federation or produced in the Russian Federation]. 8 s.
- Sviridov V.V., Zolotuhin S.F.* 2020. Metody GIS dlya inventarizacii nerestilishch tihookeanskikh lososej r. Amur [GIS methods for inventory of pacific salmon spawning grounds in the Amur River] // *Izvestiya TINRO*. T. 200 № 3. S. 730–746.
- Chelincev N.G., Goryaev Yu.I., Ezhov A.V., Makarevich P.R., Ishkulov D.G.* 2017. Opyt ocenki chislennosti tyulenej metodom sudovogo transektного ucheta s primeneniem sektornoj ekstrapolyacii po rezul'tatam nablyudenij v yugo-zapadnoj chasti Karskogo morya v letnij period 2015 g [Experience abundance estimates by the ship transect accounting with pie extrapolations from observations in the south-western part of the Kara Sea in summer 2015] // *Trudy VNIRO*. T. 168. S. 117–124.
- Agisoft.* 2019. Rukovodstvo pol'zovatelya Agisoft Metashape Professional Edition, versiya 1.5 [User manual for Agisoft Metashape Professional Edition version 1.5]. Accessible via: https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro_1_5_ru.pdf. 20.01.2021.
- Autel Robotics.* 2020. User manual for Evo II Series. 74 p. Accessible via: <https://www.autelpilot.com/blogs/support/autel-evo-ii-drone-user-manual>. 15.02.2021.
- Christie K.S., Gilbert S.L., Brown C.L., Hatfield M., Hanson L.* 2016. Unmanned aircraft systems in wildlife research: current and future applications of a transformative technology // *Frontiers in Ecology and the Environment*. V. 14. Issue 5. P. 241–251.
- DJI.* 2018. Mavic 2 Pro/Zoom user manual. V. 1.4. 69 p. Accessible via: https://dl.djicdn.com/downloads/Mavic_2/Mavic+2+Pro+Zoom+User+Manual+V1.4.pdf. 15.02.2021.
- DJI.* 2021. DJI Mini 2. Рukоводство пользователя. Версия 1.2. 2021.02. 51 с. Accessible via: https://dl.djicdn.com/downloads/DJI_Mini_2/20210222/DJI_Mini_2_User_Manual_RU.pdf. 15.02.2021.
- Goebel M.E., Perryman W.L., Hinke J.T., Krause D.J., Hann N.A., Gardner S., LeRoi. D.J.* 2015. A small unmanned aerial system for estimating abundance and size of Antarctic predators // *Polar Biology*. V. 38. P. 619–630.
- Joyce K., Duce S., Leahy S., Leon J.X., Maier S.* 2018. Principles and practice of acquiring drone based image data in marine environments // *Mar. Freshw. Res.* V. 70. P. 952–963.
- Koski W.R., Gamage G., Davis A.R., Mathews T., LeBlanc B., Ferguson S.H.* 2015. Evaluation of UAS for photographic re-identification of bowhead whales, *Balaena mysticetus* // *J. of Unmanned Vehicle Systems*. V. 3. P. 22–29.
- Litchi.* 2021. User Guide. Accessible via: <https://flylitchi.com/help>. 24.02.2021.
- Maselko J.M., Connor W.P.* 2016. Testing unmanned aircraft systems for salmon spawning surveys // *FACETS*. V. 1. P. 187–204.
- Merrill J, Pan Z, Mewes T, Herwitz S.* 2013. Airborne hyperspectral imaging of seagrass and coral reef // *AGU Fall Meeting, San Francisco, Dec. 9–13. Abstracts*. V. 1. P. 1741.
- Moreland E.E., Cameron M.F., Angliss R.P., et al.* 2015. Evaluation of a ship-based unoccupied aircraft system (UAS) for surveys of spotted and ribbon seals in the Bering Sea pack ice // *J. of Unmanned Vehicle Systems*. V. 3. 114–122.
- Mulero-Pázmány M., Stolper R., van Essen L.D., Negro J.J., Sassen T.* 2014. Remotely piloted aircraft systems as a rhinoceros anti-poaching tool in Africa // *PLoS ONE*. V. 9 (1). P. 1–10.
- Pomeroy P, O'Connor L., Davies P.* 2015. Assessing use of and reaction to unmanned aerial systems in gray and harbor seals during breeding and molt in the UK // *J. of Unmanned Vehicle Systems*. V. 3. P. 102–113.
- Sardà-Palomera F., Bota G., Padilla N., Brotos L. Sardà, F.* 2017. Unmanned aircraft systems to unravel spatial and

temporal factors affecting dynamics of colony formation and nesting success in birds // *J. of Avian Biology*. V. 48. P. 1273–1280.

Sheehan E., Rodriguez-Rodriguez D., Foster N. Nancollas S., Cousens S., Holmes L., Attrill M., Pettifer E., Jones I., Vaz S., Facq J.-V., Germain G. 2014. A comparative study of towed underwater video methodology to monitor benthic habitats in Marine Protected Areas. Ifremer, Sussex IFCA and Marine Institute for the Protected Area Network Across the Channel Ecosystem (PANACHE) project. INTERREG programme. 46 p.

Toonen H.M., Bush S.R. 2018. The digital frontiers of fisheries governance: fish attraction devices, drones

and satellites // *J. of Environmental Policy and Planning*. V. 22 (1). P. 125–137.

Weissensteiner M.H., Poelstra J.W., Wolf J.B.W. 2015. Low-budget ready-to-fly unmanned aerial vehicles: an effective tool for evaluating the nesting status of canopy-breeding bird species // *J. of Avian Biology*. V. 46. P. 001–006.

Xu F, Gao Z, Jiang X, Shang W, Ning J, et al. 2018. A UAV and S2A data-based estimation of the initial biomass of green algae in the South Yellow Sea // *Marine Pollution Bulletin*. V. 128. P. 408–414.

TABLE CAPTIONS

Table. Comparative characteristics of consumer UAV optimal for coastal aerial surveys

FIGURE CAPTIONS

Fig. 1. Examples of autonomous missions planning for sample photographing in Falshivaya Bay (left) and total photographing in Datta Bay (right) during September 2020. Digits designate waypoint number (lilac symbol), flight height at given segment (black symbol) and length of segment between neighboring waypoints (black symbol ending with “m”) in meters

Fig. 2. Orthophoto of Datta Bay inner part, Tatar Strait western coast, September 2020

Fig. 3. Chum salmon fishing in Datta Bay (western part of Tatar Strait). Set nets, car and tent are visible

Fig. 4. Orthophoto of Toki Island and its vicinities. Circles designate spotted seal individuals near Toki Island (yellow) and adjacent stony spit (orange)

Fig. 5. Spotted seal rookery partial photos near Toki Island. Left – taken at 200 m, magnified, right – at 10 m

Fig. 6. Flathead grey mullet in shallow waters nearby Toki Island

Fig. 7. Aerial photography results for Flashivaya Bay (noth-western Tatar Strait) at height of 500 m

Fig. 8. *Zostera marina* fields in Falshivaya Bay (north-western Tatar Strait) at height of 10 m. Left – photo without optical obstacles, right – with optical obstacles (cloud reflections, ripple, shadows, fallen trees)

Fig. 9. *Saccharina japonica* fields at Tatar Strait north-western coastlines. Parts of single photos. Left – at height 10 m, depth 1–4 m, right – at height 300 m, depth 1–6 m. Upper row photos were taken in good conditions, lower row – in poor ones

Fig. 10. Orthophoto of Tatar Strait coastline section, September 2020.

УДК 597 (265.5).

DOI: 10.36038/2307-3497-2021-185-152-157

Распределение пелагических рыб в тихоокеанских водах Курильских островов в сентябре-октябре 2020 г.

А.В. Согрина^{1,2},
П.О. Емелин¹,
В.А. Свидерский³,
Е.Ю. Малыгин³,
В.А. Беляев¹

¹ Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ФГБНУ «ВНИРО»), г. Москва

² Всероссийский научно-исследовательский институт фундаментальной и прикладной паразитологии животных и растений – филиал ФГБНУ «ФНЦ Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной ветеринарии имени К.И. Скрябина и Я.Р. Коваленко РАН» («ВНИИП») – филиал «ФГБНУ ФНЦ ВИЭВ РАН»), г. Москва

³ Тихоокеанский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ТИНРО»), г. Владивосток

E-mail: sograv@yandex.ru

Представлены материалы научно-поисковых работ в тихоокеанских водах Курильских островов в сентябре-октябре 2020 г. Совместный поток прибрежной и мористой ветви Ойясио формировал зону отрицательных аномалий температуры. Воды течения Соя характеризовались положительными аномалиями температуры. Встречаемость дальневосточной сардины и японской скумбрии (по данным акустического поиска) регистрировали в широком интервале температур поверхности океана (ТПО) от 8,4 °С до 19,9 °С, при проведении контрольных тралений наиболее результативными оказались уловы сардины при показателе ТПО в диапазоне 14,3–15,5 °С, скумбрии – 14,2–15,1 °С. Численность и биомасса скумбрии японской составили 756,6 млн экз. и 61,5 тыс. т, сардины дальневосточной – 3924,2 млн экз. и 144,3 тыс. т, соответственно. Численность и биомасса всего учтенного нектона в районе исследований составили 30749,6 млн экз. и 264,5 тыс. т.

Ключевые слова: Северо-Западная часть Тихого океана, скумбрия японская *Scomber japonicus*, сардина дальневосточная *Sardinops melanostictus*, японский анчоус *Engraulis japonicus*, уловы, численность, биомасса.

В период с 18 сентября по 18 октября 2020 г. по программе ФГБНУ «ВНИРО» «Выполнение работ при осуществлении рыболовства в научно-исследовательских и контрольных целях...», а также в соответствии с Планом ресурсных исследований и государственного мониторинга водных биоресурсов на 2020 год, утверждённым приказом Федерального агентства по рыболовству от 26 ноября 2019 г. № 632, п. 115, на НИС «Владимир Сафонов» проводился поиск промысловых скоплений сардины, скумбрии и сайры в тихоокеанских водах Курильских островов и прилегающих открытых водах СЗТО. Траления проводились с 12.00 до 24.00 (GMT+10) пелагическим тралом РТ/ТМ 63/240 м. Рабочая длина ваеров составляла 200–350 метров, длина кабелей – 75 метров; вертикальное раскрытие в среднем составило 17,1 м, горизонтальное – 21,8 м. Траловый мешок по всей длине имел мелкочаеистую 10-мм вставку. В сутки выполнялось от 1 до 3 часовых (60 мин.) тралений (рис. 1).

Также было выполнено 50 гидрологических станций до глубины 500 м с использованием зонда RINKO Profiler ASTD-102 (рис. 1)

Океанологические исследования. Геострофическая составляющая течений представлена зоной встречи юго-западного потока субарктических вод Ойясио с вершиной антициклонического вихря Куро-сио. Отмечали множественные мезомасштабные циклонические вихри (рис. 2).

Значения температуры воды на поверхности (ТПО) менялись в пределах 8,4–22,8 °С, солёности – 32,6–33,3‰ (рис. 3).

Максимум температур (19,9 °С) отмечен в открытых водах северо-западной части Тихого океана, минимум (8,4 °С) – в водах, поступающих из Охотского моря через пролив Фриза. Верхний квазиоднородный слой (ВКС) имел толщину от 8 до 35 м. Минимальная глубина залегания верхней границы скачка температуры отмечена в водах Ойясио, проходящих вдоль Курильской гряды в зоне приливного перемешивания.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕЛАГИЧЕСКИХ РЫБ В ТИХООКЕАНСКИХ ВОДАХ КУРИЛЬСКИХ ОСТРОВОВ ...

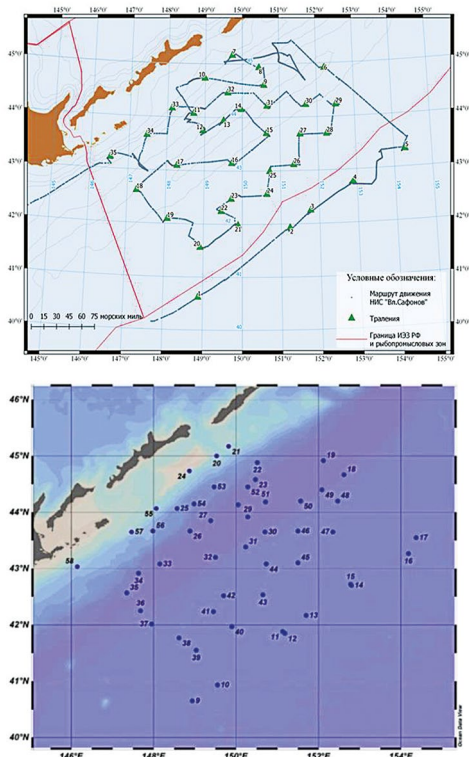


Рис. 1. Схема тралений и океанологических станций

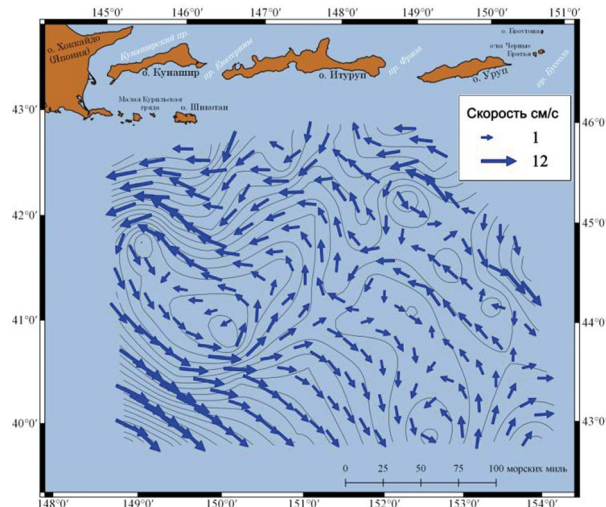


Рис. 2. Географическая составляющая скорости течения на горизонте 0 м (относительно 500 дбар), 22.09–13.10.2020 г.

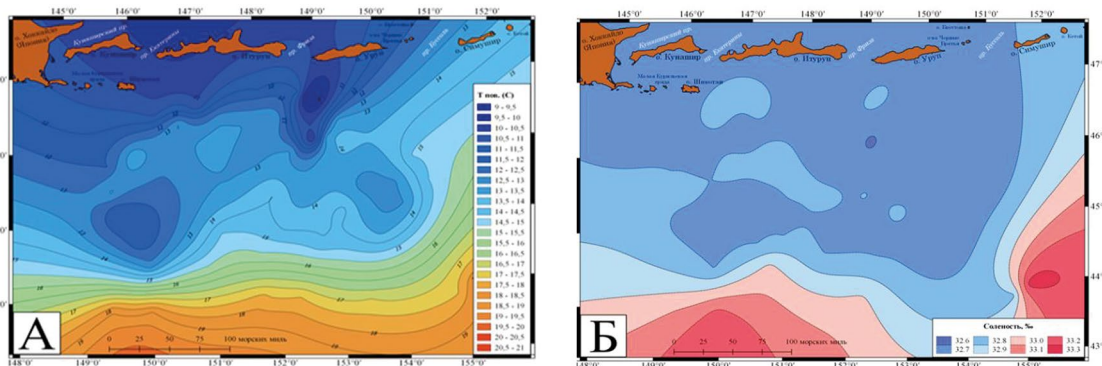


Рис. 3. Характеристики поверхности моря: А – температура (°С); Б – соленость (‰), 22.09–13.10.2020 г.

Величина ВКС со стороны субарктических вод достигала 20–25 м. Максимальная величина ВКС (35 м) отмечена в центре района проведения исследований. Совместный поток прибрежной и мористой ветви Ойясио формировал обширную зону отрицательных аномалий температуры. Воды течения Соя характеризовались положительными аномалиями температуры (рис. 3).

Акустические исследования. Скопления скумбрии отмечали по ходу судна в координатах 42°10'–45°05' с. ш. и 146°29'–153°26' в. д., на глубине 10–45 м, ТПО – 18,8 °С. Скопления сардины регистриро-

вали в координатах 42°03' с. ш. и 151°29' в. д. на глубине 10–40 м, высотой до 25–30 м, ТПО – 18,6 °С. Крупные концентрации сардины располагались в районе двух участков 43°53'–42°03' с.ш. и 146°04'–147°30' в.д. и 44°04'–45°23' с. ш. и 148°49'–152°52'. Плотность скоплений не превышала 3 баллов, в районе малой Курильской гряды достигала 4 баллов. Максимальную плотность скоплений сайры (3 балла) регистрировали при визуальном учёте в районе 43°06'–43°20' с. ш. и 151°13'–151°29' в. д.

Ихтиологические исследования. Выполнено 35 тралений, осуществлено 5 535 массовых промеров

со вскрытием, 857 биоанализов скумбрии, сардины и анчоуса, собраны пробы на возрастной (отолиты), трофологический, гистологический и паразитологический анализы.

Видовой состав уловов представлен 16 видами рыб из 9 семейств, 5 видами головоногих моллюсков

из 2 семейств, 4 видами сцифоидных. Учётные численность и биомасса всей траловой макрофауны составили 30838,02 млн экз. и 302,84 тыс. тонн (табл. 1).

Японская скумбрия (*Scomber japonicus* Houuttuyn, 1782). Величины уловов скумбрии на час результативного траления варьировали от 0,5 кг (1 экз.) до 168 кг

Таблица 1. Видовой состав уловов в тихоокеанских прикурильских водах (в ИЭЗ РФ и за её пределами) в сентябре – октябре 2020 г.

№ п/п	Таксон	КУ	% встреч	Численность, экз./кв. км			Биомасса, кг/кв. км			Общая оценка	
				min	max	Среднее	min	max	Среднее	Численность, млн экз.	Биомасса, тыс. т
Рыбы (класс Actinopterygii)											
Сем. Albuliidae											
1	<i>Pterothrissus gissu*</i>	0,1	28,57%	75,06	894,42	454,67	0,38	5,85	2,85	8,69	0,05
Сем. Bramidae											
2	<i>Brama japonica</i>	0,5	2,86%	48,33	48,33	48,33	95,68	95,68	95,68	0,29	0,57
Сем. Clupeidae											
3	<i>Sardinops melanostictus</i>	0,4	60,00%	14,74	235048,24	30256,84	0,29	7639,47	1102,59	3924,18	144,28
Сем. Engraulidae											
4	<i>Engraulis japonicus</i>	0,1	8,57%	291,40	35565,26	12235,29	0,87	767,83	262,56	255,40	5,49
Сем. Microstomatidae											
5	<i>Lipolagus ochotensis*</i>	0,1	28,57%	77,40	750,57	303,90	0,12	12,91	3,40	7,83	0,10
Сем. Myctophidae											
6	<i>Diaphus gigas*</i>	0,1	7,14%	344,01						1,88	0,00
7	<i>Diaphus theta*</i>	0,1	50,00%	165,12	2636,66	916,01	0,74	20,61	5,35	32,00	0,19
8	<i>Lampanyctus regalis*</i>	0,1	50,00%	68,80	12988,44	3643,95	0,21	265,25	77,02	163,22	3,56
9	<i>Lampanyctus jordani*</i>	0,1	14,29%	63,51	137,60	100,56	0,25	0,41	0,33	1,36	0,00
10	<i>Notoscopelus japonicus*</i>	0,1	7,14%	619,22	619,22	619,22	2,40	2,40	2,40	2,27	0,01
11	<i>Stenobranchius leucopsarus*</i>	0,1	57,14%	82,56	29034,37	7173,63	0,08	46,72	12,79	328,87	0,59
12	<i>Symbolophorus californiense*</i>	0,1	71,43%	283,07	24168,21	10146,83	3,61	371,91	129,27	647,79	8,47
13	<i>Tarletonbeania taylori*</i>	0,1	14,29%	70,77	181,23	126,00	0,28	0,30	0,29	1,35	0,00
Сем. Paralepididae											
14	<i>Lestidiops ringens*</i>	0,2	14,29%	30,21	34,40	32,30	0,03	0,14	0,08	0,37	0,00
Сем. Scombridae											
15	<i>Scomber japonicus</i>	0,3	60,00%	23,59	53411,39	6568,89	9,25	3556,53	562,93	756,57	61,46
Хрящевые рыбы (класс Chondrichthyes)											
Сем. Lamnidae											
16	<i>Lamna ditropis</i>	0,5	2,86%	12,08	12,08	12,08	948,46	948,46	948,46	0,07	5,60
Все рыбы										6132,05	224,77
Головоногие моллюски (класс Cephalopoda)											
Сем. Eupoloteuthidae											
17	<i>Watasenia scintillans*</i>	0,01	71,43%	2251,70	2163129,70	494140,05	3,75	2992,19	788,69	24594,27	38,91
Сем. Gonatidae											
18	<i>Boreoteuthis borealis*</i>	0,1	50,00%	63,51	1857,65	636,27	0,21	38,78	8,75	21,03	0,27
19	<i>Gonatopsis japonicus*</i>	0,1	7,14%	79,90	79,90	79,90	1,04	1,04	1,04	0,44	0,01
20	<i>Gonatus madokai*</i>	0,1	14,29%	77,40	79,90	78,65	12,78	21,44	17,11	0,57	0,13
Сем. Ommastrephidae											
21	<i>Todarodes pacificus*</i>	0,1	7,14%	239,70	239,70	239,70	106,27	106,27	106,27	0,87	0,39
22	<i>Onychoteuthis borealijaponica*</i>	0,1	7,14%	68,80	68,80	68,80	0,34	0,34	0,34	0,38	0,00

№ п/п	Таксон	КУ	% встреч	Численность, экз./кв. км			Биомасса, кг/кв. км			Общая оценка	
				min	max	Среднее	min	max	Среднее	Численность, млн экз.	Биомасса, тыс. т
Все головоногие									24617,57	39,69	
Весь нектон									30749,62	264,46	
Кишечнополостные (тип Cnidaria)											
Класс Scyphozoa, сем. Semaestomeae											
23	<i>Syanea capillata</i>	0,1	5,71%	70,77	70,77	70,77	32,55	80,68	56,61	0,61	0,47
24	<i>Chrysaora melonaster</i>	0,1	20,00%	63,51	283,07	137,88	5,57	616,82	160,99	4,71	5,62
25	<i>Phacellophora camtschatica</i>	0,1	71,43%	70,77	2394,30	600,45	2,33	832,23	195,59	76,35	24,38

(2523 экз.). Средний улов составил 24,2 кг (290,5 экз.) за стандартное траление. Наиболее результативными (от 477 до 2523 экз./час) были уловы в координатах 44°04' с. ш., 148°41' в. д. и 44°14' с. ш., 151°42' в. д. соответственно. Размеры скумбрии – от 16 до 39 см, средняя длина рыб – 20,2 см. Доля скумбрии длиной более 30 см – 3%. Длина самцов варьировала от 21 до 35 см, самок – от 23 до 38 см, масса – от 36 до 788 г, в среднем – 150,2 г (масса без внутренностей – 137,1 г). СБНЖ составил 2,5, у ювенильных рыб – 2,6. Жирность самок была равна 2,3, самцов – 2,1, ювенильных – 1,1.

Дальневосточная сардина (*Sardinops melanostictus* (Temminck & Schlegel, 1846)). Величины уловов сардины на час результативного траления варьировали в диапазоне от 0,02 кг (1 экз.) до 419,5 кг (14804 экз.) при среднем улове – 61,9 кг (1765,6 экз.). Наиболее

результативной по уловам оказались траления в координатах 44°54' с. ш. 150°29' в. д., 42°34' с. ш. 147°19' в. д., 43°06' с. ш. 151°28' в. д., где уловы составили 5890, 7655 и 14804 экз./час соответственно. Длина по Смитту сардины варьировала от 12 до 27 см. Средний размер самок составил 20,3 см, самцов 19,6 см. В уловах отмечено большое количество молоди 13–14 см.

Японский анчоус (*Engraulis japonicus* Temminck & Schlegel, 1846) встречался в уловах трёх тралов, крупный улов (35,56 тыс. экз./км²) бы при тралении в координатах 43°40' с.ш и 152°19' в. д. при ТПО 14,7 °С. Масса анчоусов варьировала от 1,7 до 30 г, средняя масса самок составила 23,3 г, самцов 22,0 г. Анчоус питался слабо, СБНЖ самок составил 1,6, самцов – 1,4, ювенильных – 1,5.

Таблица 2. Основные биологические показатели наиболее часто встречающихся рыб при проведении научно-поисковых работ в сентябре-октябре 2020 г.

Вид	Длина (см) Min-Max	Масса (г) Min-Max
<i>Brama japonica</i>	44,8–47	1795–2258
<i>Diaphus gigas</i>	7–7	2*
<i>Diaphus theta</i>	4,5–10,5	1,9–8,4*
<i>Lamna ditropis</i>	160–160	78500
<i>Lampanyctus regalis</i>	7,5–8,5	3–29,2*
<i>Lestidiops ringens</i>	12–15,5	1–4*
<i>Lipolagus ochotensis</i>	5,5–16,5	0,6–17,2*
<i>Notoscopelus japonicus</i>	7,5–8,5	3,9*
<i>Pterothrissus gissu</i>	10,5–21	5–6,5*
<i>Stenobranchius leucopsarus</i>	3,5–9,5	0,7–2,7*
<i>Symbolophorus californiense</i>	5,5–15,5	6,5–15,3*
<i>Tarletonbeania taylori</i>	5,5–6,5	1,6–4*

* При проведении массовых промеров устанавливалось среднее значение массы вида в каждом улове, в табл. 2 представлены минимальное и максимальное значения этого показателя.

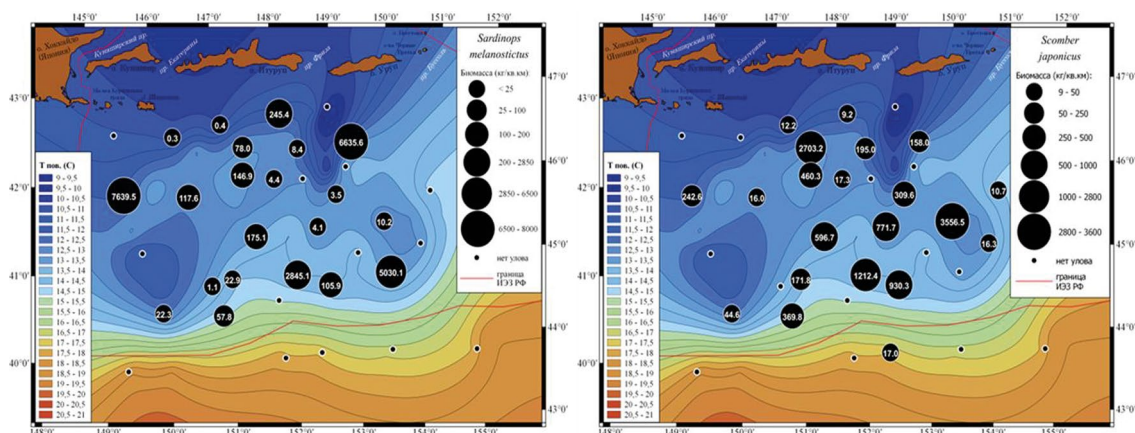


Рис. 4. Пространственное распределение плотности биомассы (кг/км²) дальневосточной сардины, японской скумбрии и ТПО в сентябре-октябре 2020 г.

В составе уловов отмечены светящиеся анчоусы, морской лещ, липоляг охотоморский, сельдевая акула, основные характеристики этих рыб представлены в табл. 2.

Отмечено, что в осенний период 2020 г. скумбрия и сардина образовывали скопления невысокой плотности, пространственное распределение этих рыб повторяло ряд особенностей распределения ТПО. Наибольшие скопления сардины регистрировали при показателе ТПО в диапазоне 14,3–15,5 °С, скумбрии – 14,2–15,1 °С. Распределение этих рыб по отношению к показателям ТПО сходно, но имеются различия (рис. 4).

Сардину отмечали на периферии циклонических круговоротов. Скопления скумбрии регистрировали

как в центральных частях циклонических вихрей, так и на периферии.

Возможно, распределение сардины и скумбрии в различных частях циклонических круговоротов обусловлены различиями их кормовой базы. Пространственное распределение компонентов питания этих рыб зависит от процессов вихреобразования, определяющих направленность вертикальных потоков веществ. Этот вопрос требует проведения расширенных исследований.

Поступила в редакцию 10.03.2021 г.

Distribution of pelagic fish in the Pacific waters of the Kuril Islands in September – October 2020

A.V. Sogrina^{1,2},
P.O. Emelin¹,
V.A. Sviderskiy³,
E.U. Malignin³,
V.A. Beliaev¹

¹ Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography («VNIRO»), Moscow, Russia

² Russian Federal Research Institute for Fundamental and Applied Parasitology of Animals and Plants – branch of the Federal Scientific Center – K.I. Skriabin and Y.R. Kovalenko Russian Research Institute of Experimental Veterinary Medicine of the RAS («FSC VIEV»), Moscow, Russia

³ Pacific Branch of VNIRO («TINRO»), Vladivostok, Russia

The materials of scientific research work in the Pacific waters of the Kuril Islands in the period of September – October 2020 are presented. The joint flow of the coastal and seaward branches of the Oyashio formed a zone of below zero temperature anomalies. Soy stream waters were characterized by positive temperature anomalies. According to acoustic data, the occurrence of Far Eastern sardine and Japanese mackerel was recorded in a wide range of ocean surface temperature from 8.4 °C to 19.9 °C, however, trawling in the ocean surface temperature range for *S. melanostictus* – 14.3–15.5 °C, and for *S. japonicus* – 14.2–15.1 °C turned out to be more effective. The number and biomass of Japanese mackerel amounted to 756.6 million specimens and 61.5 thousand tons, Far Eastern sardine – 3924.2 million specimens and 144.3 thousand tons, respectively. The number and biomass of the entire trawl nekton in the study area amounted up to 30749.6 million specimens and 264.5 thousand tons.

Keywords: North-Western Pacific Ocean, hydrology, acoustic data, ichthyofauna, Chub mackerel (*Scomber japonicus*), Pacific sardine (*Sardinops melanostictus*), Japanese anchovy (*Engraulis japonicus*), distribution, catches, number, biomass.

TABLE CAPTIONS

Table 1. Species composition of catches in the Pacific offshore waters (inside and outside the borders of Russian Federation Exclusive Economic Zone) in September – October 2020.

Table 2. The main biological parameters of the most common fish during scientific research work in September – October 2020.

FIGURE CAPTIONS

Fig. 1. The route of the vessel in September – October 2020.

Fig. 2. Geostrophic component of the current velocity at the 0 m horizon (relatively 500 dbar) in the period from September 22 to October 13, 2020.

Fig. 3. Characteristics at the sea surface: A – temperature (°C); B – salinity (‰) from September 22 to October 13, 2020.

Fig. 4. Spatial distribution of biomass density (kg/km²) of Far Eastern sardine, Japanese mackerel and ocean surface temperature in September – October 2020.

УДК 597.5 (265.51)

DOI: 10.36038/2307-3497-2021-185-158-162

Исследования северного однопёрого терпуга и тихоокеанского окуня-клювача при проведении специализированного промысла в Беринговом море в апреле 2021 г.

Г.Ю. Головатюк¹,
А.В. Согреина^{1,2}

¹ Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ФГБНУ «ВНИРО»), г. Москва

² Всероссийский научно-исследовательский институт фундаментальной и прикладной паразитологии животных и растений – филиал ФГБНУ «ФНЦ Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной ветеринарии имени К.И. Скрябина и Я.Р. Коваленко РАН» («ВНИИП» – филиал «ФГБНУ ФНЦ ВИЭВ РАН»), г. Москва

Представлены материалы исследований северного однопёрого терпуга *Pleurogrammus monopterygius*, тихоокеанского окуня-клювача *Sebastes alutus* и видов прилова, выполненных в промысловых районах Дальневосточного региона (Западно-Берингоморской зоне, Карагинской и Петропавловско-Командорской подзонах Восточной Камчатки) в апреле 2021 г. Проанализированы данные по производительности уловов и формированию преднерестовых скоплений, отмечены различия биологических характеристик терпуга в трёх промысловых районах. Проведены ихтиопатологические исследования северного однопёрого терпуга, тихоокеанского окуня-клювача, минтая и аляскинского шипощёка, свидетельствующие о невысокой доле рыб с патологиями органов и тканей. Выявлены паразиты, опасные для человека (*Anisakis* sp.) или приводящие к выбраковке продукции – цестоды (*Nybelinia* sp.) и простейшие (*Microsporidia* spp.). Установлена высокая степень инвазии печени и полости тела исследуемых видов рыб личинками нематод *Anisakis* sp., в то же время доля поражения мускулатуры этими паразитами была незначительной. При исследовании желудочно-кишечного тракта окуня-клювача были обнаружены частицы полимеров.

Ключевые слова: специализированный промысел, Восточная Камчатка, Берингово море, ихтиопатологические исследования.

Экспедиционные работы проводились в рамках раздела Программы научно-исследовательских работ ФГБНУ «ВНИРО» «Исследование динамики численности, особенностей экологии и популяционной структуры морских промысловых рыб Дальнего Востока России». Исследования вели с 6 по 30 апреля 2021 г. на борту среднетоннажного рыболовного морозильного траулера РТМ П-0697 «Камлайн», оснащённого донным тралом SELSTAD 810 48M GEAR. Судно работало в промысловом режиме на специализированном промысле терпуга и морских окуней на шельфе и верхней части материкового склона восточного побережья Камчатки и западной части Берингова моря.

Промысловая обстановка в течение рейса была устойчивой, погодные условия – недостаточно благоприятными для ведения лова. За сутки судно выполняло 1–4 траления продолжительностью от 40 минут до 8 часов (в среднем 4 часа 5 минут) в диапазоне глубин от 100 до 500 м. Температура воды на горизонте лова менялась от –0,9 до 3,8 °С (в среднем 1,2 °С). Промысел специализировался на двух видах: северный однопёрый терпуг

(глубины лова – 120–350 м) и тихоокеанский окунь-клювач (глубины лова – 140–500 м).

Всего было выполнено и проанализировано 50 промысловых тралений, из них: в Петропавловско-Командорской подзоне – 10 тралений в координатах 52°49'–55°5'3 с. ш. и 160°17'–164°56' в. д. (глубины 140–500 м), в Карагинской подзоне – 21 траление в координатах 56°0'8–56°23' с. ш. и 163°24'–163°41' в. д. в горизонтах лова 120–350 м; в Западно-Берингоморской зоне – 19 тралений в координатах 59°11'–60°43' с. ш. и 170°15'–172°40' в. д. (глубины 100–400 м).

В период рейса выполнено 2849 биологических анализов северного однопёрого терпуга и 772 – тихоокеанского окуня-клювача, на возрастной анализ взяты чешуя и отолиты у 747 экз. терпуга и у 227 экз. клювача, собраны пробы на трофологический, паразитологический и гистологический анализы.

В уловах было идентифицировано 33 вида рыб из 14 семейств и 16 видов беспозвоночных (4 промысловых вида). Наиболее широко представлено семейство морских окуней *Sebastes* (6 видов) и камбаловых

Pleuronectidae (6 видов). В 100% уловов встречаются представители семейств: тресковые, терпуговые и рогатковые.

Основными объектами лова были северный однопёрый терпуг и тихоокеанский окунь-клювач, а также виды прилова: северный морской окунь, шипощёки, малоглазый макрурус, треска, минтай.

Северный однопёрый терпуг *Pleurogrammus monopterygius* (Pallas, 1810). Наиболее плотные преднерестовые скопления отмечали в Петропавловско-Командорской подзоне в районе м. Шипунский, в Авачинском и Кроноцком заливах. Среднесуточный улов терпуга составлял 3,64 т/час, уловы на промысловое усилие – в среднем 5,12 т/час траления. Доля терпуга в уловах составляла в среднем 81,2%. Лов производился на глубинах 180–320 м.

В Карагинской подзоне в Камчатском заливе и в Западно-Беринговоморской зоне восточнее м. Олюторский скопления терпуга были более разреженными. Среднесуточные уловы составляли 1,49 т/час в Карагинской подзоне и 1,97 т/час в Западно-Беринговоморской зоне, уловы на усилие – 1,7 т/час и 3,05 т/час траления, а доля терпуга в уловах – 34,2 и 38,1%, соответственно. Лов вёлся в горизонтах лова 120–350 м. Анализ предварительных результатов показал некоторые различия биологических характеристик северного однопёрого терпуга в трёх промысловых районах.

В Западно-Беринговоморской зоне терпуг в уловах был крупнее, чем в районах Восточной Камчатки. Среди самок преобладали особи 42 см (11,0%), модальная группа 41–43 см (31,6%), среди самцов – 38–40 см (42,9%). Встречаемость непромысловых особей (менее 30 см) в уловах составила 0,2%, доля крупного терпуга в уловах

(более 45 см) – 3,2%; только в этом районе попадались особи длиной 50–51 см (2 экз.). Масса варьировала от 210 до 1550 г (в среднем 774 г), масса без внутренностей 696 г.

В Карагинской и Петропавловско-Командорской подзонах преобладали самки длиной 40 см (модальная группа 39–41 см – 50,3 и 46,0%) и самцы 38–40 см (58,4 и 61,7%), соответственно. Встречаемость особей менее 30 см в уловах в Карагинской подзоне не превышала 0,6%, в Петропавловско-Командорской их не было совсем; доля крупных терпугов (более 45 см) у Восточной Камчатки была заметно ниже и составляла 2,7% в Карагинской и 1,4% в Петропавловско-Командорской подзонах. Масса в среднем составляла 725 г (без внутренностей – 660 г) и 776 г (без внутренностей – 699 г), соответственно (таблица).

Ювенильные особи встречались в 0,16% случаев в Западно-Беринговоморской зоне, и 0,77 и 0,46% в Карагинской и Петропавловско-Командорской подзонах, соответственно.

Интенсивность питания терпуга в Западно-Беринговоморской зоне была средней, доля пустых желудков составила 5,9%. Терпуг в районах Восточной Камчатки питался слабо. Отмечены качественные отличия состава кормовых организмов в желудках терпуга – в Западно-Беринговоморской зоне основу питания составляют калянусы и эуфазииды, в то время как у Восточной Камчатки питание было более разнообразным – в значительном количестве встречались рыбы (миктофиды, анчоусы), медузы, клионы и молодь кальмара.

Заметно отличалось в Западно-Беринговоморской зоне и соотношение полов: доля самцов выше, чем в других районах (почти 50%). Степень зрелости гонад у самок

Таблица. Биологические показатели северного однопёрого терпуга в трёх промысловых районах в апреле 2021 г.

Показатель	Восточно-Камчатская зона					
	Западно-Беринговоморская зона		Карагинская подзона		Петропавловско-Командорская подзона	
	Самки	Самцы	Самки	Самцы	Самки	Самцы
Соотношение полов, %	50,7	46,4	66,7	32,1	62,4	36,9
Средняя длина АС, см	40,1	38,5	40,3	38,6	40,4	39,4
Длина АС (min-max), см	28–51	28–46	26–49	30–46	33–47	32–45
Средняя масса, г	800	745	743	697	775	778
Масса (min-max), г	210–1550	230–1410	160–1300	280–1180	460–1200	340–1260
Стадии зрелости гонад, %						
II	0,8	5,8	0,6	8,8	1,1	10,5
II–III	3,2	7,7	1,1	15,9	1,1	27,2
III	93,3	73,8	87,9	66,3	44,9	58,6
III–IV	2,7	12,7	10,3	9,0	52,9	3,7
СБНЖ	2,3		0,99		1,8	

в Западно-Беринговоморской зоне значительно отличалась от таковой у самок подзона Восточной Камчатки, меньше 3% самок имели гонады стадии зрелости III–IV (в Петропавловско-Командорской подзоне доля таких самок превышала 50%). Предполагаем, что преднерестовые скопления терпуга в Западно-Беринговоморской зоне в апреле 2021 г. находились в процессе формирования, что подтверждается низкой производительностью уловов терпуга в Западно-Беринговоморской зоне и состоянием гонад у самок.

Во всех районах промысла встречались рыбы с нитевидными гонадами, их доля уменьшалась с севера на юг – от 2,8% в Западно-Беринговоморской зоне до 0,8% Карагинской и 0,5% в Петропавловско-Командорской подзонах. Длина таких рыб варьировала от 34 до 47 см (в среднем – 40,1 см), масса в среднем составляла 780 г. Питались такие рыбы интенсивно, СБНЖ составлял в среднем 2,4 балла, отмечали большое количество жира в брюшной полости.

Тихоокеанский окунь-клювач *Sebastes alutus* (Gilbert, 1890). Скопления тихоокеанского морского окуня-клювача отмечали в Петропавловско-Командорской подзоне Восточной Камчатки и в Западно-Беринговоморской зоне. Наиболее результативной по уловам оказалась Западно-Беринговоморская зона, где производительность среднесуточных уловов составляла в среднем 15,98 т/час траления, максимальный суточный вылов составлял 55 т, а доля окуня-клювача в уловах достигала 90%. Лов производился на глубинах 210–340 м. Производительность среднесуточных уловов в Петропавловско-Командорской подзоне составляла в среднем 1,17 т/час траления. Максимальный суточный вылов достигал 5,5 т, а доля клювача в уловах – 30–85,5% в горизонтах лова 140–500 м.

Длина тихоокеанского окуня-клювача варьировала от 16,5 до 47 см (в среднем – 34,1 см). Модальную группу (64,3%) составляли особи длиной 33–37 см. Средняя длина самок составила 38,1 см, самцов – 36,8 см. Масса варьировала от 40 до 1720 г (в среднем 552 г). Вес самок находился в пределах 60–1720 (в среднем – 582 г), вес самцов – 210–1040 г (в среднем – 580 г). Для ювенильных особей отмечали две модальные группы 101–200 г и 201–300 г, встречаемость составила 29,7 и 40,6%, соответственно. Масса окуня-клювача без внутренностей в среднем составила 505 г (525 г у самок и 537 г у самцов).

Самки встречались в 42,23% случаях, а самцы – в 48,83, 8,29% исследуемых рыб идентифицировались как особи ювенильной стадии. В 0,65% случаях регистрировали особей с нитевидными гонадами, которые отличались крупными размерами и повышенным ожирением органов брюшной полости.

В апреле 2021 г. большинство самок имели гонады VIII (перед выметом личинок – 35,9%) и VII (пигментация глазка – 10,1%) стадии зрелости. Отмечена существенная доля неполовозрелых самок (34,4%). Большинство самцов (49,6%) имели гонады III стадии зрелости, 30,8% были неполовозрелыми.

Жирность самок составляла 1,1 балла, самцов – 1,3, ювенильных особей – 0 баллов, средний балл жирности составил 1,1.

Окунь-клювач слабо питался, СБНЖ составил 0,37. Стоит отметить, что оценивать наполнение желудка у окуня достаточно затруднительно, так как при подъёме с глубины происходит перепад давления и выворачивание желудков. У 72,7% особей желудка были пустыми, и оценить качественный состав пищевого комка удалось частично. В Петропавловско-Командорской подзоне окунь питался рыбой, а в Западно-Беринговоморской зоне основу пищевого комка составили калянусы, зуфаузииды, рыба и креветки.

Приловы. При специализированном лове северного однопёрого терпуга в Западно-Беринговоморской зоне основные виды прилова были представлены рогатковыми бычками (до 50%), тихоокеанской треской (10–50%), минтаем (15–20%), камбалой белобрюхой. Реже встречались северный морской окунь, голубой окунь, сельдь, белокопый палтус, стрелозубые палтусы, из непромысловых видов – мягкий бычок и липарисы. В Карагинской подзоне основную часть прилова составляли минтай (80–90%), треска (20–25%), камбала белобрюхая (10%); реже – бычки, зайцеголовый терпуг, белокорый палтус, окуни рода *Sebastes*. В Петропавловско-Командорской подзоне в значительном количестве встречались минтай (5–10%), камбала белобрюхая (5%), треска (3–5%); северный окунь, аляскинский и длиннопёрый шипощёк, макрурус малоглазый, угольная рыба, бычки, скаты, зайцеголовый терпуг, липарисы.

При специализированном лове тихоокеанского окуня-клювача в прилове в Западно-Беринговоморской зоне присутствовала тихоокеанская треска (5–10%), единично – азиатский стрелозубый и белокорый палтусы, скаты, обозначенный батимастер. Виды прилова в Карагинской подзоне – северный морской окунь, аляскинский и длиннопёрый шипощек, минтай и треска; единично встречались чёрный и белокорый палтусы, угольная рыба и скаты.

Северный морской окунь *Sebastes borealis* (Barsukov, 1970). В Петропавловско-Командорской подзоне размеры северного окуня колебались от 46 до 68 см (в среднем 58,4 см). Масса тела варьировала от 1460 до 4780 г (в среднем 3021 г). В уловах преобладали самцы (68%). 20% самок были неполовозрелыми, 30% имели гонады II–III и III стадий зрелости, у 50% самок гонады находи-

лись на VII стадии зрелости. СБНЖ составлял 0,3, 77% желудков были пустыми, в остальных встречалась исключительно рыба.

Минтай *Theragra chalcogramma* (Pallas, 1814). Длина минтая варьировала от 29 до 54 см, в среднем составив 42 см. Средняя длина самок – 43,6 см, самцов – 40,3 см. Масса тела колебалась от 160 до 1040 г (средняя масса самок – 512 г, самцов значительно ниже – 419 г). В уловах преобладали самки (63,4%), 34,1% – самцы, единично встречались ювенильные особи и рыбы с нитевидными гонадами. Подавляющее количество особей в уловах были неполовозрелыми (69,2% самок и 75% самцов). 13,5% самок имели гонады III стадии зрелости, 5,7% – IV и IV–V стадии зрелости, 11,5% самок – стадии зрелости VI–II. Стадия зрелости III была отмечена у 14,3% самцов, еще 10,7% самцов имели гонады III–IV и IV стадии зрелости.

Треска тихоокеанская *Gadus macrocephalus* (Tilesius, 1810). Размеры трески в Петропавловско-Командорской подзоне (глубины 150–180 м) колебались в пределах 52–77 см (в среднем – 62,7 см у самок и 60,7 см у самцов). Масса тела варьировала от 2080 до 4800 г, (в среднем 3060 г). 72% выборки составляли самки, все особи были посленерестовыми (стадия зрелости VI–II). Все рыбы активно питались, СБНЖ составил 2,6, в желудках в основном встречалась рыба, крупные креветки, крабы и кальмар.

Аляскинский шипощёк *Sebastolobus alascanus* (Bean, 1890) встречался в уловах на глубинах 420–500 м. Размеры в Петропавловско-Командорской подзоне варьировали от 23 до 51 см (в среднем – 39,0 см у самок и 38,0 см у самцов). Масса колебалась от 200 до 1780 г (в среднем 613 г). Преобладали самцы (55,9%), 30,1% выборки составляли самки, 14,0% особей были ювенильными. 96,4% самок и 78,8% самцов были неполовозрелыми, стадия зрелости II–III отмечена у 3,6% самок и 11,5% самцов. Стадии зрелости гонад III и III–IV были у 7,7% самок и 1,9% самцов, соответственно. СБНЖ аляскинского шипощёка составлял 1 балл, 72% желудков были пустыми, в желудках встречались крупные креветки, крабы, рыба и кальмары.

Малоглазый макрурус *Albatrossia pectoralis* (Gilbert, 1892) отмечен в уловах на глубинах 420–500 м. Размеры особей в Петропавловско-Командорской подзоне варьировали от 71 до 93 см, в среднем составляя 83,8 см, масса – от 1840 до 3220 г (в среднем 2370 г). Соотношение самок и самцов было 92,9% и 7,1%, соответственно. Все особи имели гонады стадий зрелости II и II–III. СБНЖ составлял 0,9, 50% желудков были пустыми. В желудках встречалась рыба (миктофиды), крупные креветки, крабы.

Паразитологические и ихтиопатологические исследования. Проведены паразитологические исследования се-

верного однопёрого терпуга (57 экз.), тихоокеанского окуня-клювача (25 экз.), минтая (47 экз.), аляскинского шипощёка (19 экз.). В результате оценки качества и безопасности сырья установлена низкая степень поражения мускулатуры рыб паразитами, представляющими опасность для человека (*Anisakis sp.*). Выявлены виды организмов, которые могут приводить к выбраковке продукции: цестоды (*Nybelinia sp.*), простейшие (*Microsporidia spp.*).

Заражённость мускулатуры личинками нематод *Anisakis sp.* для терпуга составила 1,78%, для тихоокеанского окуня-клювача – 4,1%; мускулатура минтая и аляскинского шипощёка была свободна от паразитов. В полости тела терпуга анизакисов обнаруживали в 83,92% случаев, тихоокеанского окуня-клювача – в 25,0%, минтая – 15,38%. Установили поражение печени рыб личинками *Anisakis sp.*, где экстенсивность инвазии (ЭИ) составила для терпуга 98,21%, для окуня-клювача – 45,83%, для минтая – 90,3%.

Личинок цестод *Nybelinia sp.* находили в полости тела рыб, где ЭИ составила: терпуг – 34,14%, окунь-клювач – 4,1%, минтай – 28,84%. Мускулатура поражена *Nybelinia sp.* только у минтая, ЭИ – 1,92%.

Зарегистрировано поражение терпуга простейшими паразитическими организмами сем. *Microsporidia spp.* ЭИ в среднем составила 2,77%. Максимальное количество заражённых рыб зафиксировано в Западно-Берингово-морской зоне, ЭИ – 5,67%. Терпуг в Карагинской подзоне был инвазирован в 0,68% случаев, в Петропавловско-Командорской – в 0,23%.

В ходе ихтиопатологического исследования установлено низкое количество рыб с патологиями органов и тканей. Отмечены поражения жабр у 4,10% тихоокеанского окуня-клювача и спаечные процессы в полости тела у 1,92% минтая. При исследовании желудочно-кишечного тракта *S. alutus* обнаружены частицы полимеров в 26,1% случаях.

Материалы экспедиционных исследований терпуга и морских окуней служат дополнением к результатам многолетних исследований ФГБНУ «ВНИРО» и будут использованы для оценки состояния запасов, при разработке и корректировке прогноза объёмов общего допустимого и рекомендованного вылова и рекомендаций по эффективному промыслу.

Авторы благодарят за помощь и содействие в сборе научной информации руководство ООО «Росрыбфлот» и экипаж судна РТМ «Камлайн». Хотим также выразить огромную благодарность капитану судна «Камлайн» Краеву Константину Юрьевичу.

Поступила в редакцию 26.08.2021 г.

Research of the northern single-finned greenling and Pacific beak perch during the specialized fishery in the Bering Sea in April 2021

G.U. Golovatyuk¹,
A.V. Sogrina^{1,2}

¹ Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography («VNIRO»), Moscow, Russia

² Russian Federal Research Institute for Fundamental and Applied Parasitology of Animals and Plants – branch of the Federal Scientific Center – K.I. Skriabin and Y.R. Kovalenko Russian Research Institute of Experimental Veterinary Medicine of the RAS («FSC VIEV»), Moscow, Russia

The materials of scientific research of studies of the Atka mackerel *Pleurogrammus monopterygius*, Pacific beak perch *Sebastes alutus* and by-catch species carried out in fishing areas of the Far Eastern region (West Bering Sea zone, Karaginskaya and Petropavlovsko-Komandorskaya subzones of Eastern Kamchatka) in April 2021. Data on the productivity of catches and the formation of pre-spawning clusters were analyzed, differences of Atka mackerels biological characteristics in three fishing areas were noted. Ichthyopathological studies of Atka mackerel, Pacific beak perch, Walleye pollock and Alaskan thorny-head were carried out and indicated a low proportion of fish with pathologies of organs and tissues. Danger parasites for humans (*Anisakis* sp.) and parasites that spoil products (cestodes (*Nybelinia* sp.) and protozoa (*Microsporidia* spp.) were noted. A high degree of invasion by the larvae of nematodes *Anisakis* sp. of the studied fish was established in the liver and body cavity. However, the proportion of muscle damage by these parasites was low. During the study of the gastrointestinal tract of the Pacific beak perch polymer particles were found.

Keywords: specialized fishery, Eastern Kamchatka, the Bering Sea, ichthyopathological studies.

TABLE CAPTIONS

Table. Biological indicators of the northern single-finned greenling in three fishing areas in April 2021

УДК: 551.46.073:629.124.68:502.05(98)

DOI: 10.36038/2307-3497-2021-185-163-171

Арктический переход барка «Седов» в августе-октябре 2020 г.: обзор результатов научных наблюдений

А.П. Педченко¹,
А.А. Сомов²

¹ Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ФГБНУ «ВНИРО»), г. Москва

² Тихоокеанский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ТИНРО»), г. Владивосток

E-mail: pedchenko@vniro.ru

В марте 2021 г. четырёхмачтовый барк «Седов» отметил свой вековой юбилей. Накануне этой даты, в августе-октябре 2020 г., учебное парусное судно (УПС) барк «Седов» впервые в истории Арктических исследований осуществил переход по Северному морскому пути за одну навигацию без ледовой проводки, преодолев 7,1 тыс. миль на переходе из Владивостока в Мурманск. По маршруту следования барка «Седов» сотрудниками ФГБНУ «ВНИРО» был выполнен сбор проб для оценки загрязнения вод микропластиком, мониторинг метеорологических и океанографических условий, учёт численности и распределения морских млекопитающих на шельфе северо-западной части Тихого океана и Арктических морей. В ходе практических занятий с курсантами были отработаны методики наблюдений, адаптированные к условиям работы парусного судна в Арктике. Научные наблюдения, выполненные в ходе перехода барка «Седов» по Северному морскому пути, показали возможность использования учебных парусных судов Росрыболовства для сбора актуальных данных о биоте, условиях окружающей среды и экологии морей и океанов.

Ключевые слова: Северный морской путь, барк «Седов», микропластик, океанографические наблюдения, морские млекопитающие, учебная практика, Арктические моря.

В июле 2020 г. Оргкомитет по подготовке и проведению в 2019–2020 гг. кругосветной экспедиции учебно-парусных судов Росрыболовства, посвящённой 200-летию открытия Антарктиды, принял решение о переходе учебного парусного судна «Седов» из Владивостока в Калининград по Северному морскому пути в период с августа по ноябрь 2020 г. и о включении в состав участников перехода специалистов ФГБНУ «ВНИРО» для выполнения научных наблюдений.

Проводка одного из самых больших парусных судов мира, барка «Седов», в осенний период по Северному морскому пути – сложная операция, при выполнении которой учитываются не только гидрометеорологические и ледовые условия, но и конструктивные, ходовые особенности судна. Выполнение этого уникального по логистике и сложности арктического перехода было поручено капитану В.Ю. Николину, имеющему опыт полярного мореплавания и капитану-наставнику М.В. Новикову, которым авторы выражают огромную признательность за помощь и содействие в проведении научных работ; руководителем экспедиции ФГБНУ «ВНИРО» был А.П. Педченко, неоднократно проводивший исследования в морях Арктики.

Основные задачи научной экспедиции ФГБНУ «ВНИРО» состояли в проведении сбора проб для оценки загрязнения акватории арктических морей микропластиком, мониторинга метеорологических и океанографических условий, учёта численности и распределения морских млекопитающих. Научные наблюдения, адаптированные к условиям парусного судна, проводили в соответствии с «Планом ресурсных исследований и государственного мониторинга водных биоресурсов на 2020 г.», утверждённым приказом Федерального агентства по рыболовству от 26 ноября 2019 г. № 632 (пп. 20, 89, 104), в котором предусмотрены комплексные экосистемные и эколого-рыбохозяйственные работы ФГБНУ «ВНИРО» в морях Арктики (Баренцевом, Карском, Лаптевых, Восточно-Сибирском, Чукотском) и морях северо-западной части Тихого океана в границах ИЭЗ Российской Федерации.

В ходе арктического перехода УПС «Седов» с 19 августа по 19 октября 2020 г. выполнено 29 нейстонных тралений, 33 океанографических наблюдения, 64 визуальных учёта млекопитающих (рис. 1). Сведения о периоде, районах и составе научных наблюдений представлены в табл. 1.

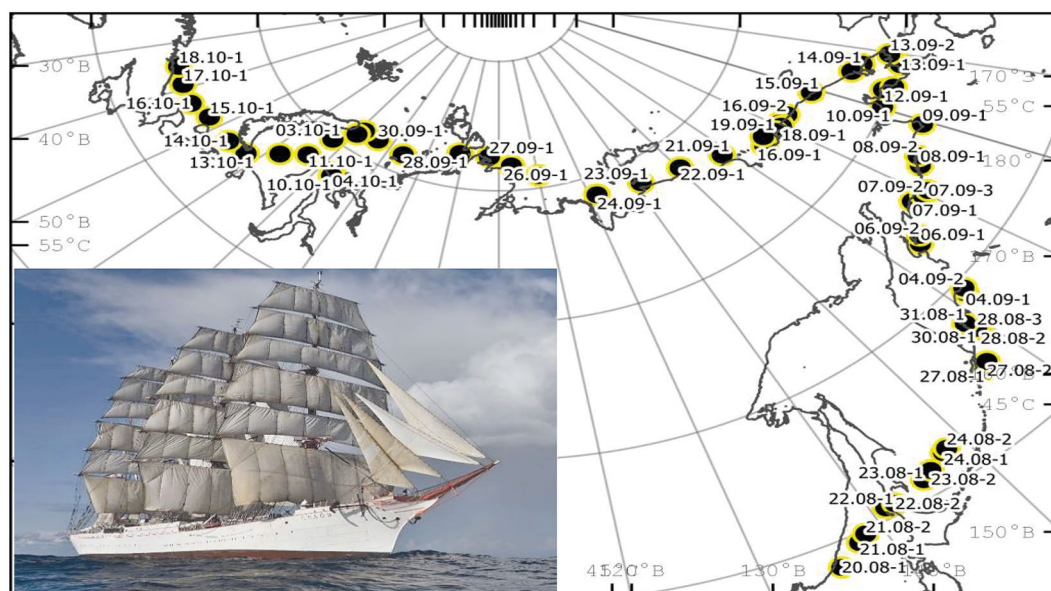


Рис. 1. Маршрут арктического перехода УПС «Седов» в августе-октябре 2020 г.

Таблица 1. Период, районы работ, состав и объём научных наблюдений на УПС «Седов» в августе-октябре 2020 г.

№	Период	Район наблюдений	Состав и объём научных наблюдений (ед.)
1	19.08–22.08.2020	Японское море	Визуальный учёт млекопитающих – 3
2	23.08–26.08.2020	Охотское море	Океанографические наблюдения – 3 Визуальный учёт млекопитающих – 3
3	27.08–13.09.2020	Северо-западная часть Тихого океана и Берингова моря	Нейстонные траления – 2 Океанографические наблюдения – 4 Визуальный учёт млекопитающих – 10
4	14.09–15.09.2020	Чукотское море	Нейстонные траления – 1 Океанографические наблюдения – 1 Визуальный учёт млекопитающих – 3
5	16.09–23.09.2020	Восточно-Сибирское море	Нейстонные траления – 7 Океанографические наблюдения – 8 Визуальный учёт млекопитающих – 2
6	24.09–27.09.2020	Море Лаптевых	Нейстонные траления – 6 Океанографические наблюдения – 6 Визуальный учёт млекопитающих – 0
7	28.09–13.10.2020	Карское море	Нейстонные траления – 11 Океанографические наблюдения – 10 Визуальный учёт млекопитающих – 1
8	14.10–19.10.2020	Баренцево море	Нейстонные траления – 2 Океанографические наблюдения – 1 Визуальный учёт млекопитающих – 1

Ледовые и метеорологические наблюдения. Анализ ледовых условий показал, что трасса Северного морского пути была свободна ото льда к середине августа 2021 г., что обеспечило благоприятные условия для арктического перехода УПС «Седов» и выполнения научных наблюдений.

Над акваториями дальневосточных морей преобладали слабые и умеренные ветры разнонаправленных направлений, температура воздуха по мере продвижения к Берингову проливу понижалась от 24 до 5 °С. В Чукотском море отмечали умеренные восточные ветры при положительных температурах (+5–

7 °С), что способствовало движению судна под парусами. Переход по Восточно-Сибирскому и морю Лаптевых проходил при встречных умеренных ветрах западных направлений и температурах от +2 до 7 °С. Значительное понижение температуры (до минус 2,5 °С) и усиление ветра до штормового (более 15 м/с) было отмечено в сентябре и осложнило переход судна в Карском море. В большинстве случаев отмечали осадки в виде мороси, дождя и снега. Во второй половине сентября и октябре количество дней со штормовым ветром северо-западных направлений значительно увеличилось, что снизило скорость движения судна в Карском и Баренцевом морях (рис. 2).

Сбор проб микропластика выполняли с использованием нейстонной сети типа «Манта» (размеры рамки: ширина 0,6 м × высота 0,15 м, ячей сетного полотна – 335 мкм, длина 2 м), оборудованной калиброванным механическим цифровым счётчиком расхода воды Модель 2030 General oceanic's (рис. 3). Траления выполняли при движении парусного судна под мотором со скоростью 2,2–3,5 узла в поверхностном слое. При проведении исследований использовали методику сбора микропластика, отработанную в арктической экспедиции ФГБНУ «ВНИРО» на НИС «Профессор Леванидов» в 2019 г. с учётом рекомендаций [Зобков, Есюкова, 2017].

Визуальный анализ проб, выполненный в судовых условиях, не выявил аномального содержания частиц

микропластика в пробах, собранных в мелководной шельфовой зоне Арктических морей, а также закономерностей в распределении микропластика на их акваториях, что подтверждает результаты исследований, проеденных в данном регионе в 2019 г. [Педченко и др., 2020]. Присутствие частиц полимеров отмечено в 15 пробах: в Чукотском (1), Восточно-Сибирском (4), Лаптевых (1) и Карском море (9). В пробах доминировал планктон, отмечали природные материалы (глина, песчаник, дерево), металлическую фольгу, перья, траву, остатки стрекоз и мух, молодь краба-стригуна опилио (рис. 4). Присутствие в нейстонных пробах отдельных видов планктона, нетипичных для поверхностного слоя вод, а также природных материалов осадочных пород возможно вызвано их подъёмом к поверхности в результате интенсивного перемешивания вод при движении судна с осадкой 6,5–7 м по мелководным участкам шельфа.

Личинки краба-стригуна опилио *Chionoecetes opilio* были отмечены в нейстонных пробах при облове поверхностного слоя Карского моря в 2019 г. Они встречались в пробах на юго-западе моря (между 69°52' и 71°43' с. ш. от 57°20' до 64°08' в. д.), в то время как основные концентрации личинок данного вида в планктонных пробах при облове слоя 0–200 м регистрировали в глубоководной части акватории исследований [Орлов и др., 2020]. В 2020 г. в пробах личинок краба обнаружили между 73°24' и 76°45' с. ш.

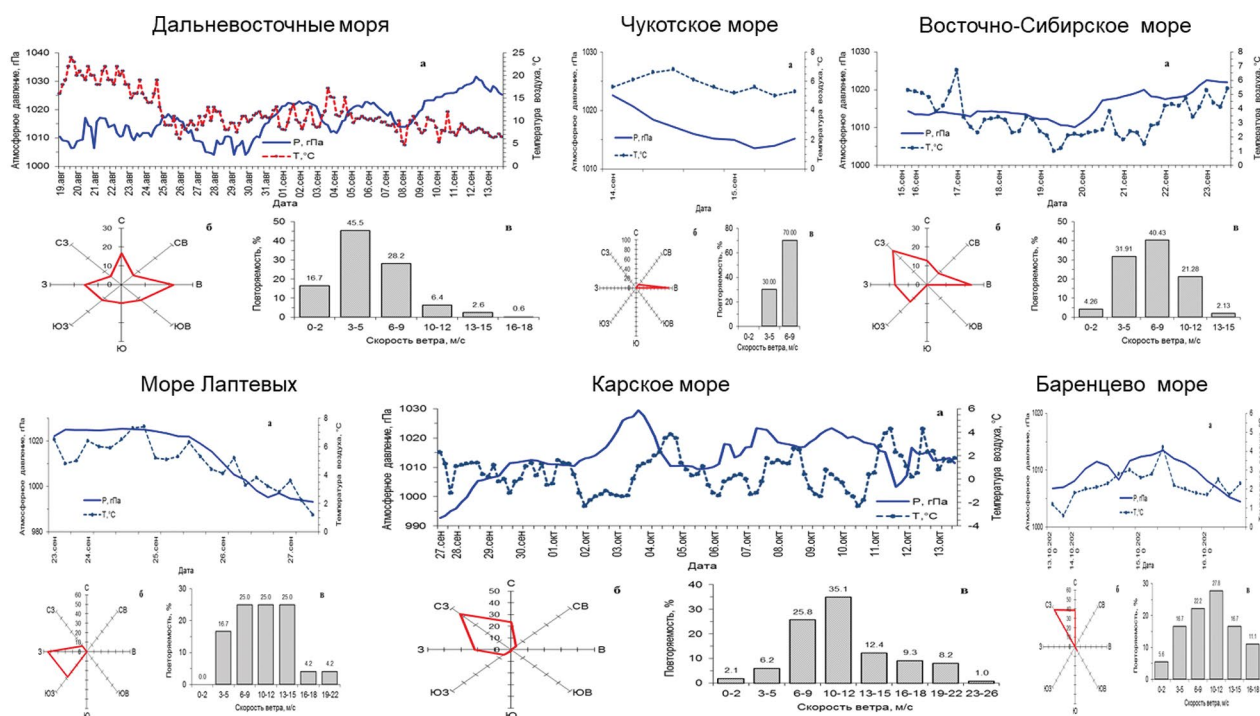


Рис. 2. Особенности метеоусловий по маршруту перехода УПС «Седов» в августе-октябре 2020 г.

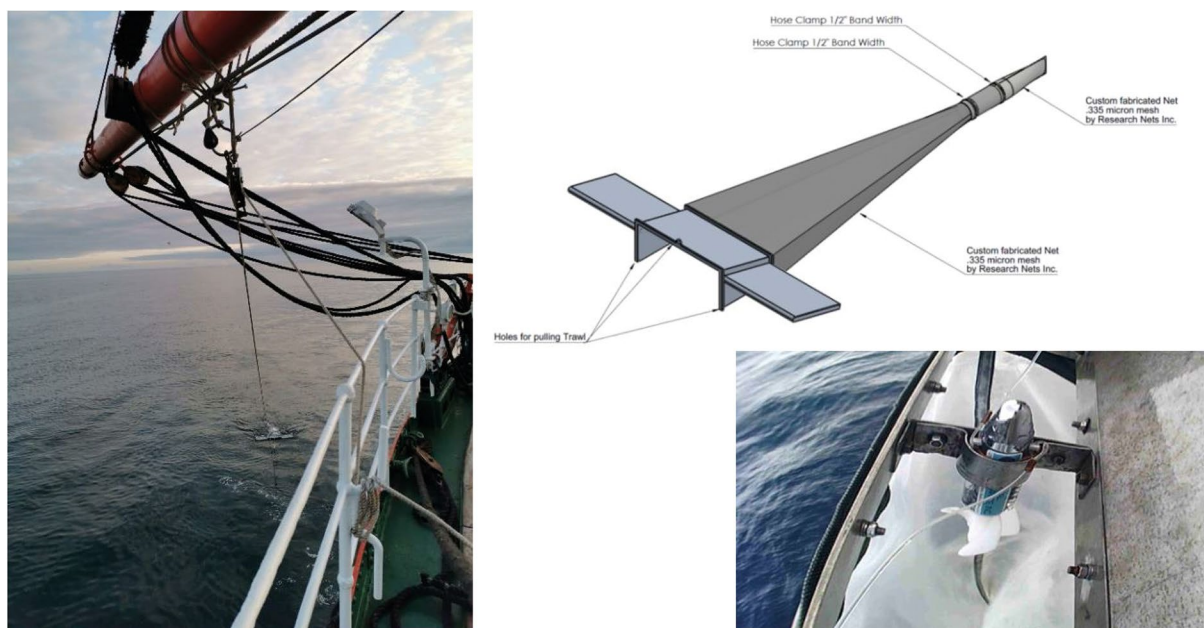


Рис. 3. Выполнение нейстонной станции (слева), общий вид сети Манта и расположение цифрового счётчика протока воды в рамке перед её уловистой частью (справа)

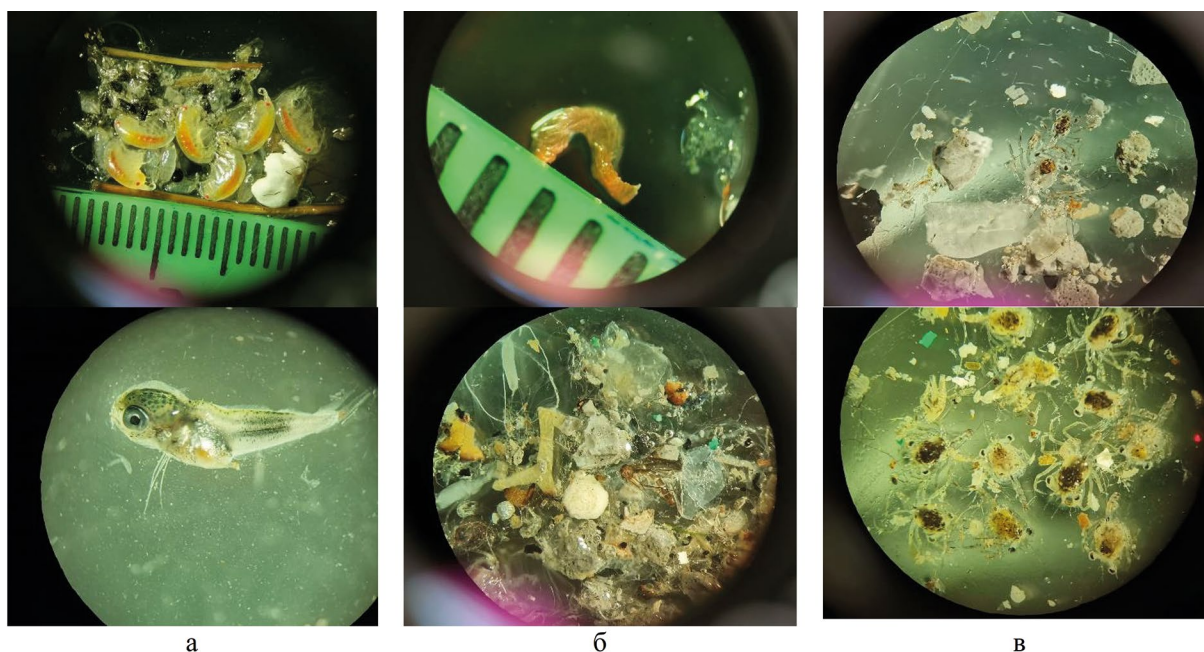


Рис. 4. Примеры состава нейстонных уловов: планктон, молодь рыб (а), судовая краска, микропластик, глина, песчаник (б), молодь краба (в) (фото А.П. Педченко). Август-октябрь 2020 г.

от $66^{\circ}22'$ до $75^{\circ}53'$ в. д., при этом наибольшее количество особей было отмечено северо-западнее п-ова Ямал на станции с координатами $73^{\circ}24'$ с. ш., $67^{\circ}29'$ в. д.

Анализ результатов сбора проб микропластика в Арктических морях в 2020 г. позволяет говорить о низкой степени загрязнения им вод по сравнению с другими районами Мирового океана. Разбор состава

нейстонных проб позволяет высказать предположение, что частицы пластика активно перемещаются в водной толще под действием динамических процессов и не накапливаются в слое осадочных пород шельфа или материкового склона.

Мониторинг океанографических условий выполнен на всей трассе арктического перехода УПС «Седов» (рис. 5) для развития представлений о структуре

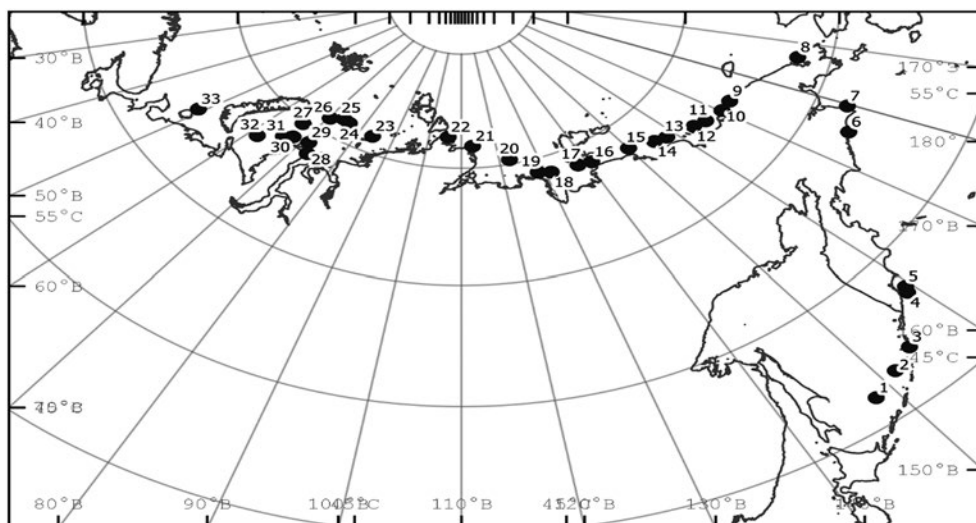


Рис. 5. Схема положения океанографических наблюдений по маршруту арктического перехода УПС «Седов» в августе-октябре 2020 г.

вод, условиях распределения морских гидробионтов и факторах, влияющих на распределение микропластика в Арктических морях.

Анализ вертикального распределения температуры и солёности на станциях по маршруту следования судна выявил, что вдоль трассы Северного морского пути доминировали арктические и воды, опреснённые речным стоком. Шлейфы речного стока Оби в Карском море распространялись в поверхностном слое до 2 м на станциях 28 и 29, выделялись по температуре и солёности 2,44°/23,90 е. п. с., 3,59 °C /24,73 е. п. с. Широкому распространению этих вод препятствовали штормовые северо-западные ветры, отмечавшиеся в течение 1,5 недели, предшествующей наблюдениям (см. рис. 2). Мористее и ближе к проливу Вилькицкого, на ст. 23, шлейф опреснённых вод прослеживался в верхнем шестиметровом слое по температуре и солёности 4,74 °C/24,32 е. п. с. Важно отметить, что пройдя через пролив эти воды частично трансформировались, их отмечали не глубже 2 м по температуре и солёности 4,96 °C/25,36 е. п. с.

В море Лаптевых шлейф поверхностных вод, опреснённых речным стоком Лены и Яны, отчётливо прослеживался на станциях 17–19 от поверхности до 5 м, температура и солёность на каждой из них составляла 4,96 °C/21,51 е. п. с., 6,27 °C/15,26 е. п. с. и 5,81 °C/20,58 е. п. с., соответственно, в зависимости от удалённости станций от устья реки. Вынос и распространение вод речного стока обеспечивали устойчивые западные и юго-западные ветры.

Восточнее пролива Дмитрия Лаптева, на шельфе Восточно-Сибирского моря поток опреснённых вод дополнили воды Индигирки и Колымы. Они отчётливо прослеживались в поверхностном слое до 7 м на

станциях 13–16 по температуре 4,18–4,85 °C и пониженным значениям солёности 22,68–24,75 е. п. с. Влияние устойчивых ветров северо-западных направлений ограничивало их широкое распространение на мелководном шельфе Восточно-Сибирского моря, в результате которого воды, опреснённые речным стоком сибирских рек (солёностью меньше 25 е. п. с.), практически не прослеживались к востоку от ст. 13 (рис. 6).

Выявленные особенности распределения температуры и солёности на галсе между станциями 9 и 16 по маршруту движения судна позволяют предположить, что высокоградиентная фронтальная зона между опреснёнными шельфовыми водами и более солёными окружающими их арктическими водами будет препятствовать распространению полимерных частиц, выносимых речным стоком в Арктический бассейн. Результаты наблюдений также показали, что термохалинные показатели водных масс арктического происхождения были близки к таковым в 2019 г., сохранилась тенденция опреснения прибрежных вод и положительные аномалии температуры воды.

Наблюдения за морскими млекопитающими вели ежедневно в светлое время суток по всему маршруту следования судна. Для идентификации млекопитающих использовали ряд определителей для Дальнего Востока, Арктики и всего Мирового океана [Jefferson et al., 1993; Wypne, 1997; Мельников, 1998 и др.].

В ходе визуальных наблюдений за млекопитающими отмечено 12 видов морских млекопитающих, из них: 3 вида усатых китов, 5 видов зубатых китов, 3 вида ластоногих и один вид кунных (калан). Наибольшее количество видов (7) было встречено в тихоокеанских водах Восточной Камчатки и Беринговом

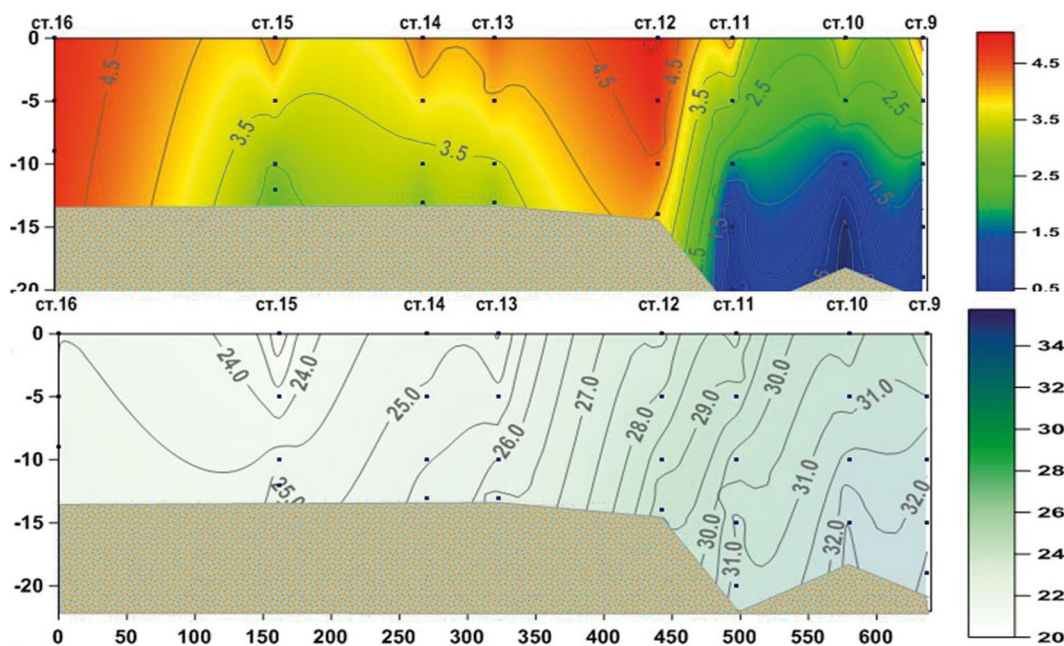


Рис. 6. Особенности распределения температуры и солёности на мелководном шельфе Восточно-Сибирского моря в сентябре 2020 г.

Таблица 2. Видовой состав млекопитающих по маршруту арктического перехода УПС «Седов» в августе-октябре 2020 г.

Семейство, вид	Японское и Охотское море		Тихо-океанские воды Восточной Камчатки		Берингово море		Чукотское море		Восточно-Сибирское море		Море Лаптевых		Карское море		Баренцево море	
	В	К	В	К	В	К	В	К	В	К	В	К	В	К	В	К
Серые киты <i>Eschrichtiidae</i>																
Серый кит <i>Eschrichtius robustus</i>	-	-	-	-	20	81	6	30	6	20	-	-	-	-	-	-
Полосатики <i>Balaenopteridae</i>																
Горбач <i>Megaptera novaeangliae</i>	-	-	2	2	5	12	6	107	-	-	-	-	-	-	-	-
Малый полосатик <i>Balaenoptera acutorostrata</i>	1	1	2	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	3
Дельфиновые <i>Delphininae</i>																
Дельфин-белобочка <i>Delphinus delphis</i>	-	-	4	11	1	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Косатковые <i>Orcininae</i>																
Косатка <i>Orcinus orca</i>	1	3	4	21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Морские свиньи <i>Phocoenidae</i>																
Обыкновенная морская свинья <i>Phocoena phocoena</i>	-	-	-	-	3	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Белокрылая морская свинья <i>Phocoenoides dalli</i>	6	21	1	4	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Кашалотовые <i>Physeteridae</i>																
Кашалот <i>Physeter catodon</i>	-	-	2	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Моржовые <i>Odobenidae</i>																
Морж <i>Odobenus rosmarus</i>	-	-	-	-	-	-	5	16	-	-	-	-	-	-	-	-
Ушастые тюлени <i>Otariidae</i>																
Северный морской котик <i>Callorhinus ursinus</i>	-	-	1	2	2	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Семейство, вид	Японское и Охотское море		Тихо-океанские воды Восточной Камчатки		Берингово море		Чукотское море		Восточно-Сибирское море		Море Лаптевых		Карское море		Баренцево море	
	В	К	В	К	В	К	В	К	В	К	В	К	В	К	В	К
Настоящие тюлени Phocidae																
Кольчатая нерпа <i>Pusa hispida</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	3	3	-	-	1	1	-	-
Куньи Mustelidae																
Калан <i>Enhydra lutris</i>	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Примечание: В – количество встреч млекопитающих; К – количество наблюдаемых особей млекопитающих.

море, а наибольшее количество встреченных особей в Беринговом и Чукотском морях (табл. 2).

Следует отметить, что значительная часть акватории (около 50%), где традиционно отмечались большие скопления китов, была пройдена в ночное время. При этом было отмечено, что количество серых китов было значительно меньше, чем в тот же период 2019 г., поскольку маршрут судна проходил в прибрежной части морей. Обобщая данные 2019 и 2020 гг., можно предположить, что в пересчёте на площадь российской части Чукотского моря (150 тыс. км²) общая численность серых китов составляет не менее 2 тыс. особей. Учтённое количество горбатого кита в Чукотском море в 2020 г. позволяет предположить, что его суммарная численность была высока, но ниже, чем серого кита.

В ходе научных наблюдений на борту УПС «Седов» были отработаны методики научных наблюдений, адаптированные к условиям работы парусного судна в Арктических морях.

Научные наблюдения, выполненные в ходе перехода барка «Седов» по Северному морскому пути, показали возможность использования учебных парусных судов Росрыболовства для сбора актуальных данных о биоте, условиях окружающей среды и экологии морей и океанов.

Благодарности

Авторы выражают благодарность руководителям Росрыболовства, ректору ФГБОУ ВО «КГТУ» В.А. Волкогону за содействие в организации научных работ на борту УПС «Седов», а его экипажу и курсантам за оказанную помощь при проведении наблюдений.

ЛИТЕРАТУРА

- Зобков М.Б., Есюкова Е.Е. 2017. Микропластик в морской среде: обзор методов отбора, подготовки и анализа проб воды, донных отложений и береговых наносов // *Океанология*. Т. 58. № 1. С. 149–157. DOI: 10.7868/S0030157418010148.
- Педченко А.П., Блиновская Я.Ю., Кантаков Г.А., Гаврило М.В. 2020. Исследования микропластика в прибрежно-морской зоне Северного Ледовитого океана и Северной Пацифики // *Труды IX Межд. науч.-практ. конф. «Морские исследования и образование (MARESEDU-2020)»*, т. III (III): Тверь: ООО «Поли-ПРЕСС». С. 336–340.
- Орлов А.М., Бензик А.Н., Рыбаков М.О., Носов М.А., Горбатенко К.М., Ведищева Е.В., Орлова С.Ю. 2020. Некоторые предварительные результаты биологических исследований в Карском море на НИС «Профессор Леванидов» в сентябре 2019 г. // *Труды ВНИРО*. Т. 182. С. 201–215.
- Jefferson T.A., Leatherwood S., Webber M.A. 1993. *FAO species identification guide. Marine mammals of the world*. Rome, FAO. 320 p.
- Wynne K. 1997. *Guide to marine mammals of Alaska*. Second edition. Illustrated by Pieter Folkens. Fairbanks. 75 p.
- Мельников В.В. 1998. *Полевой определитель видов морских млекопитающих для тихоокеанских вод России*. Владивосток: Дальнаука. 88 с.

Поступила в редакцию 08.10.2021 г.

Arctic crossing of the «Sedov» barque in August-October 2020: review of the results of scientific observations

A.P. Pedchenko¹,
A.A. Somov²

¹ Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography («VNIRO»), Moscow, Russia

² Pacific branch of VNIRO («TINRO»), Vladivostok, Russia

In March 2021, the four-masted barque «Sedov» celebrated its centenary. On the eve of the anniversary, in August-October 2020, the training sailing vessel (TSV) barque «Sedov» for the first time in the history of Arctic research made the crossing along the Northern Sea Route in one navigation without ice wiring, covering 7.1 thousand miles on the passage from Vladivostok to Murmansk. VNIRO's scientific staff made observations on the shelf of the north-western part of the Pacific Ocean and the Arctic Seas along the ship's route. Methods of collecting samples for the assessment of sea pollution with microplastics, oceanographic conditions, the number and distribution of marine mammals, adapted to the working conditions of a sailing ship in the Arctic seas, were developed during practical training with cadets. Scientific observations made during the passage of the barque «Sedov» along the Northern Sea Route showed the possibility of using training sailing vessels of Rosrybolovstvo to collect relevant data on the biota, environmental conditions and ecology of the Seas and Oceans.

Keywords: microplastics, oceanographic observations, marine mammals, educational practice, development of observation methods, barque «Sedov», Arctic seas.

REFERENCES

- Zobkov M.B., Esyukova E.E. 2017. Mikroplastik v morskoy srede: obzor metodov otbora, podgotovki i analiza prob vody, donnyx otlozhenij i beregovyx nanosov [Microplastics in the marine environment: a review of methods for the selection, preparation and analysis of water samples, bottom sediments and coastal sediments] // Okeanologiya. T. 58. № 1. S. 149–157. DOI: 10.7868/S0030157418010148.
- Pedchenko A.P., Blinovskaya Ya. Yu., Kantakov G.A., Gavrilov M.V. 2020. Issledovaniya mikroplastika v pribrezhno-morskoy zone Severnogo Ledovitogo okeana i Severnoj Pacifiki [Studies of microplastics in the coastal-marine zone of the Arctic Ocean and the Northern Pacific] // Trudy IX Mezhd. nauch.-prakt. konf. «Morskie issledovaniya i obrazovanie (MARESEDU-2020)». T. III (III): Tver': OOO «PoliPRESS». S. 336–340.
- Orlov A.M., Benzik A.N., Rybakov M.O., Nosov M.A., Gorbatenko K.M., Vedishcheva E.V., Orlova S. Yu. 2020. Nekotorye predvaritel'nye rezul'taty biologicheskikh issledovaniy v Karskom more na NIS «Professor Levanidov» v sentyabre 2019 g. [Some preliminary results of biological studies in the Kara Sea at RV «Professor Levanidov» in September 2019] // Trudy VNIRO. T. 182. S. 201–215.
- Jefferson, T.A., Leatherwood S., Webber M.A. 1993. FAO species identification guide. Marine mammals of the world. Rome, FAO. 320 p.
- Wynne K. 1997. Guide to marine mammals of Alaska. Second edition. Illustrated by Pieter Folkens. Fairbanks. 75 p.
- Melnikov V.V. 1998. Polevoj opredelitel' vidov morskix mlekopitayushhix dlya tixookeanskix vod Rossii. [Field determinant of marine mammal species for the Pacific waters of Russia] Vladivostok: Dal'nauka. 88 s.

FIGURE CAPTIONS

Fig. 1. The route of the Arctic crossing of the TSV «Sedov» in August-October 2020

Fig. 2. Features of weather conditions along the route of the Arctic crossing of the TSV «Sedov» in August-October 2020

Fig. 3. Execution of the neuston station (left), a general view of the Manta network and the location of the digital water flow meter in the frame in front of its catch part (right)

Fig. 4. Examples of the composition of neuston catches: plankton, juvenile fish (a), marine paint, microplastics, clay, sandstone (b), juvenile crab (c). Photo by A.P. Pedchenko. August-October 2020

Fig. 5. Diagram of the position of oceanographic observations along the route of the Arctic crossing of the TSV «Sedov» in August-October 2020

Fig. 6. Features of the distribution of temperature and salinity on the shallow shelf of the East Siberian Sea in September 2020

TABLE CAPTIONS

Table 1. Period, areas of work, composition and volume of scientific observations at the TSV «Sedov» in August-October 2020

Table 2. Species composition and mammals along the route of the Arctic crossing of the TSV «Sedov» in August-October 2020

ПАМЯТИ ВИКТОРА ФЁДОРОВИЧА БУГАЕВА

(02.03.1950–12.05.2021)



12 мая 2021 г. скоропостижно ушёл из жизни известный российский ихтиолог, один из крупнейших специалистов в области биологии и популяционной структуры нерки в пределах Северной Пацифики, ведущий научный сотрудник Камчатского филиала Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (КамчатНИРО), доктор биологических наук, Почётный работник рыбного хозяйства Российской Федерации Виктор Фёдорович Бугаев.

В.Ф. Бугаев родился 2 марта 1950 г. в пос. Тиличики на севере Камчатки в семье юриста. Через год после окончания средней школы в 1968 г. поступил в Дальрыбвтуз (Владивосток), который успешно закончил в 1973 г., получив специальность ихтиолога-рыбовода. Ещё в период обучения в институте Виктор Фёдорович при каждой возможности, будь то летняя студенческая практика или каникулы, старался побывать на Камчатке. Здесь, в Камчатском отделении Тихоокеанского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (КоТИНРО), прошла его полугодовая производственная практика, во время которой после двух с лишним месяцев работы в Беринговом море по исследованию трески он нашёл силы и время, чтобы поехать на Курильское озеро и изучать там нерку. Итогом этой поездки стала дипломная работа, которая позднее послужила основой для его первой научной публикации.

По окончании Дальрыбвтуза В.Ф. Бугаев был направлен по распределению в ТУРНИФ. Приложив немало усилий, он добился разрешения на перемену места распределения и попал в КоТИНРО, где ему поручили участвовать в работах по авиаучёту лососей на нерестилищах и разрешили факультативно заниматься изучением биологии нерки. В последующем, это стало основным делом всей его жизни.

Чтобы выяснить основные черты биологии и популяционной структуры нерки, воспроизводящейся в бассейне крупнейшей речной системы полуострова – р. Камчатки, В.Ф. Бугаевым в течение десятилетия были исследованы практически все её уголки от истоков до устья. Летом в одиночку или в составе небольшой группы из двух-трёх человек он обследовал нерестилища и нагульно-выростные водоёмы молоди этого вида лососей, а в зимние месяцы обрабатывал собранные материалы, готовил по ним публикации и защищал результаты своих исследований на коллоквиумах, отчётных сессиях института и конференциях. В этот период В.Ф. Бугаев поступил в аспирантуру ТИНРО и подготовил кандидатскую диссертацию, основой которой стала характеристика возрастной структуры нерки данного стада. Он описал рыб, скатывающихся в возрасте сеголеток, и, следовательно, сформировал новые воззрения на динамику численности нерки. К сожалению, в этом он в те годы не нашёл взаимопонимания со многими известными учёными, в том числе и со своим научным руководителем д. б. н. С.М. Коноваловым. Тем не менее, в ноябре 1983 г. Виктор Фёдорович успешно защитил кандидатскую диссертацию

«Пространственная структура популяций нерки в бассейне р. Камчатка» в диссертационном совете Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова.

В 1984 г., после перевода на должность старшего научного сотрудника, В.Ф. Бугаев стал курировать почти все исследования по нерке, проводимые в КоТИНРО, стремясь изучить закономерности воспроизводства нерки в различных водоёмах Азии и Северной Америки. У Виктора Фёдоровича появилась возможность бывать за рубежом и делиться своими мыслями с иностранными коллегами, что позволило значительно активизировать его научную деятельность. Работа же с новыми молодыми коллегами в институте способствовала расширению собственных интересов и более комплексному выяснению тех или иных причин колебания численности нерки разных стад и популяций. В 1991 г. В.Ф. Бугаев был переведён на должность ведущего научного сотрудника.

Итогом двадцатилетних исследований биологии нерки в пресноводный период жизни стала докторская диссертация В.Ф. Бугаева «Азиатская нерка», успешно защищённая во ВНИРО в мае 1994 г. Через год она была издана отдельной книгой, данными из которой до настоящего времени пользуются специалисты России и других стран (в 2011 г. эта монография опубликована на английском языке). После защиты докторской диссертации Виктор Фёдорович стал уделять всё большее внимание проблемам динамики численности как самой нерки, так и других видов рыб, находящихся во взаимоотношениях с главным объектом своих исследований. Им были изучены условия воспроизводства в пресных и нагула в морских водах горбуши и колюшек, а также исторические тренды в изменениях их численности.

Во второй половине 1990-х гг. В.Ф. Бугаева настигает серьёзная болезнь, которая, однако, сдаётся под его упорным натиском желая жизни и творчества. После болезни он с ещё большей энергией принимается за реализацию всего задуманного, завершая цикл обобщающих работ по нерке и другим видам лососей. В течение следующих двадцати лет Виктор Фёдорович продолжил активно работать, ежегодно выезжая на полевые работы, выступая с докладами на различных российских, международных конференциях и публикуя результаты своих исследований. Итогом этих работ стали две монографии – вышедшая в 2007 г. под его редакцией коллективная «Рыбы реки Камчатки» и в 2011 г. «Азиатская нерка-2», в которой обобщены результаты исследований биологии и популяционной структуры нерки в конце XX – нача-

ле XXI веков. Будучи высококвалифицированным и авторитетным специалистом, В.Ф. Бугаев много и успешно работал с молодыми сотрудниками, щедро делаясь с ними своими знаниями, оказывая методическую помощь и привлекая к подготовке совместных публикаций.

В.Ф. Бугаев является автором (соавтором) более 280 научных работ, в том числе 4 монографий. Такого количества публикаций не было ни у одного из сотрудников КамчатНИРО за всю историю этого института. Многие публикации В.Ф. Бугаева сегодня считаются классическими.

Наряду с активной научной деятельностью, Виктор Фёдорович был страстным библиофилом, который никогда не проходил мимо заинтересовавшей его книги, до последних дней предпочитая её печатный вариант электронному. В.Ф. Бугаев немало сделал для популяризации научных знаний о нерке и других тихоокеанских лососях, воспроизводимых в водоёмах Камчатки, выпустив в 2000-е гг. серию богато иллюстрированных оригинальными фотографиями научно-популярных книг на эту тему – «Рыбы бассейна реки Камчатки» (2007), «Нагульно-нерестовые озёра азиатской нерки» (2008) (совместно с В.Е. Кириченко), «Озерновская нерка» (2009) (совместно с В.А. Дубыниным и А.В. Масловым), «Нерка реки Камчатки» (2010), «Полёт над гнездом нерки» (2011) (совместно с А.В. Масловым) и др. Кроме того, его перу принадлежат три книги мемуаров – «Мир реки» (2000), «Лучшие годы нашей жизни» (2009) и «Вокруг камчатских озёр» (2016), а также сборники стихотворений – «Калейдоскоп воспоминаний» (2012), «Азабачинская тетрадь» (2013) и «На окраине России» (2017), в которых он рассказывает о суровой, но прекрасной природе Камчатки и личном восприятии мира и окружающих его людей.

Будучи по своей натуре трудоголиком, Виктор Фёдорович Бугаев обладал неординарным горячим характером, высокой целеустремлённостью и максимализмом во всём, продолжая работать до последних дней своей жизни. Таким он и запомнится тем, кто его знал.

*А.М. Токранов, М.К. Глубоковский,
Н.Ю. Шпигальская, А.В. Бугаев,
В.А. Дубынин, О.В. Зикунова,
М.Г. Фельдман, А.М. Бирюков,
Н.Б. Артюхина, С.В. Шубкин,
Е.А. Шевляков, В.И. Карпенко.*

СПИСОК ОСНОВНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ В. Ф. БУГАЕВА

1976. К вопросу о дифференциации субизолятов красной в бассейне озера Курильского // Исслед. по биол. рыб и промысл. океанографии. Владивосток: ТИНРО. Вып. 7. С. 88–101.

1978. Строение чешуи симы // Биология моря. № 3. С. 46–53.

О возрасте симы // Там же. № 5. С. 40–46.

Об использовании структуры зон сближенных склеритов на чешуе в качестве критерия для дифференциации локальных группировок нерки *Oncorhynchus nerka* (Walb.) в бассейне р. Камчатки // Вопросы ихтиологии. Т. 18. Вып. 5. С. 826–836.

1983. Отсутствие годового кольца на чешуе годовиков нерки *Oncorhynchus nerka* (Walbaum) (Salmonidae) // Там же. Т. 23. Вып. 1. С. 154–156.

Некоторые вопросы формирования чешуи нерки *Oncorhynchus nerka* (Walbaum) (Salmonidae) озера Азабачье (Камчатка) в пресноводный период жизни // Там же. Т. 23. Вып. 3. С. 412–418.

Некоторые данные о скате и питании сеголеток нерки *Oncorhynchus nerka* (Walbaum) (Salmonidae) в устье реки Камчатки // Там же. Т. 23. Вып. 6. С. 1031–1034 (соавт. В.И. Карпенко).

1984. Методика идентификации производителей нерки *Oncorhynchus nerka* (Walbaum) (Salmonidae), вернувшихся от покатников-сеголеток в бассейн реки Камчатки // Там же. Т. 24. Вып. 2. С. 225–231.

Роль солоноватоводного озера Нерпичье в нагуле молоди нерки *Oncorhynchus nerka* (Walbaum) (Salmonidae) реки Камчатки // Там же. Т. 24. Вып. 5. С. 753–758.

О скорости формирования склеритов и особенностях роста молоди нерки *Oncorhynchus nerka* (Walbaum) (Salmonidae) в бассейне р. Камчатка в год ската в море // Там же. Т. 24. Вып. 6. С. 991–1002.

1986. О дополнительных зонах на чешуе и особенностях линейного роста молоди нерки *Oncorhynchus nerka* (Walbaum) в бассейне реки Камчатка // Там же. Т. 26. Вып. 1. С. 87–93.

Методика идентификации в уловах прибрежного и речного промысла особей основных локальных стад и группировок нерки *Oncorhynchus nerka* (Walbaum) в бассейне р. Камчатка // Там же. Т. 26. Вып. 4. С. 600–609.

1987. О строении чешуи и росте молоди нерки *Oncorhynchus nerka* (Walbaum) оз. Азабачье (Камчатка) // Там же. Т. 27. Вып. 1. С. 59–72 (соавт. В.Н. Базаркин).

Возрастная структура нерки *Oncorhynchus nerka* реки Камчатка // Там же. Т. 27. Вып. 4. С. 627–636.

Scale Patterns and Biology of Juvenile Sockeye Salmon (*Oncorhynchus nerka*) in the Kamchatka River // Sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) population biology and future management. / H.D. Smith, L. Margolis, C.C. Wood [ed.] Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci. 96. P. 36–43.

Recommendation for rational exploitation of sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) from the Kamchatka River // Там же. P. 396–402.

1988. Устойчивость изолирующих механизмов одновременно нерестующих форм трехиглой колюшки *Gasterosteus aculeatus* озера Азабачье (Камчатка) // Вопросы ихтиологии. Т. 28. Вып. 2. С. 322–325 (соавт. В.В. Зюганов).

1989. Межгодовая изменчивость структуры центральной части чешуи производителей нерки *Oncorhynchus nerka* оз. Курильское // Там же. Т. 29. Вып. 3. С. 387–398 (соавт. В.А. Дубынин, И.А. Носова).

Scale patterns of commercial stocks of Asian sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) // Effects of ocean variability on recruitment and an evaluation of parameters used in stock assessment models. / R.J. Beamish, G.A. McFarlane [ed.] Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci. 108. P. 137–150.

Некоторые данные о питании сеголеток нерки *Oncorhynchus nerka* (Walbaum) (Salmonidae) в бассейне реки Камчатки // Бюл. МОИП. Отд. биологии. Т. 94. Вып. 4. С. 53–59 (соавт. Е.Т. Николаева).

1991. Возрастная структура промысловых стад азиатской нерки *Oncorhynchus nerka* (Walbaum) // Исслед. биол. и динамики числ. промысл. рыб камч. шельфа. Петропавловск-Камчатский: КоТИНРО. Вып. 1. Ч. 1. С. 46–54.

К вопросу о факторах, влияющих на возобновление сезонного роста у молоди нерки *Oncorhynchus nerka* (Walbaum) в озёрах // Там же. С. 38–45.

О сезонных ритмах роста и скорости формирования склеритов на чешуе молоди нерки *Oncorhynchus nerka* в пресноводный период жизни в озёрах Азабачье и Курильское (Камчатка) // Вопросы ихтиологии. Т. 31. Вып. 3. С. 423–432 (соавт. В.А. Дубынин).

1992. Возрастная структура азиатской нерки *Oncorhynchus nerka* и методические аспекты её оценки // Там же. Т. 32. Вып. 3. С. 36–51.

Трёхиглая колюшка *Gasterosteus aculeatus* р. Камчатка // Там же. Т. 32. Вып. 4. С. 71–82.

1993. Межгодовая изменчивость роста чешуи транзитной и аборигенной молоди нерки *Oncorhynchus nerka* в зависимости от кормовых и температур-

- ных условий в оз. Азабачье // Там же. Т. 33. № 5. С. 651–658 (соавт. Л.А. Базаркина, В.А. Дубынин).
- Нерка *Oncorhynchus nerka* (Walbaum) оз. Двухюрточного (бассейн р. Камчатки) // Исслед. биол. и динамики числ. промысл. рыб камч. шельфа. Петропавловск-Камчатский: КоТИНРО. Вып. II. С. 62–66 (соавт. А.Г. Остроумов).
- 1995.** Азиатская нерка (пресноводный период жизни, структура локальных стад, динамика численности). М.: Колос. 464 с.
- Возрастная структура производителей и смолтов нерки *Oncorhynchus nerka* (Walbaum) оз. Азабачье (Камчатка) // Исслед. биол. и динамики числ. промысл. рыб камч. шельфа. Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО. Вып. III. С. 96–100.
- О влиянии численности циклопов *Cyclops scutifer* и дафний *Daphnia longiremis* на рост молоди нерки *Oncorhynchus nerka* в оз. Курильское // Вопросы ихтиологии. Т. 35. № 3. С. 343–348 (соавт. В.А. Дубынин, Л.В. Миловская).
- 1996.** Influence of the Marine Abundance of Pink (*Oncorhynchus gorbuscha*) and Sockeye Salmon (*O. nerka*) on growth of Ozernaya River Sockeye, 1970–1994 // NPAFC Doc. 203. 20 p. (coauthors D.W. Welch, M.M. Selifonov, L.E. Grachev, M.J. Sweet).
- 1997.** Об определении возраста нерки *Oncorhynchus nerka* озера Азабачьего (бассейн реки Камчатка). Дискуссия // Известия ТИНРО. Т. 122. С. 200–212.
- 1999.** Факторы, определяющие длину и массу тела смолтов нерки *Oncorhynchus nerka*, мигрирующих из оз. Курильского (р. Озерная) и оз. Азабачьего (р. Камчатка) // Там же. Т. 126. Ч. II. С. 383–400 (соавт. В.А. Дубынин).
- 2000.** К вопросу о выборочном методе авиаучетов нерки *Oncorhynchus nerka* (Walbaum) в бассейне р. Камчатка // Исслед. водных биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. Вып. 5. С. 74–79 (соавт. А.Г. Остроумов, К.Ю. Непомнящий, А.В. Маслов).
- Size of sockeye salmon smolts and freshwater age of adults in Azabachye Lake (Kamchatka River Basin) // NPAFC Bull. № 2. P. 131–135.
- Factors influencing abundance of sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) from the Ozernaya River, Southwest Kamchatka // Recent Changes in Ocean Production of Pacific Salmon / J.H. Helle, Y. Ishida, D. Noakes, V. Radchenko (ed.). Там же. № 2. P. 181–189 (coauthor V.A. Dubinin).
- 2001.** Influence of the Marine Abundance of Pink (*Oncorhynchus gorbuscha*) and Sockeye Salmon (*Oncorhynchus nerka*) on growth of Ozernaya River // Fishery Oceanography. Vol. 10. № 1. P. 26–32 (coauthors M.M. Selifonov, L.E. Grachev, D.W. Welch).
- 2002.** On Peculiarities of the Palana River Sockeye Salmon (*Oncorhynchus nerka*) Abundance (North-West Kamchatka) // Doc. NPAFC № 627. 11 p.
- On Pink Salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*) Abundance Influence on Asian Sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) Abundance // Doc. NPAFC № 628. 11 p.
- К вопросу о биологии некоторых стад нерки *Oncorhynchus nerka* Walbaum (Salmonidae) рек Западной Камчатки // Исслед. водных биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. Вып. VI. С. 182–191 (соавт. В.А. Дубынин, А.В. Бугаев, А.Г. Остроумов, А.В. Маслов).
- Факторы, влияющие на биологические показатели и динамику численности нерки *Oncorhynchus nerka* рек Озерной и Камчатка // Известия ТИНРО. Т. 130. Ч. II. С. 679–757 (соавт. В.А. Дубынин).
- Некоторые особенности биологии нерки *Oncorhynchus nerka* р. Большой (западная Камчатка) и факторы, влияющие на ее биологические показатели // Там же. Т. 130. Ч. II. С. 758–776 (соавт. А.Г. Остроумов, К.Ю. Непомнящий, А.В. Маслов).
- Исследования нерки *Oncorhynchus nerka* оз. Паланского в 1990–2001 гг. (северо-западная Камчатка) // Там же. Т. 130. Ч. II. С. 777–791 (соавт. Л.В. Миловская, Е.В. Лепская, Т.В. Бонк, И.Н. Сиротенко, А.Г. Остроумов).
- 2003.** Some Peculiarities on Biology of Bolshaya River sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) (West Kamchatka) // Doc. NPAFC № 673. 31 p.
- Факторы, влияющие на биологические показатели нерки *Oncorhynchus nerka* р. Хайлюля (Восточная Камчатка) // Известия ТИНРО. Т. 133. С. 35–44 (соавт. И.В. Тиллер, А.В. Маслов, А.Н. Ходько).
- Многолетние тенденции промысла и динамики численности азиатских стад нерки *Oncorhynchus nerka* // Там же. Т. 134. С. 101–119 (соавт. А.В. Бугаев).
- 2004.** Некоторые замечания по оценке результатов идентификации стад нерки *Oncorhynchus nerka* и расчета их изъятия дрефтерным промыслом в море в экономической зоне Российской Федерации по чешуе в 1995–2002 гг. Дискуссия // Там же. Т. 136. С. 90–108.
- Жилая форма трехиглой колюшки *Gasterosteus aculeatus* как индикатор условий нагула молоди нерки *Oncorhynchus nerka* в оз. Азабачьем (бассейн р. Камчатка) // Там же. Т. 139. С. 134–144 (соавт. Г.В. Базаркин, Л.А. Базаркина).
- 2006.** Сезонные изменения пространственной структуры планктонных ракообразных в пелагиали

озера Азабачье // Исслед. водных биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. Вып. 8. С. 150–157 (соавт. Л.А. Базаркина, А.С. Николаев).

2007. Рыбы реки Камчатки / п/ред. В.Ф. Бугаева. Петропавловск-Камчатский: Изд-во КамчатНИРО. 459 с. (соавт. Б.Б. Вронский, Л.О. Заварина, Ж.Х. Зорбиди, А.Г. Остроумов, И.В. Тиллер).

О возможном прилове морскими ставными неводами в районе второстепенных рек Западной Камчатки нерки, не принадлежащей стадам этих рек // Известия ТИНРО. Т. 149. С. 226–241 (соавт. В.А. Дубынин, Е.А. Шевляков).

Биологическая структура и динамика численности двух стад нерки *Oncorhynchus nerka* Западной Камчатки – рек Большая и Палана // Там же. Т. 150. С. 137–154 (соавт. Н.П. Антонов, В.Г. Погодаев).

Биологическая характеристика и динамика численности основных стад азиатской нерки – рек Озерной и Камчатки // Вопросы рыболовства. Т. 8. № 3. С. 418–458 (соавт. Н.П. Антонов, В.А. Дубынин).

Density-dependent growth of sockeye salmon in the North Pacific Ocean // Status of Pacific salmon and their role in North Pacific marine ecosystems / R. Bemish, V. Radchenko (ed.). NPAFC Bull. № 4. P. 299–310 (coauthors O.A. Mathisen, R.J. Bemish).

2011. Asian Sockeye Salmon (freshwater period of life, biological structure, population dynamics). Petro pavlovsk-Kamchatsky: Publishing House “Kamchatpress”. 292 p.

Азиатская нерка-2 (биологическая структура и динамика численности локальных стад в конце XX – начале XXI вв.). Петропавловск–Камчатский: Изд-во «Камчатпресс». 380 с.

2012. Динамика гидробиологических процессов, определяющих кормовые условия молоди нерки в пелагиали озера Азабачье в 2006–2010 гг. // Исслед. водных биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. № 24. С. 5–29 (соавт. Л.А. Базаркина, Г.В. Базаркин, В.Д. Свириденко).

Исследования динамики численности лососёвых рыб в 1995–2011 гг. // Исслед. водных биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. № 25. С. 5–36.

2013. О продолжительности пресноводного периода жизни западнокамчатской симы *Oncorhynchus masou* // Известия ТИНРО. Т. 175. С. 110–126 (соавт. О.А. Захарова).

2014. Рост чешуи молоди кижуча р. Большой (Западная Камчатка) // Там же. Т. 176. С. 62–84 (соавт. Н.В. Ярош).

Рост чешуи молоди чавычи р. Большой (Западная Камчатка) // Там же. Т. 177. С. 139–151 (соавт. Н.В. Ярош).

Становление и современное состояние экосистемы Толмачевского водохранилища (п-ов Камчатка) и акклиматизированной в нем популяции кокани (*Oncorhynchus nerka kennerlyi*) // Там же. Т. 178. С. 95–115 (соавт. Е.В. Лепская, М.В. Коваль, Л.А. Базаркина, Т.В. Бонк, Е.В. Бочкова, Д.С. Виноградова, К.В. Лосенкова, Т.В. Гаврюсева, В.Д. Свириденко, Н.В. Сергеенко, Е.А. Устименко, С.Б. Городовская).

2015. Возрастная и размерно–массовая структура локальных стад нерки *Oncorhynchus nerka* некоторых нагульно–нерестовых озёр Камчатского края // Там же. Т. 180. С. 3–38 (соавт. А.В. Бугаев, Е.В. Погодаев).

Возрастная структура западнокамчатской симы *Oncorhynchus masou* // Исслед. водных биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. № 38. С. 39–48 (соавт. О.А. Захарова).

2016. О положительной и отрицательной корреляционной связи заражённости плероцеркоидами *Diphyllobotrium* sp. смолтов и половозрелой нерки *Oncorhynchus nerka* стада «А» с их численностью в море в год массового полового созревания (бассейн р. Камчатки) // Вопросы географии Камчатки. № 14. С. 28–70.

Возрастная и размерно–массовая структура локальных стад нерки *Oncorhynchus nerka* некоторых нагульно–нерестовых систем острова Беринга (Командорские острова) // Там же. № 14. С. 71–116 (соавт. Е.Г. Погодаев).

2017. Состояние популяции кокани (*Oncorhynchus nerka*) Толмачёвского водохранилища в 2016 г. // Исслед. водных биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. № 47. С. 46–64 (соавт. Е.В. Лепская, М.В. Коваль, О.В. Тепнин, Т.В. Рязанова, А.В. Согрина, И.А. Заочный).

2018. О биологии нерки *Oncorhynchus nerka* р. Жупанова (Восточная Камчатка) // Известия ТИНРО. Т. 193. С. 78–87 (соавт. И.В. Тиллер).

О влиянии размеров смолтов нерки *Oncorhynchus nerka* на продолжительность формирования склеритов на чешуе при реализации комплексного роста в год ската в море в оз. Азабачьем (бассейн р. Камчатка) // Там же. Т. 193. С. 88–98.

Многолетний мониторинг размеров и характера питания годовиков жилой формы трёхиглой колюшки (морфы *leirus*) в литорали оз. Азабачьего (бассейн р. Камчатки) // Там же. Т. 194. С. 99–112 (соавт. Т.Л. Введенская).

Взаимосвязь между размерно–массовыми характеристиками смолтов нерки *Oncorhynchus nerka*, ми-

грировавших из оз. Азабачьего (бассейн р. Камчатка) в 1979–2013 гг., и численностью созревших рыб в море в 1982–2016 гг. // Там же. Т. 195. С. 128–139.

2019. Образование «ложных годовых колец» на чешуе молоди кижуча *Oncorhynchus kisutch* в оз. Куражечном (Камаковская низменность – бассейн р. Камчатка) // Там же. Т. 198. С. 77–92 (соавт. Г.В. Базаркин, Д.П. Погорелова).

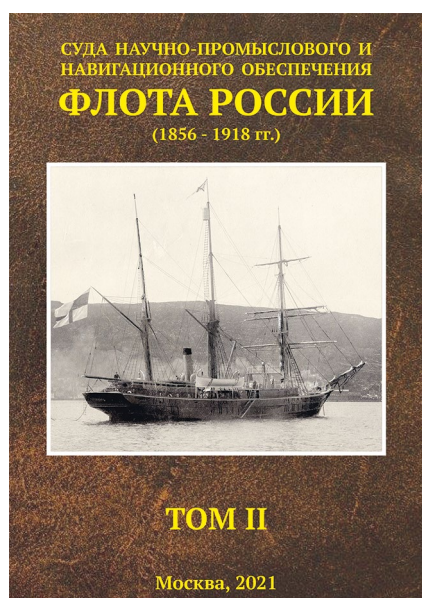
Образование «ложных годовых колец» на чешуе молоди кижуча *Oncorhynchus kisutch* в оз. Курсин (нижнее течение р. Камчатка) // Там же. Т. 198. С. 61–76 (соавт. Д.П. Погорелова).

О влиянии температуры воды на сезонный рост годовиков кижуча *Oncorhynchus kisutch* в нижнем течении р. Большой в 2007–2018 гг. // Там же. Т. 199. С. 49–63 (соавт. Н.А. Растягаева, Т.Н. Травина).

Образование «ложных годовых колец» на чешуе молоди кижуча *Oncorhynchus kisutch* в верховьях, пойменных старицах и озерах среднего и нижнего течения р. Камчатка // Там же. Т. 199. С. 64–82 (соавт. Г.В. Базаркин).

2020. Определение пресноводного возраста кижуча *Oncorhynchus kisutch* р. Лиственничной (Юго-Восточная Камчатка) в 2014–2018 гг. // Исслед. водных биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. № 58. С. 51–70 (соавт. О.В. Фролов).

2021. Долговременные изменения численности и структуры популяции нерки озера Дальнего (юго-восток Камчатки) // Известия ТИНРО. Т. 201. № 2. С. 324–339 (соавт. Н.М. Вецлер).



Новая книга издательства ВНИРО

Вышла в свет книга Д.Е. Левашова, К.В. Колончина, Н.П. Булановой, Е.Д. Бровка «Суда научно-промыслового и навигационного обеспечения флота России (1860–1918 гг.)» под общей редакцией Д.Е. Левашова.

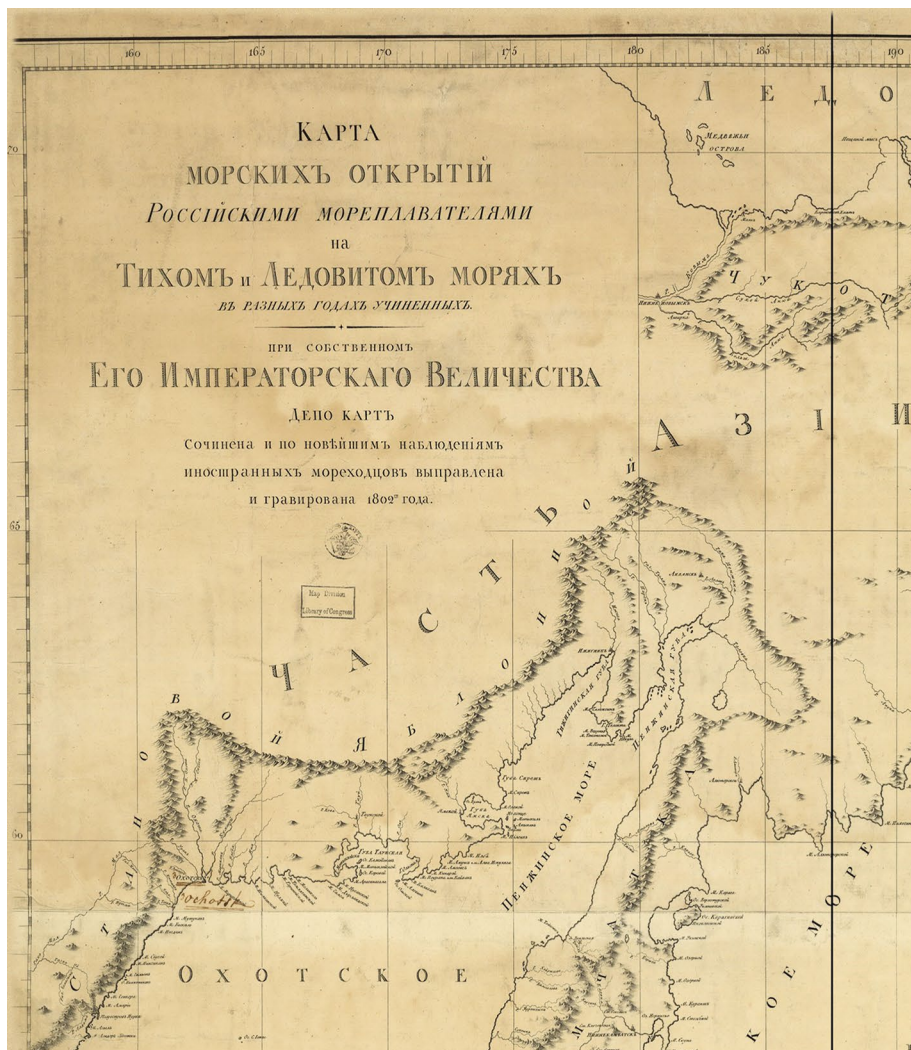
Монография представляет собой объемный труд, иллюстрированный 212 фотографиями, хорошо структурированный, что открывает возможность для читателей без труда найти нужную информацию или справку. Издание содержит достаточно развернутое предисловие, объясняющее назначение и важность издания, пять смысловых разделов, обширный список источников, использованных при подготовке (249 названий), и, что очень важно, алфавитный указатель 422 названий судов, упомянутых в монографии. Даны справки по судам, которые использовались для промыслового и навигационного обеспечения флота России в период с 1860 по 1918 гг., включающие их историю, основные характеристики, конструктивные особенности и оснащение. Авторами охвачен огромный спектр судов, различающихся по размеру, техническим характеристикам, конкретному направлению использования, ведомственной принадлежности и пр. В монографии рассмотрены суда региональных гидрографических служб, суда, обеспечивающие проведение морских научных экспедиций, ведение и охрану рыбного и зверобойного промыслов. Особый интерес вызывает справочный материал по судам, арендованным и привлекаемым к работам на добровольной основе. «Память» о таких судах, к сожалению, очень быстро исчезает из истории, при этом, часто представляет большой исторический интерес.

Описание судов сгруппировано в соответствии с основными районами их использования: Азово-Черноморский бассейн, Каспий, Балтика, Север и Дальний Восток, что создает дополнительные «справочные» удобства пользователям книги. Совершенно обосновано включение в перечень регионов крупнейшего озера России — Байкала, который на протяжении полутора веков был объектом интенсивных исследований и важным районом промысла.

Материалом для создания книги послужили доступные исторические материалы и результаты собственных скрупулезных работ с архивными данными, научными публикациями и отчетами, которые позволили воссоздать не только облик судов, их технические особенности, но и ту работу, которую они выполняли по гидрографическому, научному и промысловому обеспечению.

Большую самостоятельную ценность представляют собранные авторами фотографии — их 212. Многие из них были бы недоступны не только широкому кругу читателей, но и профессионалам-специалистам, не будь они включены в данное издание.

Нужна ли такая обобщающая справочная книга, касающаяся истории российского флота сегодня, когда «раскопки» в интерне-



«БУТ»
Корпус — Lindgölmens Mekaniske Verkstad. Göteborg. Стр. № 347.
Паровая машина и котлы — Metala Mekaniske Verkstad, Metala.
Швеция

Строительство введено	Спущен на воду	Введен в эксплуатацию	Выход из состава флота
11.1889 г.	21.08.1891	26.11.1891	04.02.1924
Размеры			
Длина м/ф.	26,5 м / 87 фт	Длинные	Другие показатели
Длина в п.	6,25 м / 20,5 фт	Мощность	1912 (расчетная) / 1000 л.с.
Ширина	10,31 м / 34 фт	Скорость	14,2 (расчетная) / 13,9 уз
Углубление м/ф.	5,26 м / 17,4 фт	Амплитуда	2000 / 2100 миль
Углубление м/ф.	4,65 м / 15,2 фт	Экипаж	9 / 207 чел.
Водоизмещение	1385 т	К	1913 г.
Вместимость	1332 фрт	В	9 / 68 чел.
Вооружение			
К 1891 г.	6 × 47 мм, 4 × 37 мм, 425 мм.		
К 1913 г.	1 × 67 мм, 5 × 37 мм, 425 мм.		
К 1919 г.	2 × 75 мм, 4 (к 1917 г.) — 1 × 47 мм, 1 × 762 мм оуп.		
К 1919 г.	3 × 75 мм		

Стальной двухцилиндровый однонаправленный двухцилиндровый транспорт «БУТ», 29 сентября 1889 г. заключен контракт с русскими Морским ведомством, 18 мая 1891 г. приказом № 52 по Морскому ведомству зачислен в списки с тем именем. 2 июля проведено испытание отстойки наливом воды. 24 ноября прошен ходовые испытания на морской миле и 26 ноября был сдан заказчику.



Рис. 1.1. Транспорт «БУТ»

22

Часть 1

абри мая выданы свет. 12 ноября 1867 г. его ушла паровая шхуна «ЭЛЬБОРУС» в Николаев на зимовку. В 1868 году встал у Адмиралтейской косы. К 1870 году из-за плохого технического состояния, вероятно, после сдачи на слом разобран на дрова. Во всяком случае, в «Описанием навалов, башки и других принадлежностей для мореплавательной флотии Российской империи» 1872 г. Кинбурский плавучий маяк не значится.

«ПЕСЧАНЫЙ»
Николаевское Адмиралтейство, Николаев

Строительство введено	Спущен на воду	Введен в эксплуатацию	Выход из состава флота
1900 г.			Полве 1937 г. дачник лет
Размеры			
Длина	12,5 м / 41,2 фт	Длинные	Другие показатели
Ширина	6,3 м / 20,7 фт	Мощность	-
Скорость	2,13 фт/фут	Скорость миль	-
Водоизмещение	189 т	Экипаж	-

Железный несамонный однонаправленный двухцилиндровый плавучий маяк «ПЕСЧАНЫЙ». Заказчик — Главное гидрографическое управление. Введен в строй, увезен в Севастополь. После мелких доделок 10 сентября 1901 г. транспорт «ПЕСЧА» увез в Азовское море и поставил его у Песчаных островов близ Ейска на Азовском море. 10 ноября выключил свет. С 16 ноября 1901 г. оставался зимовать в Мариуполе. 19 марта 1902 г. начал кампанию. 23 марта стал светить. 4 ноября свет выключил. Затем его на буксире увезли в Севастополь. 6 декабря 1902 г. окончил кампанию, а 19 февраля 1903 г. ее начал. Затем его увезли в Азовское море. Со



Рис. 1.0. Плавучий маяк «ПЕСЧАНЫЙ»

Азово-Черноморский бассейн

69

1877 г. был подчинен Отряду судов Черноморского флота в Очакове. В 1879 году из-за плохого технического состояния парового котла был снят Николаевскому порту. В 1880 году в капитальном ремонте установлен новый паровой котел. В 1879 году приника Николаевского адмиралтейства, но хотя некого из-за проблем с паровой машиной. Приказом по Морскому ведомству № 57 от 8 мая 1882 г. был исключен из списков флота и, вероятно, после снятия паровой машины и парового котла, перестроен в баржу. Позднее данных нет.

«ИНДИРАКЛИЯ»
Корпус — William Denny & Brothers, Dumbarton, стр. № 52.
Паровая машина и котлы — McNab & Clark, Greenock, Великобритания

Строительство введено	Спущен на воду	Введен в эксплуатацию	Выход из состава флота
1874 г.	14.07.1875	20.08.1875	Возле 20 г.
Размеры			
Длина м/ф.	45,6 м / 150 фт	Длинные	Другие показатели
Длина в п.	57 м	Мощность	591 л.с.
Ширина	9,3 м / 30,6 фт	Скорость	9,5 уз
Углубление м/ф.	13,8 м / 45,2 фт	Амплитуда	108 миль
Углубление м/ф.	5,31 м / 17 фт	Экипаж	108 чел.
Водоизмещение	1085 / 1052 т	В	
Вместимость	1119 фрт	Вооружение	
С 1878 г.	2 × 4 фута (87,20 мм)		
С 1900 г.	2 × 47 / 43 мм, 2 × 37 / 23 мм		



Рис. 1.4. Военный пароход «ИНДИРАКЛИЯ»

Азово-Черноморский бассейн

89

ДОЛГОТА ОТЕ ОСТРОВ

те позволяют найти почти любую информацию? Ответ очевиден — безусловно, да. Достаточно всего двух аспектов, чтобы это подтвердить. Очевидно, далеко не вся информация, которую тщательно собрали авторы, есть в интернете. И второе, авторы систематизировали собранную информацию, придали ей удобную и логичную справочную структуру, что делает книгу уникальной. России, которая имеет огромную морскую историю и стремится сохранить и упрочить статус Великой морской державы, издание подобных книг необходимо.

Книга найдет широчайший круг читателей — историков, создателей современного флота, морских исследователей разного профиля, музейных работников, студентов и просто людей, интересующихся историей российского флота.

Научный руководитель направления Экологии морей и океанов Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН
академик РАН **М.В. Флинт**

Зам. директора Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН
Д.Т.Н.
Н.А. Римский-Корсаков

