

ИЗВЕСТИЯ

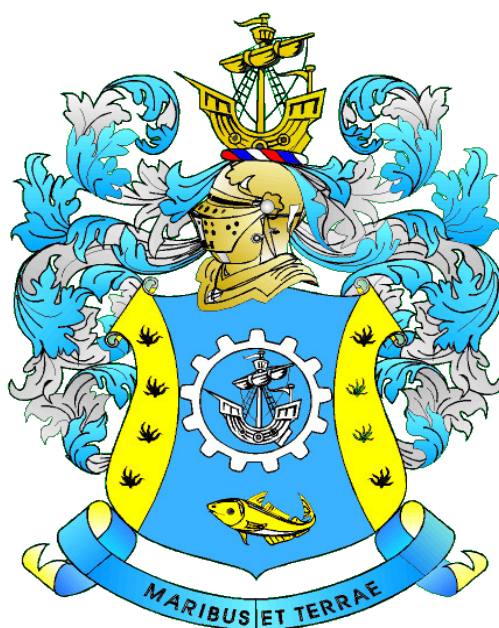
КГТУ

2022

№ 67

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
"КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ"

Научный журнал



Индексирование журнала, включение в базы данных

*Входит в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых
должны быть опубликованы основные научные результаты диссер-
таций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание
ученой степени доктора наук*

*Российский индекс научного цитирования (РИНЦ)
Agricultural Research Information System (Agris)*

Калининград

"Известия КГТУ"
Учредитель: ФГБОУ ВО
"Калининградский государственный
технический университет"

Научный журнал
Основан в 2002 г.

Зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор), Свидетельство о регистрации средства массовой информации
ПИ № ФС77- 47915 от 22 декабря 2011 г.

Редакционный совет:

Главный редактор: В. А. Волкогон, канд. экон. наук, доц.
Зам. главного редактора: Н. А. Кострикова, канд. физ.-мат. наук, доц.

С. Т. Антипов, д-р техн. наук, проф., Воронежский государственный университет инженерных технологий, профессор кафедры машин и аппаратов пищевых производств;

В. Ф. Белей, д-р техн. наук, проф., Калининградский государственный технический университет, заведующий кафедрой энергетики;

О. А. Булатов, д-р биол. наук, профессор, Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО), г. Москва, директор по научной работе;

Е. А. Криксунов, д-р биол. наук, проф., МГУ им. М. В. Ломоносова, г. Москва, заведующий лабораторией онтогенеза кафедры ихтиологии;

В. А. Панфилов, акад. РАН, д-р техн. наук, проф., Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия им. К. А. Тимирязева, профессор кафедры процессов и аппаратов перерабатывающих производств;

О. Я. Тимофеев, д-р техн. наук, проф., Санкт-Петербургский государственный морской технический университет, декан факультета кораблестроения и океанотехники;

Мирослав Шредер, д-р экон. наук, проф., Гданьский университет (Польша, г. Гданьск), декан факультета управления;

А. В. Юров, д-р физ.-мат. наук, проф., Балтийский федеральный университет имени И. Канта, директор образовательно-научного кластера "Институт высоких технологий";

Марек Якубовский, д-р техн. наук, проф., Кошалинский технологический университет (Польша), профессор кафедры процессов и оборудования пищевой промышленности.

Редакционная коллегия:

О. В. Агеев, д-р техн. наук, доц.; *И. С. Александров*, д-р техн. наук, доц.;
М. П. Андреев, д-р техн. наук, ст. науч. сотр.; *О. А. Анциферова*, канд. с.-х. наук,
доц.; *А. Г. Архипов*, д-р биол. наук, доц.; *О. О. Бабич*, д-р техн. наук, доц.;
А. С. Баркова, д-р вет. наук, доц.; *О. М. Бедарева*, д-р биол. наук, проф.;
В. Ф. Белей, д-р техн. наук, проф.; *В. В. Брюханов*, д-р физ.-мат. наук, проф.;
В. В. Верхотуров, д-р биол. наук, проф.; *А. А. Герасимов*, д-р техн. наук, проф.;
В. И. Гнатюк, д-р техн. наук, проф.; *Е. М. Грамузов*, д-р техн. наук, проф.;
В. В. Дорофеева, д-р экон. наук, проф.; *С. В. Дятченко*, д-р техн. наук, доц.;
А. В. Иванов, д-р экон. наук, проф.; *В. П. Иванов*, д-р техн. наук, доц.;
И. П. Корнева, канд. техн. наук, доц.; *О. В. Кригер*, д-р техн. наук, доц.;
С. Н. Лябзина, д-р биол. наук, доц.; *О. Я. Мезенова*, д-р техн. наук, проф.;
А. Г. Мнацаканян, д-р экон. наук, проф.; *А. Б. Муромцев*, д-р вет. наук, проф.;
Е. Н. Науменко, д-р биол. наук, доц.; *В. А. Наумов*, д-р техн. наук, проф.;
А. И. Притыкин, д-р техн. наук, доц.; *Л. И. Сергеев*, д-р экон. наук, проф.;
Н. Я. Синявский, д-р физ.-мат. наук, проф.; *В. А. Слежкин*, канд. хим. наук, доц.;
Т. Е. Степанова, д-р экон. наук, проф.; *В. И. Сутырин*, д-р техн. наук, доц.;
А. Б. Тристанов, канд. техн. наук, доц.; *Е. В. Ульрих*, д-р техн. наук, доц.;
Ю. А. Фатыхов, д-р техн. наук, проф.; *С. В. Федоров*, д-р техн. наук, проф.;
С. В. Шibaев, д-р биол. наук, проф.; *А. Я. Яфасов*, д-р техн. наук, ст. науч. сотр.

Выпускающий редактор С. В. Супрунова

Адрес редакции: 236022, г. Калининград, Советский проспект, 1;
тел.: (4012) 99-59-01, 99-59-10, 99-59-74; факс: (4012) 91-68-46;
сайт: www.klgtu.ru; E-mail: svetlana.suprunova@klgtu.ru

© ФГБОУ ВО "Калининградский государственный технический университет",
2022



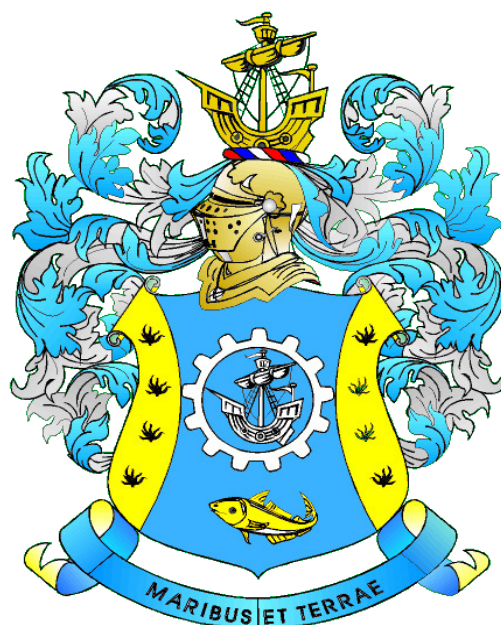
KSTU NEWS

2022

№ 67

FEDERAL STATE BUDGETARY EDUCATIONAL
INSTITUTION OF HIGHER EDUCATION
"KALININGRAD STATE TECHNICAL UNIVERSITY"

SCIENTIFIC JOURNAL



Journal index, registration in databases

Included in the list of peer-reviewed scientific publications, in which the main scientific results of dissertations for the candidate of science degree and for the doctor of science degree should be published

Russian Index of Scientific Citation (RISC)

Agricultural Research Information System (Agris)

Kaliningrad

СОДЕРЖАНИЕ

Биология, экология и рыбное хозяйство

<i>Валл Е. В., Ахмедова Н. Р.</i> Содержание тяжелых металлов в реках Калининградской области	11
<i>Гашиников М. П., Шашуловский В. А., Шибяев С. В.</i> Промыслово-биологическая характеристика леща (<i>Abramis brama</i> L.) в Волгоградском водохранилище	21
<i>Мезенова О. Я., Пьянов Д. С., Агафонова С. В., Романенко Н. Ю., Волков В. В., Калинина Н. С., Мерзель Йорг-Томас.</i> Оценка питательной ценности комбикормов для лососевых с добавлением продуктов гидролиза шпротных отходов	32
<i>Пушкина Н. С.</i> Состав пищи камчатского краба <i>Paralithodes camtchaticus</i> (Tilesius 1815) (Crustacea, Decapoda, Anomura) в губе Зеленой Баренцева моря летом 2015 и 2016 гг.	48
<i>Ражев А. О., Недоступ А. А.</i> Разработка методов управления траловым комплексом с применением предсказательного моделирования на нейронной сети	61
<i>Чуреев Е. А., Романюта Д. А., Белоусов В. А., Николаев И. И.</i> Обоснование и выбор основных характеристик малого рыболовного судна с большой полнотой корпуса	71

Техника и технология пищевых производств

<i>Степаненко Е. И., Нехамкин Б. Л., Шалимова И.О.</i> Рекомендации по составу солевой смеси, стабилизирующей качество соленой продукции из лососевых рыб	89
---	----

Судостроение, машиностроение и энергетика

<i>Бондарев В. А., Рагулина И. Р.</i> Поведение судна в экстремальных ситуациях на волнении – интеграция в бортовой интеллектуальной системе нового поколения	101
---	-----

Естественные и математические науки

<i>Дубравин В. Ф., Краснобородько О. Ю.</i> Эволюции мгновенного положения полюса вращения Земли	115
--	-----

Экономика и управление АПК

<i>Яфасов А. Я., Кострикова Н. А.</i> Предпринимательские "точки кипения" в университетах – эффективный механизм вовлечения молодежи в технологическое предпринимательство	131
--	-----

CONTENT

Biology, ecology and fisheries

<i>Vall E. V., Akhmedova N. R.</i> Content of heavy metals in the rivers of the Kaliningrad region	11
<i>Gashnikov M. P., Shashulovskiy V. A., Shibaev S. V.</i> Commercial and biological characteristics of bream (<i>Abramis brama</i> L.) in the Volgograd reservoir	21
<i>Mezenova O. Ya., Pyanov D. S., Agafonova S. V., Romanenko N. Yu., Volkov V. V., Kalinina N. S., Moerzel J.-T.</i> Evaluation of the nutritional value of mixed feed for salmon with the addition of hydrolysis products of sprat waste	32
<i>Pushkina N. S.</i> Food composition of Red King crab <i>Paralithodes camtschaticus</i> (Tilesius 1815) (Crustacea, Decapoda, Anomura) of the Zelyonaya inlet of the Barents sea in the summer of 2015 and 2016	48
<i>Razhev A. O., Nedostup A. A.</i> Development of methods for managing a trawl complex using predictive modeling on a neural network	61
<i>Chureev E. A., Romanyuta D. A., Belousov V. A., Nikolaev I. I.</i> Justification and selection of the main characteristics of a small fishing vessel with a high body hull	71

Processes and technology of food manufacturing

<i>Stepanenko E. I., Nekhamkin B. L., Shalimova I. O.</i> Recommendations on the composition of the salt mixture that stabilizes the quality of salted products from salmon fish	89
--	----

Shipbuilding, machine manufacturing and power engineering

<i>Bondarev V. A., Ragulina I. R.</i> Vessel behavior in extreme situations in waves – integration in the new generation on-board intelligent system	101
--	-----

Natural and mathematical sciences

<i>Dubravina V. F., Krasnoborodko O. Yu.</i> Evolution of the Earth rotation pole position	115
--	-----

Economics and management of AIC

<i>Yafasov A. Ya., Kostrikova N. A.</i> "Entrepreneurial Boiling Points" at universities – an effective mechanism to engage youth in technology entrepreneurship	131
--	-----

БИОЛОГИЯ, ЭКОЛОГИЯ И РЫБНОЕ ХОЗЯЙСТВО

Научная статья
УДК 621.65:637.1.02
DOI 10.46845/1997-3071-2022-67-11-20

Содержание тяжелых металлов в реках Калининградской области

Евгений Валерьевич Валл¹, Наталья Равиловна Ахмедова²

^{1,2}Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия

¹wall_ewgen@mail.ru

²isfendi@mail.ru

Аннотация. Тяжелые металлы (ТМ) занимают лидирующее место в ряду загрязнителей рек, ручьев, каналов, озер, а также грунтовых вод. ТМ в больших количествах оказывают негативное влияние на живые организмы. Их распространение происходит достаточно быстро и приводит к деградации водного объекта. В настоящей работе представлены результаты исследования восьми рек, имеющих рыбохозяйственную категорию. Изучаемые водотоки протекают по территории Гусевского, Черняховского, Озерского, Нестеровского и Славского районов Калининградской области. Мониторинг выполнялся в соответствии с требованиями нормативных документов, регламентирующих данный вид работ. Пробы отбирались с верхнего горизонта в период летней межени, исследовалось содержание в них тяжелых металлов, таких как железо, свинец, кадмий, медь, никель. Определены основные источники антропогенного воздействия в бассейнах изучаемых рек. После проведения обработки результатов лабораторных анализов воды было установлено, что превышение предельно допустимых концентраций (ПДК) железа наблюдается во всех исследуемых створах, по кадмию – отсутствует. В пробе, отобранной в створе р. Осы, выявлено повышенное содержание свинца и меди, в пробах воды р. Красной, Русской, Голубой есть превышения ПДК по содержанию никеля и меди, а р. Путиловки – по содержанию меди. Корреляционный анализ показал, что значимого уровня стохастической связи между концентрациями тяжелых металлов не наблюдается (кроме Cu и Cd; Cu и Ni), это свидетельствует о разных источниках поступления ТМ в исследуемые водные объекты.

Ключевые слова: водоток, тяжелые металлы, поверхностные воды, Калининградская область

Для цитирования: Валл Е. В., Ахмедова Н. Р. Содержание тяжелых металлов в реках Калининградской области // Известия КГТУ. 2022. № 67. С. 11–20. DOI: 10.46845/1997-3071-2022-67-11-20.

Original article

Content of heavy metals in the rivers of the Kaliningrad region

Evgeniy V. Vall¹, Natalia R. Akhmedova²

^{1,2}Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia

¹wall_ewgen@mail.ru

²isfendi@mail.ru

Abstract. Heavy metals (HM) occupy leading positions among the pollutants of rivers, streams, channels, lakes, as well as groundwater. In large quantities, HM have a negative impact on living organisms. Their spread occurs quite quickly and leads to degradation of the water body. This paper presents the results of a study of eight water bodies having a commercial category. The studied watercourses flow through the territory of Gusevsky, Chernyakhovsky, Ozersky, Nesterovsky and Slavsky districts of the Kaliningrad region. All studies have been carried out in accordance with the requirements of the documents regulating this type of work. Samples have been taken from the upper horizon during the summer autumn, the content of heavy metals such as iron, lead, cadmium, copper, nickel has been studied. The main sources of anthropogenic impact in the basins of the studied rivers have been determined. After processing the results of laboratory studies of water, it has been found that exceedances of the maximum permissible concentrations (MPC) of iron can be observed in all the studied sites; there has been no excess of the MPC for cadmium; in a sample taken in the alignment of the Osa river an increased content of lead and copper has been found; in the water samples of the Krasnaya, Russkaya, Golubaya rivers there are exceedances of MPC in nickel and copper content; excess of MPC in copper content has been found in the sample of the Putilovka river. Correlation analysis shows that there is no significant level of stochastic relationship between the concentrations of heavy metals (except for Cu and Cd; Cu and Ni), this indicates different sources of HM intake into the studied water bodies.

Keywords: watercourse, heavy metals, surface waters, Kaliningrad region

For citation: Vall E. V., Akhmedova N. R. Content of heavy metals in the rivers of the Kaliningrad region. *Izvestiya KGTU = KSTU News*. 2022; (67):11–20. (In Russ). DOI: 10.46845/1997-3071-2022-67-11-20.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время серьезному антропогенному воздействию подвергаются различные экологические системы, в том числе и водные. Анализ результатов многочисленных исследований качества водных ресурсов позволяет сделать вывод о том, что на живые организмы ТМ оказывают значительное воздействие. По степени опасности, объемам и темпам поступления в водные объекты они занимают среди загрязнителей одно из первых мест, что позволяет поставить их в один ряд с пестицидами, бытовыми и промышленными отходами (см. [1–3] и библиографию в них).

Влияние загрязняющих воду веществ на биоту проявляется на всех уровнях биологической организации. Значительность воздействия ТМ на биоту зависит от их концентрации, температуры, насыщенности воды кислородом, продол-

жительности действия и других факторов. ТМ, попадая в водные объекты в значительном объеме, депонируются в иловых отложениях, поступают в пищевые цепи и через них переходят в другие компоненты природной среды. Повышенная концентрация ТМ в воде приводит к снижению видового разнообразия живых организмов в реке. В конечном счете, происходит регресс среды обитания экосистем (см. [2, 3] и библиографию в них).

Цель данной работы – оценить содержание ТМ в поверхностных водах водотоков, протекающих по территориям Калининградской области.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для исследования были выбраны восемь рек, расположенных в различных районах Калининградской области.

Река Голубая (АУ) протекает по Гусевскому, Черняховскому и Озерскому районам региона. Ее устье находится в 102 км от устья р. Преголи по левому берегу у пос. Сиреневка в координатах: 54°38'00" с. ш., 21°31'42" в. д. Длина реки – 59 км, площадь водосборного бассейна – 564 км².

Характеристики русла реки в месте отбора проб на момент исследований: ширина – 6,3, глубина – до 0,27 м, грунт дна – галечно-песчаный.

Основными источниками антропогенного воздействия в бассейне р. Голубой являются предприятия: сельскохозяйственные, деревообрабатывающие, а также по производству хлебобулочных изделий, мебели, металлоизделий, картонных гильз.

Река Анграпа (АН) – трансграничный водоток, протекающий по территории Республики Польша и Калининградской области, является притоком р. Писсы. Длина р. Анграпы составляет 169 км от истока до устья, площадь водосбора – 3960 км², среднегодовой расход воды колеблется в районе 14,5 м³/с. Анграпа берет начало на территории Республики Польша из оз. Мамры. Исток находится на высоте 115,8 м в районе польского г. Венгожево. Анграпа пересекает границу России, протекает по территории Озерского, Гусевского и Черняховского районов. Координаты устья: 54°38'52" с. ш., 21°47'28" в. д.

Характеристики русла реки в месте отбора проб на момент исследований: ширина – 18, глубина – до 2 м, грунт дна – галечно-песчаный.

Основными источниками антропогенного воздействия в бассейне р. Анграпы являются предприятия: сельскохозяйственные и по производству минеральных удобрений, мясной продукции, рыбных консервов, по сборке сложной бытовой техники, производству мебели и пластиковых окон и дверей.

Река Оса (О) протекает по территории Славского и Черняховского районов Калининградской области. Длина ее составляет 38 км, площадь водосбора – 98,1 км². Исток реки находится в районе пос. Калужского в Черняховском городском округе. Она является левобережным притоком р. Ржевки, ее устье расположено в 6 км к югу от пос. Гастеллово, в 17 км от устья р. Ржевки в координатах: 54°57'54" с. ш., 21°31'42" в. д.

Характеристики русла р. Осы в месте отбора проб на момент исследований: ширина 5–7, глубина – 0,7 м, грунт дна – песчано-мелкогалечный.

Река Прямая (ОС) протекает по территории Славского района, ее устье находится по левому берегу р. Бударки, координаты: 54°58'24" с. ш., 21°35'00" в. д. Длина реки 19 км, площадь водосбора составляет 57,2 км².

Характеристики русла р. Прямой в месте отбора проб на момент исследований: ширина 2, глубина – 1,2 м, грунт дна – черный ил.

Основными источниками антропогенного воздействия в бассейне р. Прямой и Осы являются предприятия: сельскохозяйственные и по производству мяскоколбасных и хлебобулочных изделий, ремонту тракторных двигателей и электродвигателей, специализирующиеся на изготовлении средств защиты окон от света (гардины, шторы, ставни) и предметов домашнего обихода.

Река Красная – трансграничная река, протекающая по территории Республики Польша и Гусевского, Нестеровского и Озерского районов Калининградской области. Длина реки 83 км, площадь водосборного бассейна - 548 км². Она впадает в р. Писсу по левому берегу в 41 км от устья, в координатах: 54°35'21" с. ш., 22°12'58" в. д. Ширина в створе порядка 14, средняя глубина – 1,2 м. Русло водотока естественное, каменистое, с некоторыми неровностями дна и берегов, пойма покрыта деревьями, дно каменисто-галечное.

Река Русская протекает по территории Гусевского и Нестеровского районов Калининградской области. Ее длина составляет 31 км, площадь водосбора – 235 км². Начинается она западнее пос. Пугачево, является левобережным притоком р. Писсы. Устье р. Русской расположено в районе пос. Подгоровка, в 49 км от устья р. Писсы, в координатах: 54°35'36" с. ш., 22°18'56" в. д. Ширина в створе порядка 8, средняя глубина – 0,8 м. Русло водотока на день обследования заросло травой, воды в нем не было. Склоны русла высокие, покрыты кустарником, грунт, слагающий русло, суглинистый.

Основными источниками антропогенного воздействия в бассейне р. Русской и Красной являются 14 коллективных сельскохозяйственных предприятий, 19 фермерских хозяйств и более 3 тыс. личных подсобных.

Река Путиловка (ШВ) – река, протекающая по территории Республики Польша и Калининградской области, впадает в Мазурский канал (в координатах: 54°29'45" с. ш., 21°11'36" в. д.) недалеко от его собственного устья – р. Лавы (до строительства канала Путиловка сама была притоком Лавы). Длина реки составляет 58 км, площадь водосбора – 659 км². Ширина в створе порядка 15, средняя глубина – 1,5 м. Русло водотока на день обследования заросло травой, воды в нем не было. Склоны русла высокие, покрыты кустарником, грунт, слагающий русло, песчаный.

Река Правда (МЛ) – трансграничный водоток, протекает по территории Республики Польша и Калининградской области, приток р. Лавы. Длина реки составляет 26,1 км, площадь водосборного бассейна – 143 км². Ширина в створе порядка 12, средняя глубина – 1,2 м. Русло водотока сравнительно чистое, с некоторыми неровностями дна и берегов, пойма занята высокими деревьями, уровень воды ниже ветвей, грунт, слагающий русло, песчаный.

Основными источниками антропогенного воздействия в бассейне р. Путиловки и Правды являются сельскохозяйственные предприятия, маслосыродельный завод, на его долю приходится 73 % общего объема продукции всех обрабатывающих производств, в том числе производство сырокопченых колбас и деликатесной продукции [4–6].

Пробы воды для исследования отбирались в период летней межени 2021 г. в соответствии с требованиями ГОСТ 31861-2012, ГОСТ 17.1.5.05-85, РД 52.24.309-2016. На рис. 1 представлена схема расположения мест отбора проб воды.

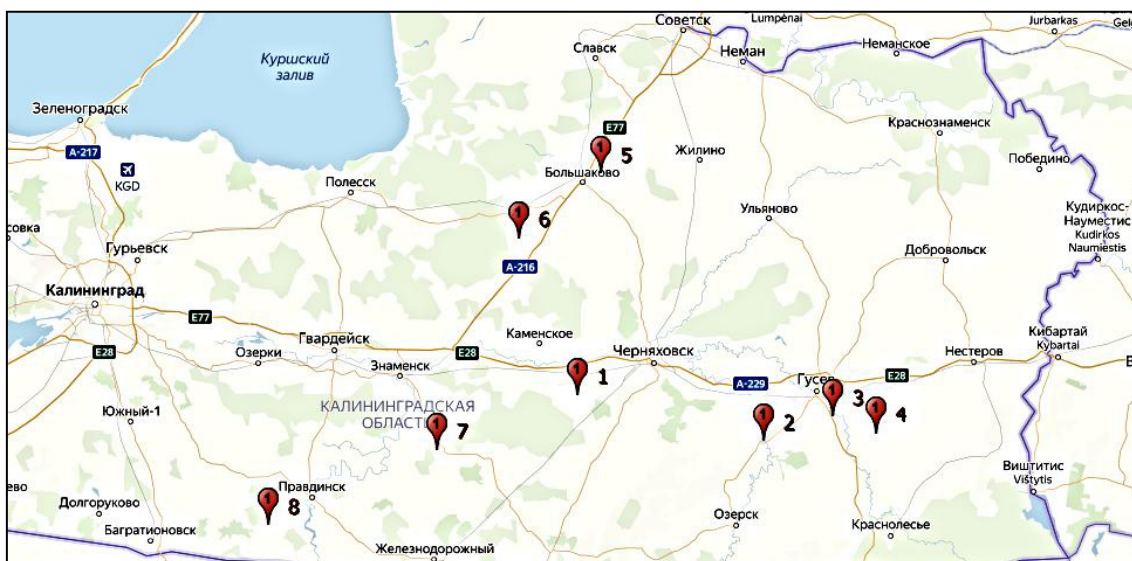


Рис. 1. Схема расположения створов для отбора проб:

- 1 – р. Красная; 2 – р. Русская; 3 – р. Голубая; 4 – р. Анграпа; 5 – р. Оса;
 6 – р. Прямая; 7 – р. Путиловка; 8 – р. Правда

Fig. 1. Layout of the sampling stations:

- 1 – Krasnaya river; 2 – Russkaya river; 3 – Golubaya river; 4 – Angrapa river;
 5 – Osa river; 6 – Pryamaya river; 7 – Putilovka river; 8 – Pravda river

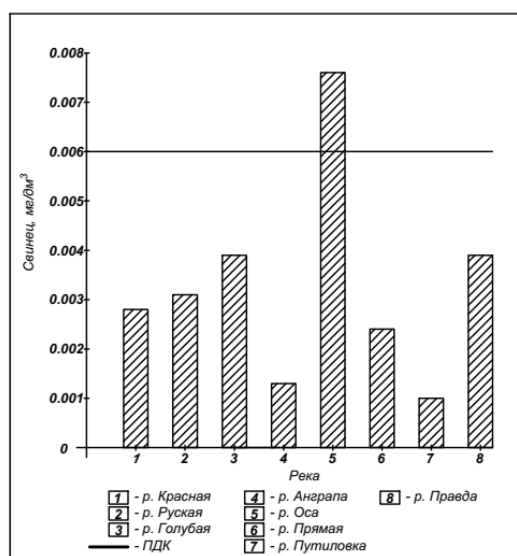
РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты определений концентрации ТМ (Fe, Pb, Cd, Cu, Ni) представлены в табл. 1. Пробы, в которых наблюдалось превышение ПДК, в табл. 1 выделены темным фоном.

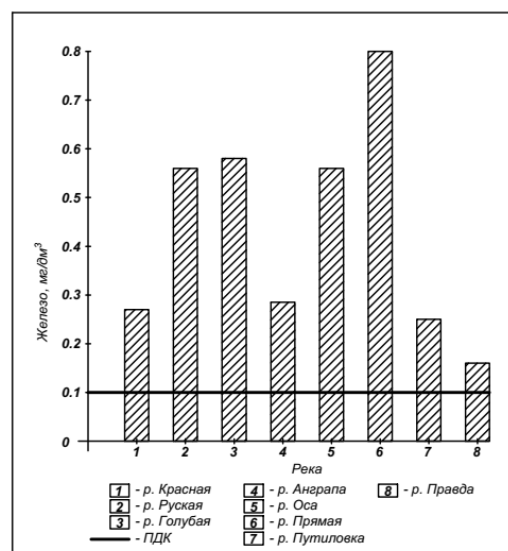
Таблица 1. Результаты исследования проб

Table 1. Sample study results

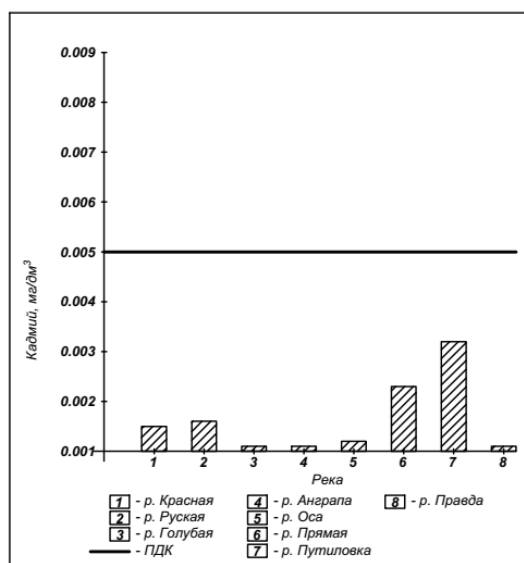
Название реки	Железо, мг/дм ³	Свинец, мг/дм ³	Кадмий, мг/дм ³	Медь, мг/дм ³	Никель, мг/дм ³
Красная	0,27	0,0028	0,0015	0,0029	0,018
Русская	0,56	0,0031	0,0016	0,0080	0,011
Голубая	0,58	0,0039	0,0011	0,0058	0,022
Анграпа	0,285	0,0013	0,0011	0,00063	0,0091
Оса	0,56	0,0076	0,0012	0,002	0,0053
Прямая	0,80	0,0024	0,00023	0,0006	0,0035
Путиловка	0,25	0,0010	0,00032	0,001	0,0059
Правда	0,16	0,0039	0,0011	0,0006	0,0047
Концентрация: Диапазон	0,16–0,80	0,0010– 0,0076	0,0011– 0,0016	0,0006– 0,008	0,0035– 0,022
ПДК	0,1	0,006	0,005	0,001	0,01



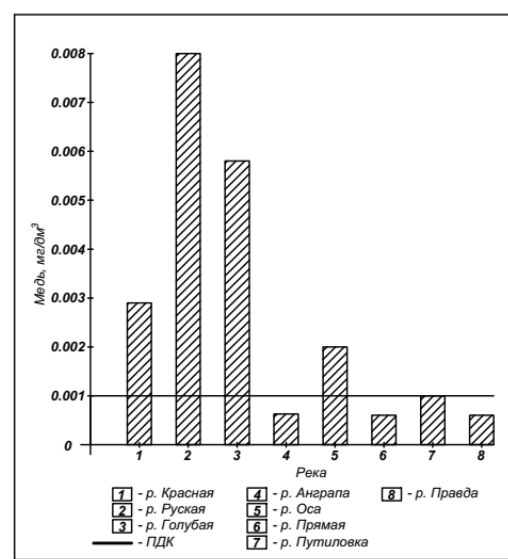
a



b

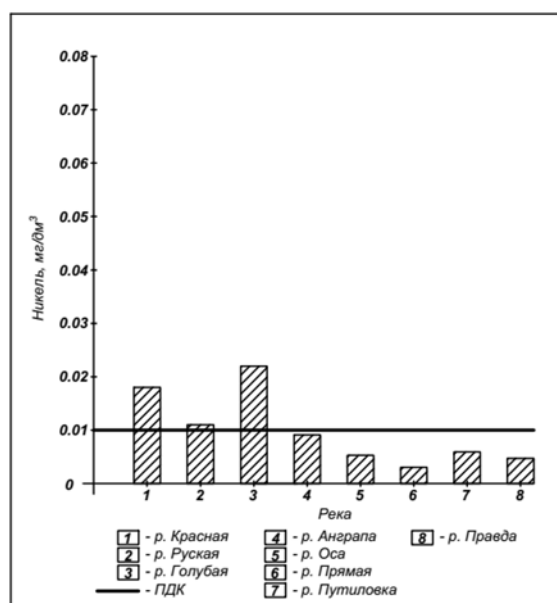


c



d

Рис. 2. Результаты исследования проб:
 a – свинец; b – железо; c – кадмий; d – медь; e – никель
 Fig. 2. Sample study results:
 a – lead; b – iron; c – cadmium; d – copper; e – nickel



e

Рис. 2. Окончание
 Fig. 2. End

Таким образом, превышения допустимых концентраций по железу (кратность 8ПДК) отмечены для поверхностной воды всех исследуемых водотоков. Такое превышение предположительно связано не только с воздействиями антропогенного характера, но и с факторами природного происхождения, в том числе очень высокой заболоченностью водосборов.

В пробах воды р. Осы имеются превышения ПДК по свинцу (1,3ПДК) и меди (2ПДК). Превышения ПДК по меди (в диапазоне от 1ПДК до 8ПДК) наблюдались в р. Красной, Русской, Голубой, Осе и Путиловке, а по содержанию никеля – в реках Красной (1,8ПДК), Русской (1,1ПДК), Голубой (2,2ПДК).

Корреляционный анализ (табл. 2) показал, что значимого уровня стохастической связи между концентрациями тяжелых металлов не наблюдается (кроме Cu и Cd; Cu и Ni), что может свидетельствовать о разных источниках поступления металлов в водотоки.

Таблица 2. Результаты корреляционного анализа основных ТМ в воде исследуемых водотоков

Table 2. Results of correlation analysis of the main heavy metals in the water of the studied watercourses

ТМ	Железо	Свинец	Кадмий	Медь	Никель
Железо	–	0,29	– 0,21	0,33	–0,006
Свинец		–	0,37	0,16	– 0,03
Кадмий			–	0,61	0,51
Медь				–	0,62
Никель					–

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Во всех пробах воды есть превышения ПДК по содержанию железа. Это связано в первую очередь с действием природных факторов: грунтовым питанием рек, заболоченностью водосборов.
2. Превышений ПДК по кадмию в исследуемых створах не выявлено.
3. Повышенное содержание свинца (1,3ПДК) обнаружено только в пробе, отобранной в створе р. Осы.
4. В пробах воды р. Красной, Русской, Голубой есть превышения ПДК по содержанию никеля и меди, а в створах р. Осы и Путиловки – по содержанию меди.
5. Корреляционный анализ не выявил значимый уровень стохастической связи между содержанием тяжелых металлов в исследуемых водных объектах.

Список источников

1. Будников Г. К. Тяжелые металлы в экологическом мониторинге водных систем // Соросовский образовательный журнал. 1998. № 5. С. 23–29.
2. Состояние природной среды Беларуси. Экол. бюл. 2006 г. / под ред. В. Ф. Логинова. Минск: Минсктиппроект, 2007. 366 с.
3. Соромотин А. В. Фоновое содержание тяжелых металлов в воде малых рек Надым-Пуровского междуречья // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2019. № 2. С. 48–55.
4. Схема комплексного использования и охраны водных объектов бассейна реки Неман и рек бассейна Балтийского моря (российская часть в Калининградской области). URL: http://www.nord-west-water.ru/upload/information_system_18/1/2/4/item_12405/property_value_5074.pdf (дата обращения: 01.02.2022).
5. Схема бассейнов рек. URL: <https://istok39.ru> (дата обращения: 01.02.2022).
6. Паспорта муниципальных образований. URL: <https://investinkaliningrad.ru/investoru/spravochnik-investora/pasporta-munitsipalnykh-obrazovaniy/> (дата обращения: 01.02.2022).
7. Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 13.12.2016 № 552. Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения. Введ. 2016-12-13. Москва, 2016. 151 с.
8. Алекин О. А. Основы гидрохимии. Ленинград: Гидрометеиздат, 1970. 443 с.
9. Янин Е. П. Тяжелые металлы в малой реке в зоне влияния промышленного города. Москва: ИМГРЭ, 2003. 90 с.

References

1. Budnikov G. K. Tyazhelye metally v ekologicheskom monitoringe vodnykh system [Heavy metals in environmental monitoring of water systems]. *Sorosovskiy obrazovatel'nyy zhurnal*, 1998, no. 5, pp. 23–29.
2. *Sostoyanie prirodnoy sredy Belarusi* [State of the natural environment of Belarus]. Ekol. byul. 2006 g. Minsk, Minsktippromekt, 2007, 366 p.
3. Soromotin A. V. Fonovoe sodержanie tyazhelykh metallov v vode malyykh rek Nadym-Purovskogo mezhdurech'ya [Background content of heavy metals in the water of small rivers of the Nadym-Purovsky interfluves area]. *Geoekologiya, inzhenernaya geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya*, 2019, no. 2, pp. 48–55.
4. Skhema kompleksnogo ispol'zovaniya i okhrany vodnykh ob"ektov bas-seyna reki Neman i rek basseyna Baltiyskogo morya (rossiyskaya chast' v Kali-ningradskoy oblasti) [Scheme of integrated use and protection of water bodies of the basin of the Neman river and the rivers of the Baltic Sea basin (the Russian part in the Kaliningrad region)]. Available at: http://www.nord-west-water.ru/upload/information_system_18/1/2/4/item_12405/property_value_5074.pdf (Accessed 01 February 2022).
5. Skhema basseynov rek [Scheme of river basins]. Available at: <https://istok39.ru> (Accessed 01 February 2022).
6. Pasporta munitsipal'nykh obrazovaniy [Passports of municipalities]. Available at: <https://investinkaliningrad.ru/investoru/spravochnik-investora/pasporta-munitsipalnykh-obrazovaniy/> (Accessed 01 February 2022).
7. Prikaz Ministerstva sel'skogo khozyaystva Rossiyskoy Federatsii ot 13.12.2016 № 552. Ob utverzhdenii normativov kachestva vody vodnykh ob"ektov rybokhozyaystvennogo znacheniya, v tom chisle normativov predel'no dopustimyykh koncentratsiy vrednykh veshchestv v vodakh vodnykh ob"ektov rybokhozyaystvennogo znacheniya. Moscow, 2016, 151 p. (In Russian).
8. Alyokin O. A. *Osnovy gidrokhimii* [Fundamentals of hydrochemistry]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1970, 443 p.
9. Yanin E. P. *Tyazhelye metally v maloy reke v zone vliyaniya promyshlennogo goroda* [Heavy metals in a small river in the zone of influence of an industrial city.]. Moscow, IMGRE Publ., 2003, 90 p.

Информация об авторах

Е. В. Валл – аспирант кафедры техносферной безопасности и природообустройства

Н. Р. Ахмедова – кандидат биологических наук, доцент кафедры техносферной безопасности и природообустройства

Information about the authors

E. V. Vall – postgraduate student of the Department of Technosphere Safety and Environmental Engineering

N. R. Akhmedova – PhD in Biology, Associate Professor of the Department of Technosphere Safety and Environmental Engineering

Статья поступила в редакцию 07.02.2022; одобрена после рецензирования 17.02.2022; принята к публикации 13.07.2022.

The article was submitted 07.02.2022; approved after reviewing 17.02.2022; accepted for publication 13.07.2022.

Научная статья
УДК 639.2.053.7
DOI 10.46845/1997-3071-2022-67-21-31

Промыслово-биологическая характеристика леща (*Abramis brama* L.) в Волгоградском водохранилище

Михаил Павлович Гашников^{1,3}, Владимир Анатольевич Шашуловский²,
Сергей Вадимович Шibaев³

^{1,2}Саратовский филиал Всероссийского научно-исследовательского института
рыбного хозяйства и океанографии, Саратов, Россия

³Калининградский государственный технический университет, Калининград,
Россия

¹gashnikov1997@mail.ru

Аннотация. Исследованы биологические показатели леща (*Abramis brama* L.) – одного из самых многочисленных видов и основного объекта промысла в Волгоградском водохранилище. Проанализированы данные по размерно-возрастному составу и количественным характеристикам леща в промысловых уловах различных типов орудий и на различных участках водоема. Согласно исследованиям 2014–2018 гг. популяция леща находится в стабильном состоянии. В уловах доминируют четырех-восьмилетки. В 90-е годы прошлого века возрастная структура была нестабильна и характеризовалась пилообразной кривой населения леща. По более ранним данным, с 1970–1998 гг. доминирующей возрастной группой также были четырех-восьмилетки. Показатели размерно-возрастных характеристик близки к среднемноголетним значениям. Средний возраст нерестовой части популяции составляет 6,3 года. Условия для нереста и нагульных угодий для молоди в 2018 г. были неблагоприятными. С 2016 г. по настоящее время можно наблюдать изменения в промысле после его реорганизации, заключающейся в выделении рыболовных участков по всей акватории Волгоградского водохранилища. Рост промышленного вылова с 371 до 472 т говорит о положительном эффекте реорганизации промысла. О стабильном состоянии популяции леща свидетельствует тот факт, что доминирующая возрастная группа осталась неизменной. Согласно динамике качественных характеристик леща, вылавливаемого различными орудиями лова, интенсификация промысла является предельной.

Ключевые слова: лещ, промысел, популяция, модели, возрастной состав, орудия лова, численность

Для цитирования: Гашников М. П., Шашуловский В. А., Шibaев С. В. Промыслово-биологическая характеристика леща (*Abramis brama* L.) в Волгоградском водохранилище // Известия КГТУ. 2022. № 67. С. 21–31. DOI: 10.46845/1997-3071-2022-67-21-31.

Original article

Commercial-biological characteristics of bream (*Abramis brama* L.) in Volgograd reservoir

Mikhail P. Gashnikov^{1,3}, Vladimir A. Shashulovskiy², Sergey V. Shibaev³

^{1,2} Saratov branch of the All-Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography, Saratov, Russia

³ Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia

Abstract. Biological indicators of bream (*Abramis brama* L.) – one of the most numerous species and the main object of fishing in the Volgograd reservoir have been studied. Data on the size-age composition and qualitative characteristics of bream in terms of fishing gear in different zones (areas) of the reservoir have been analyzed. According to the research of 2014–2018 the bream population is in a stable state. The catches are dominated by four to eight year olds. In the 1990s, the age structure was unstable and was characterized by a sawtooth population curve. According to earlier data from 1970–1998, the dominant age group was four to eight years old. Indicators of size and age characteristics are close to the average long-term values. The average age of the spawning part of the population is 6.3 years. Conditions for spawning and feeding grounds for juveniles in 2018 were unfavorable. From 2016 to the present, changes in the fishery after its reorganization can be observed. Restructuring consists in the distribution of fishing areas throughout the water area of the Volgograd reservoir. The growth of commercial catch from 371 to 472 t indicates a positive effect of the reorganization of the fishery. Analysis of the data showed that over the years, the age composition of the bream changed from an unstable state to a stable one. This is evidenced by the fact that the dominant age group has remained unchanged. The study of the impact of fishing on the abundance of bream in the Volgograd reservoir in the zonal aspect shows the maximum load on the population. According to the dynamics of the qualitative characteristics of bream caught by various fishing gear, fishing intensification is the limit.

Keywords: bream, fishing, population, models, age composition, fishing gear, abundance

For citation: Gashnikov M. P., Shashulovskiy V. A., Shibaev S. V. Commercial and biological characteristics of bream (*Abramis brama* L.) in the Volgograd reservoir. *Izvestiya KGTU = KSTU News*. 2022; (67):21–31. (In Russ). DOI: 10.46845/1997-3071-2022-67-21-31.

ВВЕДЕНИЕ

Волгоградское водохранилище относится к русловому типу водоемов. Это самое южное водохранилище Волжско-Камского каскада. По морфометрическим, гидрологическим показателям и биологическим особенностям оно подразделяется на три зоны (участка): верхнюю, среднюю и нижнюю (рис. 1).

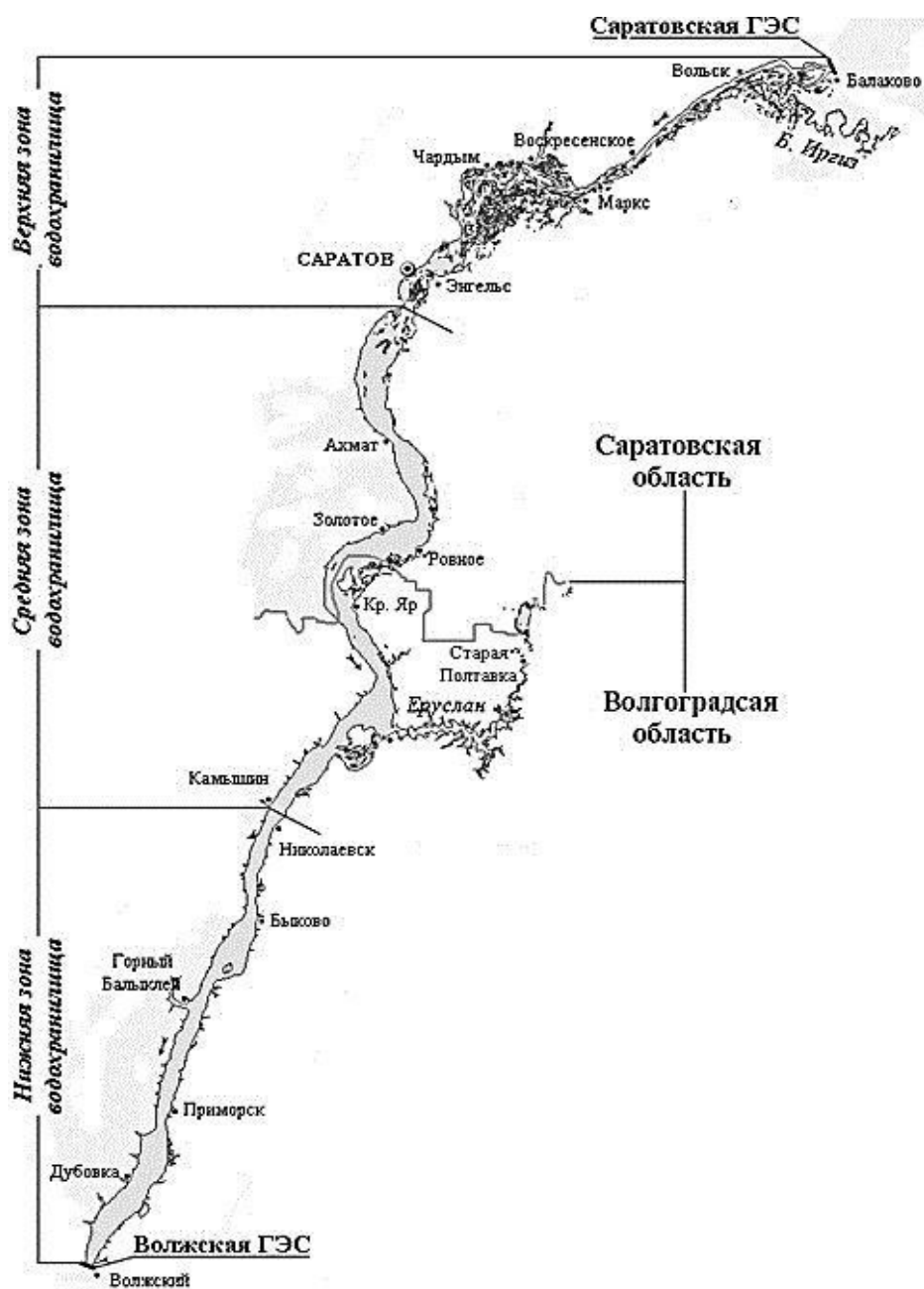


Рис. 1. Волгоградское водохранилище
Fig. 1. Volgograd reservoir

Верхняя зона (от г. Балаково до г. Саратова) характеризуется близостью к речному гидрологическому режиму, четко выраженной паводковой волной, наибольшей изрезанностью береговой линии, преобладанием в ихтиофауне реофильных рыб.

Средней зоне (озеровидный участок от г. Саратова до г. Камышина) свойственно малое проявление паводка, наибольшая ширина разлива, значительное снижение скоростей течения, что, в свою очередь, определяет наибольшее развитие озеровидной фауны.

В нижней зоне (приплотинный участок от Камышина до плотины Волжской ГЭС) паводковая волна проявляется лишь в особенно многоводные годы, режим уровня воды определяется хозяйственной деятельностью человека. Это наиболее глубоководная часть водохранилища с чертами озеровидной фауны [1].

В водохранилище обитает 61 вид рыб [2, 10]. Промысловую ихтиофауну составляют 29 видов. Это лещ, судак, щука, сазан (каarp), сом, густера, плотва, окунь, караси (серебряный и золотой), берш, красноперка, язь, чехонь, линь, си-нец, толстолобики (белый и пестрый), жерех, налим, белоглазка, голавль, белый амур, рыбец, уклейка, ерш, головешка-ротан, бычки (бычок-кругляк и бычок-головач) [3]. Для первых пяти видов разрабатывается прогноз общего допустимого улова (ОДУ) [4], для остальных видов – рекомендуемый вылов (РВ). Наиболее многочисленным, имеющим важное промысловое значение, является лещ (*Abramis brama* L.), поэтому непрерывный мониторинг состояния популяции данного вида служит основой для разработки биологически обоснованных ориентиров управления, что во многом определяет промысловую продуктивность водохранилища.

Цель работы – дать биологическую и промысловую характеристики популяции леща в Волгоградском водохранилище на основе данных за 2014–2018 гг.

Методы исследования

Сбор и обработку материала осуществляли по общепринятым методикам [5–9]. Контрольные обловы проводились в августе и сентябре 2018 г. Для биологического анализа с определением возраста было использовано 812 экз. леща, массовым промерам подвергнут 4021 экз.

Согласно имеющимся данным [3] основная масса леща (возрастом от 4+ и старше) в июле-августе нагуливается на участках глубиной от 6 м, что составляет 37 %, или 120 тыс. га, от площади Волгоградского водохранилища. Поэтому временной интервал август–сентябрь является самым подходящим для траловых съемок. Это позволяет получить более достоверные данные по динамике численности и качественным характеристикам. Для учета численности рыб применялся 20-метровый четырехпластный учетный трал с ячеей в крыльях 70 мм, в сквере – 60, в мотне I части – 50, II части – 40, в кутке – 30 мм. Учетный трал имеет горизонтальное раскрытие 10, вертикальное – 5 м.

Результаты исследования

В уловах 2014–2018 гг. популяция леща представлена особями от трех до 17 лет. В доминирующую возрастную группу входят четырех-восьмилетки, доля которых в уловах трала составила 80 % по численности (рис. 2) и около 60 % – по массе. За пятилетний период в промысловом стаде отмечено некоторое увеличение относительного значения рыб в возрасте 6+ – 11+ при одновременном снижении доли четырех-шестилеток [3]. Средний возраст стада в 2018 г. – 5,5 лет.

В целом в последнее пятилетие возрастная структура леща характеризует стабильную популяцию, признаком которой является плавное снижение численности с возрастом под воздействием естественной и промысловой смертности [11].

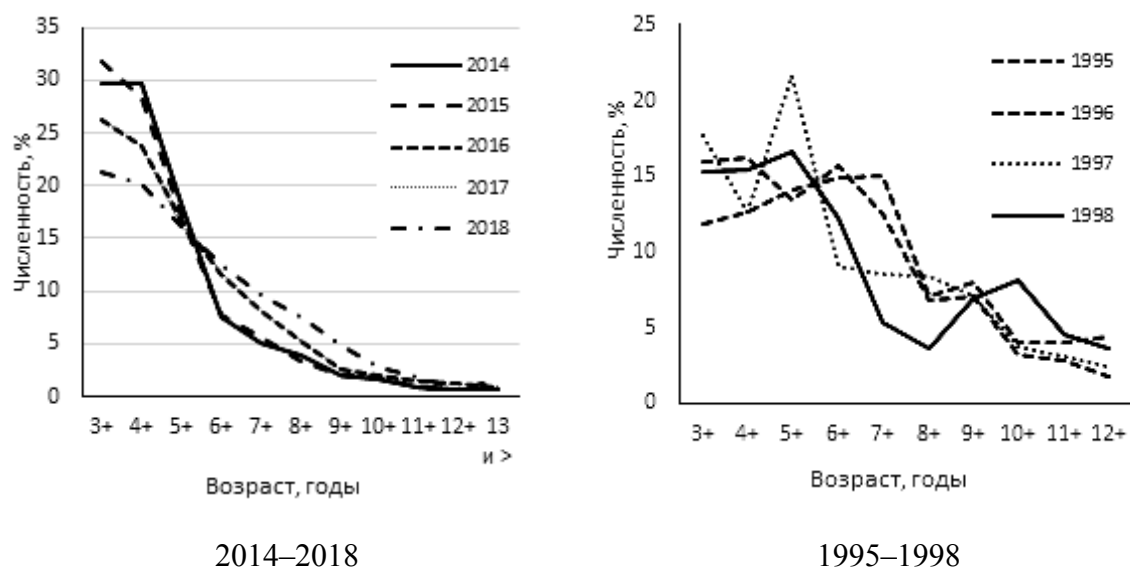


Рис. 2. Возрастная структура леща в учетных траловых уловах за ряд лет (периоды 2014–2018 [3] и 1995–1998 [10] гг.), %

Fig. 2. Age structure of bream in survey trawl catches over a number of years (periods 2014–2018 [3] and 1995–1998 [10]), %

Такое состояние, очевидно, обусловлено стабильностью условий существования леща в водохранилище. Популяции рыб в большей или меньшей степени восприимчивы к воздействию факторов внешней среды. Изменения гидрологического режима влияют на условия размножения и выживания на ранних этапах развития. Например, изменения уровня напрямую воздействуют на наличие и состояние нерестовых и нагульных площадей для молоди. В конце 90-х годов уровень режим был неблагоприятен, из-за чего наблюдался дефицит данных площадей. В те годы возрастная структура популяции леща была очень нестабильна – отмечались как многочисленные, так и малочисленные поколения, что отчетливо видно на рис. 2 для периода 1995–1998 гг. По более ранним данным с 1970 по 1998 гг. [9] доминирующей возрастной группой оставались четырех-восьмилетки с долей вылова от 65 до 97 % (в среднем 81 %) в зависимости от года, что проявляется и в настоящее время.

Линейно-весовые характеристики леща Волгоградского водохранилища в последние годы практически не отличаются от среднеемноголетних значений (рис. 3).

Многочисленная возрастная группа представлена в линейно-весовом диапазоне от 23 до 35 см и от 300 до 900 г соответственно. Средняя длина в промысловых уловах составила примерно 26,8 см, а масса – 457 г. Такие биологические показатели являются кондиционными.

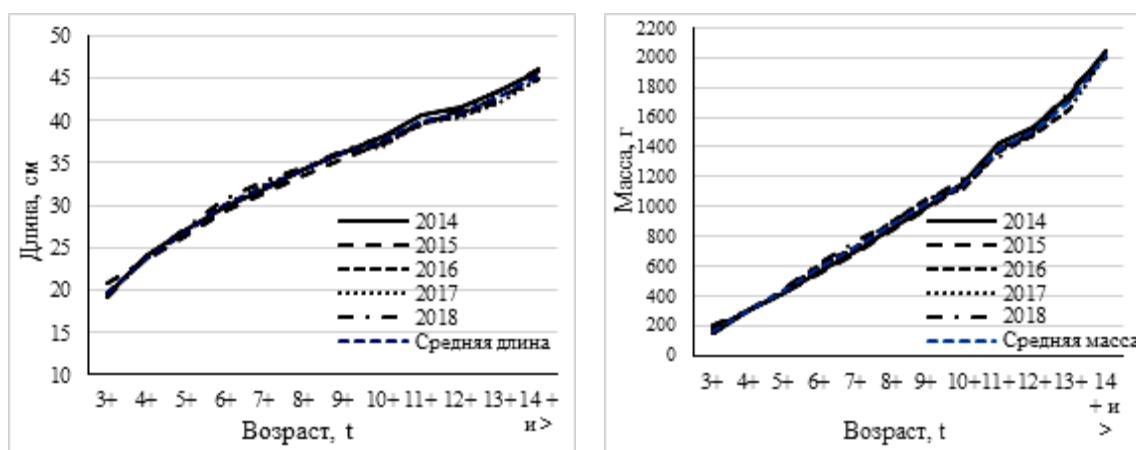


Рис. 3. Линейно-весовые характеристики леща в Волгоградском водохранилище
Fig. 3. Linear weight characteristics of bream in the Volgograd reservoir

Нерестовая часть популяции леща представлена возрастными группами старше 4+. С 2014 г. идет снижение процента младшевозрастных групп, а именно 4+ и 5+, и увеличение более старших. В 2018 г. фиксируются максимальные значения по группам старше 5+ и минимальные от 4+ до 5+. Средний возраст нерестовой части популяции составил 6,3 года, что является характерным для данной популяции и свидетельствует о нормальном состоянии нерестового запаса.

Условиями для нагула основной массы леща, начиная с пятилеток, являются места с глубинами более 6 м. На их долю приходится 37 % от всей акватории Волгоградского водохранилища, или 120 тыс. га. Как правило, такая площадь является более или менее постоянной в зависимости от года. Но этого нельзя сказать о местах нагула молоди, которые приурочены к мелководьям. Изменения гидрологического режима в первую очередь влияют на нерестовые площади и нагульные угодья для молоди рыб. Именно таким годом был 2018-й. Чтобы обводнить дельту Волги в весенний период, уровень воды в водохранилище снизился на 1 м ниже нормального подпорного уровня (НПУ) (до 14 м по балтийской системе (БС)). Такой уровень (14–15 м) обычно постоянен в летний и осенний период, но для весеннего паводка не является нормой. В этом случае проявился эффект маловодности. Поэтому в дальнейших исследованиях динамики численности и качественных характеристик рыб в Волгоградском водохранилище нужно учесть этот момент.

Изменения общего и промыслового запаса в водохранилище в межгодовом аспекте являются незначительными. В последние годы наблюдается нарастание промыслового запаса до 4,3 тыс. т [3], а также рост промыслового вылова – с 371 до 472 т. Такой эффект обусловлен перестройкой промысла: с 2016 г. вся акватория Волгоградского водохранилища поделена на рыбопромысловые участки, которые закреплены за конкретными пользователями.

Добыча рыбы в водохранилище ведется при помощи тралов, сетей, неводов и различных ловушек. Основу промысла составляет сетной лов. На него приходится до 95 % общего вылова, на неводный и траловый лов – 1–2 и 2–3 % соответственно. Характеристика и виды орудий лова представлены в таблице.

Таблица. Сведения об использовании орудий лова
 Table. Information on the use of fishing gear

Орудие лова	Кол-во, шт.	Характеристика (шаг ячеи, мм)	Сезон использования	Интенсивность использования, сетесутки	Улов на усилие, кг/сетесутки
					всего; лещ
Сети	10120*	a = 32-45 a = 50 и >	IV-XI**	1072720	3,5; 0,39
Трал	2	a = 55	IV VII-XI	170	384; 190
Невод	2	a = 30	IV IX-X	135	180,7; 21,1

С целью изучения воздействия различных видов промысла на популяцию леща Волгоградского водохранилища в зональном аспекте были проанализированы изменения качественных показателей этого вида в разных орудиях лова. Только в верхней и средней зонах используются невода и тралы. В связи с этим исследования качественных характеристик леща в различных орудиях лова (рис. 4, 5) проводились именно на этих участках.

На диаграммах видно (рис. 4), что в последние годы идет снижение средней длины, веса и возраста в уловах, что говорит о высокой нагрузке промысла на вид.

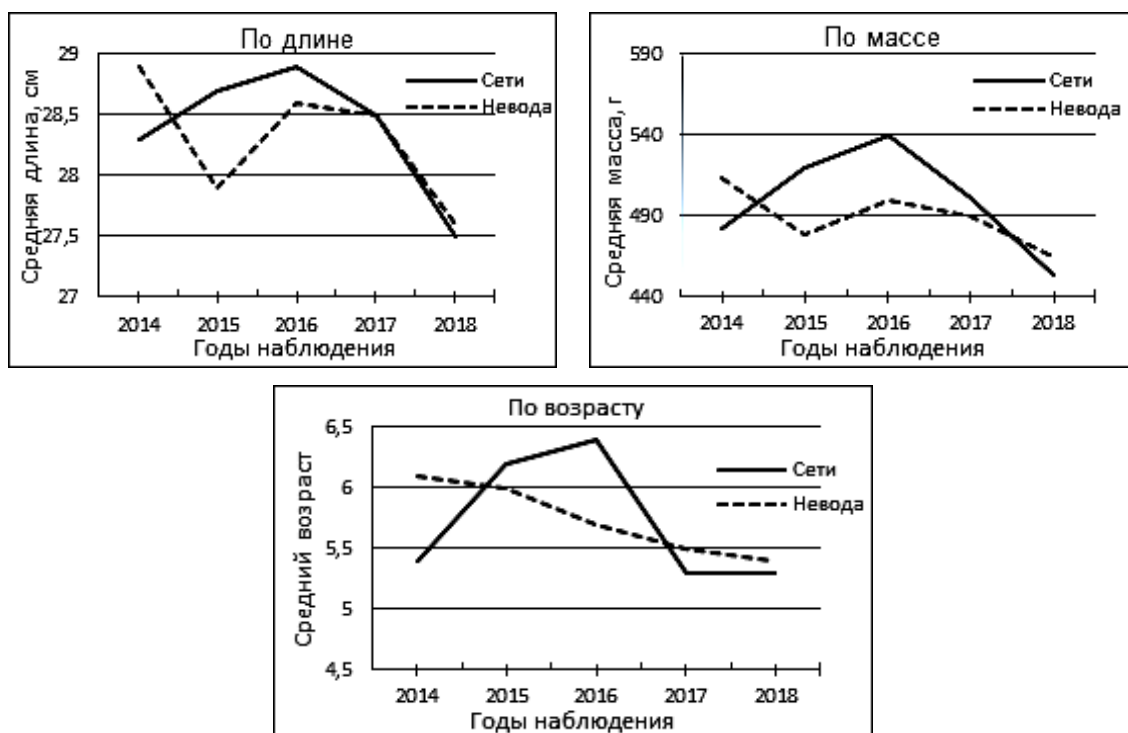


Рис. 4. Качественная характеристика леща в различных орудиях лова в Волгоградском водохранилище (верхняя зона)

Fig. 4. Qualitative characteristics of bream in various fishing gear in the Volgograd reservoir (upper zone)

В средней зоне помимо представленных орудий лова использовались траловые съемки (размер ячеи $a = 55$) (рис. 5).

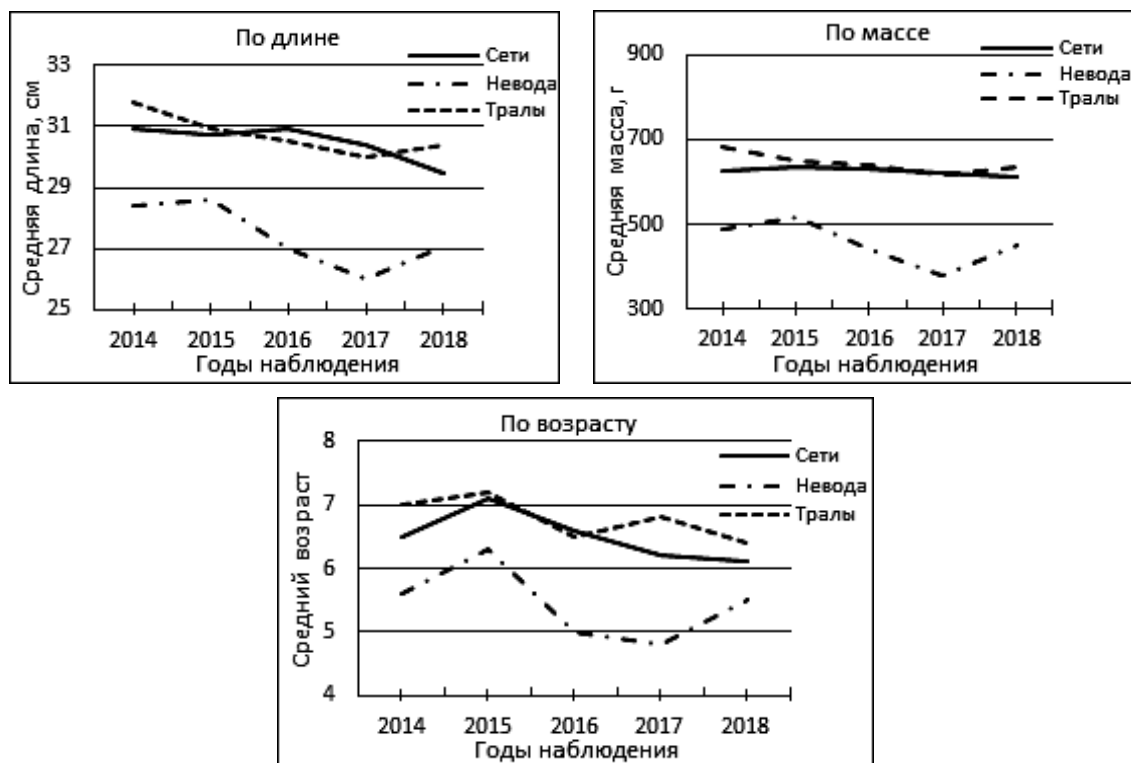


Рис. 5. Качественная характеристика леща в различных орудиях лова в Волгоградском водохранилище (средняя зона)
Fig. 5. Qualitative characteristics of bream in various fishing gear in the Volgograd reservoir (upper zone)

Как видно, в конце исследуемого периода основу промысла составляют впервые созревающие особи возраста 5–6 лет, что свидетельствует о высокой промысловой нагрузке на этот вид. Пиковым годом, где наблюдаются умеренно высокие показатели качественных характеристик по орудиям лова, является 2016-й при объеме вылова 413 т. С увеличением улова в пределах ОДУ, равного 700 т, отмечается снижение качества рыбопродукции по длине и массе. Это может служить обоснованием необходимости корректировки системы регулирования рыболовства после перестройки промысла, связанной с введением рыбопромысловых участков.

ВЫВОДЫ

1. В период 2014–2018 гг. возрастной состав леща по сравнению с 1995–1998 гг. находится в стабильном состоянии. Размерно-весовые характеристики близки к среднемуголетним значениям. Средняя длина выловленного леща составила примерно 26,8 см, масса – 457 г.

2. За пятилетие наблюдается тенденция возрастания промысловых уловов с 371 до 472 т, а также запаса леща. Качественные показатели леща, вылавливаемо-

го различными орудиями лова, за последние годы снизились. Это говорит о высокой нагрузке промысла на вид и нецелесообразности дальнейшей интенсификации промысла. В 2016 г. при вылове 413 т наблюдаются самые высокие качественные показатели за все время наблюдений.

3. В верхней зоне водохранилища отмечается снижение средних показателей длины, массы и возраста леща по всем видам орудий лова, в средней зоне – уменьшение средней длины в сетных уловах до 29,2 см и среднего возраста в сетях до 6,1 года, в тралах – до 6,4 лет. Негативная динамика может быть связана с ростом объема вылова (472 т) в 2018 г. Это на 59 т больше, чем в 2016 г., когда зафиксированы высокие показатели качественных характеристик.

4. Снижение качества рыбопродукции за исследуемый период говорит о предельной нагрузке на вид. Анализ новых данных позволит судить о необходимости корректировки величины ОДУ, способствующей получению более высокого качества продукции по размерно-весовым показателям.

Список источников

1. Небольсина Т. К. Экосистема Волгоградского водохранилища и пути создания рационального рыбного хозяйства: дис. ... докт. биол. наук: утв. 03.00.10: Саратов, 1980. 367 с.
2. Шашуловский В. А., Мосияш С. С. Формирование биологических ресурсов Волгоградского водохранилища в ходе сукцессии его экосистемы: монография. Москва: Т-во научных изданий КМК, 2010. 250 с.
3. Материалы, обосновывающие общий допустимый улов водных биологических ресурсов в Волгоградском водохранилище и малых водоемах Левобережья (Заволжье) Саратовской области на 2020 год (с оценкой воздействия на окружающую среду): Отчет о НИР. Фонды СО ФГБНУ СаратовНИРО // Рук. И. А. Белянин. Саратов, 2019. 155 с.
4. Перечень видов водных биологических ресурсов, в отношении которых устанавливается общий допустимый улов (с изменениями на 16 ноября 2017 года) [принят Минсельхоза РФ 01.10.2013] // Приказ Минсельхоза России. 2013. № 365.
5. Правдин И. Ф. Руководство по изучению рыб. Москва, 1966. 376 с.
6. Руденко Г. П. Методы определения ихтиомассы прироста рыб и рыбопродукции // Продукция популяций сообществ водных организмов и методы ее изучения. Москва, 1985. С. 111–138.
7. Сечин Ю. Т., Буханевич И. Б., Матушанский М. В. Методические рекомендации по использованию кадастровой информации для разработки прогноза уловов рыбы во внутренних водоемах (часть 1, основные алгоритмы и примеры расчетов). Москва: Изд-во ВНИРО, 1990. 56 с.
8. Сечин Ю. Т. Методические указания по оценке численности рыб в пресноводных водоемах // Москва: ВНИИПРХ, 1990. 51 с.
9. Ермолин В. П., Карагойшиев К. К. Методы учета запасов рыб и разработка ОДУ на водохранилищах // Тезисы докладов IX Всероссийской конференции по проблемам рыбопромыслового прогнозирования (19–21 окт. 2004): Мурманск: Изд-во ПИНРО, 2004. С. 74–76.
10. Шашуловский В. А. Современное состояние ихтиоценоза Волгоградского водохранилища // Итоги рыбохозяйственных исследований на Саратовском

и Волгоградском водохранилищах (К 100-летию создания Саратовского отделения ГосНИОРХ). Санкт-Петербург: ГосНИОРХ, 2000. 89 с.

11. Шибаев С. В. Промысловая ихтиология. Калининград: ООО "Аксиос", 2014. 535 с.

References

1. Nebolsina T. K. *Ekosistema Volgogradskogo vodokhranilishcha i puti sozdaniya ratsional'nogo rybnogo khozyaystva. Diss. dok. biol. nauk* [Ecosystem of the Volgograd reservoir and ways to create rational fisheries. Dis. dr. biol. sci.]. Saratov, 1980, 367 p.

2. Shashulovskiy V. A., Mosiyash S. S. *Formirovaniye biologicheskikh resursov Volgogradskogo vodokhranilishcha v khode suksessii yego ekosistemy* [Formation of biological resources of the Volgograd reservoir during the succession of its ecosystem]. Moscow, T-vo nauchnykh izdaniy KMK, 2010, 250 p.

3. Belyanin I. A. *Materialy, obosnovyvyayushchiye obshchiy dopustimyy ulov vodnykh biologicheskikh resursov v Volgogradskom vodokhranilishche i malykh vodoyemakh Levoberezh'ya (Zavolzh'ye) Saratovskoy oblasti na 2020 god (s otsenkoy vozdeystviya na okruzhayushchuyu sredu)* [Materials substantiating the total allowable catch of aquatic biological resources in the Volgograd reservoir and small reservoirs of the Left Bank (Zavolzhye) of the Saratov region for 2020 (with an environmental impact assessment)]. Otchet o NIR. Fondy SO FGBNU SaratovNIRO. Saratov, 2019, 155 p.

4. *Perechen' vidov vodnykh biologicheskikh resursov, v otnoshenii kotorykh ustanavlivayetsya obshchiy dopustimyy ulov (s izmeneniyami na 16 noyabrya 2017 goda). Prikaz Minsel'khoza Rossii, 2013, no. 365.*

5. Pravdin I. F. *Rukovodstvo po izucheniyu ryb* [Fish Study Guide]. Moscow, 1966, 375 p.

6. Rudenko G. P. *Metody opredeleniya ikhtiomassy, prirosta ryb i ryboproduktsii* [Methods for determining ichthyomass, growth of fish and fish products]. *Produktsiya populyatsiy soobshchestv vodnykh organizmov i metody yeye izucheniya* Moscow, 1985, pp. 111–138.

7. Sechin Yu. T., Bukhanevich I. B., Matushanskiy M. V. *Metodicheskiye rekomendatsii po ispol'zovaniyu kadaстровой informatsii dlya razrabotki prognoza ulovov ryby vo vnutrennikh vodoyemakh (chast' 1, osnovnyye algoritmy i primery raschetov)* [Methodological recommendations on the use of cadastral information for the development of a forecast of fish catches in inland waters (part 1, basic algorithms and examples of calculations)]. Moscow, Izd-vo VNIRO, 1990, 56 p.

8. Sechin Yu. T. *Metodicheskiye ukazaniya po otsenke chislennosti ryb v presnovodnykh vodoyemakh* [Guidelines for assessing the number of fish in freshwater reservoirs]. Moscow, VNIIPRKH, 1990, 50 p.

9. Yermolin V. P., Karagoysheyev K. K. *Metody ucheta zapasov ryb i razrabotka ODU na vodokhranilishchakh* [Methods of accounting for fish stocks and the development of TACs in reservoirs]. *Tezisy dokladov IX Vserossiyskoy konferentsii po problemam rybopromyslovogo prognozirovaniya* [Abstracts of the IX All-Russian conference on the problems of fishing forecasting]. Murmansk, PINRO Publ., 2004, pp. 74–76.

10. Shashulovskiy V. A. Sovremennoye sostoyaniye ikhtiotsenoza Volgogradskogo vodokhranilishcha [The current state of ichthyocenosis of the Volgograd reservoir]. *Itogi rybokhozyaystvennykh issledovaniy na Saratovskom i Volgogradskom vodokhranilishchakh (K 100-letiyu sozdaniya Saratovskogo otdeleniya GosNIORH)* [Results of fishery research in the Saratov and Volgograd reservoirs (To the 100th anniversary of the establishment of the Saratov branch of GosNIORKH)]. GosNIORKH, 2000, 89 p.

11. Shibaev S. V. *Promyslovaya ikhtiologiya* [Fishery ichthyology]. Kaliningrad, Axios Publ., 2014, 535 p.

Информация об авторах

М. П. Гашиков – аспирант кафедры водных биоресурсов и аквакультуры

В. А. Шапуловский – доктор биологических наук, заместитель руководителя Саратовского филиала ФГБНУ "ВНИРО"

С. В. Шibaев – доктор биологических наук, профессор кафедры водных биоресурсов и аквакультуры

Information about the authors

M. P. Gashnikov – post graduate student of the Department of Water Bioresources and Aquaculture

V. A. Shashulovskiy – Doctor of Biological Sciences, Deputy Head of the Saratov branch FGBNU "VNIRO"

S. V. Shibaev – Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department of Water Bioresources and Aquaculture

Статья поступила в редакцию 05.06.2022; одобрена после рецензирования 15.06.2022; принята к публикации 06.09.2022.

The article was submitted 05.06.2022; approved after reviewing 15.06.2022; accepted for publication 06.09.2022.

Научная статья
УДК 338.439.02
DOI 10.46845/1997-3071-2022-67-32-47

**Оценка питательной ценности комбикормов для лососевых с добавлением
продуктов гидролиза шпротных отходов**

**Ольга Яковлевна Мезенова¹, Дмитрий Сергеевич Пьянов², Светлана Викто-
ровна Агафонова³, Наталья Юрьевна Романенко⁴, Владимир Владимирович
Волков⁵, Наталья Сергеевна Калинина⁶, Йорг-Томас Мерзель⁷**

^{1,3,4,5,6} Калининградский государственный технический университет, Калининград,
Россия

² Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океа-
нографии (АтлантНИРО), Калининград, Россия

⁷ Научно-исследовательская и консультационная лаборатория, Альтландсберг,
Германия

¹ mezenova@klgtu.ru, ORCID 381475

² pyanov@atlantniro.ru, ORCID 0000-0002-1442-5355

³ svetlana.agafonova@klgtu.ru, ORCID 0000-0002-5992-414X

⁴ nataliya.mezenova@klgtu.ru, ORCID 0000-0002-7433-7189

⁵ vladimir.volkov@klgtu.ru ORCID 0000-0001-5560-7131

⁶ natalya.kalinina@klgtu.ru ORCID 0000-0003-0942-5411

⁷ thomas.moersel@ubf-research.com

Аннотация. Показана тенденция развития в России индустриальной аква-
культуры лососевых, и обсуждены проблемы кормопроизводства. Обоснована ра-
циональность использования в составе комбикормов продуктов гидролиза шпрот-
ных отходов – голов копченой кильки. Рассмотрен процесс получения пептидно-
протеиновой и белково-жиро-протеиновой кормовых добавок в результате высо-
котемпературной обработки шпротных отходов под давлением в гидрореакторе.
Изучен химический состав обезвоженных кормовых добавок и получаемых с их
применением комбикормов. Сублимированная пептидно-протеиновая добавка со-
держит 82,7 % водорастворимого низкомолекулярного белка, незначительные
примеси жира (8,6 %) и минеральных веществ (2,0 %). Конвекционно высушенная
белково-жиро-минеральная добавка содержит 60,9 % водонерастворимого высо-
комолекулярного белка, 20,1 % минеральных веществ (кальция и фосфора) и
11,0 % жира. Проведены эксперименты по использованию полученных добавок в
составе комбикормов для мальков европейского сига *Coregonus Lavaretus* в индус-
триальной аквакультуре в качестве источника протеиновых, жировых и мине-
ральных компонентов. Изготовление контрольных комбикормов проведено на ос-
нове кормовой рыбной муки по рецептуре ФАО для лососевых. Получение экспе-

© Мезенова О. Я., Пьянов Д. С., Агафонова С. В., Романенко Н. Ю., Волков В. В.,
Калинина Н. С., Мерзель Й.-Т., 2022

риментальных комбикормов проведено путем введения в базовые рецептуры соответственно 5 и 10 % протеиновой и белково-жиро-минеральной добавок, полученных на основе гидролизатов шпротных отходов. Изучена питательная ценность изготовленных кормовых добавок и комбикормов по аминокислотному составу протеинов и жирнокислотному составу липидов. Показано повышенное содержание ненасыщенных и полиненасыщенных жирных кислот, незаменимых аминокислот в кормовых добавках и экспериментальных кормах относительно контрольных. Проведены сравнительные эксперименты по выращиванию мальков сиговых в течение 56 сут с применением экспериментальных кормов в УЗВ-установке с шестью аквариумами. Получены положительные результаты по физиологическим и ростовым показателям в экспериментальных группах мальков относительно контрольных. В экспериментальных группах сиговых были более высокие показатели прироста массы тела, выживаемости, удельной скорости роста при снижении кормового коэффициента. Сделан вывод о рациональности получения гидролизатов шпротных отходов и их применения в качестве кормовых добавок в составе комбикормов для лососевых. Целесообразно продолжить биологические эксперименты при дальнейшем росте дозировок данных добавок и проведении соответствующих морфобиологических и гематологических исследований.

Ключевые слова: индустриальная аквакультура, лососевые, шпротные отходы, гидролизаты, пептидная добавка, белково-жиро-минеральная добавка, питательная ценность, жирные кислоты, аминокислоты

Благодарности: работа выполнена при поддержке гранта Роскомрыболовства по Госзаданию "Обоснование применения биопродуктов, получаемых глубоким гидролизом вторичных водных биологических ресурсов и другого вторичного белоксодержащего сырья, в комбикормах для основных объектов индустриальной аквакультуры".

Для цитирования: Мезенова О. Я., Пьянов Д. С., Агафонова С. В., Романенко Н. Ю., Волков В. В., Калинина Н. С., Мерзель Й.-Т. Оценка питательной ценности комбикормов для лососевых с добавлением продуктов гидролиза шпротных отходов // Известия КГТУ. 2022. № 67. С. 32–47. DOI: 10.46845/1997-3071-2022-67-32-47.

Original article

Evaluation of the nutritional value of mixed feed for salmon with the addition of hydrolysis products of sprat waste

Olga Ya. Mezenova¹, Dmitriy S. Pyanov², Svetlana V. Agafonova³, Natalya Yu. Romanenko⁴, Vladimir V. Volkov⁵, Natalya S. Kalinina⁶, Jörg-Thomas Moerzel⁷

^{1,3,4,5,6} Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia

² Atlantic branch of VNIRO ("AtlantNIRO"), Kaliningrad, Russia

⁷ Untersuchungs- und Forschungslaboratorium (UBF), GmbH, Altlandsberg, Deutschland

Abstract. The paper shows a development trend of industrial salmon aquaculture in Russia and discusses some issues of feed production. Sustainability of using sprat

waste hydrolysis products – heads of smoked sprats in the composition of mixed fodders has been substantiated. The process of obtaining peptide-protein and protein-fat-protein feed additives as a result of high-temperature processing of sprat waste under pressure in a hydroreactor has been considered. The chemical composition of dehydrated feed additives and mixed feed obtained with their use has been studied. Freeze-dried peptide-protein supplement contains 82.7% water-soluble low molecular weight protein and minor admixtures of fat (8.6%) and minerals (2.0%). Convection dried protein-fat-mineral supplement contains 60.9% water-insoluble high molecular weight protein, 20.1% minerals (calcium and phosphorus) and 11.0% fat. Experiments have been carried out on the use of the obtained additives in the composition of feed for the fry of the European whitefish *coregonus lavaretus* in industrial aquaculture as a source of protein, fat and mineral components. The production of control compound feeds has been carried out on the basis of feed fish meal according to the FAO recipe for salmon. Obtaining experimental compound feeds has been carried out by introducing into the basic formulations, respectively, 5% and 10% protein and protein-fat-mineral additives obtained on the basis of sprat waste hydrolysates. Obtaining experimental compound feeds has been carried out by introducing into the basic formulations, respectively, 5% and 10% protein and protein-fat-mineral additives obtained on the basis of sprat waste hydrolysates. Comparative experiments have been carried out on the cultivation of whitefish fry for 56 days using experimental feeds in an RAS installation with six aquariums. Positive results have been obtained in terms of physiological and growth parameters in the experimental groups of fry relative to the control ones. In the experimental groups of whitefish, there were higher rates of body weight gain, survival, specific growth rate with a decrease in the feed coefficient. The conclusion is made about the rationality of obtaining hydrolyzates of sprat waste and their use as feed additives in the composition of feed for salmon. It is recommended to continue biological experiments with a further increase in the dosages of these additives and conduct appropriate morphobiological and hematological studies.

Keywords: industrial aquaculture, salmon, sprat waste, hydrolysates, peptide supplement, protein-fat-mineral supplement, nutritional value, fatty acids, amino acids

Acknowledgments: The work has been supported by a grant from Roskomrybolovstvo under the State Assignment “Justification for the use of bioproducts obtained by deep hydrolysis of secondary aquatic biological resources and other secondary protein-containing raw materials in compound feed for the main objects of industrial aquaculture”.

For citation: Mezenova O. Ya., Pyanov D. S., Agafonova S. V., Romanenko N. Yu., Volkov V. V., Kalinina N. S., Moerzel J.-T. Evaluation of the nutritional value of mixed feed for salmon with the addition of hydrolysis products of sprat waste. *Izvestiya KGTU = KSTU News*. 2022; (67): 32–47. (In Russ). DOI: 10.46845/1997-3071-2022-67-32-47.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время рыбоводство приобрело характер промышленного производства, основанного на выращивании рыб в прудах и искусственных водоемах. Последнее, или индустриальная аквакультура, относится к наиболее динамично развивающемуся сектору рыбного хозяйства. В структуре этого производства почти 45 % приходится на лососевые (семга, форель), аквакультура сегодня дает возможность приблизить производимую продукцию к потребителю и поставлять ее в свежем и охлажденном виде, обеспечивая высокое качество ценного сырья. В этом заключается одно из основных преимуществ аквакультуры перед океаническим рыболовством, поскольку с Дальнего Востока, Западного или Северного бассейнов перевозки рыбной продукции в центральную часть Российской Федерации возможны только в замороженном состоянии, при этом ее качество снижается [1].

В индустриальной аквакультуре лососевых одной из основных проблем остается обеспечение производства качественными комбикормами, сбалансированными по ключевым биологически активным веществам. Значимость проблемы кормления рыб как одного из главных способов интенсификации рыбоводного процесса также связана с тем, что искусственное кормление является полностью управляемым фактором [2]. Один из наиболее важных вопросов в решении проблемы кормления – разработка рецептуры комбикормов высокой питательной ценности с применением доступных сырьевых источников.

Традиционно в составе комбикорма для лососевых основным компонентом является рыбная мука как источник белка, жира и минеральных веществ животного происхождения. В настоящее время из-за дефицита и растущей стоимости качественной рыбной муки все шире используются альтернативные и доступные источники не только животного, но и растительного происхождения. При этом к данному сырью предъявляются требования адекватности его питательных свойств (по содержанию протеина, незаменимых аминокислот, липидов, жирных кислот и др.), также важен учет физиолого-биохимических особенностей питания и пищеварения выращиваемых рыб. В комбикормах лососевых в качестве альтернативных источников основных питательных компонентов применяются дрожжи, различные растения (бобовые, зерновые), насекомые, черви, личинки, термиты, отруби, жмых масличных культур, отходы пищевой промышленности и др. [3].

В Калининградской области одним из основных направлений стратегии развития рыбного хозяйства является аквакультура. В качестве важного государственного мероприятия систематически проводится зарыбление мальками европейского сига (*Coregonus Lavaretus* L.) Куршского залива Балтийского моря. При индустриальном выращивании мальков предпочтение отдавалось импортным комбикормам [4].

В условиях проведения политики импортозамещения и дефицита отечественной рыбной муки в кормопроизводстве представляется целесообразным использовать в составе комбикормов для лососевых гидролизаты, получаемые из отходов шпротного производства – голов копченой кильки. Данное предложение обусловлено не только высоким биопотенциалом данного сырья, но и повышенными количествами остающихся у калининградских производителей консервов "Шпроты в масле" перерабатываемых голов копченой кильки и салаки. Изуче-

ние их биопотенциала показало высокое содержание в данном сырье ценных питательных веществ – белков, жиров, кальция, фосфора, незаменимых аминокислот, полиненасыщенных жирных кислот и других БАВ [5, 6].

На кафедре пищевой биотехнологии КГТУ из шпротного вторичного сырья по разработанной и запатентованной технологии с использованием высокотемпературного гидролиза получено два вида кормовых добавок – сублимированная водорастворимая пептидно-протеиновая и сушеная водонерастворимая белково-жиро-минеральная [7]. Достоинствами водорастворимой добавки является высокое содержание в ней белка (более 80 %), при этом основные ее компоненты (около 90 %) – низкомолекулярные пептиды с молекулярной массой от 5 до 10 кДа, характеризующиеся повышенной усвояемостью и физиологической активностью [8]. Ключевым преимуществом качества водонерастворимой добавки является высокое содержание высокомолекулярного белка (более 50 %), выполняющего физиологическую функцию строительного материала и пищевых волокон животного происхождения, при этом добавка отличается повышенной жирностью (10–15 %) и значительным содержанием кальция и фосфора (20–22 % в сумме), необходимых для формирования опорно-двигательного аппарата [9].

Получаемые из шпротных голов биодобавки – это источник ценных пластических, энергетических и биологически активных веществ для организации всех органов и роста рыб в индустриальной аквакультуре.

Согласно современным представлениям в области физиологии и биохимии питания рыб на усвояемость кормов оказывают существенное влияние аминокислотный состав белковой составляющей, жирнокислотный состав липидов, а также содержание минеральных веществ. Целесообразность включения в стартовые комбикорма легкоусвояемых низкомолекулярных протеинов (пептидов) обоснована особенностями развития пищеварительной системы молоди рыб [1, 2].

Известно, что продукты гидролиза различных частей рыбы с разной степенью гидролиза белка при добавлении в рацион рыб как в чистом виде, так и с различными компонентами благотворно влияют на их развитие [4, 6, 10].

Целью исследований являлась оценка питательной ценности комбикормов для мальков сига европейского при введении в их состав водорастворимой и водонерастворимой добавок, получаемых на основе высокотемпературного гидролиза шпротных отходов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

При проведении экспериментов использовали отходы шпротного производства (головы копченой кильки) одной партии выработки, предоставленные группой компаний "За Родину". Гидролиз шпротных голов проводили в Центре передовых технологий использования белка кафедры пищевой биотехнологии КГТУ. Получение кормовых добавок осуществляли путем измельчения шпротного сырья с последующим высокотемпературным гидролизом в водной среде при температуре 130 °С под давлением в специальном термореакторе. Образующуюся суспензию разделяли центрифугированием на фракции – верхнюю водорастворимую и осадочную водонерастворимую, которые высушивали соответственно сублимационным и конвективным способами. Полученные высушенные гидролизаты тонко измельчали [7].

При приготовлении экспериментальных образцов комбикормов в их состав вводили водорастворимую и водонерастворимую шпротные кормовые добавки, соответственно 5 и 10 % к массе кормовой системы. Приготовление кормов в виде гранул диаметром 2–3 мм проводили на специальном грануляторе. В качестве базовой использовали рецептуру ФАО, рекомендованную для стартовых кормов лососевых рыб, в состав которой в качестве основного компонента введена рыбная мука (табл. 1). Наряду с компонентами животного происхождения в комбикормах обязательными составляющими являются пшеничная мука (18–20 %), карбоксил-метилцеллюлоза (КМЦ) (1,8–2,0 %) и витаминно-минеральный премикс (0,9–1,0 %).

Таблица 1. Состав экспериментальных и контрольных комбикормов
Table 1. Composition of experimental and control compound feeds

Компонент	Состав комбикорма, %		
	Контроль	Эксперимент с 5%-ной пептидно-протеиновой добавкой (Э5)	Эксперимент с 10%-ной белково-жиро-минеральной добавкой (Э10)
Рыбная мука	66,5	59,9	63,2
Пшеничная мука	20,0	18,0	19,1
Пептидно-протеиновая добавка	0	0	5
Белково-жиро-минеральная добавка	0	10,0	0
Рыбий жир	9,5	8,6	9,0
КМЦ	2,0	1,8	1,9
Витаминно-минеральный премикс	1,0	0,9	0,9
Желатин	1,0	0,9	0,9

Биологические эксперименты по выращиванию мальков сиговых проводили на опытной базе Атлантического филиала ФГУП "ВНИРО" (АтлантНИРО) в поселке Лесное (Зеленоградский район) в течение 56 сут в установках замкнутого водоснабжения (УЗВ) с шестью аквариумами. При этом в трех малькам давали стандартный корм (контроль), а в трех других – экспериментальный (эксперимент).

При сравнительном выращивании мальков сиговых измеряли следующие рыбоводные показатели: прирост массы тела, выживаемость, удельную скорость роста, кормовой коэффициент.

Химический состав кормовых добавок и комбикормов определяли по ГОСТ 7636-85. Содержание жирных кислот в липидах и аминокислот в протеиновой части добавок и кормов исследовали с применением высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) в научно-исследовательской и консультационной лаборатории Untersuchungs- und Forschungslaboratorium (UBF) по арбитражным методикам России (ГОСТ 32195-2013) и ЕС (ISO 13903:2005, Альтландсберг, Германия).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Органолептический анализ показал, что добавки, полученные на основе термогидролиза шпротных отходов, представляют собой тонкодисперсные порошки бежевого (водорастворимая добавка) и коричневого (водонерастворимая добавка) цвета. Обе они обладают приятным "шпротным" ароматом и специфическим вкусом, свойственным копченым сельдевым рыбам.

Результаты исследования химического состава полученных кормовых добавок приведены в табл. 2.

Таблица 2. Химический состав кормовых добавок, полученных методом гидролиза заголовков копченой кильки, %

Table 2. Chemical composition of feed additives obtained by hydrolysis of smoked sprat heads, %

Кормовая добавка	Вода	Протеин	Мин. в-ва	Жир
Водорастворимая пептидно-протеиновая	6,7	82,7	8,6	2,0
Водонерастворимая белково-жиро-минеральная	8,0	60,9	20,1	11,0

Из табл. 2 видно, что обе добавки имеют существенно различающийся химический состав, обусловленный термодеградацией шпротного сырья. При этом они содержат достаточно высокое количество протеиновой составляющей – основного пластического материала при питании мальков (соответственно 82,7 и 60,9 %). Важно, что водонерастворимая добавка имеет в своем составе значительную долю минеральных веществ (20,1 %), представленных в основном кальцием и фосфором, а также достаточно много жира (11,0 %).

Результаты исследования химического состава образцов комбикорма приведены в табл. 3.

Таблица 3. Химический состав контрольного и экспериментальных образцов комбикормов, предназначенных для выращивания лососевых

Table 3. Chemical composition of the control and experimental samples of feed intended for growing salmon

Комбикорм	Вода	Сырой протеин	Минер. в-ва	Сырой жир	Углеводы, в том числе клетчатка
Контроль	4,7	39,4	12,9	22,7	20,3
Эксперимент – с 5%-ной водорастворимой пептидно-протеиновой добавкой (Э5)	5,3	40,8	12,5	21,7	19,7
Эксперимент – с 10 %-ной водонерастворимой белково-жиро-минеральной добавкой (Э10)	5,1	40,1	13,7	22,9	18,2

Из данных табл. 3 следует, что внесение шпротных добавок в базовую рецептуру комбикорма повышает содержание белка с 39,4 до 40,1–40,8 %. При этом в эксперименте Э10 имеет место рост в комбикорме массовых долей минеральных

веществ (с 12,9 до 13,7 %) и жира (с 22,7 до 22,9 %) относительно данных показателей в контрольных образцах.

Жирнокислотный состав липидов является важнейшим фактором питательной ценности кормов, особенно предназначенных для молоди объектов аквакультуры. Прежде всего малькам необходимы полиненасыщенные жирные кислоты класса омега-3, обеспечивающие повышение адаптивных свойств молоди, рост и развитие организма. Установлена взаимосвязь между ростом, адаптацией к условиям внешней среды и содержанием омега-3 жирных кислот в корме для рыб северных широт, к которым относятся лососевые [11].

Результаты оценки питательной ценности кормовых добавок и комбикормов с их применением, оцененные по жирнокислотному составу липидов, приведены в табл. 4.

Таблица 4. Жирнокислотный состав липидов кормовых добавок из шпротных отходов и комбикормов для лососевых, приготовленных с их применением
 Table 4. Fatty acid composition of lipids in feed additives from sprat waste and mixed feed for salmon, prepared with their use

Код	Название жирной кислоты	Содержание, % жира				
		Водорастворимая пептидо-протеиновая добавка	Водонерастворимая белково-жироминеральная добавка	Комбикорм – контроль	Комбикорм Э5 – эксперимент	Комбикорм Э10 – эксперимент
1	2	3	4	5	6	7
14:0	Миристиновая	4,2	6,9	7,7	6,7	7,1
15:0	Пентадециловая	0,0	1,4	0,0	0,0	0,1
16:0	Пальмитиновая	22,3	29,6	22,0	19,0	23,2
16:1n7	Пальмитолеиновая	5,2	7,4	6,2	5,1	6,3
17:0	Маргариновая	0,0	1,2	0,0	0,0	0,4
18:0	Стеариновая	3,5	3,7	3,7	3,2	3,3
18:1n9	Олеиновая	23,4	35,2	17,9	16,6	19,3
18:1n7	Вакценовая	3,4	3,4	3,3	2,3	2,4
18:2n6	Линолевая	2,6	2,7	3,2	2,7	2,8
18:3n6	γ-Линоленовая	0,0	0,0	6,4	3,1	3,2
18:3n3	α-Линоленовая	0,0	0,0	0,0	1,7	1,1
20:1n9	Гондоиновая	2,7	1,7	1,5	7,3	6,5
20:3n3	Эйкозатриеновая	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0
20:4n6	Арахидоновая	0,0	0,0	11,1	9,8	9,9
20:5n3	Эйкозапентаеновая	10,2	2,2	7,4	9,2	7,9
24:0	Лигноцериновая	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0

Окончание таблицы 4

1	2	3	4	5	6	7
24:1n9	Нервоновая	0,0	2,1	2,0	1,6	2,2
22:6n3	Докозагексаеновая	19,4	2,4	7,7	11,8	4,3
Всего		100,0	100,0	100,0	100,0	100
Всего насыщенных		31,8	42,8	33,4	28,9	34,1
Всего мононенасыщенных		34,7	49,9	30,8	32,9	36,7
Всего полиненасыщенных		33,6	7,3	35,8	38,2	29,2
Всего омега-3 жирных кислот		33,9	4,6	15,1	22,7	16,5

Из данных табл. 4 следует, что жир обеих добавок является богатым источником мононенасыщенной олеиновой кислоты (23,4–35,2 %), относящейся к классу омега-9 жирных кислот. При этом пептидно-протеиновая добавка особенно богата жирными кислотами класса омега-3 (33,6 %), прежде всего докозагексаеновой жирной кислотой (19,4 %). Внесение данных добавок в экспериментальные корма позволяет повысить показатели питательной ценности по содержанию мононенасыщенных жирных кислот (32,6 и 36,7% относительно 30,8 % в контрольном образце) и омега-3 жирных кислот (22,7 и 16,6 % относительно 15,1 % в контроле).

При разработке состава кормов первостепенное значение имеет повышение их сбалансированности по качественному содержанию протеинов. В процессе обмена веществ при развитии организма рыб главное место отводится их аминокислотному составу и наличию незаменимых аминокислот [1, 2]. Результаты оценки аминокислотной сбалансированности кормовых добавок и комбикормов приведены в табл. 5.

Из данных табл. 5 видно, что при термогидролизе голов копченой кильки по разработанной технологии имеет место образование двух добавок, более богатых незаменимыми аминокислотами, чем исходное сырье. В шпротных отходах сумма незаменимых аминокислот (НАК) составляет 26,87 % массы белка, а в растворимой и нерастворимой добавках этот показатель возрастает соответственно до 33,79 и 55,67 %. Важно, что обе добавки и корма, полученные с их применением, содержат все незаменимые аминокислоты (кроме триптофана, который разрушается в данном методе анализа, и серосодержащих аминокислот). Последнее обстоятельство объясняется образованием из цистина, цистеина и метионина заменимой аминокислоты таурина, выполняющей важную биологическую роль в организме рыб. Таурин содержится в повышенных количествах в пептидно-протеиновой (34,62 %) и белково-жиро-минеральной добавках (11,33 %). Таурин в организме является осморегулятором клетки, мембранным протектором, регулятором внутриклеточного кальция, он обладает свойствами антиоксиданта и детоксикатора, участвует в обмене жиров и жирорастворимых витаминов [12].

Таблица 5. Аминокислотный состав протеиновой части голов копченой кильки (сырье), изготовленных на их основе кормовых добавок и комбикормов для лососевых с их применением

Table 5. Amino acid composition of the protein part of the smoked sprat heads (raw material), feed additives made on their basis and mixed feed for salmon with their use

Аминокислота	Содержание, г/100 г белка					
	Головы копченой кильки (шрот-ные отходы) – сырье для добавок	Водорастворимая протеино-пептидная добавка	Водонерастворимая белково-жиро-минеральная добавка	Комбикорм Э5 – эксперимент	Комбикорм Э10 – эксперимент	Комбикорм – контроль
Аланин	8,91	11,75	9,67	6,24	5,81	8,25
Аргинин (НАК)	5,21	1,39	21,67	1,45	5,32	0
Аспарагин	0,29	0,35	0	1,52	0	0
Аспарагиновая кислота	8,76	1,36	6,0	5,48	6,34	0
Карнозин	0,07	0	0	0	0	0
Цитрулин	0,22	0	0	1,52	0	0
Цистин	0	0	0	0	0	0
Глутамин	0,07	1,44	0	3,58	5,18	16,02
Глутаминовая кислота	13,03	3,63	6,67	7,91	21,15	25,73
Глицин	8,83	3,95	0	11,64	0	0
Гистидин (НАК)	2,10	16,30	14,67	2,13	1,26	0
Гидроксипролин	1,67	0	0	0,99	0	0
Изолейцин	1,88	1,99	0	0,91	0	0
Лейцин (НАК)	6,67	3,41	7,67	2,28	3,45	0
Лизин (НАК)	6,37	4,83	6,33	2,36	3,17	0
Метионин (НАК)	0,07	1,04	0	0	0	0
Орнитин	1,38	0,87	3,33	10,65	11,27	6,31
Фенилаланин (НАК)	3,48	1,72	0	1,52	0	0
Пролин	4,63	1,55	0	6,16	6,24	7,77
Серин	7,02	2,78	7,33	16,74	17,38	0
Таурин	2,24	34,62	11,33	9,13	10,29	31,07
Треонин (НАК)	3,48	2,13	0	3,81	0	0
Триптофан (НАК)	0	0	0	0	0	0
Тирозин	1,74	1,91	0	1,45	0	0
Валин (НАК)	2,97	2,97	5,33	2,51	3,14	4,85
Сумма	100	100	100	100	100	100
Сумма незаменимых аминокислот (НАК)	26,87	33,79	55,67	16,06	16,34	4,85

Важным результатом применения полученных добавок является существенное повышение содержания незаменимых аминокислот в комбикормах. Так, в контрольном образце сумма НАК составила всего 4,85 % всех аминокислот, тогда как при внесении добавок их количество возросло до 16,06–16,34 %.

Таким образом, на основании данных по жирнокислотному составу липидов и аминокислотному составу протеинов полученных комбикормов можно заключить, что введение кормовых добавок в количестве 5–10 % в базовую рецептуру комбикормов для лососевых потенциально соответствует потребностям мальков сиговых.

Результаты рыбоводно-биологических испытаний экспериментальных стартовых кормов для мальков лососевых представлены в табл. 6, 7. Полученные рыбоводные показатели свидетельствуют о физиологической эффективности шпротных добавок в составе комбикормов при выращивании мальков сиговых.

Таблица 6. Рыбоводные показатели сравнительного выращивания мальков сиговых с применением контрольных и экспериментальных комбикормов, полученных при добавлении 5%-ной пептидно-протеиновой добавки

Table 6. Fish breeding indicators of the comparative rearing of whitefish fry with the use of control and experimental compound feed obtained with the addition of 5% peptide-protein supplement

Показатели роста мальков сига	Контрольная группа мальков	Экспериментальная группа мальков	Прирост показателя, %
Исходная масса, г	1,00 ± 0,38	1,06 ± 0,37	+9
Выживаемость мальков, %	81,33 ± 4,12	88,67 ± 3,31	+8,3
Конечная масса тела, г	2,73 ± 1,53	3,00 ± 1,20	+9,9
Прирост массы тела, %	1,73 ± 1,52	1,94 ± 1,21	+12,1
Кормовой коэффициент	3,13±0,35	2,78±0,26	-11,2
Удельная скорость роста, г/см	1,79 ± 0,10	1,86 ± 0,27	+3,9

Исходя из данных табл. 6 по рыбоводным показателям можно утверждать об эффективности ввода в состав стартовых комбикормов сиговых пептидно-протеиновой добавки в количестве 5 % в качестве источника активных низкомолекулярных пептидов и незаменимых аминокислот. Данный эффект объясняется не только повышенной аминокислотной сбалансированностью вводимой добавки, но и эффективным физиологическим действием биологически активных пептидов. Сегодня доказана физиологическая роль пептидов в механизмах регуляции гомеостаза и адаптации функциональных систем организма к окружающей среде, а также их значение в функционировании регуляторного пептидного каскада [13].

Из данных табл. 7 видно, что внесение в комбикорма 10 %-ной белково-минеральной добавки способствует приросту массы мальков лососевых, их выживаемости, удельной скорости роста, а также уменьшению кормового коэффициента. Данный эффект можно объяснить поликомпонентным химическим составом добавки (табл. 2), представленным не только протеинами с высоким содержанием незаменимых аминокислот (табл. 5), но и наличием эссенциальных минеральных

веществ (кальция и фосфора) на уровне 20 %, положительно влияющих на формирование костного организма мальков.

Таблица 7. Рыбоводные показатели сравнительного выращивания мальков сиговых с применением контрольных и экспериментальных комбикормов, полученных при добавлении 10%-ной белково-жиро-минеральной добавки
Table 7. Fish breeding indicators of comparative rearing of whitefish fry with the use of control and experimental compound feeds obtained by adding 10% protein-fat-mineral supplement

Показатели роста	Контрольная группа мальков	Экспериментальная группа мальков	Изменение показателя, %
Исходная масса, г	3,47±1,12	3,49±1,12	+0,61
Конечная масса, г	6,21±2,78	7,04±3,40	+13,3
Прирост, г	2,74±0,98	3,55±1,08	+29,6
Выживаемость, %	92,00±3,10	92,20±1,40	+0,22
Кормовой коэффициент	2,15±0,5	1,61±0,2	-11,7
Удельная скорость роста, %	1,03±0,10	1,25±0,25	+21,4

Проведенные исследования свидетельствуют о высоком биопотенциале кормовых добавок, получаемых из шпротных голов методом глубокого термического гидролиза, а также о рациональности их применения в составе комбикормов для лососевых в качестве источника ценных аминокислот, активных пептидов, жирных кислот и минеральных веществ. Целесообразно далее проводить данные исследования с повышением дозировок вводимых кормовых добавок и изучением морфобиологических и гематологических показателей рыб.

В результате проведенных исследований разработаны технические документы, регламентирующие процесс изготовления, качество и безопасность биологически ценных кормовых добавок из шпротных отходов: Технические условия ТУ 10.13.15.196-001-00471544-2021 и Технологическая инструкция (ТИ к ТУ) "Добавка кормовая пептидно-протеиновая на основе гидролизата вторичного шпротного сырья"; Технические условия ТУ 10.13.15.196-002-00471544-2021 и Технологическая инструкция (ТИ к ТУ) "Добавка кормовая белково-жиро-минеральная на основе гидролизата вторичного шпротного сырья".

ВЫВОДЫ

1. Обоснована актуальность переработки шпротных отходов (голов копченой кильки) с применением высокотемпературного гидролиза на кормовые биодобавки пептидно-протеинового и белково-жиро-минерального состава. Установлено высокое содержание в данном сырье ценных биологически активных веществ (белков, жиров, минеральных веществ: соответственно 60,9–82,7 %; 8,6–20,1 %; 2,0–11,0 %.)

2. Исследованы аминокислотный состав протеинов, жирнокислотный – липидов, содержание минеральных веществ в полученных из шпротного сырья кормовых добавках. Установлено повышенное содержание в них незаменимых

аминокислот (33,79 и 55,67 % массы протеинов), положительно влияющих на аминокислотную сбалансированность протеинов в комбикормах с их применением. Определено высокое содержание полиненасыщенных жирных кислот класса омега-3 в пептидно-протеиновой добавке (33,9 %), что способствовало повышению их содержания в кормах с 15,1 до 22,7 %. Установлено высокое содержание в белково-жиро-минеральной добавке олеиновой кислоты (35,2 %), что повлияло на рост ее количественного содержания в корме с 17,9 до 19,3 %.

3. Доказана физиологическая эффективность применения шпротных пептидных добавок в составе стартовых комбикормов для мальков сиговых, выращиваемых в индустриальной аквакультуре Калининградской области. Установлены положительные ростовые, весовые, физиологические показатели мальков, свидетельствующие о рациональности введения в состав комбикормов 5%-ной пептидно-протеиновой и 10% -ной белково-жиро-минеральной добавок.

4. Разработаны технические документы для получения кормовых добавок повышенной биологической ценности из шпротных отходов, а также кормов с их применением.

Список источников

1. Васильев А. М., Александрова М. А. Проблемы и перспективы развития марикультуры атлантического лосося в Российской Арктике // Арктика и Север. 2021. № 43. С. 5–18.
2. Щербина М. А., Гамыгин Е. А. Кормление рыб в пресноводной аквакультуре. Москва: Изд-во ВНИРО, 2006. 360 с.
3. Остроумова И. Н. Биологические основы кормления рыб. Изд-е 2-е, испр. и доп. Санкт-Петербург: ГосНИОРХ, 2012. 564 с.
4. Шибаяев Л. В. Эколого-биологические и биотехнологические основы воспроизводства сига (*Coregonus Lavaretus* L.) Куршского залива Балтийского моря: дис...канд. биол. наук: 03.02.06: утв. 2017. Калининград, 2016. 160 с.
5. Мезенова О. Я., Хелинг А., Мерзель Т. Биопотенциал вторичного рыбного сырья // Известия вузов. Пищевая технология. 2018. № 1. С. 11–18.
6. Применение продуктов гидролиза шпротных отходов при кормлении европейского сига *Coregonus lavaretus* в аквакультуре / О. Я. Мезенова, Д. С. Пьянов, С. В. Агафонова, Н. Ю. Романенко, В. В. Волков, Н. С. Калинина // Рыбное хозяйство. 2022. № 3. С. 54–61.
7. Способ получения пищевых добавок из вторичного копченого рыбного сырья: пат. 2681352 Рос. Федерация / Мезенова О. Я., Байдалинова Л. С., Агафонова С. В., Мезенова Н. Ю., Городниченко Л. В., Калинина Н. С., Волков В. В., Гримм Т., Хелинг А.; заявл. 22.01.20, опубл. 22.07.20. Бюл. № 21. 12 с.
8. Биоактивные белки и пептиды: современное состояние и новые тенденции практического применения в пищевой промышленности и кормопроизводстве / Д. В. Гришин, О. В. Подобед, Ю. А. Гладилина, М. В. Покровская, С. С. Александрова и др. // Вопросы питания. 2017. Том 86. № 3. С. 20–31.
9. Мезенова О. Я. Биотехнологические способы получения протеиновых и белково-минеральных добавок из вторичного рыбного сырья копильных производств // Известия вузов. Пищевая технология. 2019. № 2–3. С. 68–71.

10. Состояние запасов, факторы внешней среды и эффективность воспроизводства популяции анчоусовидной кильки (*Clupeonella engrauliformis* Borodin) в современных условиях / В. П. Разинков, Ю. А. Парицкий, А. В. Михайлова, А. С. Хурсанов, Ю. Н. Грозеску // Рыбное хозяйство. № 6. 2021. С. 76–80.

11. Лютиков А. А. Введение жирных кислот ряда омега-3 в состав кормов для личинок муксуна // Вопросы рыболовства. 2019. Т. 20. № 1. С. 123–127.

12. Хныченко Л. К., Сапронов Н. С. Фармакологическая активность аминокислоты таурин // Обзоры по клинической фармакологии и лекарственной терапии. 2004. Т. 3. № 4. С. 13–19.

13. Bioactivities of fish protein hydrolysates from defatted salmon backbones / R. Slizyte, K. Rommi, R. Mozuraityte, P. Eck, K. Five, T. Rustad // Biotechnology Reports. 2016. V. 11. P. 99–109.

References

1. Vasil'ev A. M., Aleksandrova M. A. Problemy i perspektivy razvitiya marikul'tury atlanticheskogo lososya v Rossiyskoy Arktike [Problems and prospects for the development of Atlantic salmon mariculture in the Russian Arctic]. *Arktika i Sever*. 2021, no. 43, pp. 5–18.

2. Shcherbina M. A., Gamygin E. A. *Kormleniye ryb v presnovodnoy akvakul'ture* [Feeding fish in freshwater aquaculture]. Moscow, VNIRO Publ., 2006, 360 p.

3. Ostroumova I. N. *Biologicheskiye osnovy kormleniya ryb* [Biological basis of fish feeding]. Saint-Petersburg, GosNIORKh Publ., 2012, 564 p.

4. Shibaev L. V. *Ekologo-biologicheskiye i biotekhnologicheskiye osnovy vosproizvodstva siga (Coregonus Lavaretus L.) Kurshskogo zaliva Baltiyskogo moray. Diss. dokt. biol. nauk* [Ecological, biological and biotechnological bases for the reproduction of whitefish (*Coregonus Lavaretus* L.) in the Curonian Lagoon of the Baltic Sea. Dis. dr. biol. sci.]. Kaliningrad, 2016, 160 p.

5. Mezenova O. Ya., Heling A., Moerzel T. Biopotentsial vtorichnogo rybnogo syr'ya [Biopotential of secondary fish raw materials]. *Izvestiya vuzov. Food technology*. 2018, no. 1, pp. 11–18.

6. Mezenova O. Ya., Pyanov D. S., Agafonova S. V., Romanenko N. Yu., Volkov V. V., Kalinina N. S. Primeneniye produktov gidroliza shprotnykh otkhodov pri kormlenii yevropeyskogo siga *Coregonus lavaretus* v akvakul'ture [Application of hydrolysis products of sprat waste when feeding the European whitefish *Coregonus lavaretus* in aquaculture]. *Fisheries*. 2022, no. 3, pp. 54–61.

7. Mezenova O. Ya., Baydalinova L. S., Agafonova S. V., Mezenova N. Yu., Gorodnichenko L. V., Kalinina N. S., Volkov V. V., Grimm T., Höling A. Sposob polucheniya pishchevykh dobavok iz vtorichnogo kopchenogo rybnogo syr'ya [Method for obtaining food additives from secondary smoked fish raw materials]. Patent RF, no. 2681352 / 07, 2020.

8. Grishin D. V., Podobed O. V., Gladilina Yu. A., Pokrovskaya M. V., Aleksandrova S. S. et al. Bioaktivnyye belki i peptidy: sovremennoye sostoyaniye i novyye tendentsii prakticheskogo primeneniya v pishchevoy promyshlennosti i kormoproizvodstve [Bioactive proteins and peptides: current state and new trends in practical ap-

plication in the food industry and feed production]. *Food Issues*. 2017, vol. 86, no. 3, pp. 20–31.

9. Mezenova O. Ya. Biotekhnologicheskie sposoby polucheniya proteinovykh i belkovo-mineral'nykh dobavok iz vtorichnogo rybnogo syr'ya koptil'nykh proizvodstv [Biotechnological methods for obtaining protein and protein-mineral supplements from secondary fish raw materials of smoke production]. *Izvestiya vuzov. Food technology*. 2019, no. 2–3, pp. 68–71.

10. Razinkov V. P., Paritsky Yu. A., Mikhailova A. V., Khursanov A. S., Grosescu Yu. N. Sostoyaniye zapasov, faktory vneshney sredy i effektivnost' vosproizvodstva populyatsii anchousovidnoy kil'ki (*Clupeonella engrauliformis* Borodin) v sovremennykh usloviyakh [The state of stocks, environmental factors and efficiency of reproduction of the population of anchovy kilka (*Clupeonella engrauliformis* Borodin) in modern conditions]. *Fisheries*. 2021, no. 6, pp. 76–80.

11. Lyutikov A. A. Vvedeniye zhirnykh kislot ryada omega-3 v sostav kormov dlya lichinok muksuna [Introduction of fatty acids of the omega-3 series into the composition of feed for muksun larvae]. *Problems of fishing*. 2019, vol. 20, no. 1, pp. 123–127.

12. Khnychenko L. K., Sapronov N. S. Farmakologicheskaya aktivnost' aminokisloty taurin [Pharmacological activity of the amino acid taurine]. *Obzory po klinicheskoy farmakologii i lekarstvennoy terapii*. 2004, vol. 3, no. 4, pp. 13–19.

13. Slizyte R., Rommi K., Mozuraityte R., Eck P., Five K., Rustad T. Bioactivities of fish protein hydrolysates from defatted salmon backbones. *Biotechnology Reports*. 2016, vol. 11, pp. 99–109.

Информация об авторах

О. Я. Мезенова – доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой пищевой биотехнологии

Д. С. Пьянов – кандидат биологических наук, начальник сектора аквакультуры

С. В. Агафонова – кандидат технических наук, доцент кафедры пищевой биотехнологии

Н. Ю. Романенко – кандидат технических наук, доцент кафедры пищевой биотехнологии

В. В. Волков – директор Центра передовых технологий использования белков

Н. С. Калинина – заведующая лабораториями

Й.-Т. Мерзель – генеральный директор

Information about the authors

O. Ya. Mezenova – Doctor of Sciences in Engineering, Professor, Head of the Department of Food Biotechnology

D. S. Pyanov – PhD in Biological Sciences, Head of Aquaculture Sector

S. V. Agafonova – PhD in Engineering, Associate Professor of the Department of Food Biotechnology

N. Yu. Romanenko – PhD in Engineering, Associate Professor of the Department of Food Biotechnology

V. V. Volkov – Director of the Center for Advanced Technologies in the Use of Protein

J.-T. Moerzel – Doctor of Sciences Chemistry, Managing Director

Статья поступила в редакцию 10.08.2022; одобрена после рецензирования 15.08.2022; принята к публикации 16.09.2022.

The article was submitted 10.08.2022; approved after reviewing 15.08.2022; accepted for publication 16.09.2022.

Научная статья
УДК 595.531.12
DOI 10.46845/1997-3071-2022-67-48-60

**Состав пищи камчатского краба *Paralithodes camtschaticus* (Tilesius 1815)
(Crustacea, Decapoda, Anomura) в губе Зеленой Баренцева моря
летом 2015 и 2016 гг.**

Наталья Сергеевна Пушкина

Калининградский государственный технический университет, Калининград,
Россия,
natalya.pushkina@klgtu.ru

Аннотация. Изучен состав пищи камчатского краба *Paralithodes camtschaticus* (Tilesius 1815) из губы Зеленой Баренцева моря. Материал был собран в августе 2015 (44 особи) и в июле 2016 гг. (24 особи). Размер крабов колебался в пределах 40–200 мм. Камчатский краб – эписбенитофаг. Среди его жертв доминируют моллюски (в основном двустворчатые), бурые и красные водоросли, иглокожие. Кроме того, в пище встречаются фораминиферы, полихеты, бокоплавы (Caprellida), усоногие раки и детрит. Межгодовые вариации состава пищи камчатского краба в губе Зеленой незначительны и формируются лишь за счет второстепенных объектов питания. Коэффициент Фроермана (среднее количество жертв в одном желудке) у камчатского краба составляет 5,91–6,06, что почти в 3 раза выше, чем у креветок (хищников-собирателей). Исходя из этого *P. camtschaticus* может быть отнесен к хищникам-собирателям. Состав диеты камчатского краба в губе Зеленой за год фактически не изменился, хотя из него выпали краб, немертины, актиния, яйцевые капсулы – случайные объекты питания. Однако несколько изменились соотношения между отдельными объектами питания у разновозрастных групп краба. По этому признаку доминирующие и второстепенные объекты питания можно разделить на несколько групп. Это, с одной стороны, моллюски (частота встречаемости которых уменьшилась на одну треть), занимавшие в виртуальном пищевом комке более половины его объема у молоди и лишь одну треть – у взрослых, а с другой стороны, фораминиферы и мшанки, полностью исчезнувшие из него. Напротив, частота встречаемости морской капусты возросла в 3 раза, а рыбы – в 2 раза, но их роль в питании краба не изменилась. Водоросли, например, теперь занимают не 7,1 % от объема пищевого комка, а четверть, т. е. в три раза больше, чем в 2015 г. Вероятно, это следствие пространственного разобщения относительно мелких и более крупных особей.

Ключевые слова: камчатский краб, *Paralithodes camtschaticus*, губа Зеленая, состав пищи, частота встречаемости, наполнение желудка, детрит

Благодарности: автор выражает благодарность Спиридонову Василию Альбертовичу, доктору биологических наук (ИОРАН), который предоставил автору возможность участвовать в экспедиции на Баренцево море в июле 2016 г., а также Т. И. Антохиной и Ю. В. Деарту (Институт проблем экологии и эволюции

им. А. Н. Северцова РАН), выполнившим все водолазные работы по сбору материалов для данной статьи, А. Залота (Институт океанологии РАН) за собранный материал в 2015 г. Искренняя благодарность Р. Н. Буруковскому (КГТУ), который обучил автора методикам исследования состава пищи десятиногих раков, помог в обработке материалов и сделал ряд важных замечаний по рукописи, и Ч. М. Нигматуллину (АтлантНИРО), оказавшему помощь в решении возникших проблем с переводом на английский язык.

Для цитирования: Пушкина Н. С. Состав пищи камчатского краба *Paralithodes camtchaticus* (Tilesius 1815) (Crustacea, Decapoda, Anomura) в губе Зеленой Баренцева моря летом 2015 и 2016 гг. // Известия КГТУ. 2022. № 67. С. 48–60. DOI: 10.46845/1997-3071-2022-67-48-60.

Original article

Food composition of Red King crab *Paralithodes camtchaticus* (Tilesius 1815) (Crustacea, Decapoda, Anomura) of the Zelyonaya inlet of the Barents sea in the summer of 2015 and 2016

Natalya S. Pushkina

Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia,
natalya.pushkina@klgtu.ru

Abstract. Food composition of the Red King crab *Paralithodes camtchaticus* (Tilesius 1815) collected in the Zelyonaya inlet of the Barents Sea has been studied. The studied samples include 44 specimens that were collected in August 2015, and 24 specimens – in July 2016. The crab size varies within 40-200 mm. Red King crab is an epibenthophagus. Among its food mollusks (mainly bivalves), brown and red algae, and echinoderms are dominated. In addition, foraminifera, polychaetes, amphipods (Caprellida), barnacles and detritus have been found. The Froerman coefficient (the average number of food's taxon in one stomach) varied in the range of 5.91-6.06, which is almost 3 times higher than in shrimps (predator-gatherers). Based on this data, *P. camtchaticus* can also be attributed to the predator-gatherers. The inter-annual variations in the food composition of the studied crab in the Zelyonaya inlet are insignificant and it had exercised only for the secondary food items. Among food, crabs, nemertean, sea anemones, egg capsules (accidental food items) were absent. However, the ratios between some food items in different crab age groups had slightly changed. Based on this criterion, the dominant and secondary food items can be divided into the following groups. On the one hand, these are mollusks (the frequency of which has decreased by one third), which occupy more than half of its volume in the virtual food bolus in juveniles and only one third in adults, on the other hand, foraminifera and bryozoans, which have completely disappeared from it. On the contrary, the frequency of occurrence of seaweed has increased three times, and fish – two times, but their role in the crab's diet has not changed. The frequency of occurrence of algae, detritus and sea urchins has not changed, but despite this, their role in the composition of food, judging by the proportion of volume occupied by them in full stomachs, changes dramatically in mature specimens. Algae, for example, occupy a quarter of its volume, (not 7,1 % of the VEL), i.e.

three times more than in 2015. This is probably a consequence of the spatial separation of relatively small and large crab groups.

Keywords: Red King crab, *Paralithodes camchaticus*, Zelyonaya inlet of the Barents Sea, food composition, frequency of occurrence, stomach filling, detritus

Acknowledgments: the author expresses gratitude to Vasily Albertovich Spiridonov (Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences), who gave us the opportunity to participate in an expedition to the Barents Sea in July 2016, and also T. I. Antokhina and Yu. V. Deart (A. N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution of the Russian Academy of Sciences), performed all the diving work to collect materials for this article, A. Zalota (Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences), for the collected material in 2015. I express my sincere gratitude to R. N. Burukovsky (KSTU) who taught us the methods of studying the composition of the food of ten-legged crayfish, helped in the processing of materials, read the manuscript and made a number of important comments, and Ch. M. Nigmatullin (AtlantNIRO), for improving English in earlier draft. The author sincerely thanks all of the above. They taught us a lot, and without them this article could not have seen the light.

For citation: Pushkina N. S. Food composition of Red King crab *Paralithodes camchaticus* (Tilesius 1815) (Crustacea, Decapoda, Anomura) of the Zelyonaya inlet of the Barents sea in the summer of 2015 and 2016. *Izvestiya KGTU = KSTU News*. 2022; (67):48–60. (In Russ). DOI: 10.46845/1997-3071-2022-67-48-60.

ВВЕДЕНИЕ

Камчатский краб *Paralithodes camtschatica* (Tilesius 1815) – один из важнейших промысловых объектов, только в Баренцевом море в 2021 г. его было разрешено выловить 24 тыс. т [1]. Интродуцированный туда в 60-х годах прошлого столетия, он успешно акклиматизировался и к настоящему моменту образовал самовоспроизводящуюся популяцию на акватории от Лофотенских островов на западе до арх. Новая Земля на востоке [2, 3]. Появление мощной популяции нового для Баренцева моря вида не могло не сказаться на состоянии трофических сетей региона. Поэтому большое значение приобрели исследования состава его пищи в Баренцевом море, выполненные Л. В. Павловой [4].

Целью работы было изучение питания краба в одном из небольших заливов – губе Зеленой, представляющей собой так называемый ковшевидный фьорд, находящийся в состоянии постепенного отдаления от моря [5, 6].

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Материалы для изучения питания камчатского краба собраны научным сотрудником лаборатории прибрежных сообществ ИОРАН А. Залота в губе Зеленой Баренцева моря в августе 2015 г. (44 экз.) и водолазами Т. И. Антохиной, Ю. В. Деартом, В. А. Спиридоновым там же в июле 2016 г. (22 экз.). Они были зафиксированы на месте 4 %-м раствором формальдегида. Изучение состава пищи производили по методике Р. Н. Буруковского [7].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ КРАТКАЯ БИОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Среди исследованных в 2015 г. особей камчатского краба были 31 самка (из них 20 – с яйцами) и 13 самцов, остальные 11 особей можно отнести к молодежи. Размеры самок варьировали от 40 до 200, самцов – от 46 до 200 мм. У самок с яйцами преобладали особи с длиной тела 141–145, а среди самцов – 67–69 мм.

В числе крабов, исследованных в 2016 г., были 10 самок и 14 самцов. Размеры тела самок варьировали от 37,6 до 54,0, а самцов – от 34,4 до 89 мм.

ИНТЕНСИВНОСТЬ ПИТАНИЯ КАМЧАТСКОГО КРАБА В 2015 И 2016 ГГ.

В 2015 г. самки камчатского краба питались интенсивнее самцов (45,2 % полных желудков против 15,4 %). Полные желудки зафиксированы у 12 самок из 31, тогда как у самцов они были отмечены всего у двух особей из 13. Если же добавить к ним и желудки, пища в которых занимала примерно половину (от одной до двух третей) объема желудка, то можно заключить, что более активно из числа самцов питались меньше половины особей (38,5 %), тогда как самок – 80,6 %. Единственный пустой желудок тоже принадлежал самцу. Почти треть (36,4 %) исследованных камчатских крабов имела полные желудки [8]. В 2016 г. самцы питались интенсивнее самок (23,1 % полных желудков против 0 %). Полные желудки были встречены у пяти самцов из 14, тогда как самок с полными желудками отмечено не было. Третья часть самок и самцов питалась активно (30,0 и 30,2 %). Можно заключить, что общая интенсивность питания камчатского краба в 2015 и 2016 гг. была примерно одинакова.

СОСТАВ ПИЩИ КАМЧАТСКОГО КРАБА В 2015 И 2016 ГГ.

Ранее мы исследовали состав пищи камчатского краба *Paralithodes camtschaticus*, собранного летом 2015 г. Все компоненты питания были разделены на несколько групп: песчинки, известковые остатки; детрит; бурые и красные водоросли; остатки неопределенных ракообразных; фрагменты животных, чей таксономический статус можно определить хотя бы до класса (например, Bivalvia) или отряда (Amphipoda, Copepoda).

С описанием состава пищи в 2015 г. подробно предлагается ознакомиться в статье [8].

Первое место по частоте встречаемости (ЧВ) занимали водоросли (93,0 %), второе – моллюски (76,7 %), третье – детрит (65,1 %).

В виртуальном пищевом комке (ВПК) камчатского краба преобладали моллюски (41,3 %), второе и третье места делили водоросли (20,6 %) и детрит (10 %).

Второстепенные объекты питания, которые встречались в каждом втором-третьем желудках, таковы: офиуры (53,5 %), полихеты (44,2 %), красные водоросли (41,9 %), морские ежи (37,2 %).

К пищевым объектам, попадающимся время от времени, относятся: морская капуста, нитчатые водоросли, насекомые, мшанки, усонogie раки, рыба. Прочие пищевые объекты, составлявшие менее 10 %, мы отнесли к случайным.

Если рассматривать ЧВ пищевых объектов более узко, то доминировали в них двустворчатые моллюски, присутствовавшие практически в каждом желудке (76,7 %), бурые водоросли (67,4 %), брюхоногие моллюски (65,1 %) (табл. 1) [8].

Таблица 1. Видовой состав и частота встречаемости водорослей и моллюсков в желудках *P. camtschatica* в 2015 и 2016 гг.

Table 1. Species composition and frequency of occurrence of algae and mollusks in the stomachs of red king crab *P. camtschatica* in 2015 and 2016

Объект питания	Частота встречаемости в 2015 г., %	Частота встречаемости в 2016 г., %
Bivalvia	76,7	75,0
Бурые водоросли	67,4	62,5
Gastropoda	65,1	50,0
Красные водоросли	41,9	12,5
Нитчатые водоросли	16,3	25,0
Одноклеточная водоросль	-	6,3
Всего желудков, экз.	43	16

Коэффициент Фроермана очень высокий – 5,91.

Пищевые комки *P. camtschatica* в 2016 г. имели темно-коричневый цвет. В них был хорошо заметен детрит в виде черно-коричневой кашицеобразной, иногда светло-серой, бесструктурной массы, в которой время от времени встречались песчинки. Последние найдены более чем в половине исследованных желудков. Их размер колебался от 0,05 до 0,7 мм, т. е. по классификации морских обломочных осадков в зависимости от их гранулометрического состава, среди песчинок присутствовали и крупные алевриты, и песчинки, относимые к мелким, средним и крупным псаммофитам [9]. Однако в основном в их числе преобладали песчинки с размерами 0,1–0,2 мм, что соответствует мелким псаммофитам. Следовательно, в 2016 г. крабы питались на более тонких субстратах, чем в 2015 г.

В каждом желудке у камчатского краба попадались фораминиферы. Их количество варьировало от единичных особей до 30 экз., а размеры – от 0,07 до 0,5 мм. Преобладал таксон *Nonion stelligerum* от 0,07 до 0,5 мм. В меньшем количестве найдены *Eponides korsteni* (0,2–0,4 мм) и *Cibicides sp.* (0,1–0,3 мм). Другими заметными компонентами пищевого комка были моллюски (Gastropoda и Bivalvia) и водоросли.

Двустворчатые моллюски представлены обломками раковин *Clinocardium ciliatum*, *Saxicava (Panomia)*, *Pandora glacialis*, *Cardium echinatum*, *Mytilus edulis*, *Chlamis islandica* размером 0,1–2,8 мм. Вероятно, крабы питались молодью моллюсков. Из брюхоногих моллюсков были найдены *Hydrobia ulvae*, *Margarites sp.*, *Margarites olivaceus*, *Sipho curtus*, *Musculus laevigatus*, *Trochidae gen. sp.* В виде обломков раковин, а также оперкулумы *Margarites olivaceus* (размер 0,5 мм) и *Trochidae gen. sp.* (2,2; 2,5; 2,7 мм). Следовательно, данные особи были съедены живыми. Вероятно, эти моллюски тоже относились к молодежи.

Среди растительных остатков чаще всего встречаются красные – *Polysiphonia stricta*, нитчатые, одноклеточные и бурые водоросли – *Desmarestia aculeata*, ламинария, *Ectocarpus fasciculatus*, *Ascophyllum nodosum*.

Среди остатков иглокожих найдены иглы морского ежа (от 0,4 до 3,5 мм) и фрагменты большого количества панцирей офиур (0,6 мм). Кроме того, попадались ацикулы эррантных полихет (длиной 1,3; 3,0; 3,3 мм). Седентарные полихеты *Pectinaria koreni* были представлены целым телом и их фрагментами, а также щетинками и обломками трубок, в которых они живут. Также были отмечены мшанка *Menipea ternate* и гидроидные полипы.

Гидроидных полипов (ЧВ – 12,5 %) и веслоногих рачков (6,3 %) можно отнести к случайным объектам питания. Песчинки, как и фораминиферы, водоросли, моллюски и офиуры, встречались практически в каждом желудке (87,5 %). Вероятно, они были захвачены крабом в процессе питания случайно.

Первое место по ЧВ занимали фораминиферы (93,8 %), второе – водоросли (87,5 %), моллюски (81,3 %) и детрит (81,3 %), третье – офиуры (75,0 %).

Если рассматривать ЧВ пищевых объектов более узко, то среди моллюсков абсолютно преобладали *Bivalvia* (75,0 %), а среди водорослей – бурые (62,5 %) (табл. 1).

В виртуальном пищевом комке (ВПК) *P. camtschatica* наблюдалась несколько иная картина. Фораминиферы, которые, как отмечено ранее, лидировали, составляли всего 4,0 % его объема. Доминировали моллюски, занимавшие его половину – 46,0 % (с учетом небольшого количества полных желудков). На втором месте были офиуры (20 %) и песчинки (16,0 %), на третьем – детрит (10 %). Вместе моллюски, офиуры и детрит составляли около 80 % объема пищевого комка. Все остальные пищевые объекты играли второстепенную роль. Коэффициент Фроермана равен 6,06.

ОНТОГЕНЕТИЧЕСКАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ СОСТАВА ПИЩИ КАМЧАТСКОГО КРАБА ЛЕТОМ 2015 И 2016 ГГ.

Состав диеты камчатского краба в губе Зеленой за год фактически не изменился. Из него выпали краб, немертины, актиния, яйцевые капсулы – случайные объекты питания, попавшие в желудки в небольших количествах. Точно также среди новых компонентов пищи оказались совершенно случайные объекты – клещ и олигохеты. Клещ явно был смыт мертвым с берега, а олигохеты тяготели к пресным или опресненным водам. Однако соотношения между отдельными объектами питания у разновозрастных групп краба несколько изменились, по этому признаку доминирующие и второстепенные объекты питания можно разделить на следующие группы, в которых:

– **ЧВ данных объектов у взрослых крабов заметно изменилась в ту или иную сторону.**

Это моллюски, уменьшившиеся на одну треть ЧВ, занимавшие в ВПК более половины объема у молодежи и лишь одну треть – у взрослых, фораминиферы и мшанки, которые полностью исчезли из ВПК.

И напротив, ЧВ морской капусты возросла в 3, а рыбы – в 2 раза, но их роль в питании краба не изменилась;

– **ЧВ данного пищевого объекта не изменилась.**

К этой категории можно отнести водоросли, детрит и морских ежей.

Бросается в глаза тот факт, что роль этих пищевых объектов в составе пищи, судя по доле объема, занимаемого ими в полных желудках, резко меняется у

половозрелых особей. Водоросли, например, теперь заняли не 7,1 % от объема пищевого комка, а его четверть, что в три раза больше, чем в 2015 г. (табл. 2). Напротив, моллюски стали встречаться несколько реже, соответственно, уменьшилась их роль в составе ВПК.

Таблица 2. Онтогенетическая вариация состава пищи камчатского краба, собранного в 2015 и 2016 гг.

Table 2. Ontogenetic variation in the food composition of red king crab collected in 2015 and 2016

Объект	Размер камчатского краба, мм		Размер камчатского краба, мм	
	34,4–89,5	112–200	34,4–89,5	112–200
	Частота встречаемости, %		Виртуальный пищевой комок, %	
Водоросли	92,8	85,7	7,1	22,3
Моллюски	82,1	64,2	52,9	36,9
Детрит	82,1	82,1	14,3	8,5
Фораминиферы	82,1	64,2	4,3	-
Офиуры	64,2	60,7	10,0	6,9
Полихеты	25,0	46,4	-	3,1
Морской еж	46,4	42,8	-	10,8
Морская капуста	3,5	21,4	-	-
Асцидия	3,5	7,1	-	-
Рыба	7,1	14,3	-	-
Насекомые	10,7	7,1	4,3	0,8
Усоногие раки	7,1	10,7	-	3,8
Мшанка	21,4	10,7	-	-
Голотурия	3,5	7,1	-	3,8
Креветка	7,1	3,5	-	-
Неопределенные ракообр.	3,5	7,1	-	-
Amphipoda	3,5	3,5	-	-
Soropoda	3,5	7,1	-	-
Коралл	-	3,5	-	-
Краб	3,5	-	-	-
Немертины	3,5	-	-	-
Актиния	3,5	-	-	-
Клещ	-	3,5	-	-
Олигохета	-	7,1	-	-
Песчинки	78,5	64,2	7,1	0,8
Неопределенные остатки	32,1	25,0	-	-
Известковые остатки	3,5	7,1	-	2,3
Яйцевые капсулы	7,1	-	-	-
Всего желудков, экз.	28	28	7	13

Наблюдалось изменение доступности в ту или другую сторону перечисленных выше пищевых объектов. Вероятно, это следствие пространственного разобщения относительно мелких и более крупных особей. Думается, причиной может служить избегание внутривидовой конкуренции из-за пищи между разными возрастными группами.

ДИНАМИКА ИЗМЕНЧИВОСТИ СОСТАВА ПИЩИ КАМЧАТСКОГО КРАБА В 2015 И 2016 ГГ.

Среди растительных объектов питания краба отмечены мелкие водоросли или небольшие фрагменты относительно крупных водорослей, а также беспозвоночных или же молодь моллюсков, иглокожих, эпибентосных полихет. Следовательно, краб – потребитель эпибентосных организмов как растительного, так и животного происхождения.

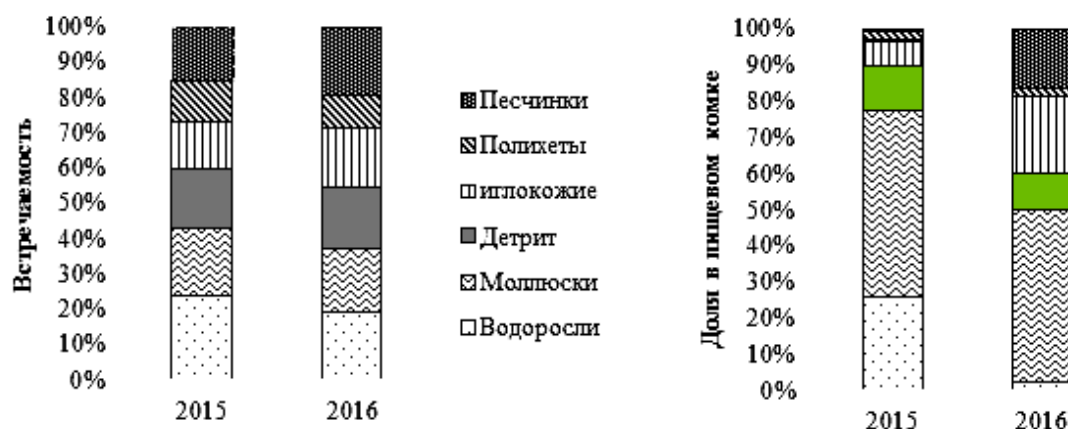


Рис. Значение разных групп пищевых объектов в составе виртуального пищевого комка

Fig. The role of different groups of food objects in a virtual food lump

И в 2015, и в 2016 гг. главные и второстепенные объекты питания краба совпадали полностью. Мелкие межгодовые различия в видовом составе съеденных водорослей мы не принимали во внимание. Различия в составе пищи приходились на спорадически встречающиеся и случайные объекты питания. Но ЧВ отдельных групп пищевых объектов заметно варьировала. Так, в 2015 г. лишь водоросли были найдены буквально в каждом желудке (93,0 %), сопутствующие им пищевые объекты (моллюски, фораминиферы, офиуры, детрит, полихеты, морской еж) встречались в полтора-два раза реже. В 2016 г. ЧВ всех основных объектов питания (и доминирующих, и второстепенных) возросла в полтора раза, а такого спорадического объекта питания, как мшанки, – почти в три раза. Что касается песчинок, то их количество тоже увеличилось, как и детрита. Это позволяет предположить, что они – спутники детрита и попадают в желудок краба вместе с ним. Кроме того, изменение частоты встречаемости детрита и гранулометрического состава песчинок, найденных в желудках, говорит о том, что крабы питались на несколько отличающихся друг от друга субстратах и что места сбора материалов в 2015 и 2016 гг. не совсем совпадают. Доля разных групп пищевых объектов в составе ВПК тоже менялась. Небольшое количество полных желудков, собранных в 2016 г., говорит только о тенденциях, но и в 2015, и в 2016 гг. половину объема желудка занимали моллюски (41,3 и 46 % соответственно) (рис.). Существенно, в 10 раз, упала доля водорослей (20,6 и 2,0 % соответственно), но их место заняли иглокожие, сильно возросло количество песка (0,6 и 16,0 % соот-

ветственно, т. е. в 32 раза). Зато для двух лет полностью совпали доли детрита (10 %). Это подтверждает предположение о том, что крабы в 2016 г. были собраны на участке дна с другим, более жестким, грунтом, содержащим больше песка, что и привело к разобщению разных возрастных групп крабов и избеганию ими внутривидовой конкуренции из-за пищи.

Несмотря на выделенные небольшие различия, можно подтвердить, что камчатский краб в Баренцевом море – эпибентофаг, питающийся в первую очередь моллюсками, иглокожими, широким спектром водорослей, полихетами (эти группы составляют более 65 % объема пищевого комка краба). Все они относятся к относительно малоактивному эпибентосу.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

Итак, *P. camtschatica* в губе Зеленой ведет себя как хорошо выраженный эпибентофаг, питающийся как растительной, так и животной пищей, демонстрирует стратегию питания хищника-собираателя с очень высоким коэффициентом Фроермана (6,06). Спектр его питания чрезвычайно широк [7].

Однако нельзя забывать, что камчатский краб ранее был широко распространенным тихоокеанским, амфи-бореальным видом, ныне освоившим Баренцево море. Вдоль материкового побережья Дальнего Востока он распространен от зал. Унковского (Корейский п-ов) на юге до о-ва Карагинский у восточного побережья Камчатки, а также у тихоокеанского и охотоморского побережий о-ва Хоккайдо, западного и восточного Сахалина, Южных и Северных Курильских островов, вдоль американского побережья от зал. Нортон до Британской Колумбии [2, 3].

Таблица 3. Сравнительная характеристика частоты встречаемости главных и второстепенных объектов питания Дальневосточного краба и крабов открытых районов Баренцева моря [11, 12]

Table 3. Frequency of occurrence of the main and secondary food items of the Far Eastern crab and crabs in the open regions of the Barents Sea

Объект	Губа Зеленая Баренцева моря (наши данные 2015, 2016 гг.)	У западного побережья Камчатки (В. Ф. Фенюк, 1933 г.)	У западного побережья Камчатки (М. И. Тарвердиева: август-сентябрь 1966 г.)	У Курильских островов (М.С. Кун, Л.В. Микулич, 1948 г.)
Водоросли	89,3	3,0	12,0	6,24
Детрит	82,1	–	–	3,12
Фораминиферы	73,2	–	16,0	–
Моллюски	73,2	71,0	60,0	78,12
Офиуры	62,5	–	46,0	–
Песчинки	71,4	–	80,0	5,20
Hydrozoa	7,1	16,0	61,0	54,6
Ракообразные	15,6	56,0	76,0	4,16
Всего желудков, экз.	56	–	100	–

Возникает вопрос: а изменился ли состав пищи этого вида в новых местах обитания? Для ответа автор сопоставил состав пищи краба из нативной части арела и из губы Зеленой. С этой целью использовали данные по главным и второстепенным объектам питания краба в губе Зеленой Баренцева моря и сравнили их с таковыми у западного побережья Камчатки (по данным Фенюк, 1933 г. и М. И. Тарвердиевой в августе-сентябре 1966 г.) и побережья Курильских островов (данные М. С. Кун, Л. В. Микулич, наблюдения 1948 г.) (табл. 3). Данные Герасимовой и Кочанова по составу пищи краба из открытых районов Баренцева моря мы не смогли привлечь для анализа, так как они были собраны по другой методике и преимущественно с глубин более 100 м [10].

Как видно из таблицы, данные по разным регионам отличаются не только географически, но и темпорально. Однако существует представление о так называемой темпоральной квазистационарности (то есть стабильности во времени) состава пищи, обнаруженной у креветок [13].

К сожалению, нельзя судить о точности определения частот встречаемости в литературных источниках. Но хорошо заметно, что моллюски встречались в желудках камчатского краба (по всем наблюдениям) практически с одинаковой частотой 60,0–78,12 %, как и ЧВ офиур – 62,54 и 46,0 %.

С другой стороны, *P. camtschatica* в Зеленой губе очень активно питался водорослями и детритом, тогда как на Дальнем Востоке они играют роль случайных объектов питания или же слабо доступны для краба. И напротив, относительно редко в пищевых комках встречались ракообразные, которые у крабов Охотского моря попадались в каждом втором желудке.

Что же касается тех объектов питания, ЧВ которых отличается не только в губе Зеленой, но и в разных районах Охотского моря, то, возможно, это объясняется колебаниями их доступности от региона к региону, например, из-за особенностей субстрата.

Мы наблюдали подобное у крабов губы Зеленой, где соотношение разных объектов питания в пище колеблется из года в год у особей с разными размерами тела (см. выше, табл. 3).

ВЫВОДЫ

1. Камчатский краб в губе Зеленой Баренцева моря питается преимущественно эпибентосными организмами: водорослями и двустворчатыми моллюсками. Им сопутствуют детрит, брюхоногие моллюски, фораминиферы.

2. Для краба характерна значительная пищевая пластичность и, возможно, низкая избирательность.

3. Межгодовые вариации в питании камчатского краба в губе Зеленой относительно невелики и возникают лишь за счет второстепенных объектов питания. Соотношения между отдельными объектами питания у разновозрастных групп краба изменились из-за того, что объекты исследования пространственно разделены.

4. Коэффициент Фроермана (среднее количество жертв в одном желудке) у камчатского краба составляет 5,91–6,06, что почти в 3 раза выше, чем у креветок (хищников-собираателей) [7].

Список источников

1. Крабовые квоты: Fishnews. URL: <https://fishnews.ru> > rubrics > krabovye-kvoty (дата обращения: 10.04.2021).
2. Баканаев С. В. Динамика популяции камчатского краба (*Paralithodes camtschaticus*) в Баренцевом море (опыт моделирования): дис. ... канд. биол. наук: 03.00.00. Мурманск, 2009. 142 с.
3. Беренбойм Б. И. Камчатский краб в Баренцевом море. Мурманск: Изд-во ПИНРО, 2003. 383 с.
4. Павлова Л. В. Экспериментальные исследования питания молоди камчатского краба (*Paralithodes camtschaticus*) из Баренцева моря // Зоологический журнал. 2007. Т. 86. № 6. С. 684–690.
5. Деарт Ю. В., Антохина Т. И., Спиридонов В. А. Динамика гидрологического режима и распределение макрозообентоса в губе Зеленой (Восточный Мурман) Баренцева моря // (30 октября–2 ноября 2017 г.): тр.: VI Международная науч.-практ. конф. "Морские исследования и образование". Тверь: ООО "ПолиПРЕСС", 2017. С. 447–451.
6. Деарт Ю. В., Антохина Т. И., Спиридонов В. А. Сезонное распределение камчатского краба в районе губы Зеленой Баренцева моря. Промысловые виды и их биология // Труды ВНИРО. 2018. Т. 172. С. 149–159.
7. Буруковский Р. Н. Питание и пищевые взаимоотношения креветок: монография. Калининград: Изд-во ФГОУ ВПО "КГТУ", 2009. 409 с.
8. Пушкина Н. С. Состав пищи камчатского краба *Paralithodes camtschatica* (Tilesius, 1815) в августе 2015 года из губы Зеленой (Баренцево море). Калининград: Вестник молодежной науки, 2017. С. 7.
9. Петелин В. П. Гранулометрический анализ морских донных осадков. Москва: Наука, 1967. С. 128.
10. Герасимова О. В., Кочанов М. А. Трофические взаимоотношения камчатского краба *Paralithodes camtschatica* в Баренцевом море. Исследования промысловых беспозвоночных в Баренцевом море // Изд-во ПИНРО. 1997. С. 35–58.
11. Кун М. С., Микулич Л. В. Состав пищи Дальневосточных промысловых крабов в летний период // Известия ТИНРО. 1954. Т. 41. С. 319–332.
12. Тарвердиева М. И. Распределение и питание мальков камчатского краба *Paralithodes camtschatica* у Западного побережья Камчатки // Труды ВНИРО. 1974. Т. 99. С. 54–62.
13. Буруковский Р. Н. Биологическая характеристика и питание креветки *Crangon crangon* (Decapoda, Crangonidae) у полуострова Киндо (Белое море, июль–август 2006–2007) // Зоологический журнал. 2022. Т. 101, № 1. С. 1–9.

References

1. Krabovyye kvoty: Fishnyus [Crab quotas: Fishnews]. Available at: <https://fishnews.ru <rubrics>krabovye-kvoty> (Accessed 10 April 2021).
2. Bakanaev S. V. *Dinamika populyatsii kamchatskogo kraba (Paralithodes camtschaticus) v Barentsevom more (opyt modelirovaniya)*. Diss. kand. biol. nauk. [Population dynamics of the Red King crab (*Paralithodes camtschaticus*) in the Barents Sea (modeling experience). Dis. cand. biol. sci.]. Murmansk, 2009, 142 p.
3. Berenboim B. I. *Kamchatskiy krab v Barentsevom more* [Kamchatka crab in the Barents Sea]. Murmansk, PINRO Publ., 2003, 383 p.
4. Pavlova L. V. Eksperimental'nyye issledovaniya pitaniya molodi kamchatskogo kraba (*Paralithodes camtschaticus*) iz Barentseva morya [Experimental studies of feeding of juvenile Kamchatka crab (*Paralithodes camtschaticus*) from the Barents Sea]. *Zoologicheskii zhurnal*, 2007, vol. 86, no. 6, pp. 684–690.
5. Deart Yu. V., Antokhina T. I., Spiridonov V. A. Dinamika gidrologicheskogo rezhima i raspredeleniye makrozoobentosa v gube Zelenoy (Vostochnyy Murman) Barentseva morya [Hydrological regime dynamics and distribution of macrozoobenthos in the Zelyonaya inlet (Eastern Murman) of the Barents Sea]. *Trudy VI Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Morskiye issledovaniya i obrazovaniye" (30 oktyabrya-2 noyabrya 2017 g.)* [Proceeding of the 6th International Scientific and Practical conference "Marine research and education", October 30–November 2, 2017]. Tver, OOO "Po-liPRESS", 2017, pp. 447–451.
6. Deart Yu. V., Antokhina T. I., Spiridonov V. A. Sezonnoye raspredeleniye kamchatskogo kraba v rayone guby Zelenoy Barentseva morya. Promyslovyye vidy i ikh biologiya [Seasonal distribution of Kamchatka crab in the area of the Zelyonaya inlet of the Barents Sea. Commercial species and their biology]. *Trudy VNIRO*, 2018, vol. 172, pp. 149–159.
7. Burukovskiy R. N. *Pitaniye i pishchevyye vzaimootnosheniya krevetok* [Feeding and food relationships of shrimps]. Kaliningrad, Izd-vo FGOU VPO "KGTU", 2009, 409 p.
8. Pushkina N. S. Sostav pishchi kamchatskogo kraba *Paralithodes camtschatica* (Tilesius, 1815) v avguste 2015 goda iz guby Zelenoy (Barentsevo more) [Food composition of the Kamchatka crab *Paralithodes camtschatica* (Tilesius, 1815) in August 2015 from the Zelyonaya inlet (Barents Sea)]. Kaliningrad, *Vestnik molodezhnoy nauki*, 2017, p. 7.
9. Petelin V. P. *Granulometricheskii analiz morskikh donnykh osadkov* [Granulometric analysis of marine bottom sediments]. Moscow, Nauka, 1967, 128 p.
10. Gerasimova O. V., Kochanov M. A. *Troficheskiye vzaimootnosheniya kamchatskogo kraba Paralithodes camtschatica v Barentsevom more. Issledovaniya promyslovykh bespozvonochnykh v Barentsevom more* [Trophic relationships of the king crab *Paralithodes camtschatica* in the Barents Sea. Research of commercial invertebrates in the Barents Sea]. PINRO Publ., 1997, pp. 35–58.
11. Kuhn M. S., Mikulich L. V. Sostav pishchi dal'nevostochnykh promyslovykh krabov v letniy period [Food composition of the Far Eastern commercial crabs in summer]. *Izvestiya TINRO*, 1954, vol. 41, pp. 319–332.
12. Tarverdieva M. I. Raspredeleniye i pitaniye mal'kov kamchatskogo kraba *Paralithodes camtschatica* u zapadnogo poberezh'ya Kamchatki [Distribution and feed-

ing of the fry of the Kamchatka crab *Paralithodes camtschatica* off the western coast of Kamchatka]. *Trudy VNIRO*, 1974, vol. 99, pp. 54–62.

13. Burukovskiy R. N. Biologicheskaya kharakteristika i pitaniye krevetki *Crangon crangon* (Decapoda, Crangonidae) u poluostrova Kindo (Beloye more, iyul'–avgust 2006–2007) [Biological characteristics and nutrition of shrimps, *Crangon crangon* (Decapoda, Crangonidae) at Kindo Peninsula (White Sea, July–August 2006–2007)]. *Zoologicheskiy zhurnal*, 2022, vol. 101, no. 1, pp. 1–9.

Информация об авторе

Н. С. Пушкина – аспирант, специалист по учебно-методической работе

Information about the author

N. S. Pushkina – graduate student, specialist in educational and methodical work

Статья поступила в редакцию 01.07.2022; одобрена после рецензирования 10.08.2022; принята к публикации 21.09.2022.

The article was submitted 01.07.2022; approved after reviewing 10.08.2022; accepted for publication 21.09.2022.

Научная статья
УДК 639.2.081, 519.6
DOI 10.46845/1997-3071-2022-67-61-70

Разработка методов управления траловым комплексом с применением предсказательного моделирования на нейронной сети

Алексей Олегович Ражев¹, Александр Алексеевич Недоступ²

^{1, 2} Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия

¹aleksej.razhev@klgtu.ru, <http://orcid.org/0000-0002-0983-834X>

²nedostup@klgtu.ru, <http://orcid.org/0000-0002-3851-0984>

Аннотация. В статье рассмотрена проблема автоматизации управления траловым ловом с целью повышения его эффективности и уменьшения энергетических и экономических затрат при вылове с использованием технологий искусственного интеллекта и предсказательного моделирования на нейронной сети. Поставлены задачи долгосрочного, среднесрочного и краткосрочного прогнозирования по заданным критериям с использованием архивных данных с промысла и текущих выборок эхолокации. Приведены структура системы, методы наполнения централизованной и локальных баз данных статистики уловов, обучения искусственной нейронной сети, систематизации результатов предсказания, расчета и автоматической генерации входных параметров, конфигурирования. Определены входные параметры нейронной сети, задаваемые пользователем (коды района промысла, трала, объекта лова, его размеры, время года, среднесуточные температура воды и воздуха, скорость ветра, сила волнения в момент предполагаемого лова, тип судна); расчетные значения, вычисляемые по математической модели траловой системы (раскрытие трала, глубина траления) и пользовательским критериям (код места промысла, время суток, скорость траления); выходные характеристики (величина улова, расход топлива, финансовые затраты); критерии отбора и группировки выходной информации. Представлены выборки архивных сведений об уловах. Обосновано применение математической модели для связи силовых и геометрических характеристик трала. Предложены области применения полученных результатов – это проектирование, производство, эксплуатация натуральных траловых систем и разработка программно-аппаратных комплексов виртуальной и дополненной реальности. Автоматизация позволит определять оптимальные места промысла с учетом энергетических и экономических затрат, собирать статистику уловов, ускорить, уточнить и упростить ее анализ, генерировать аналитические отчеты.

Ключевые слова: гидробионт, трал, управление, предсказательное моделирование, нейронная сеть

Финансирование: Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Калининградской области в рамках научного проекта № 19-48-390004.

Для цитирования: Ражев А. О., Недоступ А. А. Разработка методов управления траловым комплексом с применением предсказательного моделирования на нейронной сети // Известия КГТУ. 2022. № 67. С. 61–70. DOI: 10.46845/1997-3071-2022-67-61-70.

Original article

Development of methods for managing a trawl complex using predictive modeling on a neural network

Aleksey O. Razhev¹, Aleksandr A. Nedostup²

^{1,2} Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia

¹ aleksej.razhev@klgtu.ru, <http://orcid.org/0000-0002-0983-834X>

² nedostup@klgtu.ru, <http://orcid.org/0000-0002-3851-0984>

Abstract. The article considers the problem of automation of trawl fishing management in order to increase its efficiency and reduce energy and economic costs when fishing using artificial intelligence technologies and predictive modeling on a neural network. The tasks of long-term, medium-term "on shore" according to the specified criteria and short-term "on the ship" with the use of echolocation forecasting data have been set. The structure of the system, methods of filling centralized and local databases of catch statistics, artificial neural network learning, systematization of prediction results, calculation and automatic generation of input parameters, configuration are given. The input parameters of the neural network, set by the user (codes of the fishing area, trawl, fishing object, its size, season, average daily water and air temperature, wind speed, wave strength at the time of the intended fishing, vessel type) have been determined together with the calculated values found according to the mathematical model of the trawl system (trawl opening, trawl depth) and user criteria (fishing site code, time of day, trawl speed); output characteristics (catch value, fuel consumption, financial costs); criteria for selecting and grouping output information. The paper presents samples of archived catch data. Application of a mathematical model for the connection of the power and geometric characteristics of the trawl has been justified. The areas of application of the obtained results have been proposed, such as design, production, operation of real trawling systems and development of virtual and augmented reality software and hardware complexes that will allow determining optimal fishing sites taking into account energy and economic costs, collecting catch statistics, automating its analysis, generating analytical reports.

Keywords: hydrobionts, trawl, management, predictive modeling, neural network

Funding: the research has been carried out with the financial support of the RFBR and the Government of the Kaliningrad region within the framework of scientific project No. 19-48-390004.

For citation: Razhev A. O., Nedostup A. A. Development of methods for managing a trawl complex using predictive modeling on a neural network. *Izvestiya KGTU = KSTU News*. 2022;(67):61–70.(In Russ). DOI: 10.46845/1997-3071-2022-67-61-70.

ВВЕДЕНИЕ

Важной составляющей Стратегии развития рыбохозяйственного комплекса Российской Федерации является определение политики в области щадящего рыболовства и реализация его путем продвижения конкурентоспособного, экологически устойчивого и экономически выгодного рыболовства. Особый вклад в развитие устойчивого рыболовства внесут показатели, касающиеся физического воздействия донного тралового промысла на бентос водоема, и данные о том, как он влияет на среду обитания и целостность морского дна. Предполагается, что предложения по донному траловому промыслу будут использоваться для принятия решений в отношении разрешенной промысловой деятельности. Это позволит рыбохозяйственному комплексу Российской Федерации подготовиться к будущим мерам управления и отреагировать на них, модифицировать свои тралы, разработать элементы траловых систем с меньшим воздействием на бентос водоема и соответствующим образом выбрать методы тралового промысла. Таким образом, обеспечиваются постоянный доступ к рыболовным участкам и экологически устойчивая и экономически выгодная эксплуатация скоплений гидробионтов. При рассмотрении любой из физической и биологической систем (а такими являются траловые системы и объекты лова) как объектов исследования целесообразно распределить все переменные, характеризующие систему или имеющие к ней какое-либо отношение (абиотические, биотические и антропогенные факторы воздействия на системы управления тралового комплекса).

В промышленном рыболовстве донные и разноглубинные тралы признаны как одни из наиболее интенсивных орудий активного использования. Донные тралы имеют серьезное воздействие на бентос, который обитает в районе промысла. В результате этого воздействия бентос во взвешенном состоянии образует обширные шлейфы из отложений и растворенных питательных веществ. Кроме того, движение траловых досок по грунту, а также грунтопропа и кабелей увеличивает суммарное сопротивление донных тралов и износ этих деталей. Разноглубинные тралы являются орудиями рыболовства с наибольшими производственными мощностями, а также имеют серьезное воздействие на биотические факторы. Следовательно, могут быть последствия для окружающей среды, а также воздействие на эффективность и безаварийность донной траловой системы и промысловых операций с ней, что влияет на выбросы оксидов азота, оксидов серы и парниковых газов. На первоначальном этапе разработки донных траловых систем первоочередной задачей стоит составление списка эксплуатационных требований, которому донный трал должен будет соответствовать. В общем случае список включает функциональные требования, т. е. перечень количественных показателей объекта лова, на который направлено действие донного трала, показателей особых условий промысла и ограничений, при которых выполняется лов, экологичности лова, затрат энергии, затрат на информацию, значение сил и т. п. Понимание данных процессов сможет позволить разработать такие эксплуатационные требования, которым донные тралы смогут полностью удовлетворять. Разработаны модели

процессов эксплуатации донного тралового комплекса с учетом комплексного влияния абиотических, биотических и антропогенных факторов и выявлены воздействия человеческого фактора на системы управления тралового комплекса с применением предсказательного моделирования на нейронной сети. Разработка методов управления траловым комплексом с применением предсказательного моделирования на нейронной сети является важнейшим направлением эксплуатации биологических ресурсов разноглубинными и донными тралами, формируемых под воздействием биотических, абиотических и антропогенных факторов, и требует междисциплинарного подхода с использованием современных информационных технологий.

Научная новизна заключается в обосновании применения технологий искусственного интеллекта для автоматизации процесса тралового лова, сбора статистики уловов, поддержки централизованной базы данных промысла [1].

Актуальность определяется "Стратегией развития рыбохозяйственного комплекса Российской Федерации на период до 2030 года", "Национальной стратегией развития искусственного интеллекта на период до 2030 года".

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

С целью улучшения технико-экономических показателей тралового лова поставим две задачи:

1. Долгосрочное (свыше 1 мес) и среднесрочное прогнозирование наиболее эффективных с точки зрения объемов улова и затрат на вылов районов промысла по заданным критериям: вид и размеры объекта лова, время суток и года, прогнозируемые погодные условия (температура воды и воздуха, интенсивность осадков, ветер, волнение и т. д.), место нахождения судна на момент прогнозирования, характеристики тралового комплекса; выполняется "на берегу".

2. Краткосрочное прогнозирование траекторий движения, глубины лова с использованием данных эхолокации в районе промысла; выполняется "на судне" непосредственно в процессе промысла.

В данной статье опишем предлагаемые методы и подходы для решения задачи долгосрочного и среднесрочного прогнозирования. Краткосрочное прогнозирование с применением технологий искусственного интеллекта (нейронной сети), эхозаписей [2, 3], математической модели движения косяка рыб [4] в статье не рассмотрено.

Задачу прогнозирования предлагается решать при помощи нейронной сети [1], обученной по централизованной базе данных уловов, пополняемой в автоматическом режиме сведениями об осуществленных уловах всеми рыбодобытчиками, подключенными к системе (рис. 1).

Информация по осуществленным выловам накапливается в процессе промысла в локальных базах данных уловов, находящихся на вычислительном оборудовании, расположенном на судах, и при появлении технической возможности (наличия каналов связи) автоматически загружается в централизованную базу уловов.

Входными данными нейронной сети являются время суток и года, район и место промысла (в закодированном виде), среднесуточная температура водоема и воздуха, сила волнения (в баллах), скорость ветра, тип судна, требуемые размеры

(дискретная величина) и тип объекта лова, величины раскрытия трала H и L , скорость и глубина траления. Выходные данные – величина улова (t), скорость вылова ($t/ч$), расход топлива, финансовые затраты.

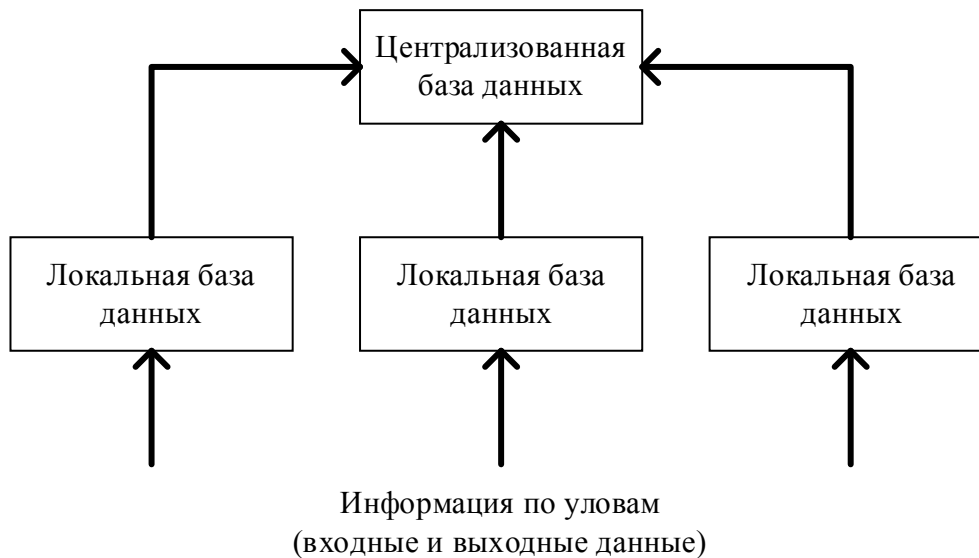


Рис. 1. Схема баз данных уловов
Fig. 1. Catch databases diagram

Скорость ветра, сила волнения, температура водоема и окружающего воздуха (среднесуточные значения) определяются по прогнозам метеослужб на дату предполагаемого промысла. Требуемые размеры рыбы представляют собой диапазон дискретных значений (конечное множество значений), например, очень мелкая, мелкая, средняя, крупная, очень крупная.

Трал одной модели может иметь различную оснастку, ловить на разных глубинах с различной скоростью траления, регулируемые длины канатно-веревочных элементов, что оказывает влияние на выходные параметры предсказательной модели (объем улова, затраты при вылове). Поэтому для прогнозирования недостаточно знать только модель трала. В связи с этим к входным добавляются вычисляемые при помощи математических моделей параметры раскрытия трала H , L и глубины траления, расчет которых производится по заданным параметрам трала, траловых досок, деталей оснастки, длинам ваеров, кабелей и голых концов, скорости траления. Расчет выполняется с использованием разработанной авторами статьи системы автоматизированного проектирования орудий промышленного рыболовства [5], сокращенно названной САПР-ОР (рис. 2). С помощью этой системы рассчитывают и представляют в табличной форме зависимости параметров раскрытия от текущих длин регулируемых канатно-веревочных элементов, скорости траления, параметров траловых досок и оснастки.

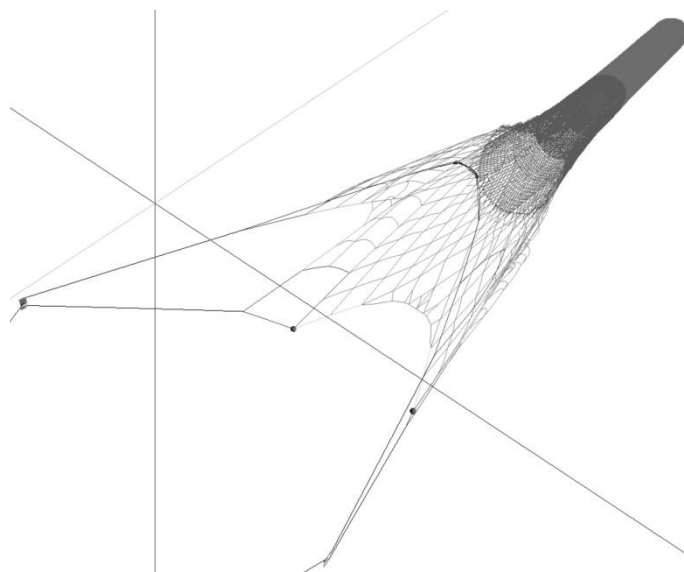


Рис. 2. Расчет формы трала при помощи математической модели
Fig. 2. Calculation of the trawl shape using a mathematical model

Обучение нейронной сети [6] выполняется "на берегу", в процессе входные и выходные выборки извлекаются из централизованной базы данных уловов. Полученная конфигурация нейронной сети (весовые коэффициенты) сохраняется в централизованной базе данных уловов, откуда переносится в локальную. Перенос производится либо вручную по команде оператора перед началом промысла, либо автоматически при наличии технической возможности. На рис. 3 показана схема процесса.

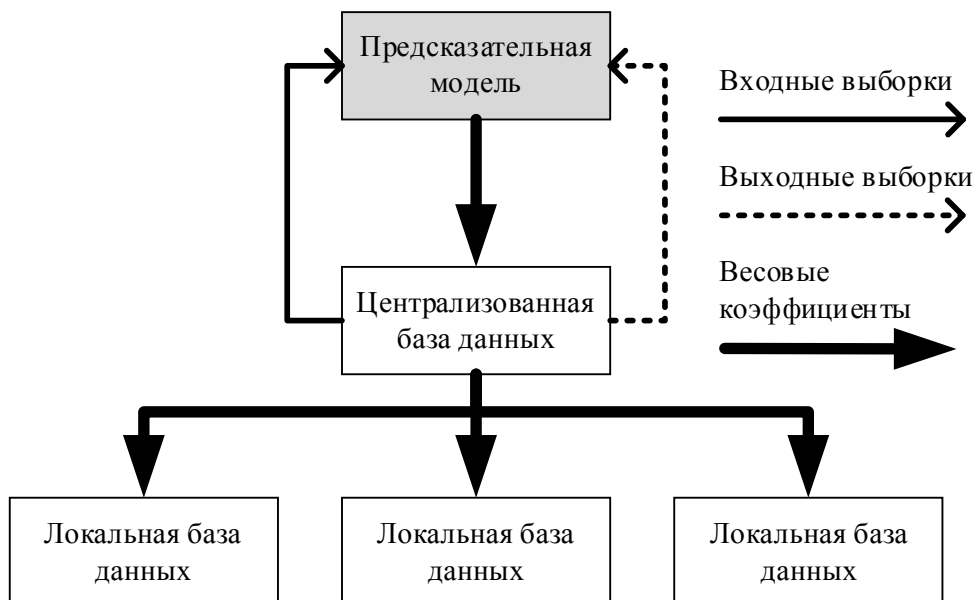


Рис. 3. Схема обучения нейронной сети
Fig. 3. Neural network learning diagram

Обученная нейронная сеть на входе принимает параметры запроса от оператора, а на выходе формирует оценочный прогноз. На рис. 4. показана схема работы предсказательной модели.

Таким образом, для предоставления возможности выбора оптимального варианта прогноза рыбодобытчиком, включая не учитываемые предсказательной моделью критерии, необходимо формировать группу запросов с последующей сортировкой оценок в разрезе каждого выходного оценочного прогноза.

Критериями запроса могут служить абиотические и антропогенные факторы: код района промысла, время года, среднесуточные температура воды и воздуха, скорость ветра, сила волнения в момент планируемого промысла, тип судна, код трала, код и размеры объекта лова. Критерии определяются оператором системы автоматизации и являются статическими входными параметрами нейронной сети.

Для заданных критериев система автоматизации методом вложения циклов по одному для каждого параметра осуществляет перебор остальных входных динамических параметров нейронной сети с необходимой пользователю степенью дискретизации, а именно: кодов места промысла, времени суток, скоростей траления, значений раскрытия трала H и L , глубины траления. В итерации внутреннего цикла выполняется запрос к нейронной сети.

Результаты выполнения всех запросов отражает таблица, часть столбцов которой соответствуют входным, а часть – выходным данным. Она сортируется по заданным критериям и предоставляется оператору для дальнейшего анализа с целью выбора подходящего места лова по критериям, не учитываемым в системе автоматизации.

Для обучения нейронной сети [6] использованы архивные данные с промыслов по уловам [7, 8], из которых сформирована обучающая выборка.

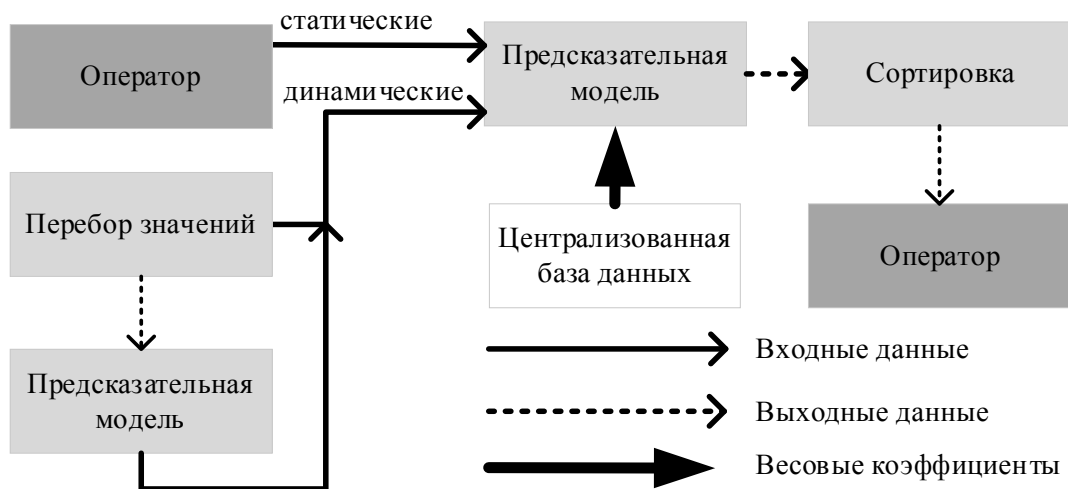


Рис. 4. Схема предсказательной модели
 Fig. 4. Predictive model diagram

Представим схему управления траловым промыслом в блочном виде, все блоки отвечают за свой функционал (рис. 5). Серым цветом выделены блоки, размещенные на рыболовном судне и траловом комплексе. Блоки, обозначенные бе-

лым цветом, находятся на берегу у главного специалиста по флоту, отвечающего за промысел гидробионтов. Блок "Математическая модель" выполняет связь силовых и геометрических характеристик трала. Входными значениями для математической модели являются точные показания датчиков, время получения которых определяется долями секунд, что обеспечивается эффективностью работы управляющего сегмента траловой системы в целом. Выходные параметры математической модели – это данные для обеспечения необходимых рабочих параметров судомеханических (главных и вспомогательных) и промысловых механизмов рыбодобывающего судна.

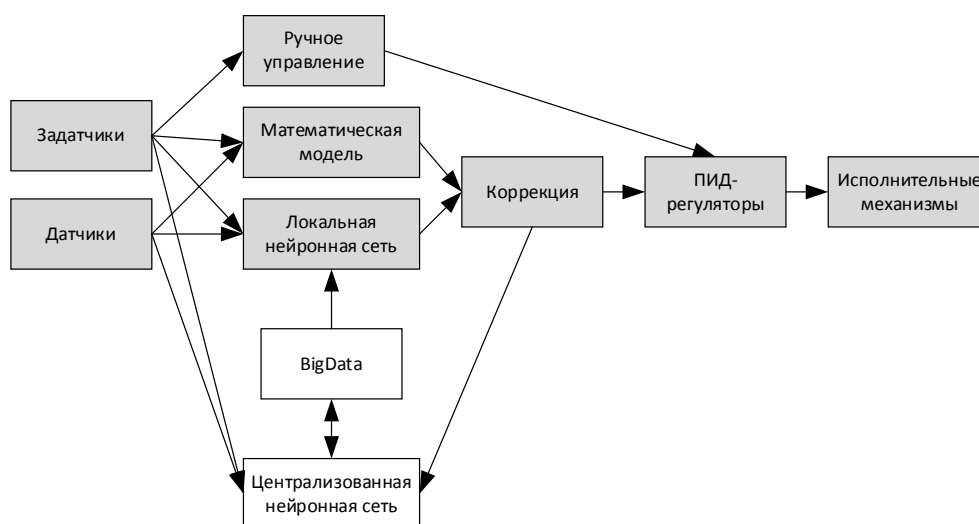


Рис. 5. Схема управления траловым промыслом
Fig. 5. Trawl management diagram

Для выбора оптимального значения рабочих параметров с возможным учетом биотического, абиотического и антропогенного воздействия перед поступлением на ПИД-регулятор выходные значения математической модели корректируются на основании значений, полученных на выходе локальной нейронной сети.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты исследования предполагается применять как в процессе проектирования, производства и эксплуатации натуральных траловых систем, так и при разработке программно-аппаратных комплексов виртуальной и дополненной реальности (тренажеров для обучения, тренировки, проверки знаний студентов, курсантов и добытчиков гидробионтов, проведения всевозможных конкурсов). С помощью полученных результатов представляется возможным определять оптимальные места промысла с учетом энергетических (расход топлива) и экономических затрат, а также собирать накопленную в базе данных статистику уловов на всей территории России и мира, которую возможно применять для автоматизации различного рода анализа, генерации аналитических отчетов.

Список источников

1. Недоступ А. А., Ражев А. О. Применение нейронной сети для управления траловым промыслом // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. Астрахань: ФГБОУ ВО "АГТУ". 2021. № 1. С. 31–37.
2. Кузнецов М. Ю., Кузнецов Ю. А. Гидроакустические методы и средства оценки запасов рыб и их промысла. Часть 2. Методы и средства промысловой биогидроакустики // Известия ТИНРО. 2016. № 184 (1). С. 264–294.
3. Электронный атлас типовых акустических изображений промысловых видов рыб дальневосточных морей России / М. Ю. Кузнецов, И. А. Убарчук, В. И. Поляничко, В. И. Шевцов, Е. В. Сыроваткин // Известия ТИНРО. 2018. № 193. С. 57–67.
4. Математическое моделирование поведенческих характеристик стаи рыб при облове разноглубинным тралом / А. А. Недоступ, Б. А. Альтшуль, А. О. Ражев, С. В. Дятченко, О. М. Бедарева, А. А. Багрова // Морские интеллектуальные технологии. 2019. № 4 (46). Т. 4. С. 181–185.
5. Система автоматизированного проектирования орудий промышленного рыболовства на примере трала: пат. 2021619269 Рос. Федерация. № 2021618323 / Ражев А. О., Недоступ А. А., Львова Е. Е.; заявл. 01.06.21; опубл. 07.06.21. Реестр программ для ЭВМ. 1 с.
6. Schmidhuber J. Deep learning in neural networks: An overview // Neural Networks. 2015. V. 61. P. 85–117.
7. Рыбное хозяйство: обзор. информ. Комплексные сравнительные испытания промысловых тралов в районе ЦВА / под ред. Э. А. Карпенко. Вып. ДСП-1. М.: ЦНИИТЭИРХ, 1987. 114 с.
8. Николаев В. В. Совершенствование математической модели процесса лова рыбы разноглубинным тралом: дис. ... канд. техн. наук: утв. 05.18.17. Калининград, 2004. 189 с.

References

1. Nedostup A. A., Razhev A. O. Primenenie neyronnoy seti dlya upravleniya tralovym promyslom [Application of a neural network for trawl management]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Rybnoe khozyaystvo*, Astrakhan', 2021, no. 1, pp. 31–37.
2. Kuznetsov M. Yu., Kuznetsov Yu. A. Gidroakusticheskie metody i sredstva otsenki zapasov ryb i ikh promysla [Hydroacoustic methods and means of assessing fish stocks and their fishery]. *Metody i sredstva promyslovoy biogidroakustiki*, 2016, part 2, no. 184 (1), pp. 264–294.
3. Kuznetsov M. Yu., Ubarchuk I. A., Polyanchko V. I., Shevtsov V. I., Syrovatkin E. V. Elektronnyy atlas tipovykh akusticheskikh izobrazheniy promyslovykh vidov ryb dal'nevostochnykh morey Rossii [Electronic atlas of typical acoustic images of commercial fish species of the Far Eastern seas of Russia]. *Izvestiya TINRO*, 2018, no. 193, pp. 57–67.
4. Nedostup A. A., Al'tshul' B. A., Razhev A. O., Dyatchenko S. V., Bedareva O. M., Bagrova A. A. Matematicheskoe modelirovanie povedencheskikh kharakteristik

stai ryb pri oblove raznoglobinnym tralom [Mathematical modeling of behavioral characteristics of a flock of fish when fishing with a midwater trawl]. *Morskie intellektual'nye tekhnologii*, 2019, no. 4 (46), pp. 181–185.

5. Razhev A. O., Nedostup A. A., L'vova E. E. Sistema avtomatizirovannogo proektirovaniya orudiy promyshlennogo rybolovstva na primere trala [Computer-aided design system for industrial fishing gears on the example of a trawl]. Patent RF, no. 2021619269, 2021.

6. Schmidhuber J. Deep learning in neural networks: An overview. *Neural Networks*, 2015, no. 61, pp. 85–117.

7. Karpenko E. A. *Rybnoe khozyaystvo: obzor. inform. Kompleksnye sravnitel'nye ispytaniya promyslovykh tralov v rayone TSVa* [Fisheries: comprehensive comparative tests of fishing trawls in the CVA area]. Moscow, TSNIITEIRX, 1987, iss. DSP-1, 114 p.

8. Nikolaev V. V. *Sovershenstvovanie matematicheskoy modeli protsessa lova ryby raznoglobinnym tralom. Diss. kand. tekhn. nauk* [Improvement of the mathematical model of the fishing process with a midwater trawl. Dis. cand. techn. sci.]. Kaliningrad, 2004, 189 p.

Информация об авторах

А. О. Ражев – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник

А. А. Недоступ – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой промышленного рыболовства

Information about the authors

A. O. Razhev – PhD in Engineering, Leading Researcher

A. A. Nedostup – PhD in Engineering, Associate Professor, Head of the Department of Commercial Fishery

Статья поступила в редакцию 30.08.2022; одобрена после рецензирования 09.09.2022; принята к публикации 16.09.2022.

The article was submitted 30.08.2022; approved after reviewing 09.09.2022; accepted for publication 16.09.2022.

Научная статья

УДК 629.562

DOI 10.46845/1997-3071-2022-67-71-86

Обоснование и выбор основных характеристик малого рыболовного судна с большой полнотой корпуса

Евгений Андреевич Чуреев¹, Дмитрий Александрович Романюта²,
Виктор Андреевич Белоусов³, Игорь Игоревич Николаев⁴

^{1, 2, 3} Научно-исследовательский центр судостроения, Калининград, Россия

⁴ ООО "Наутик Рус", Санкт-Петербург, Россия

³ viktor.belousov@klgtu.ru

Аннотация. В статье рассматривается обоснованный выбор размерений рыболовного судна с большим коэффициентом полноты. Суда данного типа являются относительно новыми для Российской Федерации, поэтому в большинстве литературных источников информации по их проектированию недостаточно. Определение характеристик судна производилось путем решения классической задачи проектирования с использованием основных и второстепенных зависимостей. Для возможности составления уравнений проектирования было принято решение ввести дополнительную проектную стадию – аванпроект. Цель указанной стадии, или аванпроекта, – проработка архитектурно-конструктивного типа, разработка общего расположения и промысловой схемы судна, а также выполнение ряда проектных и проверочных расчетов для определения возможности или невозможности создания нового судна данного типа, удовлетворяющего всем современным требованиям Правил Российского морского регистра судоходства. Результатом внедрения стадии аванпроекта судна является прототип для составления системы уравнений, в которой были проанализированы массогабаритные характеристики корпуса судна, а также подготовлены и проведены модельные испытания для возможности оценки мореходных качеств судна и составления уравнения мощности. Решение системы уравнений проектирования позволяет определить основные размерения и другие характеристики судна для последующих оптимизационных преобразований при создании нового проекта. Для решения поставленной задачи был разработан математический аппарат, в который вошли уравнения проектирования, в том числе уравнения плавучести, масс, вместимости, коэффициента полноты ватерлинии, остойчивости, мощности, относительно удлинения, коэффициента продольной полноты, а также граничные условия и расчет экономических показателей будущего судна. Ключевым показателем экономической рентабельности проекта была определена эффективность капиталовложений. Для поиска наиболее эффективного судна выполнен вариативный расчет – решение системы уравнений с вариацией некоторых исходных данных. По результатам вариативного расчета определены наиболее удачные сочетания основных характеристик судна, обеспечивающих лучшие экономические показатели.

© Чуреев Е. А., Романюта Д. А., Белоусов В. А., Николаев И. И., 2022

Ключевые слова: научно-исследовательский центр судостроения, проектирование судов гражданского флота, разработка проекта, модельные испытания, проектирование судов рыболовного флота, Правила Российского морского регистра судоходства, аванпроект, коэффициент общей полноты, обводы судна, уравнения проектирования, мореходные качества, экономические показатели, эффективность капиталовложений, математическая модель, наливное рыболовное судно

Для цитирования: Чуреев Е. А., Романюта Д. А., Белоусов В. А., Николаев И. И. Обоснование и выбор основных характеристик малого рыболовного судна с большой полнотой корпуса // Известия КГТУ. 2022. № 67. С. 71–86. DOI: 10.46845/1997-3071-2022-67-71-86.

Original article

Justification and selection of the main characteristics of a small fishing vessel with a high body hull

Evgeniy A. Chureev¹, Dmitriy A. Romanyuta², Viktor A. Belousov³, Igor' I. Nikolaev⁴

^{1, 2}Shipbuilding research center, Kaliningrad, Russia

⁴Nautic Rus, Saint-Petersburg, Russia

³viktor.belousov@klgtu.ru

Abstract. The article discusses a reasonable choice of dimensions of a fishing vessel with a large coefficient of completeness. Vessels of this type are relatively new for the Russian Federation, therefore, in most literary sources, there is not enough information on the design of these types of vessels. The characteristics of the ship are determined by solving the classical design problem, using the main and secondary dependencies. In order to be able to draw up design equations, it was decided to perform an additional design study – the stage of the preliminary design. The purpose of this work is to develop the architectural and structural type of the vessel, to develop the general layout and fishing scheme, as well as to perform a number of design and verification calculations to determine the possibility or impossibility of creating a new vessel of this type that meets all modern requirements of the Rules of the Russian Maritime Register of Shipping. The result of the development of the preliminary design of the vessel is a prototype for compiling a system of equations in which the weight and size characteristics of the ship's hull developed at the stage of the preliminary design have been analyzed, as well as model tests have been prepared and carried out to assess the seaworthiness of the vessel and draw up the power equation. The solution of the system of design equations makes it possible to determine the main dimensions and other characteristics of the vessel for subsequent optimization transformations when designing a new project. In order to solve the problem, a mathematical apparatus has been developed with design equations, including the equations of buoyancy, mass, capacity, waterline completeness factor, stability, power, elongation, longitudinal completeness factor, as well as boundary conditions and calculation of economic indicators of the future ship. The key indicator of the economic profitability of the project is the efficiency of capital investments. To search for the most efficient vessel, a variant calculation has been per-

formed – the solution of a system of equations with a variation of some initial data. According to the results of the variant calculation, the most successful combinations of the main characteristics of the vessel, providing the best economic performance, have been determined.

Keywords: shipbuilding research center, design of civil fleet ships, project development, model tests, design of fishing ships, Russian Maritime Register of Shipping Rules, preliminary design, overall weight factor, ship's lines, design equations, seaworthiness, economic indicators, investment efficiency, mathematical model, tanker fishing vessel

For citation: Chureev E. A., Romanyuta D. A., Belousov V. A., Nikolaev I. I. Justification and selection of the main characteristics of a small fishing vessel with a high body hull. *Izvestiya KGTU = KSTU News*. 2022; (67) : 71–86. (In Russ). DOI: 10.46845/1997-3071-2022-67-71-86.

ВВЕДЕНИЕ

Процесс проектирования любого судна согласно классической схеме ведется методом последовательных приближений. ГОСТ 2.103-2013 "Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Стадии разработки" [1] регламентирует следующие стадии разработки проектной конструкторской документации: техническое предложение – эскизный проект – технический проект. Однако в процессе создания таких сложных технических объектов, как промысловое судно, имеет смысл ввести дополнительные стадии разработки, предназначенные для обоснования возможности создания объекта, особенно если используются новые технические решения.

Одним из таких объектов морской техники является малое рыболовное судно с большим значением коэффициента общей полноты. Как отмечалось в работах [2] и [3], данные суда являются более эффективными, чем существующие отечественные, с точки зрения промысла при схожих габаритных размерах.

Отсутствие в России опыта проектирования промысловых судов подобного типа поставило перед коллективом Научно-исследовательского центра судостроения цель начать работы по разработке математического аппарата, предназначенного для определения главных размерений малых морских наливных рыболовных судов с большой полнотой корпуса.

Основные принципы математического аппарата. В основе разрабатываемого математического аппарата лежит классическая задача проектирования промыслового судна, при решении которой можно получить основные характеристики судна: длину (L , м), ширину (B , м), высоту борта (H , м), осадку (T , м), водоизмещение (D , т), мощность главного двигателя (ГД) (N , кВт), скорость судна (v_s , уз), объем наливного трюма ($V_{тр}$, м³), а также коэффициенты полноты ватерлинии (α), мидель-шпангоута (β), общей полноты (δ) и продольной полноты (φ) корпуса судна.

Решение данной задачи основывается на составлении и решении системы уравнений проектирования, в числе которых уравнения:

- плавучести;
- масс;

- вместимости;
- коэффициента полноты ватерлинии;
- остойчивости;
- мощности;
- относительного удлинения;
- дополнительные уравнения.

На сегодняшний день в открытых источниках имеются несколько методик составления уравнений масс, вместимости, мощности в зависимости от главных размерений и основных характеристик судна. Наиболее часто используемые методики применительно к промышленным судам приведены в [4, 5].

Существует методика оптимизационного проектирования, представленная в [4], целью которой было проектирование судна, эксплуатируемого в акватории Социалистической Республики Вьетнам. Однако исследования, проведенные сотрудниками НИЦ судостроения, показывают, что используемые методики составления уравнения масс и другие, приведенные в открытых источниках, имеют недостаточную корреляцию применительно к малым и средним промышленным судам с увеличенной полнотой обводов. Такие расчетные алгоритмы неизбежно приведут к увеличению погрешности в полученных результатах.

Схожая ситуация и с уравнением мощности. В работе [3] приведена информация об отсутствии методик оценки буксировочного сопротивления и буксировочной мощности на ранних стадиях проектирования применительно к судам подобного типа (с увеличенным коэффициентом общей полноты корпуса). Использование доступного программного обеспечения для этих целей также ведет к заведомо некорректным результатам из-за появления в процессе движения судна гидродинамических сил, которые не учитываются в алгоритмах программы для ЭВМ.

При решении нетиповых задач проектирования промышленных судов с отсутствующими характеристиками с целью эффективной разработки проекта целесообразно ввести дополнительную стадию – аванпроект. С его помощью были решены следующие задачи: проработка архитектурно-конструктивного типа судна, анализ общего расположения и промышленной схемы, а также выполнение ряда проектных и проверочных расчетов для определения возможности или невозможности создания нового судна, удовлетворяющего всем современным требованиям Правил Российского морского регистра судоходства. Таким образом, результат проработки судна на стадии аванпроекта стал наиболее подходящим прототипом для возможности корректного составления и решения системы уравнений проектирования в конкретном случае. Форма корпуса разработанного судна на стадии аванпроекта представлена на рис. 1, а его основные характеристики – в табл. 1.

Любое добывающее судно в современном мире должно быть экономически рентабельным. Но решение системы уравнений проектирования позволяет определить только основные характеристики этого судна, что не дает возможности выполнить качественную оценку его экономической эффективности. Учитывая вышеуказанную проблему, авторы поставили своей целью выполнить вариативный расчет – решение ряда систем уравнений при фиксированных значениях нескольких неизвестных с последующей оценкой экономических показателей.

В проектировании промысловых судов как отрасли науки хорошую корреляционную зависимость показали вариативные расчеты с фиксацией таких параметров, как объем рыбного трюма и максимальная скорость свободного хода. Именно данные параметры в значительной мере влияют на главные размерения и основные характеристики промысловых судов, а также на их экономические показатели.

Для оценки экономической эффективности разрабатываемых проектов существует большое количество различных критериев, однако для решения поставленной задачи был выбран один – эффективность капиталовложения ($F_{\text{кап}}$).

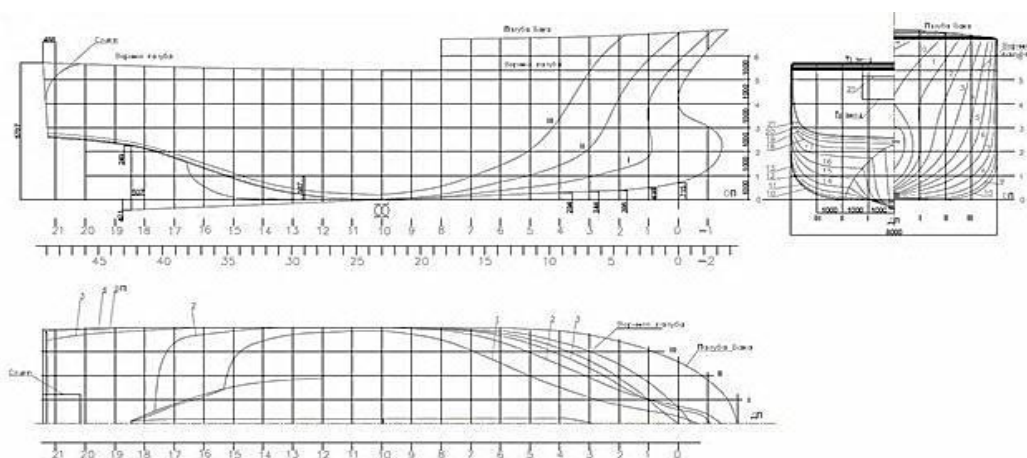


Рис. 1. Теоретический чертеж судна, разработанного на стадии аванпроекта
 Fig. 1. Lines drawing of a ship at the preliminary design stage

Таблица 1. Основные характеристики судна, разработанного на стадии аванпроекта

Table 1. Main characteristics of the vessel developed at the preliminary design stage

Наименование	Единица измерения	Значение
Водоизмещение	т	405
Длина наибольшая	м	26,6
Длина между перпендикулярами	м	23,5
Ширина	м	8,00
Осадка	м	4,00
Высота борта на миделе	м	5,40
Объем трюма	м ³	110,9
Мощность главного двигателя	кВт	480
Скорость свободного хода	уз.	9,4
Мощность СЭС	кВт	260
Автономность	сут.	10
Экипаж	чел.	10

Уравнение масс. В математической модели оптимизации малого промыслового судна нагрузка масс определялась методом пересчета статей нагрузок с судна-прототипа с использованием измерителей и сопутствующих им функциональных зависимостей.

Как уже отмечалось, здесь и далее в качестве судна-прототипа было задействовано судно, разработанное на стадии аванпроекта. Стоит отметить, что в аванпроекте нагрузка масс рассчитывалась постатейно, т. е. отдельно считались составляющие массы корпуса судна (элементы металлического корпуса, оборудование, судовые системы, судовые устройства, дедвейт и т. д.). Такой метод позволяет повысить точность расчетов, однако приводит к увеличению вычислительной сложности.

Основное достоинство данного метода – это простота реализации, поскольку он представляет собой набор простых зависимостей, обеспечивающих хорошую точность благодаря подобию исследуемых в модели промысловых судов.

Однако использование судна-прототипа при создании данной математической модели ведет к погрешности при применении этой модели для судов, имеющих другой архитектурно-конструктивный тип. Стоит отметить, что предлагаемый метод требует большого количества исходных данных, входящих в математическую модель, которые необходимо снять с судна-прототипа.

Методика составления уравнения масс для модели малого промыслового судна принята в соответствии с [4] и выглядит следующим образом: в левой части уравнения – массовое водоизмещение судна, а в правой – сумма масс судна:

$$D \cdot (1 - k_1) = L \cdot B \cdot H \cdot k_2 + N_{ГД} \cdot k_3 + P_{indep} + a_{01} \cdot \delta^{\frac{1}{3}} \cdot L^{\frac{3}{2}} \cdot B \cdot H^{\frac{1}{2}}. \quad (1)$$

Здесь коэффициент $(1 - k_1)$ учитывает запас плавучести, который принимается с судна прототипа;

a_{01} – измеритель массы стального корпуса судна, т/м³;

$N_{ГД}$ – мощность главного двигателя, кВт;

k_3 – коэффициент, включающий в себя измеритель массы двигателя, а также учитывающий массу необходимого топлива в зависимости от мощности судовой энергетической установки;

P_{indep} – сумма масс, т, которые не зависят от размещений судна (штурманское вооружение, постоянные жидкие грузы, запасные части, балласт, снабжение и имущество, дедвейт (без учета массы топлива)).

Большинство статей нагрузок судна используют функциональную зависимость в виде кубического модуля LBH , поэтому коэффициент k_2 – сумма измерителей статей нагрузок, полученных путем пересчета с прототипа (судовые устройства, судовые системы, электроэнергетическая система, связь и управление).

Уравнение вместимости. Методика составления уравнения вместимости для модели принята в соответствии с [5]. Для составления уравнения также, как и в уравнении масс, используется пересчет с судна-прототипа. Оно имеет следующий вид:

$$LBHT\delta\left(\frac{H}{T}\right)^{\frac{\alpha}{\delta}} w_1 = B\left(\eta_b TL \frac{\delta}{\beta} + Lw_p + w_{kof}\right) + N_{ГД}w_{fuel} + W_{ind} + w_{eng}BL. \quad (2)$$

В левой части уравнения вместимости – объем корпуса судна [6].

Здесь коэффициент w_1 представляет совокупность измерителей объемов, полученных с судна-прототипа;

w_{fuel} – измеритель, учитывающий объем необходимого топлива для нормальной эксплуатации судна, m^3/t ;

W_{ind} – совокупность объемов, m^3 , которые не зависят от главных размерений судна (объем пресной воды и сточных вод, объем трюма и рефрижераторного помещения, объем цистерн нефтесодержащих вод, объем топливных цистерн для судовых генераторов, объем помещений под рыбопромысловое оборудование);

w_{eng} – измеритель объема машинного отделения, m ;

η_b – измеритель объема в бульбе судна;

w_{kof} – измеритель объема коффердама, m^2 ;

w_p – измеритель объема жилых помещений, m .

Уравнение коэффициента полноты ватерлинии. Уравнение коэффициента полноты ватерлинии составлено в соответствии с рекомендациями [6] и имеет следующий вид:

$$\alpha = c_{02} \left(\frac{\delta}{\beta} \right)^{2/3} \quad (3)$$

В данном уравнении коэффициент c_{02} пересчитывается с судна-прототипа по следующей формуле:

$$c_{02} = \alpha_0 \cdot \varphi_0^{\frac{2}{3}} \quad (4)$$

Согласно рекомендациям коэффициент должен находиться в интервале 0,91–1,06.

Уравнение устойчивости. Уравнение устойчивости представлено как квадратное уравнение относительно отношения ширины к осадке B/T при известном отношении H/T (уравнение вместимости) и коэффициентах полноты δ и α (требования ходкости и эмпирические составляющие) [4].

$$\frac{B}{T} = \bar{h}^* + \sqrt{\bar{h}^{*2} - 4 \cdot k_p \cdot \frac{\alpha^2}{\delta} \cdot \left(k_c \cdot \frac{1}{1 + \frac{\alpha}{\delta}} - a_G \cdot \frac{H}{T} \right) / \left(2 \cdot k_p \cdot \frac{\alpha^2}{\delta} \right)} \quad (5)$$

Здесь \bar{h}^* – предельная относительная поперечная метацентрическая высота $\bar{h}^* = h/B$;

коэффициент k_p определяется с судна-прототипа по формуле Б. А. Царева [6]:

$$k_p = \frac{\left(\frac{\alpha_0}{\varphi_0} \right)^{\frac{1}{3}}}{12}; \quad (6)$$

a_G – относительное возвышение центра тяжести, которое вычисляется с прототипа по формуле:

$$a_G = z_{g0}/H_0. \quad (7)$$

Коэффициент k_c принимается равным 0,994.

Уравнение мощности. Уравнение мощности является одним из основных и важных в данной системе уравнений проектирования. Его составление основывается на рекомендациях [5]. Для разработки такого уравнения необходимо получить зависимость изменения сопротивления движению судна от скорости хода и, соответственно, изменение мощности СЭУ от скорости хода. Поскольку форма корпуса у рассматриваемого типа судна специфическая – с большой полнотой, то

составление данного уравнения с использованием приближенных методик, как уже было сказано выше, является невозможным.

Для решения этой задачи в лаборатории мореходных качеств судов Научно-исследовательского центра судостроения были подготовлены и проведены модельные испытания корпуса судна, полученного в результате разработки аванпроекта, теоретический чертеж которого представлен на рис. 1. Испытания проводились для случая нагрузки "возвращение с промысла: 100 % улова, 10 % запасов". Указанный случай соответствует максимальному значению водоизмещения судна. Испытания были проведены на свободной воде в диапазоне скоростей, соответствующих скоростям натурного судна – 4–12 уз ($Fr = 0,12–0,41$). В результате получены зависимости коэффициента остаточного сопротивления от числа Фруда. Учет сопротивления трения происходил расчетным путем через коэффициент сопротивления эквивалентной пластины по формуле Прандтля – Шлихтинга. При этом площадь смоченной поверхности судна рассчитывалась по формуле

$$\Omega_s = kt \cdot \sqrt{L^2 \cdot B \cdot T \cdot \delta}, \quad (8)$$

где kt – уточняющий коэффициент, полученный по значениям судна-прототипа.

Также учитывалась поправка на шероховатость. Зависимость коэффициента остаточного сопротивления судна от числа Фруда представлена на рис. 2.

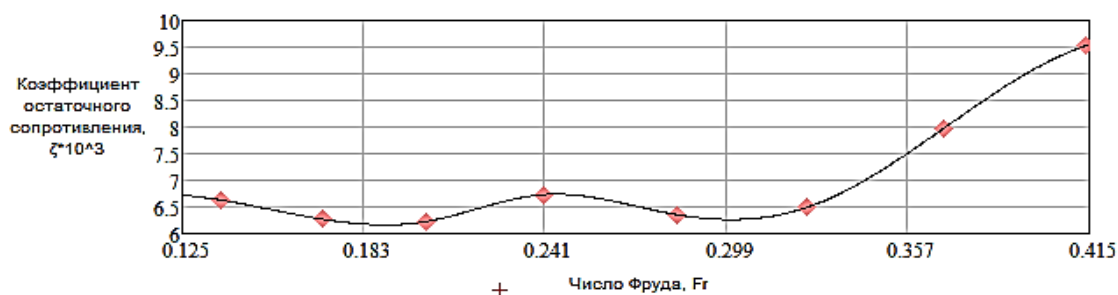


Рис. 2. Зависимость коэффициента остаточного сопротивления судна от числа Фруда

Fig. 2. Dependence of the ship's residual drag coefficient on the Froude number

Таким образом, для составления уравнения мощности на данном этапе принимаются следующие допущения:

- изменение коэффициента остаточного сопротивления для всех судов в настоящей математической модели происходит по аналогии с судном-прототипом по итогам модельных испытаний. Этот коэффициент определяется как функция от числа Фруда, $\zeta(Fr)$;
- коэффициент сопротивления трения рассчитывается по формуле Прандтля-Шлихтинга, $C_{f0}(Re)$ в зависимости от расчетной площади смоченной поверхности;
- поправка на шероховатость, s_{Δ} , принимается равной $0,2 \cdot 10^{-3}$;
- на заданной скорости двигатель должен работать на 85 % от номинальной мощности, что отражено в коэффициенте $\eta_{гд} = 0,85$;
- в расчете принят коэффициент $k = 1,3$, учитывающий влияние реальных эксплуатационных условий на работу судна;

• пропульсивный коэффициент принят, как у судна-прототипа, а именно $\eta_{pp} = 0,234$.

Отдельно необходимо отметить следующее: рабочий режим судна – траление, но поскольку необходимая мощность на свободном ходу сопоставима с мощностью, необходимой для траления, то используется следующий алгоритм: если расчетная мощность главного двигателя для движения судна на свободном ходу с заданной скоростью менее 480 кВт (значение мощности ГД судна по результатам проработки аванпроекта для обеспечения возможности буксировать трал с расчетной скоростью), то мощность ГД принимается равной 480 кВт. В случае когда расчетная мощность судна для движения на свободном ходу более 480 кВт, выбирается расчетная мощность. Данное допущение необходимо не только для корректного решения системы уравнений проектирования, но и для корректного расчета экономических критериев.

Уравнение для определения мощности судна представляется в виде:

$$N_{ГД} = \frac{\rho \cdot v^3}{2} \cdot \Omega_s \cdot [C_{f0}(Re) + \zeta(Fr) + c_{\Delta}] \cdot \frac{k}{\eta_{ГД} \cdot \eta_{pp}}, \quad (9)$$

где v – скорость судна в м/с.

Уравнение относительного удлинения. В качестве еще одного уравнения проектирования принимается уравнение относительного удлинения судна [5].

$$l = c \cdot \left(\frac{v_s}{v_s + 2} \right)^2. \quad (10)$$

Здесь v_s – скорость судна в узлах; коэффициент c , который связывает скорость и относительное удлинение, принимается по прототипу.

Дополнительные уравнения. В качестве дополнительных уравнений было принято уравнение коэффициента продольной полноты судна [5].

$$\varphi = \frac{0,653}{Fr^{0,059}} + 0,035, \quad (11)$$

где Fr – число Фруда.

Граничные условия. Для возможности корректного решения системы уравнений были заданы граничные условия значений коэффициентов полноты (представлены как совокупность ограничений (1) и минимальной мощности ГД (не менее 480 кВт)). Ограничение по минимальной мощности ГД обусловлено необходимостью "тащить" трал на промысле.

$$\begin{aligned} 0,8 &\leq \beta \leq 0,95, \\ 0,8 &\leq \alpha \leq 0,95, \\ 0,5 &\leq \delta \leq 1, \\ 0,5 &\leq \varphi \leq 1. \end{aligned} \quad (12)$$

Расчет критериев экономической эффективности. В результате вычислений, представленных в данном блоке, рассчитывается критерий, по которому выполняется оптимизация главных характеристик судна и оценивается его эффективность. В качестве основного оценочного критерия выбрана характеристика *эффективности капиталовложений*, определяемая по следующей формуле (13):

$$F_{кап} = \frac{Q_{Г} - C_{S}}{S_{к}}, \quad (13)$$

где $F_{кап}$ – эффективность капиталовложений;

$S_{к}$ – строительная стоимость судна;

C_S – годовые эксплуатационные затраты;

Q_T – производительность судна за год.

В экономической части разработанной математической модели производится расчет каждой из указанных величин.

Расчет строительной стоимости судна. Расчет строительной стоимости судна произведен исходя из предположения, что строительство будет выполнено на АО "ПСЗ Янтарь". По этой причине часть коэффициентов и нормативных показателей, используемых в модели, принята в соответствии с данными завода (стоимость нормо/часа, транспортные расходы, удельная трудоемкость некоторых видов работ и др.). Расчет строительной стоимости судна условно можно разделить на несколько составных частей.

1. Расчет стоимости проектирования судна. В данном подразделе сначала рассчитывается трудоемкость проектирования судна (с учетом роста производительности труда и использования прототипа), после чего определяется стоимость работ по проектированию. При расчете использовались нормативы, принятые в соответствии с [7].

2. Расчет трудоемкости строительства. Здесь выполняется расчет трудоемкости основных видов работ, таких как "обработка деталей стального корпуса", "предварительная сборка конструкций стального корпуса", "достроечные работы", "трубомонтажные работы" и т. д.

Исходными данными для расчетов являются:

а) нагрузка масс судна порожнем, рассчитываемая в ходе решения системы уравнений проектирования;

б) информация о нормативной трудоемкости для различных видов работ. Используемые значения нормативов и коэффициентов приняты в соответствии с [8].

По результатам расчета определяется трудоемкость изготовления головного и серийного судна (с использованием коэффициента серийности).

3. Расчет стоимости строительства судна. При расчете стоимости строительства принята методология оценки затрат по укрупненным показателям.

Исходные данные для расчетов:

а) нагрузка масс судна порожнем;

б) удельная стоимость каждой из статьи нагрузок, принятая в соответствии с данными судостроительных предприятий;

в) стоимость таможенных расходов при приобретении импортного оборудования, принятая в соответствии с [9];

г) стоимость услуг страхования и регистрации в классификационном обществе.

В результате рассчитывается строительная стоимость головного и серийного судна.

4. Расчет стоимости строительства судна с учетом кредита. Экономическая часть математической модели разработана с условием, что судно строится за определенную сумму собственных и большую часть заемных средств. При задании срока и процента кредитования определяется стоимость строительства судна с учетом выплачиваемых процентов за кредит.

Расчет эксплуатационных затрат. При расчете эксплуатационных затрат предполагается, что время эксплуатации судна с учетом его постройки и утилизации

составляет 27 лет. Определение всех статей эксплуатационных затрат выполнено с учетом их ежегодных распределений. Таким образом, имеется возможность оценить общую сумму эксплуатационных затрат в каждый год службы судна.

Расчет эксплуатационных затрат судна выполнен по следующим основным статьям:

1. *Расходы на ремонт и техническое обслуживание.* В указанную статью расходов включены затраты на ежегодное техническое обслуживание, промежуточное освидетельствование подводной части судна и его ремонт с подтверждением класса Регистра. Периодичность проведения мероприятий и их средние затраты определены по данным рыболовецких компаний Калининградской области.

2. *Условно-постоянные расходы.* К данной категории затрат относятся среднемесячная заработная плата экипажа, затраты на администрирование и страхование судна. Все нормативные показатели приняты по данным рыболовецких компаний Калининградской области и [10].

3. *Расходы на топливо.* В этой статье затрат произведен расчет расходов на топливо в процессе переходов и траления. При этом в расчете установлены следующие положения и допущения:

а) мощность главного двигателя определена по результатам решения системы уравнений проектирования;

б) величина удельного расхода топлива принята как среднее значение среди двигателей схожего диапазона мощности;

в) доля нахождения судна в порту и вне эксплуатации от общего времени работы судна в год определена по статистическим значениям;

г) цена за тонну судового топлива принята по статистическим данным [11].

4. *Расходы на замену оборудования.* В качестве регулярно заменяющегося оборудования приняты ваера, трал, кабеля и траловые доски. Периодичность обновления и стоимость комплектов определены по анализу данных рыболовецких компаний Калининградской области.

5. *Сбор за вылов рыбы.* В соответствии со ст. 333.4 [12] за каждый объект водных биологических ресурсов устанавливается определенная ставка сбора из расчета на 1 т продукции. Виды и объемы вылавливаемой рыбы описаны в части расчета производительности судна.

Расчет производительности судна. В данном расчете модели представлен расчет ежегодной производительности судна от вылова рыбы и определение количества выручки от сдачи судна на металл в конце срока его эксплуатации.

Для расчета *дохода от вылова рыбы* используются следующие исходные данные:

а) среднесуточный вылов рыбы. Принимается как среднее значение для судов схожих размерений по данным рыболовецких компаний Калининградской области;

б) время, затрачиваемое судном на вылов. Определяется с учетом потери времени на стоянку в порту, неэксплуатационного времени и пр.;

в) процентное соотношение сортов рыбы в годовом улове и их рыночная цена.

Информация от рыболовецких компаний Калининградской области кратко представлена в табл. 2. Для расчета *дохода от сдачи судна на металл* в конце

срока его эксплуатации используются данные по массам статьи нагрузки "Корпус" и средней стоимости килограмма стали в пунктах приема металлолома.

Таблица 2. Процентное соотношение сортов рыбы в годовом улове и принятые цены

Table 2. Percentage of fish varieties in the annual catch and accepted prices

Род/сорт рыбы	Процент от годового улова	Цена, руб./кг без НДС
Килька для пром. переработки	9,8	20
Килька 2-го сорта	14,7	24
Килька 1-го сорта	24,5	30
Килька летняя (на корм)	21,0	11,5
Салака	17,5	32,5
Салака летняя (на корм)	7,5	11,5
Треска	3,0	30
Камбала	2,0	60
Всего	100	219,5

Результаты расчета. Как было описано ранее, разработанный сотрудниками НИЦ судостроения математический аппарат при использовании метода вариаций позволяет разрешать ряд уравнений проектирования и выявлять наилучшее сочетание основных характеристик судна. В качестве примера в табл. 3 представлены результаты решения уравнений при варьируемых значениях объема трюма и скорости судна. Строки № 1 и 2 в ней являются изменяемыми.

Таблица 3. Результаты решения математической модели

Table 3. Results of solving the mathematical model

№ п/п	Наименование характеристики, размерность	Буквенное обозначение	Значение		
1	Объем трюма, м ³	$V_{тр}$	80		
2	Скорость судна, уз	v_s	7	9	11
3	Длина, м	L	17,37	19,64	27,76
4	Ширина, м	B	7,44	7,26	7,31
5	Высота борта, м	T	2,92	2,85	2,87
6	Осадка, м	H	5,17	5,03	5,07
7	Коэффициент общей полноты	δ	0,592	0,585	0,58
8	Коэффициент полноты ватерлинии	α	0,867	0,861	0,856
9	Коэффициент полноты мидель-шпангоута	β	0,8	0,8	0,8
10	Коэффициент продольной полноты	ϕ	0,74	0,732	0,726
11	Мощность главного двигателя, кВт	$N_{гд}$	480	480	853
12	Строительная стоимость судна, млн. руб.	$S_{ксумм}$	264,2	269,9	287,3
13	Производительность судна за год, млн. руб.	$Q_{выр/год}$	92,8	119,3	135,8
14	Эксплуатационные затраты в год, млн. руб.	$C_s/год$	27	36,9	64,7
15	Эффективность капиталовложений	$F_{кар}$	0,249	0,306	0,248

Вместе с тем при варьировании объема трюма и скорости хода судна определяется массив данных, на основании которого целесообразно получить соответствующие графические зависимости главного экономического критерия – эффективности капиталовложений в зависимости от скорости хода судна при различных фиксированных значениях объема трюма. Данный график приведен на рис. 3.

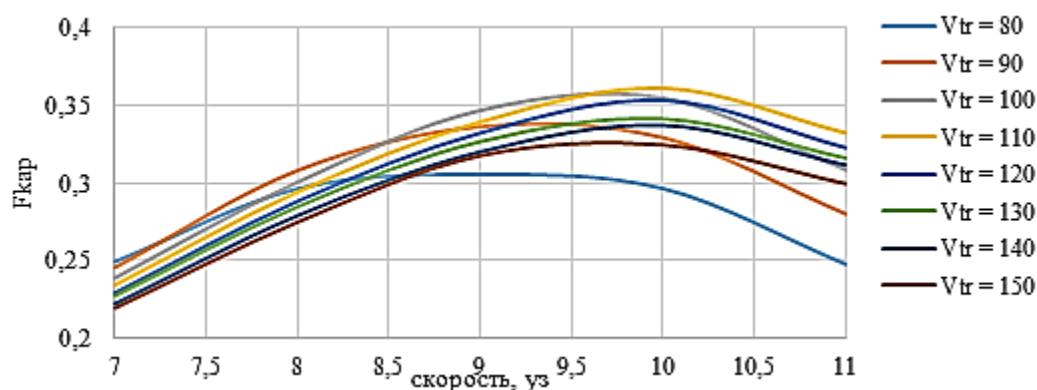


Рис. 3. График зависимости эффективности капиталовложений от скорости судна
 Fig. 3. Graph of investment efficiency versus vessel speed

Как видно из графика, наиболее эффективным является судно с объемом трюма 110 м³ и скоростью хода 10 уз. В табл. 4 представлены характеристики наилучшего варианта оптимизированного судна.

Таблица 4. Характеристики наилучшего оптимизированного судна в заданных условиях эксплуатации

Table 4. Characteristics of the best-optimized ship under given operating conditions

№ п/п	Наименование характеристики, размерность	Буквенное обозначение	Значение
1	Объем трюма, м ³	$V_{тр}$	110
2	Скорость судна, узлы	v_s	10
3	Длина, м	L	22,2
4	Ширина, м	B	7,8
5	Высота борта, м	T	4,88
6	Осадка, м	H	2,64
7	Коэффициент общей полноты	δ	0,673
8	Коэффициент полноты ватерлинии	α	0,859
9	Коэффициент полноты мидель-шпангоута	β	0,922
10	Коэффициент продольной полноты	φ	0,73
11	Мощность главного двигателя, кВт	$N_{гд}$	601
12	Строительная стоимость судна, млн. руб.	$S_{ксумм}$	287,2
13	Производительность судна за год, млн. руб.	$Q_{выр/год}$	149,4
14	Эксплуатационные затраты в год, млн. руб.	$C_s/год$	45,7
15	Эффективность капиталовложений	$F_{кар}$	0,361

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По итогам выполнения ряда расчетов в созданной математической модели удалось обеспечить решение системы уравнений проектирования, получив при этом главные размерения судна, а также оценить его экономическую эффективность на протяжении всего жизненного цикла в определенных условиях эксплуатации. Таким образом, используя данную модель, проектант имеет возможность выявлять наиболее удачные сочетания основных характеристик рыболовных судов для условий, определяемых техническим заданием на проектирование.

Преимущества разработанного математического аппарата:

1. Простота рабочего интерфейса;
2. Открытый код;
3. Наглядность всех используемых зависимостей и формул, отсюда следует, что пользователь может наблюдать эволюцию работы расчетной модели, а также иметь представление о достоверности входных и выходных данных;
4. Получение объемной по содержанию информации об итогах выполненных расчетов. Таким образом, пользователь имеет возможность принимать соответствующие решения о будущем проекте судна;
5. Возможность корректировки математической модели в зависимости от задач, поставленных перед проектантом.

Список источников

1. ГОСТ 2.103-2013 Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Стадии разработки. Введ. 2015-07-01. М., 2018. 10 с.
2. Чуреев Е. А. К вопросу о выборе архитектурно-конструктивного типа малого рыболовного траулера для Балтийского моря // Морские интеллектуальные технологии. 2017. № 3(37). С. 35–38.
3. Чуреев Е. А. Исследование формы обводов маломерного рыболовного траулера с целью повышения его мореходных качеств // Морские интеллектуальные технологии. 2018. № 4 (42). С. 36–43.
4. Бугаев В. Г., Дам Ван Тунг, Бондаренко Ю. В. Оптимизация характеристик и элементов рыболовных судов с учетом случайных факторов их функционирования // Вестник инженерной школы ДВФУ. 2021. № 1. С. 46.
5. Теория проектирования водоизмещающих кораблей и судов: в 2 т. Анализ и синтез системы "Корабль". Санкт-Петербург: Изд-во НИЦ МОРИНТЕХ, 2014. Т. 2. 872 с.
6. Раков А. И., Севастьянов Н. Б. Проектирование промысловых судов: учебник. Ленинград: Судостроение, 1981. 376 с.
7. Нормативы трудоемкости и продолжительности проектирования гражданских судов № 299024-Н-91. ЦНИИ "РУМБ". Судостроение. 1991. 46 с.
8. Трудоемкость постройки судов. Нормативы. ФГУП "ЦНИИТС". РД5.ГКЛИ.0502-184-94. Введ. с 01.05.2010. Санкт-Петербург. 2011. 80 с.
9. Основные направления таможенно-тарифной политики на 2021 год и плановый период 2022 и 2023 годов (утв. Минфином России). Введ. с 10.01.2021. Москва, 2021. 75 с.

10. Техничко-экономическое обоснование. ФГУП "Крыловский государственный научный центр". "ИМЯН. Балтика. 360049.006". Санкт-Петербург, 2016.
11. Судовое топливо. URL: <http://toplivo777.ru/sudovoe-toplivo> (дата обращения: 15.03.2022).
12. Налоговый кодекс Российской Федерации (часть вторая) от 05.08.2000 № 117-ФЗ (ред. от 17.02.2021). URL: <http://www.consultant.ru/> (дата обращения: 15.03.2022).

References

1. State Standard 2.103-2013. Unified system for design documentation (ESKD). Development stages. Moscow, Standartinform Publ., 2018. 10 p. (In Russian).
2. Chureev E. A. К вопросу о выборе архитектурно-конструктивного типа малого рыболовного траулера для Балтийского моря [On choosing the architectural and structural type of a small fishing trawler for the Baltic Sea]. *Morskije intellektual'nye tekhnologii*, 2017, no. 3(37), pp. 35–38.
3. Chureev E. A. Issledovanie formy obvodov malomernogo рыболовного траулера с целью повышения его мореходных качеств [Investigation of the shape of the contours of a small fishing trawler in order to improve its seaworthiness]. *Morskije intellektual'nye tekhnologii*, 2018, no. 4(42), pp. 36–43.
4. Bugaev V. G., Dam Van Tung, Bondarenko Yu. V. Optimizatsiya kharakteristik i elementov рыболовных судов с учетом случайных факторов их функционирования [Optimization of the characteristics and elements of fishing vessels, taking into account random factors of their functioning]. *Vestnik inzhenernoy shkoly DVFU*, 2021, no. 1, pp. 46.
5. Teoriya proektirovaniya vodoizmeshchayushchikh korabley i sudov [Theory of designing displacement ships and vessels]. Saint-Petersburg, NITS MORINTEKH Publ., 2014, vol. 2, 872 p.
6. Rakov A. I. Sevast'yanov N. B. *Proektirovanie promyslovykh sudov: uchebnyk* [Designing fishing vessels: students' book]. L., Sudostroenie Publ., 1981, 376 p.
7. Normativy trudoemkosti i prodolzhitel'nosti proektirovaniya grazhdanskikh sudov № 299024-H-91. TSNII "RUMB". Sudostroenie Publ., 1991, 46 p.
8. Trudoemkost' postroyki sudov. Normativy. FGUP "TSNIITS" RD5.GKLI.0502-184-94. Saint-Petersburg, 2011, 80 p.
9. Osnovnye napravleniya tamozhenno-tarifnoy politiki na 2021 god i planovyy period 2022 i 2023 godov. Minfin Rossii. Moscow, 2021, 75 p.
10. Техничко-экономическое обоснование. FGUP Krylovskiy gosudarstvennyy nauchnyy tsentr. IMYAN. Baltika. 360049.006. Saint-Petersburg, 2016.
11. Судовое топливо. Available at: <http://toplivo777.ru/sudovoe-toplivo> (Accessed 15 March 2022).
12. Nalogovyy kodeks Rossiyskoy Federatsii (chast' vtoraya). Publ. 05 August 2000. No 117-FZ, available at: <http://www.consultant.ru/> (Accessed 17 March 2022).

Информация об авторах

Е. А. Чуреев – заместитель директора научно-исследовательского центра судостроения по науке; e-mail: e.chureev@klgtu.ru

Д. А. Романюта – ведущий инженер отраслевой лаборатории эксплуатационной прочности промысловых судов, аспирант кафедры кораблестроения; e-mail: dmitrij.romanyuta@klgtu.ru

В. А. Белоусов – инженер-конструктор, магистрант кафедры кораблестроения

И. И. Николаев – инженер-конструктор; e-mail: Nikolayev@nautic-rus.ru

Information about the authors

E. A. Chureev – deputy director of the Research Center for Shipbuilding in Science; e-mail: e.chureev@klgtu.ru

D. A. Romanyuta – leading engineer of the Branch Laboratory of the Operational Strength of Fishing Vessels, post-graduate student; e-mail: dmitrij.romanyuta@klgtu.ru

V. A. Belousov – design engineer, master degree student at the Department of shipbuilding

I. I. Nikolaev – design engineer; e-mail: nikolaev@nautic-rus.ru

Статья поступила в редакцию 01.09.2022; одобрена после рецензирования 06.09.2022; принята к публикации 21.10.2022.

The article was submitted 01.09.2022; approved after reviewing 06.09.2022; accepted for publication 21.10.2022.

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Научная статья

УДК 664.951

DOI 10.46845/1997-3071-2022-67-89-98

Рекомендации по составу солевой смеси, стабилизирующей качество соленой продукции из лососевых рыб

Екатерина Игоревна Степаненко¹, Борис Лазаревич Нехамкин²,
Ирина Олеговна Шалимова³

^{1,2,3}Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (АтлантНИРО), Калининград, Россия

¹ e.stepanenko@atlantniro.ru, katestepanenko@yandex.ru

Аннотация. При реализации соленой продукции из лососей, выращенных в условиях аквакультуры, существуют проблемы сохранения качества, связанные с тем, что рыба теряет изначально яркий привлекательный цвет, также имеют место случаи микробиологической порчи в пределах декларируемого срока годности. Поэтому возникает необходимость в рекомендациях по составу солевой смеси, способствующей снижению скорости обесцвечивания лососевых рыб и повышающей их микробиологическую стабильность. В экспериментах использовали лосось атлантический (*Salmo salar*) и форель (*Oncorhynchus mykiss*). Для сохранения цвета изучали влияние аскорбиновой и лимонной кислот и их солей, экстракта розмарина, глюконо-дельта-лактона, ликопина и астаксантина, для микробиологической стабильности синергистов традиционных консервантов – солей молочной и уксусной кислот, а также комплексных пищевых добавок. Основная часть экспериментов проведена на модельных образцах, во всех вариантах присутствовал консервант – смесь бензойнокислого натрия и сорбата калия (1:1) в количестве 0,02 % согласно нормам технического регламента. Для определения изменения цветовых характеристик в зависимости от содержания в рыбе астаксантина были построены калибровочные графики по оптической плотности спиртовых экстрактов каротиноидов и установлено количественное содержание астаксантина. Проведены исследования по влиянию света и температуры на изменение цветовых характеристик атлантического лосося. В процессе исследования выявлена неэффективность коммерческих препаратов, используемых в настоящее время для инъектирования рыбы при посоле. Разработан состав солевой смеси для стабилизации качества соленой продукции из лососевых рыб, изготавливаемой методом инъектирования.

Ключевые слова: соленая рыба, лососи, солевая смесь, качество, сохранение цвета, микробиологическая стабильность, пищевые добавки

Для цитирования: Степаненко Е. И., Нехамкин Б. Л., Шалимова И. О. Рекомендации по составу солевой смеси, стабилизирующей качество соленой продукции из лососевых рыб // Известия КГТУ. 2022. № 67. С. 89–98. DOI: 10.46845/1997-3071-2022-67-89-98.

Original article

Recommendations on the composition of the salt mixture that stabilizes the quality of salted products from salmon fish

Ekaterina I. Stepanenko¹, Boris L. Nekhamkin², Irina O. Shalimova³

^{1,2,3}Russian Federal Research Institute of Fisheries and oceanography (AtlantNIRO),
Kaliningrad, Russia

¹ e.stepanenko@atlantniro.ru

Abstract. When selling salted products from salmon grown in aquaculture, there are quality preservation problems associated with the fact that the fish loses its initially bright attractive color, and there are also cases of microbiological spoilage within the declared shelf life. Therefore, there is a need for recommendations on the composition of the salt mixture, which helps to reduce the rate of discoloration of salmon fish and increase their microbiological stability. Atlantic salmon (*Salmo salar*) and trout (*Oncorhynchus mykiss*) have been used in the experiments. In order to preserve color, the influence of ascorbic and citric acids and their salts, rosemary extract, glucono-delta-lactone, lycopene and astaxanthin has been studied, and for microbiological stability, synergists of traditional preservatives - salts of lactic and acetic acids, as well as complex food additives. The main part of the experiments has been carried out on model samples, and in all variants there was a preservative - a mixture of sodium benzoate and potassium sorbate (1: 1) in an amount of 0.02 % in accordance with the technical regulations. On order to determine the change in color characteristics depending on the content of astaxanthin in fish, calibration graphs have been constructed for the optical density of carotenoid alcohol extracts and the quantitative content of astaxanthin has been found. Studies have been carried out on the effect of light and temperature on the change in the color characteristics of Atlantic salmon. The study revealed the ineffectiveness of commercial preparations currently used for injection of fish during salting. A decrease in the total microbial contamination in the presence of salts of lactic and acetic acids has been confirmed. Based on the results of the work, the composition of the mixture has been developed, which stabilizes the quality of salted products from salmon fish. The composition of the salt mixture has been developed to stabilize the quality of salted products from salmon fish produced by the injection method.

Keywords: salted fish, salmon, salt mixture, quality, color retention, microbiological stability, food additives.

For citation: Stepanenko E. I., Nekhamkin B. L., Shalimova I. O. Recommendations on the composition of the salt mixture that stabilizes the quality of salted products from salmon fish. *Izvestiya KGTU = KSTU News*. 2022; (67):89–98. (In Russ). DOI: 10.46845/1997-3071-2022-67-89-98.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время производят значительное количество соленой продукции из семги и форели, выращенной в условиях аквакультуры. В большинстве случаев филе этих рыб солят методом инъектирования с последующим досаливанием, при этом в раствор, как правило, входят комплексные смеси для увеличения выхода готовой продукции. Порционированные куски или ломтики соленой рыбы фасуют в полимерные пакеты под вакуумом.

Практика реализации такой продукции в розничной торговле показывает, что в период декларируемого срока годности при положительной температуре, свойственной данному этапу оборота, соленая семга (форель) обесцвечивается с различной степенью интенсивности, причем влияние всевозможных факторов на степень процесса до настоящего времени не изучено. Известно, что связано это в первую очередь с окислением астаксантина, основного каротиноида, входящего в состав кормов для рыб аквакультуры и определяющего цвет мышечной ткани лососевых рыб [1].

Многие производители для стабилизации цвета используют синтетические красители E110 и E124, которые, как и другие, допускаются согласно техническому регламенту ТР ТС 029 [2] только при производстве продукции, в том числе соленой "под лосось". Такая терминология не разрешает применение их в лососевых рыбах, имеющих естественную оранжево-красную окраску, и это не связано с безопасностью продукции, что является основной целью данного регламента наряду с недопущением введения потребителя в заблуждение. При достоверной маркировке, которую обязан наносить производитель в соответствии с техническими регламентами ТР ТС 022 [3] и ТР ЕАЭС 040 [4], информация об использовании этих красителей, как и других компонентов, должна быть доведена до потребителя.

Исходя из такой ситуации основным способом в какой-то мере снизить скорость обесцвечивания и сохранить качество соленых лососей является использование разрешенных пищевых добавок, например, аскорбиновой и лимонной кислот, аскорбата и изоаскорбата натрия, экстракта розмарина и др.

В настоящее время активно рассматривается вопрос о допустимых суточных нормах астаксантина (E 161i), получаемого, в частности, из микроводорослей *Haematococcus pluvialis*. Группа экспертов по питанию, новым пищевым продуктам и пищевым аллергенам (NDA) делает вывод о безопасности потребления 8 мг астаксантина даже в сочетании с его высоким содержанием в натуральных источниках [5].

К таким источникам относятся лососевые рыбы, ракообразные и др. К примеру, в рыбе лососевой дальневосточной различных видов содержится 10–30 мг астаксантина/кг мышечной ткани, в семге аквакультуры – 4–7 мг/кг, в форели – до 30 мг/кг.

В связи с этими выводами и возможной перспективой допуска астаксантина на рынок продуктов питания представляется возможным оценить влияние данного каротиноида на уровне 3–5 мг/кг рыбы с целью сохранения цвета соленого лосося. Также в качестве потенциального усилителя цвета следует рассмотреть и натуральный ликопин (E 160d), который допускается ТР ТС 029 для большого ассортимента рыбной продукции – рыбы "под лосося", копченой, икры, фарша "сурими", пасты, вареных полуфабрикатов из ракообразных. Такое широкое применение ликопина, причем в больших дозах (до 500 мг/кг), свидетельствует о его безопасности. Кроме того, следует оценить и роль комплексных добавок, которые обычно используют при инъекционном посоле лосося.

Другой проблемой в процессе реализации соленой семги и форели является то, что зачастую в пределах декларируемого срока годности общая микробиологическая обсемененность продукции (КМАФАнМ) превышает норматив, установленный ТР ЕАЭС 040 для соленой рыбы (10^5 КОЕ/г). Среди прочего, это свя-

зано и с неэффективным действием консервантов на основе бензойной и сорбиновой кислот, разрешенных для соленой рыбы на уровне 0,02 %, и с нарушениями температурного режима в торговой сети.

В связи с этим в настоящей работе также рассматривалось возможное влияние этих добавок на качество рыбы в процессе хранения, в том числе в комплексе с другими компонентами.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве сырья для исследований использовали охлажденную рыбу аквакультуры – лосось атлантический (семга *Salmo salar*, Фарерские острова) и форель (*Oncorhynchus mykiss*, Турция). Основная часть экспериментов проведена на модельных образцах, которые представляли собой фарш с добавлением 4,2 % сухой морской соли, расфасованный в полимерные пакеты под вакуумом.

Для сохранения цвета рассматривали антиокислители и их синергисты – аскорбиновую и лимонную кислоты, аскорбат натрия, изоаскорбат натрия, экстракт розмарина, цитрат натрия, глюконо-дельта-лактон, а также красители природного происхождения – ликопин и астаксантин (табл. 1, 2). Исследовали влияние на микробиологическую стабильность компонентов, которые являются синергистами традиционных консервантов (соотношение бензойнокислого натрия и сорбата калия 1:1), и оценивали комплексные добавки, обычно используемые при инъекционном посоле лосося (табл. 2), их состав указан в табл. 3.

Таблица 1. Компоненты, внесенные в модельные образцы из фарша форели
Table 1. Components added to model samples from minced trout

№ п/п	Наименование компонентов	Количество, %
1	Контроль	–
2	Лактат натрия / диацетат натрия	2 / 0,2
3	Лактат кальция	1,5
4	Экстракт розмарина natur forte	0,3
5	Аскорбиновая кислота	0,1
6	Изоаскорбат натрия	0,15
7	Цитрат натрия / изоаскорбат	0,8 / 0,15
8	Димонная кислота	0,1
9	Астаксантин в виде масляного раствора*	0,0005
10	Лактат кальция / экстракт розмарина natur forte	1,5 / 0,3
11	Глюконо-дельта-лактон	0,3

*масляный раствор астаксантина, полученного из микроводорослей *Haematococcus pluvialis*

Во все варианты образцов из форели был внесен консервант (смесь бензойнокислого натрия и сорбата калия (1:1) из расчета для соленой рыбы 0,02 % согласно нормам технического регламента ТР ТС 029) [2].

Таблица 2. Компоненты, внесенные в модельные образцы из фарша семги
 Table 2. Components added to model samples from minced salmon

№ п/п	Наименование компонентов	Количество, %
К 0	Контроль без консерванта	–
К 1	Контроль с консервантом*	0,02
К 2	Контроль с консервантом*	0,2
1	Консервант/ лактат натрия / диацетат натрия	0,02 / 2 / 0,2
2	Консервант/ комплексная добавка 1**	0,02 / 4,0
3	Консервант / комплексная добавка 2**	0,02 / 1,8
4	Консервант / комплексная добавка 3**	0,02 / 1,8
5	Консервант / комплексная добавка 4**	0,02 / 2,0
6	Консервант / лактат натрия / диацетат натрия / экстракт розмарина natur forte	0,02 / 0,3
7	Консервант / лактат натрия / диацетат натрия / аскорбат натрия	0,02/2,0/0,2/0,15
8	Консервант / астаксантин в виде масляного раствора	0,02 / 0,0005
9	Консервант / ликопин	0,02 / 0,00013
* консервант во всех образцах – смесь бензоата натрия и сорбата калия (1:1)		
** состав согласно табл. 3		

Таблица 3. Основной состав комплексных добавок, использованных при подготовке модельных образцов соленой семги и форели
 Table 3. Main composition of complex additives used in the preparation of model samples of salted salmon and trout

№ п/п	Функциональные компоненты			
	Стабилизаторы	Антиокислители	Регуляторы кислотности	Загустители
1	Цитрат натрия*	Лимонная кислота	Цитрат натрия*, диацетат натрия, лимонная кислота	
2	Пирофосфат натрия, цитрат натрия*	Изоаскорбат натрия	Цитрат натрия*, гидрокарбонат натрия, триполифосфат натрия	Каррагинан, ксантановая камедь
3	Полифосфат кальция, карбоксиметилцеллюлоза, цитрат натрия*	Аскорбат натрия	Цитрат натрия*, триполифосфат натрия, глюконо-дельта-лактон, яблочная кислота, лактат кальция	
4	Пирофосфат натрия		Гидрокарбонат натрия, триполифосфат натрия	Рожковая камедь
* двойная функция				

Таблица 4. Условия освещенности при хранении образцов рыбы
 Table 4. Light conditions for storing fish samples

Энергетическая освещенность (УФ-А), мВт/м ²			Освещенность, лк		
холодильник со стеклянной дверью	окно в комнате	торговая сеть	холодильник со стеклянной дверью	окно в комнате	торговая сеть
17–18	26–31	0,2	390–400	590–600	1800

Образцы хранили в холодильнике "Бирюса-2" со стеклянной дверцей при температуре $2 \div 5$ °С, часть образцов из форели – при аналогичной температуре в темноте. Температуру контролировали с помощью логгера "Testo 175-T1". Освещенность возле витрины измеряли люксметром "ТКА-ЛЮКС", энергетическую освещенность – "ТКА-ПКМ". Для понимания условий реализации соленой рыбопродукции также была определена освещенность в магазинах некоторых торговых сетей (табл. 4).

Образцы, предназначенные для оценки общего микробного числа (КМАФАнМ), хранили в термостате суховоздушном "ТВЛ-К" при температуре $5 \text{ °С} \pm 0,3 \text{ °С}$. Микробиологическую обсемененность определяли по стандарту ГОСТ 10444.15-94. В процессе хранения фаршевых образцов были измерены активность воды на приборе "LabMaster-Aw", азот летучих оснований методом отгонки на автоанализаторе "Kjeltec Tecator". Цвет мышечной ткани оценивали с помощью цветовой шкалы "SalmoFantm", экстрагирование астаксантина осуществляли 96 %-м этиловым спиртом. Измерение оптической плотности спиртовых растворов проводили на спектрофотометре "СФ-2000" при длине волны 480 нм.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Так как обесцвечивание связано с химическими изменениями естественных красителей, одним из которых является астаксантин, для количественной оценки его содержания в рыбе первоначально были проведены работы по построению калибровочных графиков на основе оптической плотности. В качестве стандартизованного источника использовали капсулы, содержащие 12 мг астаксантина, полученного из микроводорослей *Haematococcus pluvialis*. Капсулы помещали в 96 %-й раствор этилового спирта, делая соответствующие разведения. После получения калибровочного графика оценили полноту извлечения астаксантина данным растворителем из рыбы, в которую было внесено известное количество красителя. Для получения прозрачного раствора для спектрофотометрии экстракты подвергали центрифугированию.

Также были проведены исследования по влиянию света и температуры на изменение цветовых характеристик коммерческих образцов соленой семги. Отметим, что условия реализации продукции исследуемых торговых сетей характеризуются минимальным ультрафиолетовым излучением и хорошей освещенностью. Содержание астаксантина в начале хранения составило 5,7 мг/кг. После 7 сут хранения в образцах, находившихся в условиях дневного света при температуре $21 \div 23$ °С, и образцах, помещенных при отсутствии дневного света и температуре $9 \div 13$ °С, содержание астаксантина снизилось до 4,5 мг/кг. Количество астаксантина в образцах, хранившихся при температуре минус 2 °С, составило 5,2 мг/кг, через 1 мес – 3,3 мг/кг, 3,9 мг/кг и 4,6 мг/кг соответственно. Температура хранения существенно повлияла на содержание астаксантина. Сравнительные данные по оценке цвета различных образцов рыбы шкалой "SalmoFantm" показали, что визуально заметно отличие окраски мышечной ткани при разнице значений не менее чем 2 балла.

Исследования возможности стабилизировать окраску первоначально проводили на масляных растворах астаксантина. Для этого 30 мг масляного раствора с концентрацией астаксантина 3,9 % эмульгировали в 200 мл воды с помо-

щью ультразвукового диспергатора (70 Вт, частота 40 кГц). Полученная концентрация астаксантина в эмульсии (0,5 мг/100 г) соответствовала распространенному содержанию его в семге. В эмульсию вносили компоненты, концентрации которых указаны в табл. 1, 2.

Изменение цвета в эмульсии астаксантина оценивали визуально. На рисунке показано осветление некоторых вариантов образцов в сравнении с цветом на начало хранения.

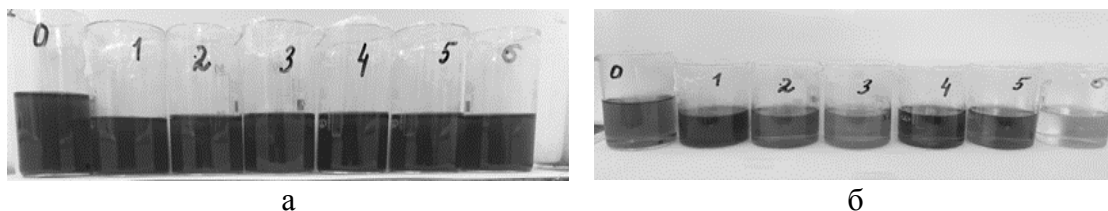


Рис. Изменение цвета эмульсии астаксантина в процессе хранения
(а – 1 сутки хранения; б – 20-е сутки хранения при 20 ± 22 °С)

Обозначения: 0 – контроль; 1 – экстракт розмарина natur forte;
2 – лимонная кислота; 3 – аскорбиновая кислота; 4 – цитрат натрия + изоаскорбат натрия; 5 – изоаскорбат натрия

Fig. Change in the color of the astaxanthin emulsion during storage
(a – 1 day of storage; b – 20 days of storage at 20 ± 22 deg C)

Designations: 0 – control; 1 – rosemary extract natur forte;
2 – citric acid; 3 – ascorbic acid; 4 – sodium citrate + sodium isoascorbate;
5 – sodium isoascorbate

На 20-е сутки хранения можно наблюдать довольно видимые отличия в цвете образцов. При измерении оптической плотности исследуемых растворов полученные значения согласовывались с внешним видом образцов.

Наиболее устойчивыми к изменению цвета были эмульгированные образцы с экстрактом розмарина и смеси цитрата и изоаскорбата натрия, значительные изменения наблюдались в образце с аскорбиновой кислотой.

В одном из экспериментов с образцами фарша семги изоаскорбат натрия также в наибольшей степени стабилизировал цвет. При этом, в отличие от эксперимента с эмульсией астаксантина, на 15-е сутки хранения экстракт розмарина не продемонстрировал способность снизить скорость изменения цвета в сравнении с контрольным образцом. Такой же результат получен и при использовании смеси лактата и диацетата натрия. Однако предыдущие наши работы [6] показали, что применение традиционных консервантов в количестве 0,02 % в комплексе с солями молочной и уксусной кислот обуславливает микробиологическую стабильность соленой рыбы. Это сравнимо с использованием 0,2 % консервантов, что допускает технический регламент ТР ТС 029 в пресервах из соленой рыбы.

Содержание астаксантина (точнее, каротиноидов с пиковым значением, близким к 480 нм, характерным для астаксантина в этаноле) в процессе хранения опытных образцов из форели и семги представлено в табл. 5, 6.

Таблица 5. Содержание астаксантина (мг/кг) в некоторых образцах форели на 50-е сутки хранения в зависимости от используемых добавок
 Table 5. Content of astaxanthin (mg/kg) in some trout samples for 50 days of storage, depending on the additives used

Условия хранения	Содержание астаксантина, мг/кг, в образцах различных вариантов (варианты согласно табл. 1)							
	1	2	3	4	5	6	7	11
Свет	19,2	20,2	21,1	22,3	18,8	24,7	23,9	17,2
Без света	20,9	21,2	20,7	22,7	20,8	25,3	22,9	22,1

Исходное содержание астаксантина в мышечной ткани форели составляло 27 мг/кг. Значимое снижение скорости наблюдалось при использовании экстракта розмарина (40 %), изоаскорбата натрия (70 %) и изоаскорбата в комплексе с цитратом натрия (60 %). Заметное положительное влияние отсутствия освещенности можно отметить только для образца с глюконо-дельта-лактоном и отчасти для аскорбиновой кислоты.

Таблица 6. Содержание астаксантина (мг/кг) в некоторых образцах семги в зависимости от используемых добавок (исходное содержание – 6,3 мг/кг)
 Table 6. Content of astaxanthin (mg/kg) in some salmon samples depending on the additives used (initial content – 6.3 mg/kg)

Срок хранения, сут	Содержание астаксантина, мг/кг, в образцах различных вариантов (обозначения согласно табл. 2)									
	K1	1	2	3	4	5	6	7	8	9
32	3,4	4,0	4,1	3,9	4	4,2	3,9	4,9	5,1	7,2*
60	3,1	3,1	3,4	3,2	3,6	3,4	3,4	4,0	4,8	5,5*

* значение отражает содержание астаксантина и ликопина, с учетом того, что ликопин имеет три пика, один из которых близок к 480 нм

Контроль с консервантом 0,02 % имел на 60-е сутки хранения все признаки органолептической порчи при значении азота летучих оснований 48 мг/100 г, поэтому астаксантин в нем не определяли. Как и в образцах из форели, добавление изоаскорбата натрия в семгу (в данном эксперименте в комплексе с лактатом и диацетатом натрия) в значительной степени обеспечило защиту от обесцвечивания. Следует отметить, что лучшая сохранность цвета наблюдалась в образцах с добавлением каротиноидов (№№ 8–9), причем астаксантин придавал семге естественный оранжево-красный цвет, а ликопин – оттенок желтого. Комплексные смеси (варианты №№ 2–5) незначительно повлияли на изменение цвета, однако во всех образцах на 32-е сутки хранения было превышено общее микробное число (табл. 7).

Из данных таблиц 6, 7 видно, что комплексные смеси, используемые в настоящее время для инъектирования лососевых рыб, мало эффективны в целях сохранения цвета и микробиологической стабильности соленой продукции, их необходимо усилить консервирующими и антиоксидантными добавками. Консервирующими добавками, которые способствуют снижению активности воды (табл. 7) для соленой рыбы, являются лактат натрия в сочетании с диацетатом натрия, а наилучшим антиокислителем для сохранения цвета выбран изоаскорбат натрия.

Таблица 7. Значения КМАФАнМ и активности воды (A_w) в образцах семги на 32-е сутки хранения при температуре $5\text{ }^\circ\text{C} \pm 0,3\text{ }^\circ\text{C}$

Table 7. Values of total viable count and water activity (A_w) in salmon samples on the 32 day of storage at a temperature of $5\text{ deg C} \pm 0,3\text{ deg C}$

Наименование показателя	Значение показателя в образцах различных вариантов (обозначения согласно таблице 2)							
	K1	1	2	3	4	5	6	7
A_w	0,957	0,941	0,964	0,956	0,954	0,969	0,942	0,939
КМАФАнМ, КОЕ/г	$3,1 \cdot 10^5$	$7 \cdot 10^3$	$1,5 \cdot 10^5$	$1,9 \cdot 10^5$	10^5	$5,5 \cdot 10^5$	$2,4 \cdot 10^4$	$1,5 \cdot 10^3$

ВЫВОДЫ

1. На основании проведенных исследований возможно рекомендовать состав смеси для стабилизации качества соленой продукции из лососевых рыб, изготавливаемой методом инъектирования (табл. 8).

Таблица 8. Рекомендуемый состав смеси на 100 кг соленого филе

Table 8. Recommended composition of the mixture per 100 kg of salted fillet

Наименование компонента	Содержание, кг
Бензоат натрия (E 211) + сорбат калия (E202), соотношение 1:1	0,02
Лактат натрия E 325	2,0
Диацетат натрия E 262ii	0,2
Изоаскорбат натрия E 316	0,15

2. Количества добавок должны быть в 100 кг соленого филе рыбы, при этом порядок введения их, как и количество пищевой соли в смеси, зависит от принятой на конкретном производстве технологии инъектирования и должен определяться технологической службой.

3. Разработанный состав смеси может быть внесен в технологические инструкции по производству соленой рыбы из семги и форели.

Список источников

1. Lerfall J., Osterlie M. Use of sodium nitrite in salt-curing of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). Impact on product quality // Food Chemistry. 2011. V. 124. P. 759–766.

2. Технический регламент Таможенного союза 029/2012 "Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств", URL: <http://docs.cntd.ru/document/902359401> (дата обращения: 24.03.2021 г.).

3. Технический регламент Евразийского экономического союза 040/2016 "О безопасности рыбы и рыбной продукции", URL: <http://docs.cntd.ru/document/420394425> (дата обращения: 25.03.2021 г.).

4. Технический регламент Таможенного союза 022/2011 "Пищевая продукция в части ее маркировки", URL: <https://docs.cntd.ru/document/902320347> (дата обращения: 04.03.2021 г.).

5. Safety of astaxanthin for its use as a novel food in food supplements / Turck D. [et al.] EFSA Panel on Nutrition, Novel Foods and Food Allergens (NDA),

URL: <https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.2903/j.efsa.2020.5993> (дата обращения: 21.11.2021).

6. Нехамкин Б. Л., Степаненко Е. И. Роль отдельных компонентов солевого раствора в сохранении качества лосося инъекционного посола // Труды АтлантНИРО. Том 5, № 1 (11). Калининград: Изд-во "АтлантНИРО", 2021. С. 147–156.

References

1. Lerfall J., Osterlie M. Use of sodium nitrite in salt-curing of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). Impact on product quality. *Food Chemistry*, 2011, vol. 124, pp. 759–766.

2. Tekhnicheskiiy reglament Tamozhennogo soyuza 029/2012 "Trebovaniya bezopasnosti pishchevykh dobavok, aromatizatorov i tekhnologicheskikh vspomogatel'nykh sredstv" [Technical regulation of the Customs Union. Safety requirements for food additives, flavors and technological aids]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/902359401> (Accessed 24 March 2021).

3. Tekhnicheskiiy reglament Evraziyskogo ekonomicheskogo soyuza 040/2016 "O bezopasnosti ryby i rybnoy produktsii" [Technical Regulations of the Eurasian Economic Union. On the safety of fish and fish products]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/420394425> (Accessed 25 March 2021).

4. Tekhnicheskiiy reglament Tamozhennogo soyuza 022/2011 "Pishchevaya produktsiya v chasti ee markirovki" [Technical regulation of the Customs Union. Food products in terms of their labeling]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/902320347> (Accessed 04 March 2021).

5. Turck D. [et al.]. Safety of astaxanthin for its use as a novel food in food supplements. EFSA Panel on Nutrition, Novel Foods and Food Allergens (NDA). Available at: <https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.2903/j.efsa.2020.5993> (Accessed 21 November 2021)

6. Nekhamkin B. L., Stepanenko E. I. Rol' otdel'nykh komponentov solevogo rastvora v sokhraneni kachestva lososya in"ektsionnogo posola [The role of individual components of the saline solution in maintaining the quality of injection salted salmon]. *Trudy AtlantNIRO: sb. nauch. trudov*, Kaliningrad, "AtlantNIRO" Publ., 2021, pp. 147–156.

Информация об авторах

Е. И. Степаненко – кандидат технических наук, старший научный сотрудник

Б. Л. Нехамкин – заведующий лабораторией общей технологии

И. О. Шалимова – специалист лаборатории общей технологии

Information about the authors

E. I. Stepanenko – PhD in Engineering, senior researcher

B. L. Nekhamkin – head of the general technology laboratory

I. O. Shalimova – specialist of the general technology laboratory

Статья поступила в редакцию 04.04.2022; одобрена после рецензирования 19.04.2022; принята к публикации 16.09.2022.

The article was submitted 04.04.2022; approved after reviewing 19.04.2022; accepted for publication 16.09.2022.

СУДОСТРОЕНИЕ, МАШИНОСТРОЕНИЕ И ЭНЕРГЕТИКА

Научная статья

УДК: 656.6.08, 519.71

DOI 10.46845/1997-3071-2022-67-101-112

**Поведение судна в экстремальных ситуациях на волнении –
интеграция в бортовой интеллектуальной системе нового поколения**

Виталий Александрович Бондарев¹, Изумруд Рамазановна Рагулина²

^{1,2}Калининградский государственный университет, г. Калининград, Россия

¹va.bondarev@gmail.com

²izragulina@mail.ru

Аннотация. Проблемы моделирования поведения судна вообще и в критических ситуациях на волнении, в частности, являются предметом дискуссий на международных конференциях по безопасности мореплавания уже много лет. Именно при исследовании частных случаев, подтвержденных практикой, проявляются критические ситуации бифуркационного характера, о которых проектировщики судов, особенно большого водоизмещения, даже не подозревали. По информации, полученной при испытаниях самоходных радиоуправляемых моделей на естественном волнении, проведенных в бухте Сан-Франциско, выполнено моделирование остойчивости. Представлены три характерных случая опрокидывания: полная потеря остойчивости, резонансные режимы и брочинг. Практический интерес при интерпретации поведения судна представляют особенности крена и опрокидывания при полной потере остойчивости и заданном уровне нестационарных внешних возмущений. Анализ математической модели взаимодействия позволил установить некоторые общие закономерности изменения процесса динамического наклонения и опрокидывания судна при полной потере остойчивости, а также характеристик эволюционной динамики при построении модели взаимодействия. Дана характеристика особенностей представленных экстремальных ситуаций, и приведен критериальный базис при их нормировании. Установлено, что килевая качка в условиях параметрического резонанса происходит в режиме, близком к основному резонансу. В результате допустимые углы дифферента превышены, и поэтому амплитуда килевой качки достигает существенных величин. Это позволило определить требования к безопасности судна в режиме "брочинг". Они соответствуют известным физическим закономерностям крена и опрокидывания судна, что подтверждено экспериментальными исследованиями. Анализ динамики судна в режиме "брочинг" выявил катастрофическую ситуацию, возникающую в случае выхода судна из режима "захвата" и попадания его в "потенциальную яму", в состоянии полной потери остойчивости.

Ключевые слова: экстремальная ситуация, поведение судна, волнение, режимы качки, брочинг, бортовая интеллектуальная система.

Для цитирования: Бондарев В. А., Рагулина И. Р. Поведение судна в экстремальных ситуациях на волнении – интеграция в бортовой интеллектуальной системе нового поколения // Известия КГТУ. 2022. № 67. С. 101–112. DOI: 10.46845/1997-3071-2022-67-101-112.

© Бондарев В. А., Рагулина И. Р., 2022

Original article

Vessel behavior in extreme situations in waves - integration in the new generation on-board intelligent system

Vitaliy A. Bondarev¹, Izumrud R. Ragulina²

^{1,2}Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia

¹va.bondarev@gmail.com,

²izragulina@mail.ru

Abstract. The issues of modeling vessel behavior in general and in particular, in critical situations in waves, have been the subject of discussions at international conferences on the safety of navigation for many years. It is in the study of particular cases, confirmed by practice, that critical situations of a bifurcation nature appear (which the designers of ships, especially of large displacement, do not even suspect). The paper considers modeling of stability in waves on the data of tests of self-propelled radio-controlled models in natural waves, carried out in the San Francisco Bay. Three typical rollover cases have been identified: complete loss of stability, resonance modes, and broaching. Of practical interest in interpreting the behavior of a vessel are the features of roll and overturning with a complete loss of stability and a given level of unsteady external disturbances. The analysis of the mathematical model of interaction has made it possible to establish some general patterns of change in the process of dynamic inclination and capsizing of the vessel with a complete loss of stability, as well as the characteristics of evolutionary dynamics when building a model of interaction. Characteristics of the features of the presented extreme situations are given together with the criterial basis for their normalization. It has been found that pitching under conditions of parametric resonance occurs in a mode close to the main resonance. Therefore, the pitching amplitude under intense external disturbances can also reach significant values exceeding the permissible trim angles. As a result of the analysis, the requirements for the safety of the vessel in the "broaching" mode have been formulated. These requirements are determined by the physical laws of the ship's roll and capsizing, established on the basis of experimental studies. The analysis of the dynamics of the vessel in the "broaching" mode revealed a catastrophic situation arising in the case of a ship leaving the "capture" mode and falling into a "potential hole", into a state of complete loss of stability.

Keywords: extreme situation, vessel behavior, waves, pitching modes, broaching, onboard intelligent system

For citation: Bondarev V. A., Ragulina I. R. Vessel behavior in extreme situations in waves – integration in the new generation on-board intelligent system. *Izvestiya KGTU = KSTU News*. 2022; (67):101–112. (In Russ). DOI: 10.46845/1997-3071-2022-67-101-112.

ВВЕДЕНИЕ

На международных конференциях по безопасности мореплавания особым предметом обсуждения уже в течение ряда лет является авария американского контейнеровоза [1]. По результатам анализа произошедшего явление параметрического резонанса подверглось детальному изучению, особенно

параметрических колебаний (проектировщики контейнеровоза это явление не учитывали).

Физическое и математическое моделирование трех характерных случаев – полной потери остойчивости, резонансных режимов и брочинга – позволяет получить полную физическую картину явлений и установить характеристики эволюционной динамики взаимодействия судна с экстремальной средой.

Резкое ухудшение остойчивости на попутном волнении связано с уменьшением восстанавливающего момента и снижением сопротивляемости судна внешним кренящим нагрузкам. Анализ этого явления проведен в разделе "Полная потеря остойчивости". Аналитическая и геометрическая интерпретации параметрического резонанса при воздействии пакетов экстремальных волн позволяют выполнить полный анализ и дать теоретическое обоснование явлению.

Рассматриваемая чрезвычайная ситуация брочинга в нестационарной среде – одна из сложных моделей взаимодействия судна с внешней средой [2, 3]. В процессе неуправляемой эволюции судна в режиме "брочинг" происходят возникновение и непрерывный рост кренящего момента от разворота. В статье приводятся результаты физического моделирования, аналитическая и геометрическая интерпретации брочинга, а также когнитивное моделирование самоорганизующихся систем с применением иерархической когнитивной карты (ИКК). Замечательная особенность ИКК состоит в том, что с помощью такого представления можно моделировать разнообразные ситуации в интерпретируемых системах.

Статья посвящена памяти учителя – доктора технических наук, профессора Юрия Ивановича Нечаева.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Полная потеря остойчивости

Закономерности изменения восстанавливающего момента при прохождении волны вдоль судна в значительной степени обусловлены конфигурацией ватерлинии, изменением давлений в волнующейся жидкости и гидродинамическими явлениями, связанными с интерференцией и дифракцией волн [2, 3].

Опрокидывающий момент. Анализ математической модели взаимодействия позволил установить некоторые общие закономерности изменения процесса динамического наклонения и опрокидывания судна при полной потере остойчивости, а также характеристик эволюционной динамики при построении модели взаимодействия. Опрокидывающий момент в ситуации полной потери остойчивости определяется при равенстве работ кренящего, восстанавливающего и демпфирующего моментов:

$$\int_0^{\theta_d} M_x(t) dt = \int_0^{\theta_d} M(\theta, t) d\theta + W_R \int_0^{\theta_d} \dot{\theta}^2 \operatorname{sign} \dot{\theta} d\theta, \quad (1)$$

где W_R – квадратичный коэффициент демпфирования; θ_d – максимальный динамический угол крена.

Этому условию соответствует равенство нулю угловой скорости и ускорения:

$$\theta = \theta_0 \text{ при } M_x(t) = M_c, \theta'' = \theta' = 0. \quad (2)$$

Изменение опрокидывающего момента в зависимости от фазы для судна, движущегося на попутном волнении с различными числами Фруда, представлено на рис. 1 в виде кривых:

$$M = M_c / (M_c)_{mid} = f(\varepsilon_0, Fr), \quad (3)$$

где $(M_c)_{mid} = 0,5 [(M_c)_{min} + (M_c)_{max}]$ – среднее значение опрокидывающего момента на попутном волнении; $(M_c)_{min}$ и $(M_c)_{max}$ – значения опрокидывающего момента при положении судна на вершине и подошве волны.

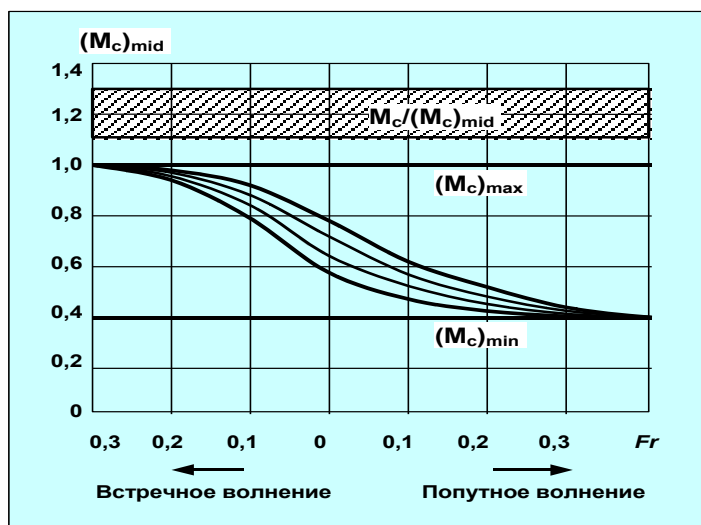


Рис. 1. Опрокидывающий момент при оценке полной потери устойчивости [3]
 Fig. 1. Overturning moment when evaluating the total loss of stability [3]

Экспериментальные исследования показывают, что в зависимости от характера колебательного движения время опрокидывания τ_0 составляет приблизительно от 0,6 до нескольких периодов собственных колебаний судна. Приближенную оценку времени опрокидывания в первом размахе можно произвести, используя следующую схему [2, 3]. Задавая определенный закон изменения кренящего момента и интегрируя уравнение бортовых колебаний судна, получаем:

$$\tau_0 = \sqrt{\frac{1}{2}(J_x + \mu_{\theta\theta})} \int_{\theta_0}^{\theta_d} \frac{d\theta}{\sqrt{T_x(t) - T(\theta, t) - T_R(\theta')}} \quad (4)$$

где θ_d – угол крена, удовлетворяющий равенству работ $T_x(t) = T(\theta, t) + T_R(\theta')$, которому соответствует условие $\theta'' = \theta' = 0$; θ_0 – начальная амплитуда качки; $T_x(t)$, $T(\theta, t)$, $T_R(\theta')$ – значения работ кренящего, восстанавливающего и демпфирующего моментов.

Выводы относительно характера динамического наклонения судна справедливы в том случае, когда результирующий кренящий момент близок к опрокидывающему. По мере роста внешней нагрузки кренящий момент M_x оказывается больше опрокидывающего M_c . В результате потеря устойчивости в первом размахе наступает при других начальных условиях. Численный эксперимент показыва-

ет, что снижение τ_0 в первом размахе происходит приблизительно пропорционально увеличению отношения M_x/M_c в соответствии с выражением:

$$\tau_0 / \tau_\theta = 0,6 - 0,5 [M_x / M_c - 1,1] \quad (5)$$

в диапазоне $M_x/M_c = 1,1 - 1,6$, где τ_θ – собственный период бортовых колебаний.

На рис. 2 отображены следующие структуры: бифуркационного множества со сборкой в точке P_1 (касательная к фигуре $GZ_1(\theta)$, темная область – результат трансформации исходной области $GZ(\theta)$), реализующие ситуацию полной потери устойчивости (динамическая модель современной теории катастроф (СТК) [4]).

Кривая $C(\theta)$ характеризует изменение подводной части корпуса судна вследствие непрерывного изменения действующей ватерлинии при влиянии волновых возмущений.

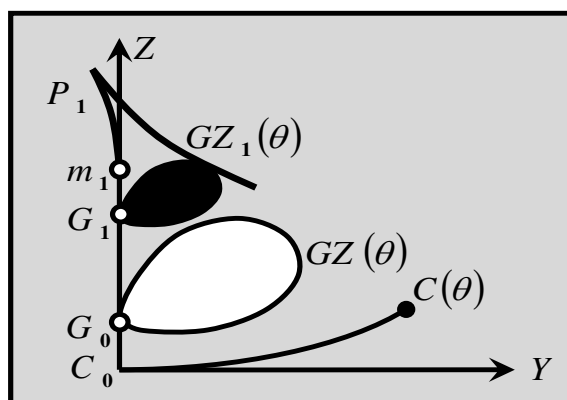


Рис. 2. Динамическая модель СТК при полной потере устойчивости [4]
 Fig. 2. Dynamic model of the MDT with complete loss of stability [4]

Критериальный базис оценки полной потери устойчивости предусматривает использование требований к динамической устойчивости и метацентрической высоте при прохождении гребня волны через мидель судна [2]:

$$M_c \geq M_w; h_w \geq 0,$$

(6)

где $M_c = [(M_c)_{\min} + \Delta M_c] k(\theta)_w$ – опрокидывающий момент;

$$\Delta M_c = (\Delta M_c)^* [(M_c)_{\text{mid}} - (M_c)_{\min}]; \quad (7)$$

$$(\Delta M_c)^* = k_1 \Delta(Fr)_w + k_2 \Delta(Fr)_w^2 - k_3 \Delta(Fr)_w^3; \quad (8)$$

$k_1 = 0,27; k_2 = 8,13; k_3 = 11,04; \Delta(Fr)_w = 0,40 - Fr;$
 $(M_c)_{\text{mid}} = 0,5 [(M_c)_{\max} + (M_c)_{\min}]; (M_c)_{\min}$ и $(M_c)_{\max}$ – опрокидывающий момент на вершине и подошве волны, определенные при длине волны λ , равной длине судна L , и крутизне $h_w = 0,328\lambda^{0,63}; k(\theta)_w = 0,75$ – коэффициент, учитывающий нормируемое значение амплитуды бортовой качки; $M_w = 0,6 \times 10^{-3} p_w A_w z$ – кренящий момент; p_w – давление ветра, определенное по Правилам Морского регистра судоходства; A_w – площадь парусности, m^2 ; z – отстояние центра тяжести площади парусности от действующей ватерлинии; h_w – начальная метацентрическая высота при положении судна на вершине волны, определенная по формуле:

$$\begin{aligned}
 h_w = & -BF_1(\lambda / L(-0,575 h_w / L = 0,0115 X_1 - \\
 & - 0,02001 X_2 + 0,0980 X_3 + 0,0229 X_4 + 0,1100 X_5 + \\
 & + a_6 X_6 + 0,0023 X_1^2 - 0,0064 X_2^2 + 0,0712 X_3^2 - \\
 & - 0,0297 X_5^2 - 0,1195 X_6^2 - 0,0265 X_1 X_6 + 0,0078 X_2^3 - \\
 & - 0,0528 X_3^3 - 1,700 X_5^3),
 \end{aligned} \tag{9}$$

где $a_1 = 0,1610$ при $Fr > 0,28$, $a_1 = -0,2080$ при $Fr < 0,28$, $Fr = 0,514Vs/(gL)^{1/2}$;

$$\begin{aligned}
 F_1(\lambda / L) &= 1 + 0,87 \lambda^* - 1,2(\lambda^*)^2 - 0,21(\lambda^*)^3; \\
 \lambda^* &= (\lambda / L) - 1; \\
 X_1 &= (L / B) - 4,82; X_2 = (B / T) - 2,67; \\
 X_3 &= (H / T) - 1,30; \\
 X_4 &= (\delta / \beta) - 0,692; X_5 = (\delta / \alpha) - 0,700; \\
 X_6 &= Fr - 0,28.
 \end{aligned} \tag{10}$$

Кривая $M = f(\varepsilon_0, Fr)$ сверху отделяет зону опасных кренящих моментов, вызывающих опрокидывание судна. Минимум этой кривой характеризует минимальный опрокидывающий момент $(M_c)_{min}^*$ при заданных параметрах волнения и числе Фруда. Приведенные на рис. 1 данные отражают воздействие кренящего момента $M_x(t) = (M_c)_{mid}$, приводящего к опрокидыванию судна при всех числах Фруда и следующих значениях фазы:

$$\begin{aligned}
 \varepsilon_0 &= \pi / 2 \dots 3 / 2\pi \text{ при } Fr = 0,40; \\
 \varepsilon_0 &= \pi / 4 \dots 3 / 2\pi \text{ при } Fr = 0,32; \\
 \varepsilon_0 &= 0 \dots 2\pi \text{ при } Fr = 0,16.
 \end{aligned} \tag{11}$$

Опрокидывание наступает и при значительно меньших кренящих моментов вплоть до

$$\begin{aligned}
 0,6(M_c)_{mid} \text{ при } Fr = 0,40 \text{ и } \varepsilon = \pi; \\
 0,68(M_c)_{mid} \text{ при } Fr = 0,32 \text{ и } \varepsilon = 4/5\pi; \\
 0,78(M_c)_{mid} \text{ при } Fr = 0,16 \text{ и } \varepsilon = \pi/4.
 \end{aligned} \tag{12}$$

Систематический анализ зависимости относительного значения опрокидывающего момента для различных типов морских судов показывает, что при постоянном числе Фруда увеличение крутизны волны приводит к более резкому изменению опрокидывающего момента от фазы. Влияние же длины волны при постоянной крутизне значительно слабее. Характерно, что изменение параметров волнения не влияет качественно на картину зависимости опрокидывающего момента от фазы и числа Фруда. Однако с ростом крутизны волны увеличивается разность $(M_c)_{mid} - (M_c)_{min}$, и кривая $(M_c)_{min} = f(Fr)$ становится более крутой. В таких условиях влияние числа Фруда усиливается, и указанные на рис. 1 экстремальные значения опрокидывающего момента будут различаться еще более резко.

Резонансные режимы качки

Физическая модель взаимодействия судна с внешней средой интерпретируется как возникновение интенсивной бортовой качки вследствие близости частоты возмущения σ к частоте собственных колебаний системы ω , т. е. $\sigma \approx \omega$ (основной резонанс) или $\sigma \approx 2\omega$ (параметрический резонанс, реальная область соотношения σ/ω для которого составляет 1,95–2,10). Данные физического моделирования подтверждают, что резонансные режимы развиваются при воздействии пакетов, содержащих до 5–7 резонансных волн.

Аналитическая интерпретация. На рис. 3 приведены временные кривые и фазовый портрет движения контейнеровоза на встречном волнении в режиме параметрического резонанса при воздействии волн, структура которых близка к зыби [4]. Амплитуда бортовых колебаний в этой ситуации быстро растет и вследствие влияния нелинейных эффектов стабилизируется и достигает 30 град. Эффект возрастания амплитуды часто наблюдался в практике эксплуатации (при высоких числах Фруда). В случае попадания больших масс воды на палубу судна возможно опрокидывание вследствие возникновения кренящих нагрузок. Развитие опасных колебаний на нерегулярном волнении связано с воздействием пакетов резонансных волн. При этом глубина модуляции параметра при периодической составляющей модифицированного уравнения Матье [2, 4] обусловлена воздействием пакетов волн большой крутизны, а "порог возбуждения" параметрических колебаний легко преодолевается при движении судна на продольном волнении [2].

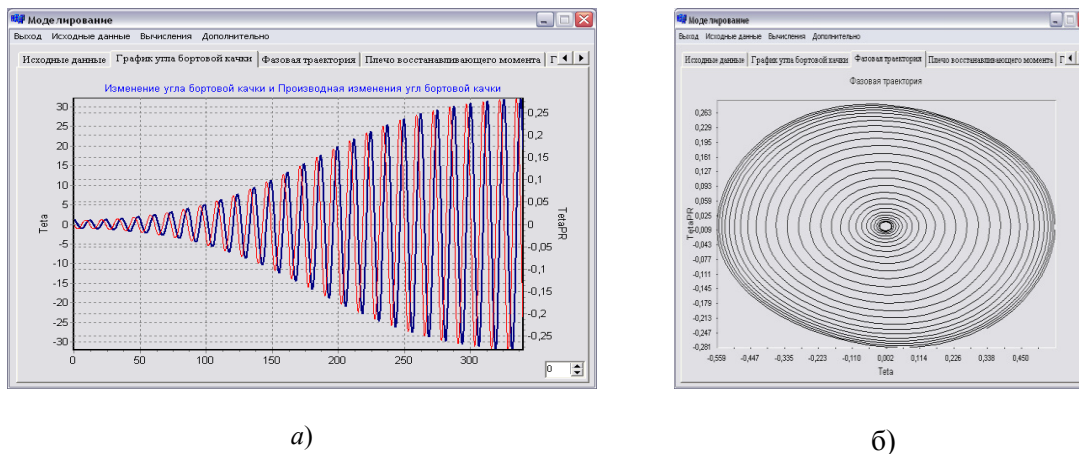
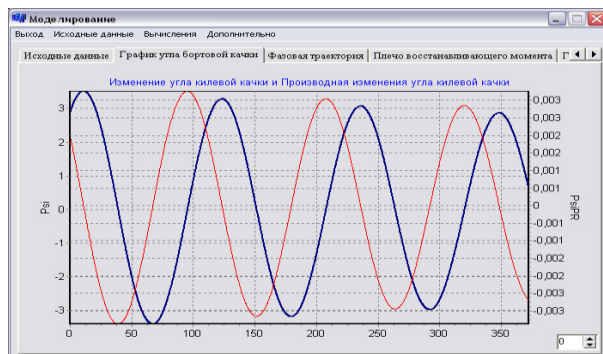


Рис. 3. Временные кривые (а) и фазовый портрет (б) колебаний судна в режиме параметрического резонанса [4]

Fig. 3. Time curves (a) and phase portrait (b) of vessel oscillations in parametric resonance mode [4]

Колебательные движения судна в условиях резонанса (килевая качка) приведены на рис. 4.



а)

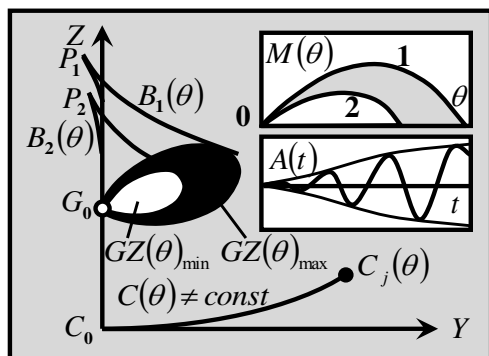


б)

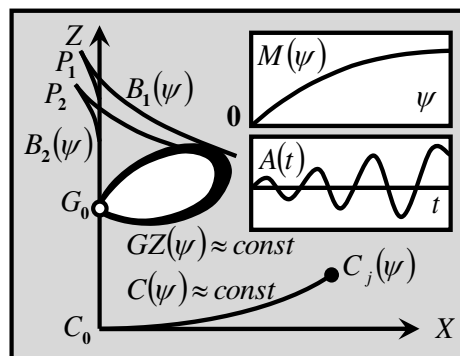
Рис. 4. Режим основного резонанса килевой качки (а) и картина сложных колебаний судна на волнении (б) [4]

Fig. 4. Mode of the main resonance of keel pitching (a) and the picture of complex vibrations of a vessel in waves (b) [4]

Геометрическая интерпретация. В процессе вычислительного эксперимента проводилась также имитация динамических картин колебательного движения для исследуемых ситуаций. Результаты моделирования представлены на рис. 5 в виде геометрической и аналитической интерпретации с помощью модифицированной модели катастрофы [4]. Бифуркационные множества $B(\theta)$, $B(\psi)$ и точка сборки P показывают пространство катастроф. Для отображения катастрофы исследуемого судна рассмотрены существенные черты: последовательность пространств ($R^2 \supseteq R^1 \supseteq R^0$) и бифуркационное множество B .



а)



б)

Рис. 5. Геометрическая интерпретация режимов бортовой (а) и килевой (б) качки при основном резонансе [4]

Fig. 5. Geometric interpretation of the roll (a) and keel pitching (b) modes at the main resonance [4]

На рис. 5 а показаны граничные кривые $B_1(\theta)$, $B_2(\theta)$ и соответствующие точки складки $P_1(\theta)$ и $P_2(\theta)$.

Графическая интерпретация катастроф сборки на рис. 5 а для аналитической интерпретации ситуации дополняется кривыми $M(\theta)$ и $A(\theta)$, первая из которых характеризует области изменения восстанавливающего момента (показана темным

цветом), а вторая – кривую развития колебательного движения в момент прохождения пакета резонансных волн с соотношением частот $\sigma_k = (0,8 - 1,2)\omega_0$, где $\sigma_k = 2\pi/\tau_k$ – "кажущаяся" частота; $\tau_k = \lambda/(C - V \cdot \cos\varphi)$ – "кажущийся" период, вычисленный при обработке измерительной информации; $C = 1,25(\lambda)^{1/2}$ – скорость бега волны; V – скорость судна. В случае возникновения параметрического резонанса (частотное соотношение $\sigma_k = (1,95-2,10)\omega_0$) геометрическая интерпретация ситуации сохраняется с той лишь разницей, что кривая $A(\theta)$ будет иметь различный вид в зависимости от особенностей структуры воздействующего пакета волн.

Бифуркационное множество отражает процесс стабильного положения множества $C(\theta)$, что объясняется малыми структурными изменениями в форме подводной части корпуса (указаны заштрихованной областью), которые практически не повлияли на построение кривой продольного метacentра – бифуркационного множества $B(\psi)$ и положения точки $P(\psi)$. Графическая интерпретация катастроф сборки на рис. 5 б дополняется кривыми $M(\psi)$ и $A(\psi)$, первая из которых характеризует изменения продольного восстанавливающего момента, а вторая – кривую развития колебательного движения при килевой качке в момент прохождения пакета резонансных волн с соотношением частот $\sigma_k = (0,8-1,2)\omega_\psi$, где ω_ψ – собственная частота килевой качки.

Ситуация "бродяг" в нестационарной среде

Рассматриваемая чрезвычайная ситуация – одна из сложных моделей взаимодействия судна с внешней средой, которая получила название "бродяг" [2, 3, 6, 7]. В процессе неуправляемой эволюции судна в режиме "бродяг" происходит возникновение и непрерывный рост кренящего момента от разворота (рис. 6).

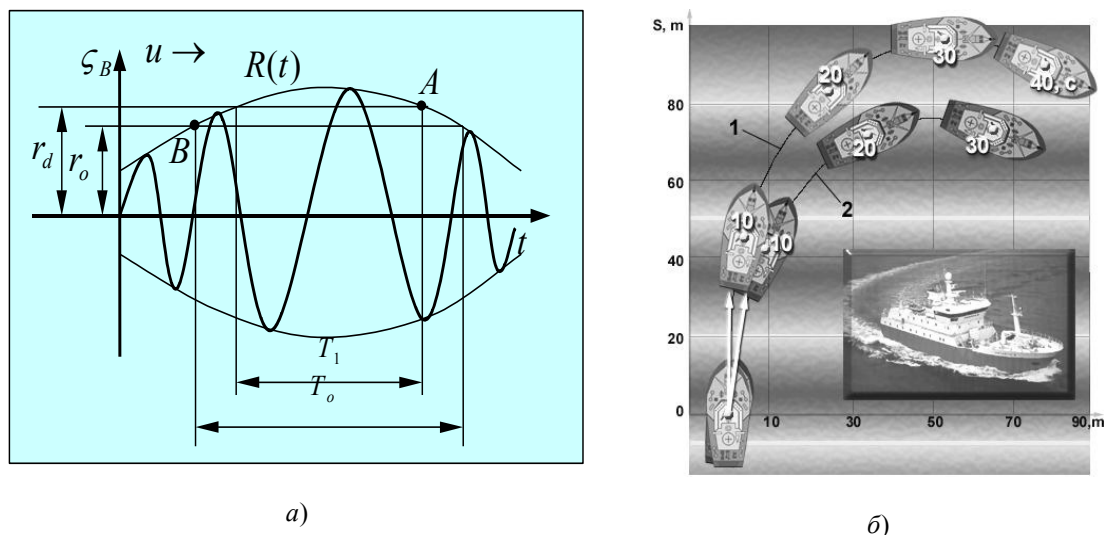


Рис. 6. "Захват" и неуправляемый разворот судна при воздействии группы нерегулярных волн: а и б – реализация "захвата" и выход из этого состояния [5]

Fig. 6. "Capture" and uncontrolled turn of the vessel when exposed to a group of irregular waves: a and b – implementation of "capture" and exit from this state [5]

Физическая модель. Ситуация "бродчинг" включает три стадии развития. Первая стадия – "захват" судна попутной волной (рис. 6 а). Вторая – выход судна из состояния "захвата" и внезапный разворот до положения, близкого к ориентации лагом к набегающему волнению. Третья стадия – сильная качка в результате разворота при положении лагом к волнению (рис. 6 б).

В заключительной стадии бродчинга угловая скорость и угол дрейфа подвержены значительным колебаниям, а скорость судна весьма отличается от скорости бега волн. Резкий разворот приводит к возникновению сильной бортовой качки, а в отдельных случаях — к опрокидыванию судна при положении лагом к набегающему волнению. Анализ и прогноз динамики судна в режиме "бродчинг" представляют одно из важных приложений методов СТК, поскольку в случае выхода судна из режима "захвата" оно оказывается в "потенциальной яме" в состоянии *полной потери остойчивости* [4, 5].

Аналитическая интерпретация. Исследование проведено на базе математической модели [4]. На рис. 7 представлены динамические картины изменения характеристики "захвата" и картина разворота судна в режиме "бродчинг".

Здесь на верхнем графике показан пакет волн, проходящих во время контроля экстремальной ситуации, а на нижнем – кривые динамического наклона судна на основе двух разных представлений восстанавливающего момента: в виде нелинейной функции $M(\theta) = D(h_0\theta - a\theta^3)$ (пологая кривая) и в виде нелинейной пространственной функции $M(\theta, \varphi, t)$ (кривая с явно выраженным колебательным движением). Из сопоставления этих кривых следует, что принятая при обычных расчетах аппроксимация нелинейной функции в виде кубической параболы приводит к существенной погрешности результатов расчета, причем эта погрешность будет в опасную сторону, что недопустимо при оценке остойчивости как важнейшего мореходного качества.

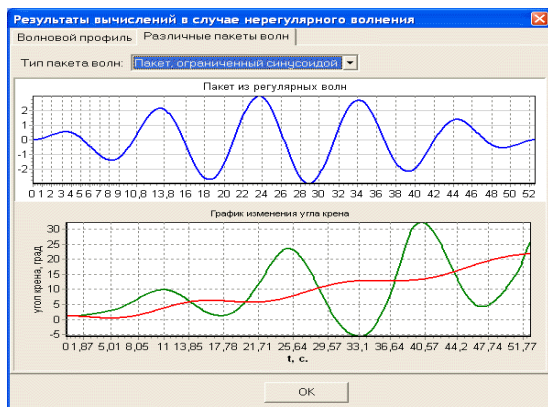


Рис. 7. Результаты моделирования динамики бортовых наклонов судна во время прохождения пакета волн
 Fig. 7. Results of modeling the dynamics of the ships board inclinations during the passage of a wave packet [5]

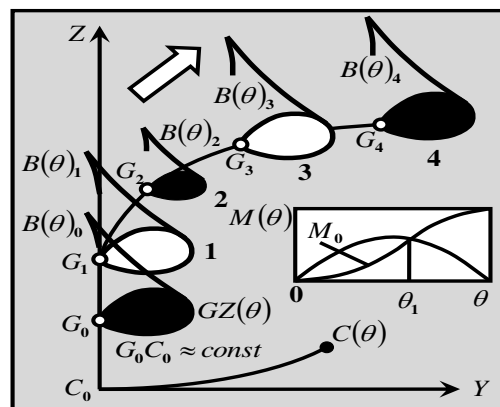


Рис. 8. Графическая интерпретация ситуации "бродчинг"
 Fig. 8. Graphic interpretation of the "broaching" situation [6]

Геометрическая интерпретация. Геометрическая интерпретация рассматриваемой экстремальной ситуации представлена на рис. 8. На нем отображена эволюция движения судна на плоскости YZ , где расстояние по вертикали между точками G_i и C_{0i} сохраняется постоянным (перемещение системы координат $Y0Z$ на рисунке не показано).

Неуправляемая эволюция судна приводит к росту динамического кренящего момента от разворота, его величина может достигать существенных значений. Для обеспечения безопасности судна необходимо, чтобы действующий кренящий момент не превосходил величины опрокидывающего на волнении. За счет снижения скорости возможно обеспечить выход судна из этой ситуации. В нормативных правовых актах отражена последовательность действий для обеспечения безопасности судна. Замечание: снижение скорости может привести к возникновению параметрического резонанса.

ВЫВОДЫ

Систематический анализ зависимости относительного значения опрокидывающего момента для различных типов морских судов показывает, что при постоянном числе Фруда увеличение крутизны волны приводит к более резкому изменению опрокидывающего момента от фазы. Влияние же длины волны при постоянной крутизне значительно слабее.

Характерно, что изменение параметров волнения не влияет качественно на картину зависимости опрокидывающего момента от фазы и числа Фруда. Килевая качка при данных условиях наступает в режиме основного резонанса.

Эффект резкого возрастания амплитуды в режиме параметрического резонанса неоднократно наблюдался в практике эксплуатации контейнеровоза, особенно при достаточно высоких числах Фруда. В случае попадания больших масс воды на палубу судна возможно опрокидывание вследствие возникновения кренящих нагрузок. Развитие опасных колебаний на нерегулярном волнении связано с воздействием пакетов резонансных волн.

Для явления "брочинг" наиболее опасна его финальная стадия, при которой скорость судна весьма отличается от скорости волн. Резкий разворот в отдельных случаях может привести к его опрокидыванию при положении лагом к волне. Анализ и прогноз динамики судна в режиме "брочинг" являются одним из важнейших методов современной теории катастроф, поскольку в случае выхода судна из режима "захвата" оно оказывается в "потенциальной яме" в состоянии *полной потери остойчивости*.

Список источников

1. France W., Levadou M., Treakle T. W., Paulling J. R., Michel R. K., Moore K. An investigation of head-sea parametric rolling and its Influence on Container Lashing Systems. SNAME Annual Meeting 2001 Presentation, pp. 1–24.
2. Нечаев Ю. И. Остойчивость судов на попутном волнении. Ленинград: Судостроение, 1978. 272 с.
3. Нечаев Ю. И. Моделирование остойчивости на волнении. Современные тенденции. Ленинград: Судостроение, 1989. 240 с.

4. Нечаев Ю. И. Теория катастроф: современный подход при принятии решений. Санкт-Петербург: Арт-Экспресс, 2011. 392 с.
5. Нечаев Ю. И. Компьютерная математика: теория и приложения. Санкт-Петербург: Арт-Экспресс, 2019. 368 с.

References

1. France W., Levadou M., Treakle T. W., Paulling J. R., Michel R. K., Moore K. An investigation of head-sea parametric rolling and its Influence on Container Lashing Systems. SNAME Annual Meeting 2001 Presentation, pp. 1–24.
2. Nechaev Yu. I. *Ostoychivost' sudov na poputnom volnenii* [Stability of vessels on a passing sea waves]. Leningrad, Sudostroenie Publ., 1978, 272 p.
3. Nechaev Yu. I. *Modelirovanie ostoychivosti na volnenii. Sovremennye tendentsii* [Modeling of stability in waves. Modern tendencies]. Leningrad, Sudostroenie Publ., 1989, 240 p.
4. Nechaev Yu. I. *Teoriya katastrof: sovremennyy podkhod pri prinyatii resheniy* [Disaster theory: a modern approach to decision making]. Saint-Petersburg, Art-Ekspress Publ., 2011, 392 p.
5. Nechaev Yu. I. *Komp'yuternaya matematika: teoriya i prilozheniya* [Computer mathematics: theory and applications]. Saint-Petersburg, Art-Ekspress Publ., 2019, 368 p.

Информация об авторах

- В. А. Бондарев** – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой судовождения и безопасности мореплавания
- И. Р. Рагулина** – кандидат географических наук, доцент кафедры судовождения и безопасности мореплавания

Information about the authors

- V. A. Bondarev** – PhD in Engineering, Associate Professor, Head of the Department of Navigation Safety.
- I. R. Ragulina** – PhD in Geographic Sciences, Associate Professor of the Department of Navigation Safety

Статья поступила в редакцию 19.11.2021; одобрена после рецензирования 19.08.2022; принята к публикации 21.09.2022.
The article was submitted 19.11.2021; approved after reviewing 19.08.2022; accepted for publication 21.09.2022.

ЕСТЕСТВЕННЫЕ И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 521.937
DOI 10.46845/1997-3071-2022-67-115-128

Эволюции мгновенного положения полюса вращения Земли

Владимир Филиппович Дубравин¹, Олег Юрьевич Краснобородько²

¹Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, Москва, Россия

²Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (АтлантНИРО), Калининград, Россия

¹ v_dubravin@mail.ru

² sea@atlantniro.ru

Аннотация. Исследование выполнено на однородных материалах многолетних массивов координат X и Y и результирующего вектора мгновенного положения Северного полюса вращения Земли (МПСПВЗ) (м) с дискретностью 0,05 г. за период 1890–2020 гг. [1] и 1 сут за период 1962–2020 гг. [2]. По временной модели [3], состоящей из следующих компонентов: межсуточной (синоптической) изменчивости (СИ), нерегулярной внутригодовой изменчивости (ВГИ), регулярного сезонного хода (СезX) и межгодовой изменчивости (МГИ), получены оценки вкладов каждого вида колебаний в суммарную временную изменчивость. Показано, что максимальные вклады в дисперсию исходных рядов [1, 2] на интервале 1962–2020 гг. для всех параметров вносит ВГИ (54,3–61,4 %); удельный вклад СезX значителен (19,1–27,3 %); вклад МГИ заметен (9,9–24,9 %); минимальный вклад приходится на СИ (1,0–1,7 %). При этом удельный вклад СИ при увеличении дискретности от суток до 18–19 сут уменьшается на 0,5–0,8 %, а относительная погрешность при замене ежесуточных данных на 18–19-суточные для вклада СИ составляет 33,6–43,9 %. Таким образом, удельный вклад СИ не может быть корректно использован для оценки вклада СИ. Поэтому рассмотрен внутригодовой ход удельного вклада и размаха СИ для всех параметров только для массива (M)[2]. При этом максимум в годовом ходе удельного вклада СИ для M наступает в декабре (3,7 %), а минимум – в июне (0,7 %). Внутригодовая изменчивость размаха СИ для всех параметров характеризуется полугодовой волной, при этом для M и Y максимумы наступают в феврале-марте и сентябре (1,3÷1,4 м), минимумы – в июне и декабре (0,1÷0,2 м), для X максимумы – в июне (1,5 м) и декабре (1,4 м) и минимумы – в марте (0,3 м) и сентябре (0,4 м).

Ключевые слова: структура временного ряда, внутригодовая и межгодовая изменчивость, параметры мгновенного положения полюса вращения Земли, дисперсионный, гармонический, корреляционный анализ

Благодарности: авторы выражают благодарность А. В. Смирнову за помощь в обработке данных; работа выполнена в рамках госзадания ИО РАН (тема № FMWE -2021-0012)

Для цитирования: Дубравин В. Ф., Краснобородько О. Ю. Эволюции мгновенного положения полюса вращения Земли // Известия КГТУ. 2022. № 67. С. 115–128. DOI: 10.46845/1997-3071-2022-67-115-128.

Original article

Evolution of the Earth rotation pole position

Vladimir F. Dubravın¹, Oleg Yu. Krasnoborod'ko²

¹ Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

² Russian Federal Research Institute of Fisheries and oceanography (AtlantNIRO), Kaliningrad, Russia

¹ v_dubravın@mail.ru

² sea@atlantniro.ru

Abstract. The study has been carried out with the use of long-term arrays of X, Y coordinates and the resulting vector M of the position of the North Pole of the Earth's rotation (PNPER) (m) with the resolution of 0.05 years for the period of 1890–2020 [1] and 1 day for the period of 1962–2020 [2]. According to the model [3], consisting of day-to-day (synoptic) (SI), irregular intra-annual (IIA), regular seasonal variation (SeasV), and interannual (IA) components, estimates of the contributions of each type of fluctuations to the total temporal variability have been obtained. It is shown that the maximum contributions to the variance of the time series [1, 2] in the interval of 1962–2020 for all parameters introduce IIA (54.3–61.4%); the specific contribution of SeasV is significant (19.1–27.3%); the contribution of IA is noticeable (9.9–24.9%); the minimum contribution falls on SI (1.0–1.7%). In this case, the specific contribution of SI with increasing resolution from one day to 18–19 days decreases by 0.5–0.8%, and the relative error when replacing daily time series with 18–19-day data for the SI contribution is 33.6–43.9 %, and cannot be correctly used to assess the SI contribution. Therefore, the intra-annual variation of the specific contribution and the SI range is considered for all parameters only for the array [2]. At the same time, the maximum in the annual variation of the specific contribution of SI for M occurs in December (3.7 %), and the minimum in June (0.7 %). The intra-annual variability of the SI range for M, Y, and X is characterized by a semi-annual wave with maximums in February–March and September (1.3÷1.4 m) and minimums in June and December (0.1÷0.2 m) for M and Y or with maximums in June (1.5 m) and December (1.4 m) and minimums in March (0.3 m) and September (0.4 m) – for X.

Keywords: time series structure, variability (intra-annual, interannual), parameters of the instantaneous position of the North Pole of the Earth's rotation (coordinates X и Y, the modulus of the resulting vector M), analysis (dispersive, harmonic, correlation)

Acknowledgements: The authors are grateful to A.V. Smirnov for the help in data processing; the work has been carried out within the Government assignment for Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences (subject No. FMWE-2021-0012).

For citation: Dubravın V. F., Krasnoborodko O. Yu. Evolution of the Earth rotation pole position. *Izvestiya KGTU = KSTU News*. 2022; (67):115–128. (In Russ). DOI: 10.46845/1997-3071-2022-67-115-128.

ВВЕДЕНИЕ

Известно [4–6], что Земля, наряду с вращением вокруг своей оси с периодом около 24,00 ч и движением вокруг Солнца с периодом 365,26 сут, совершает целый ряд "неправильных" (прецессии¹ и нутации²) движений, при которых сама фигура вращающейся Земли также испытывает покачивания вокруг оси вращения. При этом точки пересечения оси вращения с поверхностью фигуры Земли перемещаются по ее поверхности. По результатам более чем 130-летних наблюдений [1] считается, что размах качаний полюса по приполярной поверхности не превышает двух десятков метров. Однако это значительная величина для современных практических приложений, зависящих от качества координатного обеспечения [8]. Поэтому движение полюсов принимается во внимание в астрометрии, геодезии, гидрометеорологии, навигации, промысловой океанологии [6, 8–10].

Принято считать [4, 6], что движение полюса можно разделить на две составляющие – периодическую и вековую. В первой, с периодами от 4 сут до 18,6 лет [4], МПСВЗ перемещается по ее поверхности вокруг среднего полюса в направлении вращения Земли (с запада на восток), т. е. против часовой стрелки в северном полушарии. Траектория движения полюсов имеет вид то раскручивающейся, то закручивающейся спирали, причем период такой раскрутки-закрутки (цикла) около 6,5 лет [8]. По нашим оценкам [11, табл. 3], главными из периодических движений Северного полюса являются колебания с периодом 1,19; 1,01; 6,67 и 0,55 г. (14,3; 12,1; 80,0 и 6,6 мес.), при этом первое по интенсивности в 2,8 раза превышает второе, в 24 раза – третье и в 56 раз – четвертое.

Наиболее часто [4, 9] наличие годовой гармоника объясняется как сезонными перемещениями воздушных и водных масс по земной поверхности, так и системой Эль-Ниньо – Южное колебание. Однако следует иметь в виду, что в [4] СезХ угловой скорости вращения Земли (УСВЗ) тоже увязывается с сезонными перемещениями воздушных и водных масс по земной поверхности, при этом с января по апрель вращение Земли замедляется, с апреля по август – ускоряется, с августа по ноябрь – вновь замедляется и с ноября по январь – снова ускоряется. Таким образом, сезонные перемещения воздушных и водных масс по подстилающей поверхности Земли, с одной стороны, в качестве причины существования годовой гармоника движения МПСВЗ с неустойчивым СезХ (с меняющимися от года к году экстремумами), а с другой – с наличием устойчивого неправильного полугодового СезХ УСВЗ, вызывают сомнение [11]. Тем не менее в работе [5] подчеркивается, что не только 14-месячная, но и годичная компоненты колебаний имеют небесно-механическую природу и обусловлены гравитационно-приливным воздействием Солнца и Луны. Это подтверждается в [11, табл. 8] результатами расчета кросс-

¹ Прецессия – медленное периодическое движение оси вращающейся Земли, описывающей конус. Прецессия происходит из-за того, что ось вращения Земли не перпендикулярна эклиптике, а наклонена к ней примерно на $23,5^\circ$ и поэтому подвержена гравитационным возмущениям со стороны тел Солнечной системы. Луна и Солнце действуют на ближайшую к ним часть экваториальной выпуклости сильнее, чем на более удаленную, а это создает вращающий момент, который поворачивает ось вращения Земли. Период прецессии составляет около 26 тыс. лет [7].

² Нутация – небольшие колебания в прецессионном движении оси вращения Земли, вызываемые в основном влиянием Луны. Главный период нутации – 18,6 года [7].

спектра между вынуждающими геокосмическими силами и квазициклическими 14 и 12 мес. параметров МПСВЗ X-1, Y-1, M-1 [1] и X-4, Y-4, M-4 [2].

Что касается вековой составляющей, то, как показывают наблюдения, Северный полюс Земли за 20-е столетие смещался по сложной кривой в направлении меридианов 79–75° з.д. [8, 10], а по оценкам в [12] за последние 125 лет он смещался к 71–72° з.д. с удалением от географического полюса на 11,6–12,0 м.

Ранее нами в [11, 12] были рассмотрены сезонная и межгодовая изменчивости МПСВЗ. Целью настоящей работы является получение количественных оценок вкладов каждого вида колебаний в суммарную временную изменчивость параметров МПСВЗ, состоящую из СИ, ВГИ, СезХ и МГИ компонентов, массивов данных наблюдений ЕОРС01 и ЕОРС04 Международной службы вращения Земли (The International Earth Rotation and Reference Systems Service – IERS) [1, 2].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование выполнено на материалах многолетних массивов IERS с дискретностью 0,05 г. или 18–19 сут за период 1890–2020 гг. [1] и дискретностью 1 сут за период 1962–2020 гг. [2]³. Координаты МПСВЗ – X и Y в угловых секундах, составляющие на Гринвичский и 90-й западный меридианы, соответственно – были преобразованы в метрическую систему координат с началом в районе Северного географического полюса [10], затем рассчитаны модуль M и направление α результирующего вектора между географическим и мгновенным полюсами. С физической точки зрения M характеризует удаленность мгновенного полюса от географического [11, рис. 2].

Модель временного ряда в настоящей работе соответствует ранее использованной в [3]. При этом исходный ряд (ИР) суммируется из короткопериодной (КП), состоящей только из компоненты СИ, и долгопериодной (ДП) изменчивости, складывающейся из ВГИ, СезХ и МГИ:

$$\text{ИР} = \text{КП} + \text{ДП}, \quad (1)$$

$$\text{ИР} = \text{СИ} + \text{ВГИ} + \text{СезХ} + \text{МГИ}. \quad (2)$$

При расчете внутригодовой изменчивости удельного вклада СИ использовалась дисперсия за весь период наблюдений. Для получения межгодовой изменчивости удельного вклада СИ расчет дисперсии выполнялся с нарастанием, а также пошагово:

$$\Delta\sigma^2_{\text{СИ}ni+1}(\%) = 100 * (\sigma^2_{\text{СИ}ni+1} - \sigma^2_{\text{СИ}ni}) / \sigma^2_{\text{ИР}ni+1}. \quad (3)$$

Однако следует напомнить, что существует и модель временного ряда С. К. Гулева [14], в которой КП представлена двумя диапазонами СИ: "быстрые" синоптические процессы, определяемые в основном быстрой сменой барических образований и их отдельных фаз (от 3 ч до 3 сут), и "медленные", связанные преимущественно с океаном и свойствами атмосферных образований (от 3 до 60 сут).

Таким образом, суточная периодичность в модели С. К. Гулева [14], как и в [15], относится к СИ, а в [16], как и в нашей модели (выражения (1) и (2)),

³ В [11] для каждого параметра МПСВЗ, используя методики гармонического, корреляционного, спектрального и статистического анализа [13], получены гармоники их СезХ и выявлена высокая теснота связи – $r \geq 0,89$ между рядами параметров из [1] и [2] за 1962–2020 гг., что позволяет корректно использовать ряды IERS на всем интервале 1890–2020 гг. не только для анализа межгодовой, но и сезонной изменчивости.

$T = 1$ сут – граница между мезомасштабной и синоптической компонентами. Именно поэтому в нашем случае диапазон СИ составляет от 1 до 60 сут.

Исходные ряды обрабатывались с использованием методов дисперсионного, гармонического и корреляционного анализа [13].

РЕЗУЛЬТАТЫ

В [12, рис. 2] представлены временные диаграммы модуля радиус-вектора МПСВЗ М-1 за 1890–2020 гг. [1] и М-4 за 1962–2020 гг. [2], наглядно показывающие изменчивость временного хода модуля. Так, для М-1: на интервале 1890–1924 гг. отмечается очень слабый рост ($Tr_{M-1} = 0,016$ м/год), сменяющийся сильным на интервале 1925–1961 гг. ($Tr_{M-1} = 0,170$ м/год), затем с 1962 по 1999 г. положительный тренд ослабевает до $Tr_{1-M} = 0,130$ м/год, а с 2000 по 2020 г. – до $Tr_{1-M} = 0,034$ м/год. Для М-4 на интервале 1962–2020 гг. тенденция схожа: рост на интервале 1962–1999 гг. $Tr_{M-4} = 0,129$ м/год, а на интервале 2000–2020 гг. – ослабление до $Tr_{M-4} = 0,046$ м/год. При этом меняется структура ряда (табл. 1).

Структура временных рядов. Данные наблюдений за параметрами МПСВЗ с дискретностью 1 сут [2] позволяют использовать компоненты модели временного ряда ИР (выражение (2)) (см. табл. 1). Анализ этой таблицы показал, что удельные или относительные вклады, т. е. нормированные на общую дисперсию, компоненты ДП параметров вращения, как для отрезков (1962–1999 и 2000–2020 гг.), так и всего интервала (1962–2020 гг.), являются преобладающими, вклад ДП в дисперсию ИР составляет 98 %, в то время как доля СИ – 2 %. При этом максимальный вклад в дисперсию ИР приходится на ВГИ (для М-4 уменьшение с 61,3 % на первом отрезке до 46,4 % на втором при 54,3 % для всего интервала; для координат X-4 – 72,2; 41,9; 61,4 % и Y-4 – 66,5; 47,9; 57,7 % соответственно). Вклад СезХ значителен (для М-4 рост с 13,9 % на первом отрезке до 45,1 % на втором при 19,1 % для всего интервала; для координат X-4 – 22,1; 49,1; 27,0 % и Y-4 – 16,7; 46,7; 20,8 % соответственно). Вклад МГИ заметен (для М-4 уменьшение с 23,0 % на первом отрезке до 6,3 % на втором при 24,9 % для всего интервала; для координат X-4 – 4,0; 7,2; 9,9 % и Y-4 – 15,2; 3,3; 20,0 % соответственно).

Расчеты показали, что использование данных [2] с месячным осреднением не приведет к большой погрешности в оценках вклада компонент ДП, поскольку различия в удельном вкладе этих компонент между расчетами по ежесуточным и ежемесячным данным наблюдениям не превышают 1,3 %. Так, вклад ВГИ для всех параметров увеличивается на 0,8–1,3 %; СезХ – на 0,2–1,0 % и МГИ – на 0,0–0,5 %. Стало быть, относительная погрешность при замене ежесуточных данных на ежемесячные для вклада ВГИ составляет 1,6–2,1 %; для СезХ и МГИ – 1,5–2,2 %. Таким образом, использование данных МПСВЗ (м) за 1962–2020 гг. только с месячным осреднением не приведет к значительным ошибкам в оценках вкладов компонент ВГИ, СезХ и МГИ в ИР.

Данные наблюдений за параметрами МПСВЗ (1890–2020) с дискретностью 18–19 сут из [1] позволяют корректно использовать компоненты модели временного ряда ДП, поскольку анализ табл. 1 показал, что удельные вклады компонент ДП параметров МПСВЗ как для отрезков (1890–1924, 1925–1961,

1961–1999 и 2000–2020 гг.), так и всего интервала (1890–2020 гг.) являются преобладающими. Так, вклад ДП в дисперсию ИР составляет 99 % для всего интервала и на отрезках, за исключением 1890–1924 и 2000–2020 гг., где вклад ДП снижается до 98 %, в то время как на долю СИ приходится 1 % на всем интервале и отрезках (исключение на интервалах 1890–1924 и 2000–2020 гг., в которых вклад СИ возрастает до 2 %). Для всего интервала максимальный вклад в дисперсию ИР приходится на ВГИ (для М-1 и координат X-1 и Y-1 – 45,0; 62,4 и 40,7 % соответственно); вклад МГИ значителен (45,1; 11,0 и 48,9 %); вклад СезХ заметен (8,8; 25,7 и 9,8 %).

Таблица 1. Дисперсия (верхняя строка) и относительная доля (нижняя строка) составляющих временной изменчивости параметров МПСВЗ (м) за 1890–2020 гг. (дискретность 18–19 сут и 1 мес.) и 1962–2020 гг. (дискретность 1 сут и 1 мес.), рассчитанная по данным [1, 2]

Table 1. Dispersion (top row) and relative proportion (bottom row) of the components of the temporal variability of the PNPV parameters (m) for 1890-2020 (resolution 18-19 days and 1 month) and for 1962-2020, (resolution 1 day and 1 month), calculated from the data [1, 2]

Дисперсия					Дисперсия				
Общая	КП	ДП			Общая	КП	ДП		
ИР	СИ	СезХ	ВГИ	МГИ	ИР	СИ	СезХ	ВГИ	МГИ
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
МПСВЗ-М-1 (1890-2020)					-				
16,42	0,18	1,44	7,40	7,41	-	-	-	-	-
100,0	1,1	8,8	45,0	45,1	-	-	-	-	-
16,24	-	1,44	7,40	7,41	-	-	-	-	-
100,0	-	8,9	45,5	45,6	-	-	-	-	-
МПСВЗ-Х-1 (1890-2020)					-				
18,43	0,16	4,74	11,50	2,03	-	-	-	-	-
100,0	0,9	25,7	62,4	11,0	-	-	-	-	-
18,27	-	4,74	11,50	2,03	-	-	-	-	-
100,0	-	25,9	63,0	11,1	-	-	-	-	-
МПСВЗ-У-1 (1890-2020)					-				
28,76	0,17	2,83	11,71	14,05	-	-	-	-	-
100,0	0,6	9,8	40,7	48,9	-	-	-	-	-
28,59	-	2,83	11,71	14,05	-	-	-	-	-
100,0	-	9,9	41,0	49,1	-	-	-	-	-
МПСВЗ-М-1 (1890-1961)					-				
13,55	0,19	0,67	6,35	6,35	-	-	-	-	-
100,0	1,4	4,9	46,9	46,8	-	-	-	-	-
13,37	-	0,67	6,35	6,35	-	-	-	-	-
100,0	-	5,0	47,5	47,5	-	-	-	-	-
МПСВЗ-Х-1 (1890-1961)					-				
19,48	0,18	5,09	12,93	1,28	-	-	-	-	-
100,0	0,9	26,1	66,4	6,6	-	-	-	-	-
19,30	-	5,09	12,93	1,28	-	-	-	-	-
100,0	-	26,3	67,0	6,7	-	-	-	-	-
МПСВЗ-У-1 (1890-1961)					-				
27,43	0,18	2,39	13,45	11,42	-	-	-	-	-
100,0	0,7	8,7	49,0	41,6	-	-	-	-	-
27,25	-	2,39	13,45	11,42	-	-	-	-	-
100,0	-	8,8	49,3	41,9	-	-	-	-	-

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
МПСПВ3-М-1 (1962-1999)					МПСПВ3-М-4 (1962-1999)				
16,52	0,14	2,32	10,49	3,58	16,52	0,29	2,29	10,13	3,81
100,0	0,8	14,0	63,5	21,7	100,0	1,8	13,9	61,3	23,0
16,38	-	2,32	10,49	3,58	16,23	-	2,29	10,13	3,81
100,0	-	14,2	64,0	21,8	100,0	-	14,1	62,4	23,5
МПСПВ3-Х-1 (1962-1999)					МПСПВ3-Х-4 (1962-1999)				
17,55	0,24	3,93	12,65	0,72	17,56	0,30	3,89	12,67	0,70
100,0	1,4	22,4	72,1	4,1	100,0	1,7	22,1	72,2	4,0
17,31	-	3,93	12,65	0,72	17,25	-	3,89	12,67	0,70
100,0	-	22,7	73,1	4,2	100,0	-	22,5	73,5	4,0
МПСПВ3-У-1 (1962-1999)					МПСПВ3-У-4 (1962-1999)				
18,46	0,18	3,07	12,41	2,80	18,44	0,30	3,07	12,26	2,81
100,0	1,0	16,6	67,2	15,2	100,0	1,6	16,7	66,5	15,2
18,28	-	3,07	12,41	2,80	18,14	-	3,07	12,26	2,81
100,0	-	16,8	67,9	15,3	100,0	-	16,9	67,6	15,5
МПСПВ3-М-1 (2000-2020)					МПСПВ3-М-4 (2000-2020)				
8,60	0,20	3,86	4,02	0,52	8,60	0,19	3,88	3,98	0,55
100,0	2,3	44,9	46,8	6,0	100,0	2,2	45,1	46,4	6,3
8,40	-	3,86	4,02	0,52	8,41	-	3,88	3,98	0,55
100,0	-	46,0	47,8	6,2	100,0	-	46,1	47,4	6,5
МПСПВ3-Х-1 (2000-2020)					МПСПВ3-Х-4 (2000-2020)				
10,47	0,18	5,15	4,34	0,80	10,47	0,19	5,14	4,39	0,76
100,0	1,7	49,2	41,4	7,7	100,0	1,8	49,1	41,9	7,2
10,29	-	5,15	4,34	0,80	10,28	-	5,14	4,39	0,76
100,0	-	50,1	42,1	7,8	100,0	-	49,9	42,7	7,4
МПСПВ3-У-1 (2000-2020)					МПСПВ3-У-4 (2000-2020)				
8,87	0,13	4,18	4,25	0,31	8,87	0,19	4,14	4,25	0,29
100,0	1,5	47,1	48,0	3,4	100,0	2,1	46,7	47,9	3,3
8,74	-	4,18	4,25	0,31	8,68	-	4,14	4,25	0,29
100,0	-	47,8	48,7	3,5	100,0	-	47,7	49,0	3,3
МПСПВ3-М-1 (1962-2020)					МПСПВ3-М-4 (1962-2020)				
14,69	0,14	2,82	8,24	3,50	14,71	0,26	2,81	7,99	3,65
100,0	1,0	19,2	56,0	23,8	100,0	1,7	19,1	54,3	24,9
14,55	-	2,82	8,24	3,50	14,45	-	2,81	7,99	3,65
100,0	-	19,4	56,6	24,0	100,0	-	19,4	55,3	25,3
МПСПВ3-Х-1 (1962-2020)					МПСПВ3-Х-4 (1962-2020)				
15,88	0,17	4,34	9,72	1,66	15,89	0,26	4,29	9,76	1,57
100,0	1,1	27,3	61,2	10,4	100,0	1,7	27,0	61,4	9,9
15,72	-	4,34	9,72	1,66	15,63	-	4,29	9,76	1,57
100,0	-	27,6	61,9	10,5	100,0	-	27,4	62,5	10,1
МПСПВ3-У-1 (1962-2020)					МПСПВ3-У-4 (1962-2020)				
16,39	0,16	3,43	9,54	3,26	16,39	0,25	3,41	9,45	3,27
100,0	1,0	20,9	58,2	19,9	100,0	1,5	20,8	57,7	20,0
16,23	-	3,43	9,54	3,26	16,14	-	3,41	9,45	3,27
100,0	-	21,1	58,8	20,1	100,0	-	21,2	58,6	20,3

Расчеты показали, что использование этих данных с месячным осреднением не приведет к большой погрешности в оценках вклада составляющих ДП, поскольку различия в удельном вкладе этих компонент между расчетами по 18–19-суточным и ежемесячным данным наблюдения не превышают 1,1 %. Так, вклад ВГИ для всех параметров увеличивается на 0,3–1,0 %, СезХ – на 0,1–1,1 % и

МГИ – на 0,1–1,0 %. Стало быть, относительная погрешность при замене данных с дискретностью 18–19 сут на ежемесячные для вклада ВГИ составляет 0,6–2,1 %, для СезХ – 0,6–2,4 % и для МГИ – 0,5–2,4 %. Таким образом, использование данных МПСВЗ (м) за 1890–2020 гг. только с месячным осреднением не приведет к значительным ошибкам в оценках вкладов компонент ВГИ, СезХ и МГИ в ИР.

Проведем сравнение результатов анализа временных рядов МПСВЗ с суточной и 18–19-суточной дискретностью по выражению (2) на общем интервале 1962–2020 гг. (см. табл. 1). Так, удельный вклад СИ при увеличении дискретности от суток до 18–19 сут в основном уменьшается на 0,1–1,0 %, за исключением М-1 на отрезке 2000–2020 гг., когда вклад СИ увеличился на 0,1 %. Стало быть, относительная погрешность при замене ежесуточных данных на 18–19-суточные для вклада СИ на отдельных временных отрезках составляет $(-5,8) \div 53,5$ %. Таким образом, ряд с 18–19-суточной дискретностью не может быть корректно использован для оценки вклада СИ. Удельный вклад СезХ при увеличении дискретности от суток до 18–19 сут в основном увеличивается на 0,1–0,4 %, за исключением М-1 на отрезке 2000–2020 гг., когда вклад СезХ уменьшился на 0,2 %. Вклад ВГИ для М-1 и Y-1 увеличивается на 0,1–2,2 %, а для X-1 уменьшается на 0,1–0,5 %. Вклад МГИ для X-1 увеличивается на 0,1–0,5 %, а для М-1 и Y-1 в основном уменьшается на 0,1–1,3 %. Относительная погрешность при замене ежесуточных данных на 18–19-суточные для вклада СезХ составляет 0,2–1,3 %, для ВГИ – 0,1–3,6 % и для МГИ – 0,2–6,5 %. Таким образом, использование данных МПСВЗ (м) за 1890–2020 гг. только с 18–19-суточной дискретностью не приведет к значительным ошибкам в оценках вкладов компонент ВГИ, СезХ и МГИ в ИР.

Внутригодовая изменчивость вклада и размаха СИ. Выше было показано, что при замене ежесуточных данных на 18–19-суточные относительная погрешность для вклада СИ на отдельных временных отрезках составляет $(-5,8) \div 53,5$ %. Поэтому внутригодовая изменчивости СИ будет исследована только по данным с суточной дискретностью (табл. 2). Можно говорить о подобии внутригодовой изменчивости удельного вклада СИ только для М-4 или координат X-4 или Y-4 на временных отрезках (теснота связи между ними высока – $r = 0,86 \div 0,99$). О подобии вклада внутригодовой изменчивости СИ между М-4 и Y-4 говорить не приходится – теснота связи мала ($r = (-0,11) \div 0,18$), а между М-4 и X-4 теснота связи вклада внутригодовой изменчивости СИ становится отрицательной ($r = (-0,62) \div (-0,18)$), как и между координатами Y-4 и X-4 ($r = (-0,71) \div (-0,53)$).

Внутригодовая изменчивость удельного вклада СИ для М-4 на всех интервалах составляет максимум в ноябре–декабре ($3,6 \div 5,5$ %) и минимум в июне ($0,7 \div 1,4$ %). Для координат Y-4 и X-4 внутригодовая изменчивость удельного вклада СИ характеризуется полугодовой волной с максимумами в марте ($2,4 \div 4,9$ %), августе–сентябре ($2,3 \div 4,3$ %) и минимумами в июне ($1,3 \div 2,5$ %), ноябре–декабре ($1,4 \div 2,7$ %) для Y-4, а также с максимумами в июне ($3,0 \div 5,9$ %), декабре ($2,5 \div 3,8$ %) и минимумами в феврале ($1,7 \div 2,2$ %), сентябре ($1,7 \div 2,5$ %) для X-4.

Перейдем к внутригодовой изменчивости размаха СИ. Последняя характеризуется большим подобием, чем внутригодовая изменчивость удельного вклада. Так, только для М-4, или координаты Y-4, на временных отрезках теснота связи высока – $r = 0,94 \div 0,99$, для X-4 между временными отрезками теснота связи не-

сколько ниже – $r = 0,75 \div 0,95$). Теснота связи внутригодовой изменчивости размаха СИ между М-4 и координатой Y-4 также высока ($r = 0,82 \div 0,96$), а между М-4 и X-4, или координатами Y-4 и X-4, теснота связи становится отрицательной ($r = (-0,87) \div (-0,61)$) и ($r = (-0,94) \div (-0,74)$) соответственно.

Внутригодовая изменчивость размаха СИ для М-4 и координат Y-4 и X-4 на всех интервалах характеризуется полугодовой волной с максимумами в феврале–марте (1,3÷1,4 м), сентябре (1,3÷1,5 %) и минимумами в июне (0,1÷0,4 м), декабре (0,1÷0,3 м) для М-4 и Y-4 или с максимумами в июне (1,5÷1,7 м), декабре (1,3÷1,6 м) и минимумами в феврале (0,2÷0,4 м), августе–сентябре (0,3÷0,5 м) для X-4, т. е. в противофазе относительно М-4 и Y-4. (табл. 2).

Таблица 2. Внутригодовая изменчивость удельного вклада (%) (верхняя строка) и размаха (нижняя) синоптической составляющей параметров МПСВЗ (м) за 1962–2020 гг., (дискретность 1 сут), рассчитанная по данным [2]

Table 2. Intra-annual variability of the specific contribution (%) (top line) and the range (lower) of the synoptic component of the PNPV parameters (m) for 1962-2020, (resolution 1 day), calculated from the data [2]

Месяцы											
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
МПСВЗ-М-4 (1962-1999)											
3,15	2,04	1,96	1,44	0,83	<i>0,69</i>	0,95	1,51	2,02	2,66	3,01	<i>3,65</i>
0,74	<i>1,36</i>	1,09	0,86	0,40	<i>0,05</i>	0,36	0,89	<i>1,20</i>	1,01	0,54	<i>0,09</i>
МПСВЗ-Х-4 (1962-1999)											
2,34	<i>1,70</i>	1,85	2,12	2,64	<i>2,99</i>	2,90	1,92	<i>1,78</i>	2,50	2,43	<i>2,49</i>
1,17	1,37	0,20	0,75	1,23	<i>1,46</i>	1,30	0,55	0,28	0,93	1,24	<i>1,29</i>
МПСВЗ-Y-4 (1962-1999)											
1,83	1,61	<i>2,45</i>	2,13	1,51	<i>1,42</i>	1,83	<i>2,29</i>	2,24	1,91	<i>1,38</i>	1,52
0,74	1,26	1,33	1,09	0,49	<i>0,11</i>	0,67	1,18	1,31	1,02	0,41	<i>0,16</i>
МПСВЗ-М-4 (2000-2020)											
3,90	3,44	4,34	3,87	2,45	<i>1,44</i>	1,87	2,85	4,07	5,03	<i>5,52</i>	4,99
0,77	1,19	<i>1,41</i>	1,16	0,64	<i>0,08</i>	0,55	1,04	<i>1,47</i>	1,39	0,78	<i>0,12</i>
МПСВЗ-Х-4 (2000-2020)											
3,73	2,20	2,72	3,39	4,94	<i>5,85</i>	5,00	3,29	<i>2,47</i>	3,62	3,56	<i>3,79</i>
1,13	0,52	0,42	0,95	1,49	<i>1,67</i>	1,27	0,51	0,53	1,23	1,46	<i>1,55</i>
МПСВЗ-Y-4 (2000-2020)											
3,21	3,49	<i>4,85</i>	4,18	2,89	2,53	3,42	4,03	<i>4,35</i>	3,78	2,74	2,73
0,94	1,24	1,43	1,14	0,45	<i>0,37</i>	1,05	1,40	1,44	1,04	0,34	<i>0,32</i>
МПСВЗ- М-4 (1962-2020)											
3,10	2,08	2,18	1,62	0,90	<i>0,68</i>	0,94	1,55	2,18	2,87	3,19	<i>3,67</i>
0,75	<i>1,25</i>	1,21	0,97	0,49	<i>0,06</i>	0,43	0,94	<i>1,30</i>	1,15	0,63	<i>0,07</i>
МПСВЗ-Х-4 (1962-2020)											
2,51	<i>1,71</i>	1,86	2,16	2,77	<i>3,12</i>	2,85	1,86	<i>1,69</i>	2,52	2,53	<i>2,66</i>
1,16	0,97	0,26	0,83	1,33	<i>1,53</i>	1,29	0,53	0,36	1,04	1,32	<i>1,38</i>
МПСВЗ-Y-4 (1962-2020)											
1,81	1,60	<i>2,44</i>	2,06	1,42	<i>1,35</i>	1,86	2,38	<i>2,40</i>	2,03	<i>1,44</i>	1,53
0,81	1,24	1,36	1,10	0,48	<i>0,19</i>	0,80	1,26	1,35	1,03	0,39	<i>0,21</i>

Примечание. Максимальные величины даны курсивом и подчеркнуты снизу, минимальные – курсивом.

Межгодовая изменчивость составляющих ИР. Ранее нами при анализе длинных рядов гидрометеозлементов в регионах Балтики показано, что возрастание доли основной составляющей с увеличением длины ряда справедливо только для первых 6–10 лет, дальнейшее увеличение длины ряда приводит к затуханию

колебаний относительно среднего значения и для основной составляющей, и для всех остальных компонентов гидрометеорологических элементов [3, с 318]. В [17] при анализе температуры воздуха T_a (°C) в Варнемюнде, Калининграде и Стокгольме было показано, что для всех станций стабилизация относительной доли дисперсии с нарастанием всех компонент наступает через ~30–40 лет (в Стокгольме к 1790 г., в Калининграде к 1880 г. и в Варнемюнде к 1972 г.). Наши расчеты (рис. 1, 2) подтверждает этот вывод.

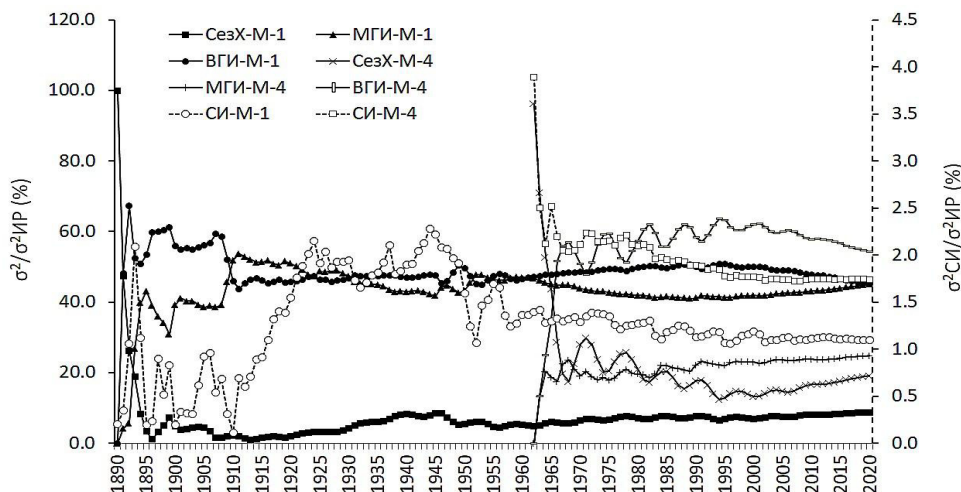


Рис. 1. Относительная доля дисперсии (с нарастанием) составляющих временной изменчивости МПСВЗ М-1 за 1890–2020 гг. (18–19-суточная дискретность) и М-4 за 1962–2020 гг. (суточная дискретность), рассчитано по [1, 2]

Fig. 1. The relative proportion of the components variance (with increasing) of the temporal variability of the M-1 PNPET for 1890–2020 (18–19-day resolution) and M-4 for 1962–2020 (daily resolution), calculated according with [1, 2]

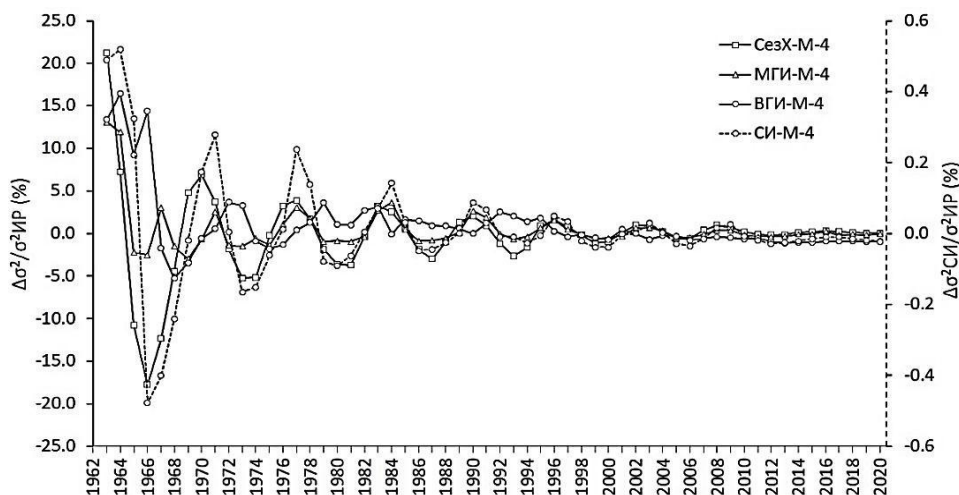


Рис. 2. Пошаговые разности относительной доли (с нарастанием) составляющих временной изменчивости МПСВЗ М-4 за 1962–2020 гг. (дискретность 1 сут), рассчитано по данным [2]

Fig. 2. Step-by-step differences in the relative part (with increasing) of the components of the temporal variability of the M-4 PNPET for 1962–2020 (resolution 1 day), calculated according with [2]

С 1900–1902 гг. начинается стабилизация удельного вклада компонент для параметров М-1, Y-1 и X-1 из [1] и с 1971–1973 гг. – для параметров М-4, Y-4 и X-4 из [2], наступает стабилизация удельного вклада всех компонент в дисперсию ИР для всех параметров МПСВЗ из [1 и 2] через 30–35 лет, т. е. с 1920–1925 гг. для параметров из [1] и с 1992–1997 гг. – из [2] (см. рис. 1). Более наглядно это видно на рис. 2, где представлены пошаговые разности всех компонент с нарастанием временной изменчивости результирующего модуля М-4 из [2], нормированных на общую дисперсию. Так, пошаговые разности на интервале 1971–1973 гг. снижаются до $0,56 \div 3,29$ % (что составляет 1,2–5,8 % от удельного вклада на этом интервале); до $3,70 \div (-5,21)$ % (или 12,4–22,0 %); до $2,60 \div (-1,50)$ % (или 12,8–8,3 %) и до $0,28 \div (-0,16)$ % (или 12,4–7,7 % от вклада на указанном интервале) для составляющих ВГИ, СезХ, МГИ и СИ соответственно.

На интервале 1992–1997 гг. пошаговые разности снижаются до $2,53 \div (-0,37)$ % (что составляет 4,3–0,6 % от удельного вклада на этом интервале); до $(-1,20) \div 0,82$ % (или 7,3–5,6 %); до $(-0,04) \div 0,49$ % (или 0,2–2,1 %) и до $(-0,01) \div 0,03$ % (или 0,5–1,9 % от вклада на указанном интервале) для составляющих ВГИ, СезХ, МГИ и СИ соответственно.

ВЫВОДЫ

1. Максимальные вклады в дисперсию исходных рядов [1, 2] на интервале 1962–2020 гг. для всех параметров вносит ВГИ (54,3–61,4 %), удельный вклад СезХ значителен (19,1–27,3 %), вклад МГИ заметен (9,9–24,9 %), минимальный вклад приходится на СИ (1,0–1,7 %).

2. Удельный вклад СИ при увеличении дискретности от суток до 18–19 сут уменьшается на 0,5–0,8 %, а относительная погрешность при замене ежесуточных данных на 18–19-суточные для вклада СИ на интервале 1962–2020 гг. составляет 33,6–43,9 % (на отдельных временных отрезках $(-5,8) \div 53,5$ %), т. е. удельный вклад не может быть корректно использован для оценки вклада СИ. Поэтому рассмотрен внутригодовой ход удельного вклада и размаха СИ для всех параметров только для массива [2].

3. Максимум в годовом ходе удельного вклада СИ для М-4 наступает в декабре (3,7 %), а минимум – в июне (0,7 %). Для Y-4 и X-4 внутригодовая изменчивость вклада СИ характеризуется полугодовой волной с максимумами в марте, сентябре (2,4 %) и минимумами в июне (1,3 %), ноябре (1,4 %) для Y-4 и с максимумами в июне (3,1 %), декабре (2,7 %) и минимумами в феврале, сентябре (1,7 %) для X-4.

4. Внутригодовая изменчивость размаха СИ для М-4, Y-4 и X-4 характеризуется полугодовой волной с максимумами в феврале–марте, сентябре ($1,3 \div 1,4$ м) и минимумами в июне, декабре ($0,1 \div 0,2$ м) для М-4 и Y-4 или с максимумами в июне (1,5 м), декабре (1,4 м) и минимумами в марте (0,3 м), сентябре (0,4 м) для X-4.

5. Нормированные на общую дисперсию компоненты временной изменчивости параметров МПСВЗ СИ, ВГИ, СезХ и МГИ отличаются устойчивостью. С увеличением длины временного ряда каждого из параметров разброс ее компонент относительно среднего все больше уменьшается. При этом с 1900–1902 гг. начинается стабилизация удельного вклада компонент для параметров М-1, Y-1,

X-1 из [1] и с 1971–1973 гг. – для параметров M-4, Y-4 и X-4 из [2], наступает стабилизация удельного вклада всех компонент в дисперсию ИР для всех параметров МПСВЗ из [1, 2] через 30–35 лет, т. е. с 1920–1925 гг. для параметров из [1] и с 1992–1997 гг. – из [2].

Список источников

1. Earth orientation parameters C01: The International Earth Rotation and Reference Systems Service. URL: <https://hpiers.obspm.fr/eoppc/eop/eopc01.htm> (дата обращения: 21.02.2021).
2. Earth orientation parameters C04: The International Earth Rotation and Reference Systems Service. URL: <https://hpiers.obspm.fr/eoppc/eop/eopc04.htm> (дата обращения: 21.02.2021).
3. Дубравин В. Ф. Эволюции гидрометеорологических полей в Балтийском море: монография. Калининград: Капрос, 2014. 438 с.
4. Сидоренков Н. С. Физика нестабильностей вращения Земли: монография. Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2002. 380 с.
5. Перепелкин В. В. Математическое моделирование колебаний полюса возмущенных движений Земли относительно центра масс: автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук: 05.13.18. Москва, 2007. 17 с.
6. Медведев И. П., Рабинович А. Б., Куликов Е. А. Чандлеровские биения, полюсный прилив и колебания уровня океана // Природа. 2021. № 7. С. 3–14.
7. Старков В. Н. Экология ближнего космоса (терминология): справочное пособие. Санкт-Петербург: Изд.-во СОЛО, 2010. 120 с.
8. Пасынок С. Л. Методы и средства определения параметров вращения Земли // Альманах современной метрологии. 2016. № 3 (8). С. 269–323.
9. Сидоренков Н. С. Межгодовые колебания системы Атмосфера – Океан – Земля // Природа. 1999. № 7. С. 26–34.
10. Краснобородько О. Ю. О повторяемости очень сильных и катастрофических Эль-Ниньо и их влиянии на промысел в Перуанском подрайоне Юго-Восточной Пацифики // Тр. АтлантНИРО. 2018. Т. 2. № 2. С. 66–83.
11. Дубравин В. Ф., Краснобородько О. Ю. Особенности сезонной изменчивости положения мгновенного полюса вращения Земли // IX Междунар. науч. конф. "Водные биоресурсы, аквакультура и экология водоемов" (4–9 окт. 2021 г.): материалы. Калининград, Изд-во БГАРФ ФГБОУ ВО "КГТУ". 2021. Т. 3. С. 70–81.
12. Краснобородько О. Ю., Дубравин В. Ф. Особенности межгодовой изменчивости положения мгновенного полюса вращения Земли // IX Междунар. науч. конф. "Водные биоресурсы, аквакультура и экология водоемов" (4–9 окт. 2021 г.): материалы. Калининград, Изд-во БГАРФ ФГБОУ ВО "КГТУ". 2021. Т. 3. С. 82–91.
13. Брукс К., Карузерт Н. Применение статистических методов в метеорологии. Ленинград: Гидрометеиздат, 1963. 416 с.
14. Гулев С. К., Колинко А. В., Лаппо С. С. Синоптическое взаимодействие океана и атмосферы в средних широтах: монография. Санкт-Петербург: Гидрометеиздат, 1994. 320 с.

15. Woods J. D. Do waves limit turbulent diffusion in the ocean? // *Nature*. 1980. V. 288. №. 5788. P. 219–224.
16. Каменкович В. М., Кошляков М. Н., Монин А. С. Синоптические вихри в океане: монография. Ленинград: Гидрометеиздат, 1982. 264 с.
17. Дубравин В. Ф., Стонт Ж. И. Долгопериодная (сезонная и межгодовая) изменчивость температуры воздуха в Балтийском регионе // *Процессы в геосредах*. 2020. № 4 (26). С. 902–909.

References

1. Earth orientation parameters C01: The International Earth Rotation and Reference Systems Service. Available at: <https://hpiers.obspm.fr/eoppc/eop/eopc01.htm> (Accessed 21 February 2021).
2. Earth orientation parameters C04: The International Earth Rotation and Reference Systems Service. Available at: <https://hpiers.obspm.fr/eoppc/eop/eopc04.htm> (Accessed 21 February 2021).
3. Dubravин V. F. *Evolyutsii gidrometeorologicheskikh poley v Baltiyskom more* [Evolution of hydrometeorological fields in the Baltic Sea]. Kaliningrad, Capros, 2014, 438 p.
4. Sidorenkov N. S. *Fizika nestabil'nostey vrashcheniya Zemli* [Physics of the Earth's rotation instabilities]. Moscow, Fizmatlit, 2002, 380 p.
5. Perepelkin V. V. *Matematicheskoe modelirovanie kolebaniy polyusa vozmushchennykh dvizheniy Zemli otноситel'no tsentra mass. Avtoreferat diss. kand. fiz.-mat. nauk* [Mathematical modeling of oscillations of the disturbed motion of the Earth's pole relative to the center of mass. Abstract of dis. dr. sci.]. Moscow, 2007, 17 p.
6. Medvedev I. P., Rabinovich A. B., Kulikov E. A. Chandlerovskie bieniya, polyusnyy priliv i kolebaniya urovnya okeana [Chandler wobble, pole tide, and sea level fluctuations in the World Ocean]. *Priroda*, 2021, no. 7, pp. 3–14.
7. Starkov V. N. *Ekologiya blizhnego kosmosa (terminologiya): spravochnoe posobie* [Ecology of near space (terminology): a reference manual]. Saint-Petersburg, Solo, 2010, 120 p.
8. Pasynok S. L. Metody i sredstva opredeleniya parametrov vrashcheniya Zemli [Methods and tools for determining the parameters of the Earth's rotation]. *Al'manakh sovremennoy metrologii*, 2016, no. 3 (8), pp. 269–323.
9. Sidorenkov N. S. Mezhhodovye kolebaniya sistemy Atmosfera – Okean – Zemlya [Interannual Oscillations of the Earth – Ocean – Atmosphere system]. *Priroda*, 1999, no. 7, pp. 26–34.
10. Krasnoborod'ko O. Yu. O povtoryaemosti ochen' sil'nykh i katastroficheskikh El'-Nin'o i ikh vliyaniy na promysel v Peruanskom podrayone Yugo-Vostochnoy Patsifiky [On recurrence of heavy and disastrous El Niño and its impact on fishery in the Peruvian subarea of the South-East Pacific]. *Trudy AtlantNIRO*, 2018, vol. 2, no. 2, pp. 66–83.
11. Dubravин V. F., Krasnoborod'ko O. Yu. Osobennosti sezonnoy izmenchivosti polozheniya mgnovennogo polyusa vrashcheniya Zemli [Features of seasonal variability of the position of the instantaneous pole of the Earth's rotation]. *Materialy 9 Mezhdunar. nauchn. konf. "Vodnye bioresursy, akvakul'tura i ekologiya vodoemov" (4–9 okt. 2021)* [Proc. 9th Int. scient. conf. "Aquatic biological resources, aquaculture and

ecology of basins" (4–9 Oct. 2021)]. Kaliningrad, BGARF FGBOU VO "KGTU" Publ., 2021, vol. 3, pp. 70–81.

12. Krasnoborod'ko O. Yu., Dubravin V. F. Osobennosti mezhgodovoy izmenchivosti polozheniya mgnovennogo polyusa vrashcheniya Zemli [Features of interannual variability of the position of the instantaneous pole of the Earth's rotation]. *Materialy 9 Mezhdunar. nauchn. konf. "Vodnye bioresursy, akvakul'tura i ekologiya vodoe-mov"* (4–9 okt. 2021) [Proc. 9th Int. scient. conf. "Aquatic biological resources, aquaculture and ecology of basins" (4–9 Oct. 2021)]. Kaliningrad, BGARF FGBOU VO "KGTU" Publ., 2021, vol. 3, pp. 82–91.

13. Brooks K., Karuzers H. *Primenenie statisticheskikh metodov v meteorologii* [Application of statistical methods in meteorology]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1963, 416 p.

14. Gulev S. K., Kolinko A. V., Lappo S. S. *Sinopticheskoe vzaimodeystvie okeana i atmosfery v srednikh shirotakh* [Synoptic interaction between the ocean and atmosphere at mid-latitudes]. Saint-Petersburg, Gidrometeoizdat, 1994, 320 p.

15. Woods J. D. Do waves limit turbulent diffusion in the ocean? *Nature*, 1980, vol. 288, no. 5788, pp. 219–224.

16. Kamenkovich V. M., Koshlyakov M. N., Monin A. S. *Sinopticheskie vikhri v okeane* [Synoptic eddies in the ocean]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1982, 264 p.

17. Dubravin V. F., Stont Zh. I. Dolgoperiodnaya (sezonnaya i mezhgodovaya) izmenchivost' temperatury vozdukhа v Baltiyskom regione [Long-term (seasonal and interannual) air temperature variability in the Baltic region]. *Protsessy v geosredakh*, 2020, no. 4 (26), pp. 902–909.

Информация об авторах

В. Ф. Дубравин – доктор географических наук, доцент, ведущий научный сотрудник

О. Ю. Краснобородько – заведующий лабораторией промышленной океанологии

Information about the authors

V. F. Dubravin – Doctor of Geography, Associate Professor, Leading Researcher

O.Yu. Krasnoborod'ko – Head of the laboratory of fishery oceanology

Статья поступила в редакцию 05.05.2022; одобрена после рецензирования 15.05.2022; принята к публикации 06.09.2022.

The article was submitted 05.05.2022; approved after reviewing 15.05.2022; accepted for publication 06.09.2022.

ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ АПК

Научная статья
УДК 334.021.1
DOI 10.46845/1997-3071-2022-67-131-150

Предпринимательские "точки кипения" в университетах – эффективный механизм вовлечения молодежи в технологическое предпринимательство

Абдурашид Яруллаевич Яфасов¹, Наталья Анатольевна Кострикова²

^{1,2}Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия

¹yafasov@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9251-1187>

²natalia.kostrikova@klgtu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2969-0346>

Аннотация. Рассмотрены проблемы технологического предпринимательства в условиях новой реальности, возникшей в результате гибридной войны Запада с Россией, изменений климата и пандемии Covid-19. Санкции западных стран существенно ограничивают доступ России к комплектующим изделиям и материалам, оборудованию и технологиям, взаимодействию исследователей с зарубежными коллегами. Реакцией России в сложившихся условиях является трансформация траектории технологического развития в соответствии с принципом самодостаточности в ключевых отраслях экономики. Цель данной работы – исследование механизма вовлечения молодежи в технологическое предпринимательство путем конверсии университетских точек кипения в предпринимательские на примере Предпринимательской точки кипения "Калининград". Возникшая новая реальность обострила проблемы развития техники и технологий, малых инновационных предприятий, инженерно-технологических центров развития. Условием успешного технологического развития является конкурентоспособность продукции на внешнем рынке, ключевым фактором – трудовой потенциал участников рынка, человеческий капитал, высокообразованные люди, прошедшие профессиональную подготовку в технических университетах. Для этого предпринимательская точка кипения должна стать связывающим звеном частного-государственного партнерства, эффективным механизмом вовлечения молодежи в технологическое предпринимательство. В таком контексте миссия Предпринимательской точки кипения "Калининград" представляется в виде приморского образовательного, научно-технологического, инновационного предпринимательского центра, поставщика специалистов-профессионалов, новых технологий, развивающего жизнеспособные морехозяйственные и приморские экосистемы XXI в. в соответствии с Национальной технологической инициативой России. Сформулированы задачи и формы вовлечения молодежи в технологическое предпринимательство Предпринимательской точки кипения "Калининград" с учетом новой реальности.

Ключевые слова: предпринимательская точка кипения, самодостаточность экономики, частно-государственное партнерство, конверсия стратегии развития, конкурентоспособность

Финансирование: исследование выполнено в рамках реализации программы создания и поддержания пространства коллективной работы "Предпринимательские точки кипения" на территории ФГБОУ ВО "КГТУ" (индикатор соглашения о предоставлении субсидии – 0000000007522ROX0002).

Для цитирования: Яфасов А. Я., Кострикова Н. А. Предпринимательские точки кипения в университетах – эффективный механизм вовлечения молодежи в технологическое предпринимательство // Известия КГТУ. 2022. № 67. С. 131–150. DOI: 10.46845/1997-3071-2022-67-131-150.

Original article

"Entrepreneurial Boiling Points" at universities – an effective mechanism to engage youth in technology entrepreneurship

Abdurashid Ya. Yafasov, Natalya A. Kostrikova

Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia

¹yafasov@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9251-1187>

²natalia.kostrikova@klgtu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2969-0346>

Abstract. The paper considers some problems of technological entrepreneurship in the context of a new reality that has arisen as a result of the hybrid war between the West and Russia, climate change and the Covid-19 pandemic. The Western sanctions significantly restrict Russia's access to components and materials, equipment and technologies, and researchers' interaction with foreign colleagues. Russia's response under the current conditions is transformation of the trajectory of technological development in accordance with the principle of self-sufficiency in key sectors of the economy. The purpose of this work is to study the mechanism of involving young people in technological entrepreneurship by converting university "Boiling points" into entrepreneurial ones using the example of EBP "Kaliningrad". The emerging new reality has exacerbated the problems of developing new equipment and technologies, small innovative enterprises, and engineering and technology development centers. A condition for successful technological development is competitiveness of new products in the foreign market, and the key factor here is the labor potential of market participants, human capital, highly educated people who have undergone professional training at technical universities. In order to do this, an entrepreneurial boiling point should become a connecting link in the public-private partnership, an effective mechanism for involving young people in technological entrepreneurship. In this context, the mission of EBP "Kaliningrad" is presented as a seaside educational, scientific and technological, innovative entrepreneurial center, a supplier of specialists - professionals, new technologies, developing viable marine and coastal ecosystems of the 21st century in accordance with the National Technology Initiative of Russia. The tasks and forms of youth involvement in the technological entrepreneurship of EBP "Kaliningrad" have been formulated taking into account the new reality.

Keywords: entrepreneurial boiling point, self-sufficiency of the economy, public-private partnership, development strategy conversion, competitiveness

Funding: the study has been conducted as part of the implementation of the program for creating and maintaining a space for teamwork "Entrepreneurial Boiling

Points" on the premises of the Federal State Educational Institution of Higher Education "KSTU" (subsidy agreement indicator - 0000000007522ROX0002).

For citation: Yafasov A. Ya., Kostrikova N. A. "Entrepreneurial Boiling Points" at universities – an effective mechanism to engage youth in technology entrepreneurship. *Izvestiya KGTU = KSTU News*. 2022; (67) : 131–150. (In Russ.). DOI: 10.46845/1997-3071-2022-67-131-150.

ВВЕДЕНИЕ

Прогнозный анализ технологического развития России и мира в целом, выполненный Центром макроэкономического анализа и краткосрочного прогнозирования в июле 2022 г. [1], показывает актуальность проблемы трансформации технологического развития Российской Федерации. Эта проблема обострилась с началом специальной военной операции (СВО) в Украине и введенной серией санкций западных стран в отношении России, поэтому технологическая модернизация отраслей экономики страны должна проводиться в мобилизационном форсированном режиме с учетом сложившейся реальности с началом СВО и пониманием необходимости сжатия инновационного цикла.

Отличительными особенностями начатого процесса модернизации экономики страны являются обеспечение ресурсной и технологической самодостаточности в ключевых отраслях экономики, где морехозяйственная деятельность занимает особое положение, и назревшая необходимость перестройки и активизации государственно-частного партнерства (ГЧП). Этот тезис подтверждает состояние экономики Калининградской области [2, 3], зависящий от предпочтений, представляемых в рамках институтов Особой экономической зоны (ОЭЗ) и специального административного района (САР) [4–7].

Калининград обеспечивает стратегический выход России в Атлантический океан, обладает развитой портовой, транспортной и рыбохозяйственной инфраструктурой, является базой Балтийского флота, форпостом России, представляет современный облик страны в европейском сообществе. Западные страны лишили калининградские предприятия и организации сложившихся за многие годы производственных и творческих связей с родственными предприятиями своих стран. К тому же обремененные сложной транспортной логистикой вследствие оторванности от остальной территории страны сухопутными границами стран ЕС и НАТО предприятия Калининградской области испытывают определенные сложности в организации производственной кооперации с предприятиями других регионов России в сфере технологического предпринимательства.

Поэтому императив самодостаточности акторов экономики региона стоит более остро по сравнению с другими регионами России, и даже использование такого инструмента, как САР, не может решить полностью проблему инновационного развития. В этой связи создание современной региональной модели экосистемы развития технологического предпринимательства, генерирующей интеллектуальные организации и предприятия в новой модели роста экономики России, имеет важное гражданское, предпринимательское, экономическое и политическое значение. Одним из инструментов экосистемы в дополнение к возможностям ОЭЗ и САР может стать Предпринимательская точка кипения (ПТК) в Калининградском государственном техническом университете (КГТУ).

Целью данной работы является исследование новых механизмов и инструментов вовлечения молодежи в инновационные направления технологического предпринимательства в области морехозяйственной деятельности. Несмотря на условия жестких санкций западных стран в отношении российских предприятий, недостаток материальных ресурсов, материалов, комплектующих изделий для производства продукции, приоритетом должна стать выпускаемая высокотехнологичная продукция с максимальным вкладом интеллектуального капитала. Одним из механизмов вовлечения молодежи в инновационное предпринимательство и интеллектуализацию производства должны стать ПТК в университетах технологического профиля России.

ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСКАЯ ТОЧКА КИПЕНИЯ "КАЛИНИНГРАД"

По видению АНО "Платформа НТИ" ПТК – это преобразованное из университетской точки кипения (УТК) пространство, где обеспечивается системная целенаправленная подготовка инновационных предпринимателей с активным привлечением профессорско-преподавательского корпуса университета, успешных предпринимателей – инноваторов и инвесторов, тьюторов и трекеров как своего, так и других регионов России. Авторы, принимая такое определение, дополняют его расширенной трактовкой: ПТК – это развернутая на базе действующих УТК сеть специализированных пространств как в университете, так и на территориях предприятий и организаций бизнес-партнеров, направленная на целевую подготовку предпринимателей, инноваторов, поддержку студенческих стартапов, развитие технологического предпринимательства и привлечение инвесторов в университетские технологические стартапы. Таким образом, ПТК являются продолжением деятельности УТК в специализированном направлении подготовки кадров для инновационного предпринимательства. Происходит разделение функций УТК на два основных направления: 1) УТК – преимущественные направления: наука, образование (включая взаимодействие со школами, лицеями и колледжами), культура и духовность, 2) ПТК – преимущественные направления: инновационное предпринимательство, экономика, инженерное образование, культура и духовность, рис. 1.

Такой процесс активно осуществляется в КГТУ начиная с лета 2022 г. Задачи УТК в части создания условий организации постоянного активного творческого обмена знаниями и компетенциями, а также конвергентной среды творческого сотрудничества людей разного возраста, специальностей и целеустремлений, как гуманитариев, так и естественников, не снимаются, а расширяются с учетом требований времени акцентированной подготовкой предпринимателей-инноваторов.

Технопарк КГТУ в числе прочих выполняет функцию стартап-студии, а управление инновационной деятельностью университета, имея в своей структуре помимо технопарка подразделения интеллектуальной собственности, проектов и программ, обеспечивает быструю проверку новых технологических и бизнес-идей, оказывает методическую помощь инноваторам в оформлении заявок на гранты, договоров на внедрение результатов НИОКР, уставных документов на создаваемые малые инновационные предприятия (МИП), служит связывающим

звеном между университетскими новаторами и партнерами – успешными технологическими предпринимателями, предприятиями и корпорациями.

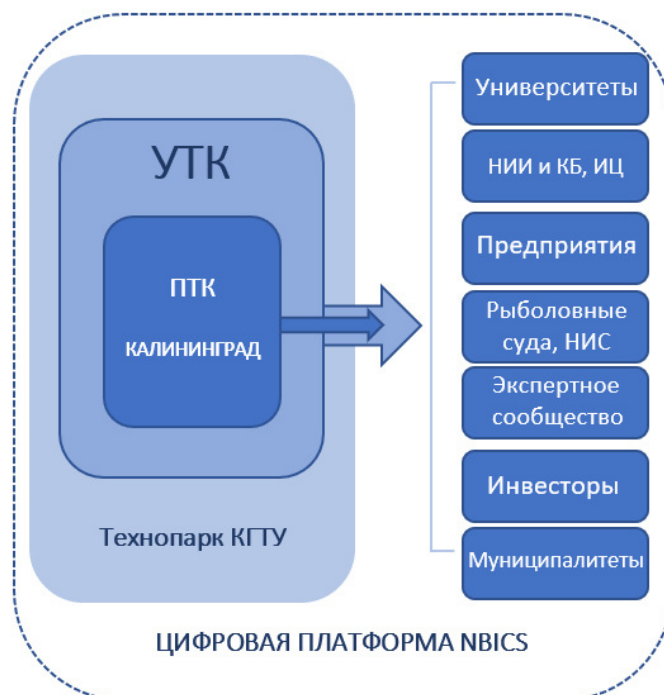


Рис. 1. ПТК в составе УТК: сфера взаимодействия

Fig. 1. Entrepreneurial boiling point as a part of UBP: sphere of interaction

Университет имеет свою цифровую платформу (ЦП) NBICS.NET, построенную на отечественных программных продуктах [8, 9], зарегистрированную в установленном порядке, второй год подряд проводит множество конференций, семинаров, круглых столов и тренингов, включая национальную конференцию по инновационному предпринимательству на своей ЦП. Она позволяет привлечь менторов, трекеров, инвесторов, опытных консультантов по узким специальностям со всей России, быстро организовать работу со студенческими и курсантскими командами на круглосуточной с учетом просторов страны основе.

Такая компактная, самосогласованная и автономная структура позволяет студентам и курсантам университета перенимать опыт успешного предпринимательства в различных вариантах, по различным направлениям и методикам, а производственным партнерам университета более точно и полно воспринимать и использовать компетенции институтов, охватывающие практически все отрасли реальной экономики Калининградской области. В КГТУ организована подготовка специалистов по 29 программам бакалавриата, 6 программам специалитета, 18 программам магистратуры и 12 программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (см. https://www.klgtu.ru/upload/sveden/document/samoobsledovanie_1_otchet_2022.pdf).

Университет имеет налаженные устойчивые партнерские связи с десятками предприятий Калининградской области и других регионов России, включая такие крупные, как ССЗ "Янтарь", ГК "Мираторг Запад", ГК "Содружество", АО "Янтарьэнерго", ГК "Автотор", АО "Кварц", "Балткран" и другие, активно сотрудни-

чает со многими из них в рамках договоров на проведение практики студентов. Выпускники КГТУ работают более чем на 270 предприятиях реального сектора экономики Калининградской области. Все это составляет базис успешной работы ПТК "Калининград".

В отличие от "Университета 2035" мы не считаем целью университетской стартап-студии "серийное создание успешных бизнесов", так как каждый стар-тап – "штучный товар". Он имеет свои особенности и нюансы на всех этапах становления – от кристаллизации идеи, формирования команды, взаимодействия с инвестором и предприятием-производителем серийной продукции до взаимодействия, сотрудничества с органами власти муниципального и регионального уровней.

С учетом стратегического положения Калининградской области и рыбохозяйственного комплекса (РХК) как одной из опор Продовольственной безопасности России *миссия* стратегические цели и задачи, программа развития ПТК "Калининград" рассматриваются с *трех основных стратегических позиций*:

1. Создание продуктивно работающей ПТК "Калининград" в рамках национальной экосистемы технологического предпринимательства на платформе университетского технологического предпринимательства NBICS.NET;

2. Реализация миссии КГТУ как лидера российского рыбохозяйственного образования, мирового центра компетенций в области морской индустрии, агроинженерии, глубокой переработки аква- и сельскохозяйственных культур, энергетики и строительства, лидера-разработчика в сфере отраслевых цифровых технологий и искусственного интеллекта;

3. Реализация новых технологий и проектов, изделий, жизнеспособных экосистем XXI в. путем привлечения инвесторов в студенческие проекты, вовлечение студентов и предпринимателей в инноватику, развитие менторства и тренерства в целях методической и организационной поддержки стартапов.

Отсюда *миссия ПТК "Калининград"*: отраслевой и региональный образовательный, научно-технологический и инновационный центр – кузница технологических инноваторов-предпринимателей, поставщик новой техники и технологий, развивающий жизнеспособные экосистемы XXI в., обеспечивающий устойчивое развитие рыбной отрасли и Калининградской области в соответствии с НТИ России.

Цель создания ПТК "Калининград" заключается в активном вовлечении творческой молодежи в технологическое предпринимательство, сжатии временного интервала инновационного цикла, сокращении времени между получением новых знаний и созданием технологий и новых производств, способных обеспечить отечественный рынок новой продукцией, конкурентоспособной на международном рынке.

Задачи ПТК "Калининград":

1. Кристаллизация вокруг ПТК "Калининград" технологического сообщества Калининградской области с вовлечением в активную инновационную деятельность профессиональных менторов, наставников и трекеров из ведущих университетов, научных и технологических центров России, инвесторов и промышленных партнеров;

2. Организация непрерывной работы со студенческими командами и проектами на круглогодичной основе, включая сборку инновационной инфраструктуры и материально-технической базы развития технологического предпринима-

тельства вокруг ПТК "Калининград" с привлечением бизнеса, местного и регионального сообщества;

3. Разработка методологии развития предпринимательских компетенций с привлечением состоявшихся инноваторов, бизнес-гуру, инвесторов, технологических и промышленных партнеров к лучшим студенческим идеям, стартапам и акселерационным программам;

4. Экспертиза и маркетинг проектов и стартапов, навигация по грантовым программам и мерам поддержки с привлечением широкого класса экспертов по направлениям НТИ в контексте развития "Стратегии смежного сектора", обеспечивающей синергетический эффект от расширенного понимания внедрения новых идей и проектов;

5. Обеспечение развивающегося непрерывного потока талантливой молодежи в акселерационные программы регионального и федерального уровней, программы крупных компаний и консорциумов (Архипелаг, Морской кластер, Сбер и др.), студенческих стартапов и команд с максимальной кастомизированной поддержкой каждого инноватора с учетом пожеланий промышленных и технологических партнеров.

Возможности ПТК "Калининград" в технологическом преобразовании рыбной отрасли, рыбохозяйственного комплекса Российской Федерации и экономики Калининградской области с учетом структуры КГТУ и его интеллектуального потенциала приведены на рис. 2.

Они перекрывают по направлениям специализации практически все болевые точки реального сектора экономики российского эксклава и при определенных условиях могут сыграть решающую роль в обеспечении устойчивости функционирования и развития региональной экономики. Сегодня КГТУ является не только самым крупным образовательным комплексом в рыбной отрасли России, но и важным системообразующим конструктом инновационного развития Калининградской области в концепте устойчивого развития. Особое внимание уделяется интеллектуализации деятельности экономических акторов на основе развития новых технологий и эффективного использования ресурсов, а также развития человека как основного источника формирования капитала в современном мире.

Медлительность с созданием новых и модернизацией существующих перерабатывающих производств сохраняет слабопроизводительные, неэффективные активы и умножает риски, связанные с технологическим отставанием. Сжатие времени на создание инновационной продукции связано с созданием новых бизнес-моделей, модернизацией системы управления, переходом к платформенным сетям. То есть наряду с развитием информационных и инженерных технологий в управлении транспортно-логистическими и промышленными предприятиями отсутствует четкое понимание и описание бизнес-моделей, в рамках которых эти технологии могут применяться [10].

Преимущество ПТК в подготовке предпринимателей-инноваторов заключается в возможности организации конвергентной системы разновариантной передачи знаний и компетенций, а конвергентные технологии, как известно, меняют бизнес-модели, предприятия и целые отрасли, а также жизнь участников ПТК, готовя их всесторонне к будущим процессам технологизации экономики и управления.



Рис. 2. КГТУ – ПТК "Калининград": направления системной профессиональной подготовки кадров и развития технологического предпринимательства
Fig. 2. KSTU – EBP "Kaliningrad": directions of systematic professional education and technological entrepreneurship

РОЛЬ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВЕ

Технологическая самодостаточность в ключевых отраслях экономики РФ зависит от освоения и развития достаточно большого количества современных технологий. Вопрос представляется достаточно сложным вследствие воздействия ряда факторов, из которых на первый план выходят тотальные санкции Запада в отношении России. Кроме ограничения доступа предприятий РФ к комплектующим изделиям и материалам, оборудованию и технологиям, взаимодействию исследователей с зарубежными коллегами западные страны увеличили число приглашений молодых ученых и специалистов на постоянную работу в свои вузы, НИИ, инженерные центры, холдинги и концерны. Попытки иностранного воздей-

ствия на человеческий ресурс являются весьма важным моментом в инновационном развитии страны, актуализируют вопросы патриотического воспитания, так как человеческий ресурс – основной фактор развития современной техники и технологий. Поэтому тренды глобализации науки и технологий на данном этапе развития России меняются на парадигму первоочередной ускоренной технологической модернизации экономики страны. Фактически здесь речь идет о переходе на форсированный мобилизационный режим организации самосогласованного непрерывного конвергентного образовательного, научного, инновационного и предпринимательского процессов, которые способны существенно сжать инновационный цикл. Этот переход во многом определяется степенью вовлеченности молодежи в инновационное предпринимательство, и ПТК должны сыграть свою роль в реализации этого процесса.

Инновационный продукт отличают три признака: новое техническое либо технологическое решение, определяющее высокую прибавочную стоимость продукта, при производстве которого оно будет использовано, документальная защита этого решения как объекта интеллектуальной собственности в установленном законом или другими нормативно-правовыми актами (НПА) порядке и востребованность продукта рынком. Без третьего признака – востребованности и установления цены продукта рынком – нет инновационного продукта, а есть только идея, результат НИР (возможно, даже научный прорыв), макет технического устройства или регламент технологического процесса, интеллектуальный продукт – база для инноваций, но нет нового рыночного продукта, как правило, с высокой ценой, установленной рынком. Поэтому системная подготовка предпринимателей-инноваторов с использованием ПТК актуальна и востребована. Следующий важный момент связан со стандартизацией инновационной продукции. Государственные и региональные стандарты являются важным инструментом в реализации НТИ. С учетом возникшего барьера в международной кооперации предприятий России и необходимости организации импортозамещения возникла новая задача по разработке ГОСТов и РСТ для предприятий, работавших по документации иностранных корпораций.

Если проблема перехода на отечественные программные продукты очевидна и широко обсуждается, принимаются соответствующие меры, то в части ГОСТов на промышленную и сельскохозяйственную продукцию вопросы разработки и перехода на новые стандарты всех уровней ГОСТы, ОСТы и корпоративные стандарты (СТП) обусловлены необходимостью обеспечения технологической безопасности России. Они тоже должны разрабатываться и внедряться в производство в ускоренном порядке. Поэтому если ранее ГОСТы разрабатывались организациями системы Госстандарта РФ по инициативе государственных органов, то теперь не менее половины новых ГОСТов принимаются по инициативе инновационных предпринимателей. Срок разработки и принятия стандартов в среднем сократился за последние 6 лет примерно в три раза – с 24 до 8 мес., уменьшаясь в некоторых случаях до 3 мес. Сжатие сроков выполнения НИОКР и постановки продукции на производство связано с определяющим влиянием интеллектуального потенциала на модернизацию предприятий и рост производства новой продукции.

Потенциал влияния интеллектуальных ресурсов на формирование ВВП различных стран показан в исследованиях Всемирного Банка [11]. Эффективное

использование этого потенциала в России, происходившее в советские времена до конца 70-х годов прошлого века, затем начало снижаться, а с распадом СССР резко упало на всем постсоветском пространстве по разным причинам, включая политику ограничения технологического развития, вследствие лоббирования западными странами отечественных компаний. Для России объективной причиной, кроме прочего, стал низкий уровень государственного управления в 90-е годы прошлого века и так называемое "ресурсное проклятие" [12].

АКТУАЛЬНОСТЬ РАЗВИТИЯ ИННОВАЦИОННОГО ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВА В РЫБОХОЗЯЙСТВЕННОМ КОМПЛЕКСЕ РОССИИ

В анализе ЦМАКП [1] не отражена динамика изменения морехозяйственной деятельности (МХД) как в России, так и за рубежом, в то время как оценка ее объема достигает по разным источникам \$2,5–3 трлн и продолжает расти. Тенденция роста подтверждается планами ряда стран по строительству морских ВЭС, освоению Арктической зоны и недр дна Мирового океана, планами Китая по строительству глубоководной базы для беспилотных подводных исследований и обороны в Южно-Китайском море [13], расширением акваторий добычи ВБР. Одним из важных секторов морехозяйственной деятельности является рыбохозяйственный комплекс (РХК).

В условиях новой реальности тотальной санкционной войны перспективы развития РХК в России в значительной степени определяются степенью вовлеченности молодежи в инновационное предпринимательство. РХК России встретился в последние годы с рядом серьезных вызовов, связанных с 1) недостаточным уровнем развития материально-технической базы рыболовства, 2) низкими объемами производства аквакультуры, 3) недостатком современных технологий рыбопереработки, 4) зачаточным состоянием рециклинга и глубокой переработки отходов, 5) возникшими сложностями в производственной и транспортной логистике в связи с пандемией Covid-19, 6) санкциями западных стран. Они существенно повлияли на работу отрасли, вызвали необходимость перемен в транспортной и производственной логистике, реформирования и сегментирования рынка, пересмотра стратегии переработки ВБР и доставки готовой продукции потребителю. Впервые зазвучала акцентированно необходимость развития РХК в концепте стратегии смежного сектора и рециклинга [14], ускорения темпов внедрения ИТ в систему производства и управления РХК.

По итогам прошедшего 21–23 сентября 2022 г. в Санкт-Петербурге Международного рыбопромышленного форума (<https://seafoodexporussia.com/>) и организованной выставки достижений предприятий отрасли можно прийти к выводу о том, что пандемия и санкции послужили дополнительным стимулом успешному старту преобразований в РХК России. Вынесение на пленарную сессию обсуждения концепции "Умного рыболовства" стало закономерным началом необходимости пересмотра Стратегии развития РХК-2030. Международный рыбопромышленный форум показал актуальность комплексного подхода к рыбодобыче и рыбопереработке, развитию производства аквакультуры, тенденции развития новых технологий, направленных на существенное улучшение потребительских свойств производимой продукции, необходимость углубленной переработки ВБР. Разворот на первоочередное снабжение населения страны высококачественной рыбной

продукцией стал трендом последних лет в РХК России. Однако следует отметить, что развитие инновационного предпринимательства, цифровизация технологических процессов и управления, переход в целом к созданию экосистемы РХК страны на отечественных ЦП и лучших достижениях рыболовного судостроения, технологий добычи, транспортировки, переработки и доставки продукции потребителю находятся на начальной стадии [8, 9]. Поэтому интеграция науки, инноватики, образования и технологического предпринимательства в РХК представляет собой актуальную проблему, требующую быстрого решения, если учесть сложившуюся реальность длительной санкционной войны западных стран с Россией. Она может стать успешной при существенном улучшении ГЧП, понимании глубины проблемы и участии в процессах модернизации органов власти всех уровней и общества. Проведем финансовую оценку потенциала такой интеграции на основе анализа добычи рыбы по России, рис. 3.

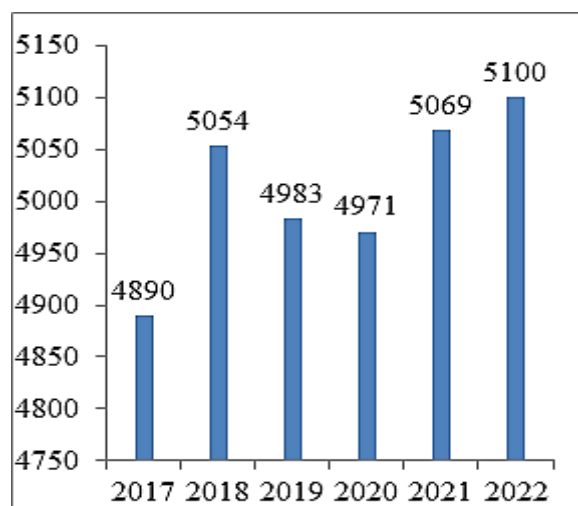


Рис. 3. Динамика добычи рыбы по России, тыс. т
Fig. 3. Dynamics of fish production in Russia, thousand tons

Данные по вылову по России взяты из материалов Коллегии Росрыболовства. К 15.10. 2022 г. общий вылов российских рыбаков составил 3,9 млн т, по 2022 г. на графике приведен оценочно прогнозируемый объем годовой добычи. Анализ данных рыбной отрасли показывает стабилизацию объемов добычи в последнее пятилетие по России на уровне (4993 ± 56) тыс. т, что коррелирует со стабилизацией объемов рыбодобычи в мире в последние годы на уровне 92–95 млн т [15]. Если мировой уровень добычи лимитирован естественной воспроизводимостью биоресурсов в Мировом океане, то объемы рыбодобычи по России определяются ограниченными возможностями рыболовного флота, рыбоперерабатывающих предприятий, морозильного складского хозяйства, вагонов-рефрижераторов и другими причинами. Следует отметить, инвестиции в рыболовство и развитие аквакультуры выросли за пять лет в 2,7 раза и составили за прошлый 2021 г. 77 млрд руб. при общем обороте предприятий и организаций РХК 807,8 млрд руб. Инновационную эффективность этих инвестиций предстоит определить Аналитическому центру Министерства финансов России. Но первый вывод можно сделать: уделять особое внимание развитию реальных компетенций

в области технологического предпринимательства в РХК в концепте максимальной самодостаточности и конкурентоспособности на международных рынках продукции с высокой добавленной стоимостью. Импортозамещение не предполагает простую замену импортной продукции, а подразумевает постановку на производство новой продукции, конкурентоспособной на международном рынке.

Принятая Правительством России программа постройки рыболовных судов под квоты начала работать, последствия влияния пандемии Covid-19 на РХК стали действенным стимулом развития и расширения перерабатывающих производств в первую очередь на Дальнем Востоке и Камчатке, рыбаки которых наиболее сильно пострадали от изменения рынков международной торговли ВБР. Сейчас в этих регионах вводятся в строй новые перерабатывающие мощности, причем спроектированные и построенные с применением отечественных проектов, материалов и оборудования. Однако в целом по РХК слабая логистика производственных процессов и недостаточное оснащение аппаратно-программными комплексами, отставание в вопросах внедрения технологий цифровой экономики сдерживают реализацию его производственного потенциала.

Этот вывод подтверждается сравнением объемов импорта и экспорта рыбной продукции. Так как цена продукции ВБР зависит от глубины переработки, средняя цена импортной и экспортной рыбной продукции определяет финансовые показатели внешнеэкономической деятельности предприятий РХК России. Интегральные показатели по всей отрасли будут в определенной степени показывать упущенную выгоду государства из-за разницы в переработке импортной и экспортной продукции. На рис. 4 показаны объемы импорта и экспорта продукции РХК в долларовом эквиваленте по годам за последние пять лет. Упущенная выгода рассчитывалась оценочно в предположении обеспечения средней цены тонны рыбной продукции на экспорт вследствие ее переработки по цене не ниже цены тонны импортной продукции. Для сравнения финансовых показателей сделан пересчет продукции, продаваемой за рубеж с определенной переработкой, обеспечивающей в среднем цену импортной продукции.

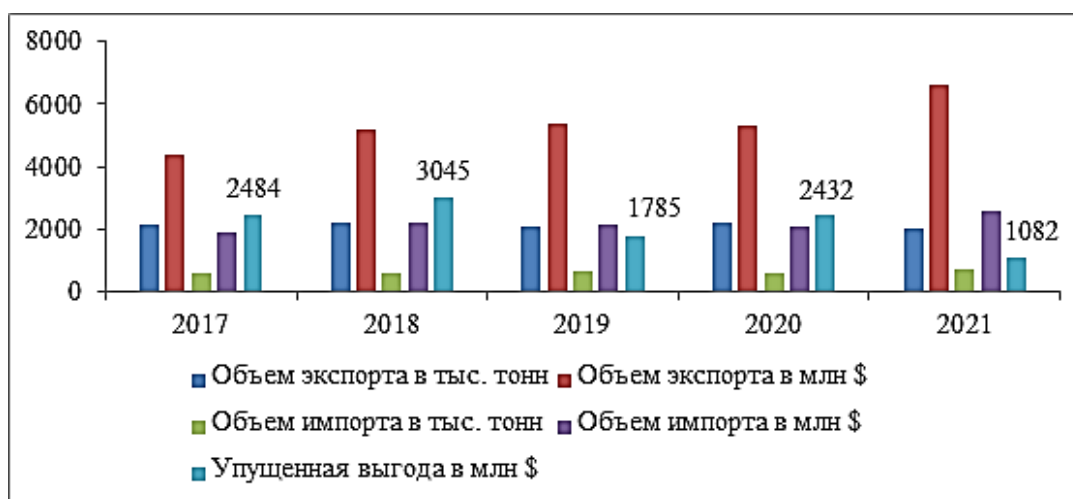


Рис. 4. Объемы импорта и экспорта продукции РХК
Fig. 4. Volumes of import and export of the fishery complex

Оценка упущенной выгоды из-за недостаточной технологической переработки рыбного сырья, сырьевой ориентации экспорта составила за последние 5 лет \$10,83 млрд, или в среднем \$2,17 млрд/год. Снижение упущенной выгоды в 2021 г. объясняется не повышением степени переработки рыбной продукции, поставляемой на экспорт, а опережающим ростом цен на сырьевую рыбную продукцию в сравнении с переработанной. Эта тенденция носит, скорее всего, временный характер и связана, во-первых, с ростом спроса на рыбную продукцию в связи с пандемией Covid-19, а во-вторых, с повышением доли добываемых ВБР, направляемых на переработку.

Отставание в технологиях рыбопроизводства, рыбопереработки и рыбоводства наиболее наглядно видно на организации производства продукции товарной аквакультуры, см. рис. 5. Графики построены по данным Коллегии Росрыболовства; ожидаемый прирост общего объема продукции аквакультуры по итогам 2022 г. прогнозируется на уровне 3–5 %.

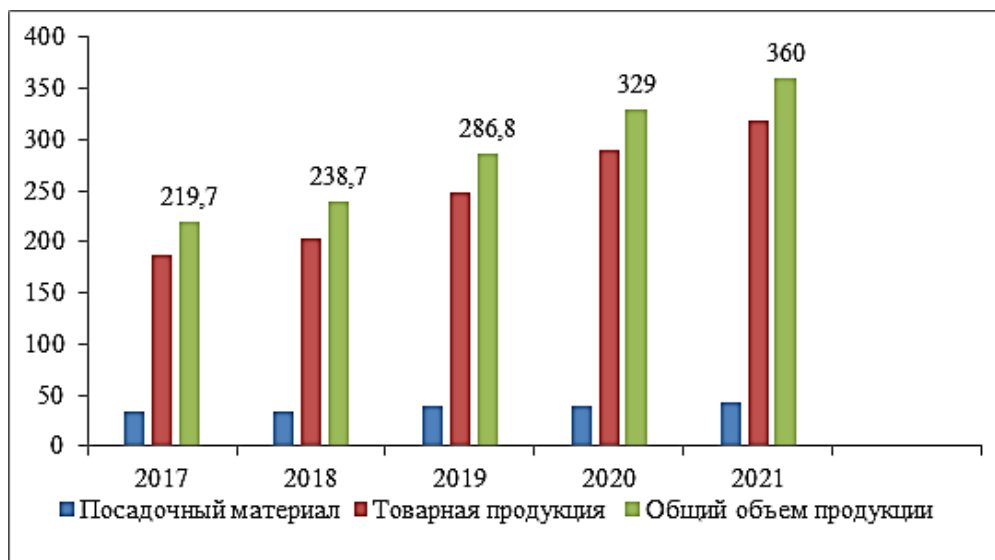


Рис. 5. Динамика роста объемов производства продукции товарной аквакультуры, тыс. т

Fig. 5. Growth dynamics of commercial aquaculture production, thousand tons

В целом комплексная стратегия инвестиционной политики в РХК России, которая включала бы весь цикл от добычи, переработки и поставки потребителю, отсутствует. Возникает множество вопросов, и их необходимо решить в ближайшем будущем, от освоения строительства рыболовных судов на отечественных верфях с минимальным использованием импортных комплектующих изделий, материалов, аппаратуры и оборудования до размещения рыбоперерабатывающих предприятий на судах, приморских территориях, в центральной части России, где наибольшая потребность в рыбной продукции. Критерии выбора зависят от видов рыб, ВБР, сезонной загрузки, наличия определенной инфраструктуры, кадров и других факторов.

Проведенная оценка упускаемой выгоды показывает, что замена экспорта сырья на экспорт продукции с высокой степенью переработки может дать прибавку в валовом исчислении до 50 %, или, как показывают расчеты за последние пять

лет, приведенные на рис. 6, до двух миллиардов долларов ежегодно. ПТК "Калининград" может стать одним из серьезных инструментов подготовки высокопрофессиональных кадров, предпринимателей-инноваторов, способных создавать стартапы и развивать высокотехнологичное производство рыбной продукции с высокой добавочной стоимостью в Калининградской области и других приморских регионах России.

РЕГИОНАЛЬНЫЙ РАКУРС: ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВО В КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ В УСЛОВИЯХ НОВОЙ РЕАЛЬНОСТИ

Наступившая новая реальность актуализировала вопросы дальнейшего устойчивого развития экономики Калининградской области. Существенно изменилась производственная и транспортная логистика предприятий, имевших смежников не только за рубежом, но и в разных регионах России. Новые социальные, технологические, финансовые и экономические условия необходимо рассматривать во взаимосвязи глобальных, федеральных и региональных процессов [3, 10], в которых на первый план выходят ресурсы и самодостаточность. Первые месяцы, проведенные в условиях новой реальности, показали устойчивость экономики Калининградской области к внешнему воздействию. Это объясняется сильной поддержкой региона Федеральным центром, существенно расширившим в короткие сроки морскую доставку грузов и пассажиров паромными маршрутами, число которых за 6 мес. выросло с 2 до 12, финансированием крупных проектов, дотациями на перевозки, иной поддержкой эксклава региона. Однако нагрузка на Федеральный бюджет растет. По данным газеты "Ведомости" от 21.09.22, в 2021 г. консолидированные бюджеты регионов были исполнены с профицитом в 660,8 млрд руб. (доходы 17,5, расходы – 16,9 трлн руб.), в 2022 г. они составят по оценке 18,893 и 18,730 трлн руб. соответственно, а в 2023 г. ожидается дефицит бюджета в 132,5 млрд руб. (доходы – 18,784, расходы – 18,916 трлн руб.). Поэтому вполне логичным представляется ожидаемое снижение преференций и льгот регионам, трансфер средств в пользу проектов, имеющих короткие сроки окупаемости, и политика бережного отношения в регионах к накопленным резервам, которые по оценке Министерства финансов России составляют около 4 трлн руб. Поэтому руководству Калининградской области следует обратить внимание на поддержку эффективно работающих и находящихся в стадии модернизации производств, реализацию инвестиционных проектов с быстрой отдачей, ускорение цифровизации экономики, способной создать значительную экономию ресурсов в будущем.

В связи с этим и переориентацией предприятий реального сектора экономики на поставки импортных комплектующих и материалов через азиатские компании-посредники, приводящие к росту цен и времени поставок, существующая тенденция регионального развития с опорой на крупные проекты требует определенной коррекции. Понадобится смещение фокуса экономической политики в область развития инноватики, технологического предпринимательства, на реализацию проектов, способных дать быстрый эффект. Социально-экономическая ситуация в Калининградской области недостаточно прогнозируема и требует непрерывного поиска оптимальных решений на уровне предприятий, организаций, муниципалитетов и региона в целом. Без применения баз данных и искусственного интеллекта (Big Data, AI) такие задачи сложно решать. Складывающаяся ситуация

в отдельных направлениях деятельности предприятий и секторов экономики слабо прогнозируема, необходим переход на цифровое прогнозирование и управление с использованием ИИ.

Важным вкладом в ускорение технологической модернизации может стать переформатирование государственно-частного партнерства (ГЧП). За все постсоветское время бизнес не смог стать движущей силой инновационного предпринимательства как в России в целом, так и в Калининградской области. Вклад его в НИОКР в среднем за все прошедшие 30 с лишним лет колебался в районе одной трети, две трети вкладывало государство. С учетом новой реальности и накопленного бизнесом капитала такая ситуация с инноватикой в стране выглядит ненормальной. Еще хуже обстоит дело с участием бизнеса в подготовке профессиональных кадров, инвестициями в развитие человеческого капитала. Политика лоббирования крупных инвестиционных проектов, требующих больших вложений со стороны федерального центра, успешно работала последние 5 лет [3] и теперь нуждается в пересмотре.

Ресурсы федерального центра не безграничны, и Калининградская область – не самая нуждающаяся в дополнительных льготах. Поэтому требуется принятие ускоренных мер по решению сложной задачи переформатирования ГЧП и изменению инновационно-инвестиционной политики, создание новых инструментов развития инноватики и цифровых технологий. Это означает обеспечение действенного перехода к цифровой экономике (ЦЭ) на основе отечественных цифровых платформ (ЦП) и программных продуктов, использование ситуационных центров (СЦ), моделей цифровых двойников, начиная от технологических процессов и завершая процессами прогнозирования и управления экономикой на всех его уровнях – от производственного, муниципального до регионального. Эти вопросы прошли обсуждение в мае 2022 г. на встрече представителей министерства цифровых технологий и связи региона и КГТУ. Прошло детальное обсуждение следующих вопросов:

- цифровая экономика: проблемы, перспективы, ближайшие неотложные задачи;
- глобальный, федеральный, региональный ракурсы ЦЭ в контексте бифуркации глобальной технологической и социально-экономической системы;
- обеспечение технологической независимости национальной инфраструктуры;
- цифровые двойники – универсальный инструмент современного анализа, моделирования, прогнозирования и развития;
- параметрический цифровой двойник социально-экономико-технической (СЭТ) системы;
- новая методология организации высокоэффективных и устойчивых региональных СЭТ-комплексов на примере энергетики;
- конструктор быстро перестраиваемых цифровых платформ и экосистем для отдельных предприятий, территорий и отраслей экономики региона;
- пример конструктора ЦП для муниципального образования;
- конструктор ЦП и экосистем региона как инструмент и технология обеспечения цифрового суверенитета России.

Все эти вопросы связаны со Стратегией выбора точек роста экономики Калининградской области в новых условиях и являются предметом детального рассмотрения участниками ПТК, так как имеют общий характер и важны для устойчивого развития технологического предпринимательства в большинстве направлений развития региональной экономики. Специалистами университета и сотрудниками инновационных предприятий ассоциации "НБИКС" (нано- био-информационно-социотехнологии) уже разработаны:

- оригинальный конструктор цифровых платформ и экосистем, преимуществом которого являются: 1) быстрая сборка и изменение конструкции в зависимости от изменения внешней и внутренней среды, 2) использование авторских отечественных программных продуктов и разработок, соответствующих взятому курсу России к цифровому суверенитету;

- методика оценки рисков социально-экономического развития при принятии управленческих решений на уровне региона и муниципальных образований в условиях турбулентной среды;

- цифровой двойник регионального электроэнергетического комплекса – универсальный инструмент современного развития, технологию создания которого можно использовать в качестве новой методологии организации высокоэффективных и устойчивых региональных ресурсных и продуктовых комплексов;

- концепция региональной системы персонализированного питания на основе цифровой платформы – продукт Индустрии 5.0, развитие и внедрение которой может привести к существенному снижению цен на продукты питания, представляющих интерес для устойчивого развития Калининградской области в условиях экономической войны западных стран с Россией;

- цифровая платформа NBICS.NET, на основе которой можно организовать конвергентную онлайн–офлайн интегрированную пилотную региональную систему подготовки профессиональных кадров для цифровой экономики в концепте "Образование в течение всей жизни" с целью решения актуальных проблем конкретного региона, отрасли, страны;

- комплекс инженерно-технических и программных решений, позволяющий создать региональную Hi-Tech – систему глубокой переработки отходов рыбной продукции и животноводства в высококачественные нутриенты с высокой добавленной стоимостью и др.

Все эти разработки могут быть реализованы на практике с помощью инструментов и механизмов работы ПТК. По мере развития производственных технологий цифровые технологии будут находить расширяющееся применение в НИОКР, проектировании продукции, оптимизации использования производственного оборудования и производстве материальной продукции, т. е. они, пронизывая и находя свое место во всех технологиях, представляют собой метатехнологию [16]. Наблюдающееся перемещение капиталов в производственный сектор в сочетании с возвращением производств в страны-производители и бенефициары интеллектуальной собственности автоматически будут стимулировать расширенное применение ИТ в новых производствах и управлении, в оценке рисков и предотвращении кризисов [17].

Разделять процесс цифровой трансформации [18], как это делает компания Гартнер, утверждая, что "после цифровой трансформации наступает время для извлечения выгод от изменений", правильно, но неполно, цифровая трансформа-

ция – это непрерывный процесс, сопровождающий такой же непрерывный процесс модернизации или смен парадигмы производства. Здесь следует обратить внимание на то, что цифровые технологии наряду с материаловедением, сенсорикой, робототехникой и автоматизацией производств, финансовыми инструментами должны развиваться конгруэнтно. В таком контексте цифровой экосистемы [19] ПТК "Калининград" может стать эффективным инструментом технологического развития рыбной отрасли России и экономики Калининградской области.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Технологическая перестройка в России происходит в жестких условиях санкционной войны с ведущими странами Запада. Возникшая новая реальность востребовала и одновременно обострила ускоренное развитие техники и технологий, малых инновационных предприятий, инженерно-технологических центров и центров развития, предельно сжала временные рамки на создание инноваций. Траектории технологического развития определяются парадигмой самодостаточности в ключевых отраслях экономики и обеспечиваются эффективным государственно-частным партнерством. Критерием успешного технологического развития является конкурентоспособность новой продукции на внешнем рынке, ключевым фактором – трудовой потенциал участников рынка, человеческий капитал, высокообразованные люди, прошедшие профессиональную подготовку в технических университетах. Для организации системной подготовки инноваторов-технологов нового поколения необходимо широкое вовлечение творческой молодежи в технологическое предпринимательство путем конверсии университетских точек кипения в предпринимательские. Рассмотрена предпринимательская точка кипения "Калининград". Она показана как поставщик специалистов-профессионалов, новых технологий, стартапов, развивающих жизнеспособные морехозяйственные и приморские экосистемы XXI в. в соответствии с Национальной технологической инициативой России. Сформулированы задачи и формы вовлечения молодежи в технологическое предпринимательство ПТК "Калининград" с учетом новой реальности.

Список источников

1. Артеменко В. Мониторинг и анализ технологического развития России и мира. Центр макроэкономического анализа и краткосрочного прогнозирования. № 30, 2 кв. 2022 г., июль 2022, 33 с. URL: http://www.forecast.ru/ARCHIVE/HT_Mons/2022/П2022.pdf. (дата обращения: 16.10.2022).
2. Яфасов А. Я., Кострикова Н. А. Проблемы трансформации социально-экономических систем в постCOVID-19-й экономике // Известия КГТУ. 2020. № 58. С. 193–207.
3. Яфасов А. Я., Костенко Л. В. Инновационно-инвестиционная политика развития экономики Калининградской области в новых условиях // Известия КГТУ. 2022. № 66. С. 175–194.
4. Синенко О. А. Сравнительный анализ факторов функционирования специальных административных районов в Азиатско-Тихоокеанском регионе // Journal of Applied Economic Research. 2021. Т. 20, С. 524–559.

5. Zhdanov V., Kuznetsova O., Mau V., Plyukhin V., Prihodko S., Wojciechowski M. J., Hecht A. Problems Related to Development of the Kaliningrad Region as an Exclave Territory of the Russian Federation. Moscow. 2002. 250 p. URL: <https://www.iep.ru/files/text/cepra/kaliningrad-eng.pdf> (дата обращения: 16.10.2022).

6. Об Особой экономической зоне в Калининградской области и о внесении изменений в некоторые законодательные акты Российской Федерации: Федер. закон от 10.01.2006 № 16-ФЗ (ред. от 29.07.2018) // Система "Консультант Плюс" (дата обращения: 16.10.2022).

7. О специальных административных районах на территории Калининградской области и Приморского края: Федер. закон от 03.08.2018 г. № 291-ФЗ // Система "Консультант Плюс" (дата обращения: 16.10.2022).

8. Голубков А. В., Кострикова Н. А., Майтаков Ф. Г., Огий О. Г., Петренко Е. В., Яфасов А. Я. Открытое рыбохозяйственное образование. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2020662517 от 14.10.2020.

9. Голубков А. В., Кострикова Н. А., Майтаков Ф. Г., Огий О. Г., Петренко Е. В., Яфасов А. Я. Управление и коммуникация в "Рыбохозяйственной отрасли". Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2020662413 от 13.10.2020.

10. Яфасов А. Я. Перспективы перехода рыбохозяйственного комплекса России в цифровую экономику и формирование отраслевой экосистемы // Рыбное хозяйство. 2021. № 6. С. 4–9.

11. Where is the Wealth of Nations? The World Bank. Washington, D. C. Measuring Capital for the 21st Century. 2006. 208 p.

12. Smith Benjamin, Waldner David. Rethinking the Resource Curse. 2021. Cambridge University Press. 96 p.

13. Stephen Chen. Beijing plans an AI Atlantis for the South China Sea – without a human in sight. URL: <https://www.scmp.com/news/china/science/article/2174738/beijing-plans-ai-atlantis-south-china-sea-without-human-sight> (дата обращения: 16.10.2022).

14. Кострикова Н. А., Яфасов А. Я. Формирование новой экосистемы рыбохозяйственного комплекса России в современных условиях // Морские интеллектуальные технологии. 2021. № 3. Т. 1. С. 247–254.

15. Состояние мирового рыболовства и аквакультуры-2020. Меры по повышению устойчивости. Рим. ФАО. 223 с.

16. Цифровое производство. Методы, экосистемы, технологии // Рабочий доклад департамента Корпоративного обучения Московской школы управления СКОЛКОВО. 2017. Изд. МШУ СКОЛКОВО. С. 24–44. URL: http://assets.fea.ru/uploads/fea/news/2017/11_november/17/tsifrovoe_proizvodstvo_112017.pdf (дата обращения: 15.10.2022).

17. Borovkov A. I., Bolsunovskaya M. V., Gintciak A. M., Kudryavtseva T. Ju. Simulation Modelling Application for Balancing Epidemic and Economic Crisis in the Region // International Journal of Technology. 2020. Vol. 11, N. 8. P. 1579–1588.

18. 5 Stages to Enhance Your 2023 Data and Analytics Strategy for Digital Growth. URL: <https://www.gartner.com/en/publications/the-it-roadmap-for-data-and-analytics> (дата обращения: 16.10.2022).

19. Кострикова Н. А., Меркулов А. А., Яфасов А. Я. Технология синтеза распределенных интеллектуальных систем управления как инструмент устойчи-

вого развития территорий и сложных объектов // Морские интеллектуальные технологии. 2017. № 37. Т. 1. С. 135–141.

References

1. Artemenko V. Monitoring i analiz tekhnologicheskogo razvitiya Rossii i mira. Tsentral'nyy makroekonomicheskoye analiz i kratkosrochnoye prognozirovaniye. № 30, 2 kv. 2022 g., iyul' 2022, 33 p. Available at: http://www.forecast.ru/_ARCHIVE/HT_Mons/2022/II2022.pdf (Accessed 16 October 2022).
2. Yafasov A.Ya., Kostrikova N. A. Problemy transformatsii sotsial'no-ekonomicheskikh sistem v postCOVID-19-y ekonomike [Problems of transformation of socio-economic systems in the post-COVID-19 economy]. *Izvestiya KGTU*. 2020, no. 58, pp. 193–207.
3. Yafasov A. Ya., Kostenko L. V. Innovatsionno-investitsionnaya politika razvitiya ekonomiki Kaliningradskoy oblasti v novykh usloviyakh [Innovation and investment policy for the development of the Kaliningrad region economy in the new conditions]. *Izvestiya KGTU*. 2022, no. 66, pp. 175–194.
4. Sinenko O. A. Sravnitel'nyy analiz faktorov funktsionirovaniya spetsial'nykh administrativnykh rayonov v Aziatsko-Tikhoookeanskom regione [Comparative Analysis of Factors in the Functioning of Special Administrative Regions in the Asia-Pacific Region]. *Journal of Applied Economic Research*. 2021, vol. 20, pp. 524–559.
5. Zhdanov V., Kuznetsova O., Mau V., Plyukhin V., Prikhodko S., Wojciechowski M. J., Hecht A. Problems Related to Development of the Kaliningrad Region as an Exclave Territory of the Russian Federation. Moscow. 2002. 250 p. Available at: <https://www.iep.ru/files/text/cepra/kaliningrad-eng.pdf> (Accessed 16 October 2022).
6. Ob Osoboy ekonomicheskoy zone v Kaliningradskoy oblasti i o vnesenii izmeneniy v nekotorye zakonodatel'nye akty Rossiyskoy Federatsii: Feder. zakon ot 10.01.2006 № 16-FZ (red. ot 29.07.2018). Sistema "Konsul'tant Plyus" (Accessed 16 October 2022).
7. O spetsial'nykh administrativnykh rayonakh na territorii Kaliningradskoy oblasti i Primorskogo kraya: Feder. zakon ot 03.08.2018 g. № 291-FZ. Sistema "Konsul'tant Plyus" (Accessed 16 October 2022).
8. Golubkov A. V., Kostrikova N. A., Maytakov F. G., Ogiy O. G., Petrenko E. V., Yafasov A. Ya. Otkrytoe rybokhozyaystvennoe obrazovanie. Svidetel'stvo o registratsii programmy dlya EVM № 2020662517 ot 14.10.2020. Zayavka № 2020661547 ot 01.10.2020.
9. Golubkov A. V., Kostrikova N. A., Maytakov F. G., Ogiy O. G., Petrenko E. V., Yafasov A. Ya. Upravlenie i kommunikatsiya v "Rybokhozyaystvennoy otrasli". Svidetel'stvo o registratsii programmy dlya EVM № 2020662413 ot 13.10.2020. Zayavka № 2020661377 ot 01.10.2020.
10. Yafasov A. Ya. Perspektivy perekhoda rybokhozyaystvennogo kompleksa Rossii v tsifrovuyu ekonomiku i formirovanie otraslevoy ekosistemy [Prospects for the transition of the Russian fishery complex to the digital economy and the formation of an industry ecosystem]. *Rybnoe khozyaystvo*. 2021, no. 6, pp. 4–9.
11. Where is the Wealth of Nations? The World Bank. Washington, D. C. Measuring Capital for the 21st Century. 2006. 208 p.

12. Smith Benjamin, Waldner David. Rethinking the Resource Curse. 2021. Cambridge University Press. 96 p.
13. Stephen Chen. Beijing plans an AI Atlantis for the South China Sea – without a human in sight. Available at: <https://www.scmp.com/news/china/science/article/2174738/beijing-plans-ai-atlantis-south-china-sea-without-human-sight> (Accessed 16 October 2022).
14. Kostrikova N. A., Yafasov A. Ya. Formirovanie novoy ekosistemy rybokhozyaystvennogo kompleksa Rossii v sovremennykh usloviyakh [Formation of a new ecosystem of the Russian fishery complex in modern conditions.]. *Morskie intellektual'nye tekhnologii*. 2021, no. 3, vol. 1, pp. 247–254.
15. Sostoyanie mirovogo rybolovstva i akvakul'tury-2020. Mery po povysheniyu ustoychivosti [The State of World Fisheries and Aquaculture 2020. Measures to increase resilience]. Rim. FAO. 223 p.
16. Tsifrovoe proizvodstvo. Metody, ekosistemy, tekhnologii. Rabochiy doklad departamenta Korporativnogo obucheniya Moskovskoy shkoly upravleniya SKOLKOVO. 2017. Izd. MSHU SKOLKOVO, pp. 24–44. Available at: http://assets.fea.ru/uploads/fea/news/2017/11_november/17/tsifrovoe_proizvodstvo_112017.pdf (Accessed 16 October 2022).
17. Borovkov A. I., Bolsunovskaya M. V., Gintciak A. M., Kudryavtseva T. Ju. Simulation Modelling Application for Balancing Epidemic and Economic Crisis in the Region. *International Journal of Technology*. 2020, vol. 11, no. 8, pp. 1579–1588.
18. 5 Stages to Enhance Your 2023 Data and Analytics Strategy for Digital Growth. Available at: <https://www.gartner.com/en/publications/the-it-roadmap-for-data-and-analytics> (Accessed 16 October 2022).
19. Kostrikova N. A., Merkulov A. A., Yafasov A. Ya. Tekhnologiya sinteza raspredelennykh intellektual'nykh sistem upravleniya kak instrument ustoychivogo razvitiya territorij i slozhnykh ob"ektov [Synthesis Technology of Distributed Intelligent Control Systems as a Tool for Sustainable Development of Territories and Complex Objects]. *Morskie intellektual'nye tekhnologii*. 2017, no. 37, vol. 1, pp. 135–141.

Информация об авторах

А. Я. Яфасов – доктор технических наук, начальник управления инновационной деятельностью

Н. А. Кострикова – кандидат физико-математических наук, проректор по научной работе

Information about the author

A. Ya. Yafasov – Doctor of Engineering, Head of Innovations

N. A. Kostrikova – PhD in Physics, Vice-rector for Science

Статья поступила в редакцию 09.10.2022; одобрена после рецензирования 20.10.2022; принята к публикации 24.10.2022.

The article was submitted 09.10.2022; approved after reviewing 20.10.2022; accepted for publication 24.10.2022.

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ ЖУРНАЛА "ИЗВЕСТИЯ КГТУ"

Общие требования

Журнал бесплатно публикует оригинальные неопубликованные ранее статьи, удовлетворяющие критериям высокого научного качества по научным направлениям: естественно-научные и математические, биологические и сельскохозяйственные, технические, экономические науки, промышленное рыболовство. Автор (авторы) несет ответственность за достоверность результатов исследования и гарантирует, что им не нарушены авторские права третьих лиц, что в тексте статьи нет некорректных или незаконных заимствований.

Автор самостоятельно или в соавторстве может представить в номер не более одной статьи. Научные статьи принимаются в редакцию в течение всего года, публикуются в порядке живой очереди по мере наполнения портфеля редакции. Редакция журнала оставляет за собой право производить сокращения и редакционные изменения рукописи. Рукописи статей, принятых к публикации, авторам не возвращаются.

В редакцию журнала авторы представляют:

– **распечатку рукописи**, подписанную всеми авторами, и ее электронную версию. Текст рукописи должен полностью соответствовать тексту электронного варианта, страницы не нумеруют;

– **внешнюю или внутреннюю рецензию доктора наук** (на стандартном бланке), заверенную в установленном порядке. Бланк рецензии можно скачать на сайте университета в разделе "Наука и инновации – Научные журналы – Известия КГТУ". Рецензент должен являться признанным специалистом по тематике рецензируемого материала и иметь в течение последних трех лет публикации по тематике рецензируемой статьи.

– **экспертное заключение** о возможности открытого опубликования статьи (иногородние могут выслать электронной почтой).

В дальнейшем с автором заключается **Лицензионный договор** и оформляется **Акт передачи – приемки рукописи**.

Объем статьи

Составляет от восьми до четырнадцати страниц текста, включая рисунки, таблицы, список литературы и информацию об авторах.

Компьютерный набор статьи

Должен удовлетворять следующим требованиям: формат бумаги – А4, гарнитура шрифта – Times New Roman, кегль 12, ориентация – книжная, поля сверху, слева, справа – 3 см, снизу – 3,5 см; абзац с отступом Tab. 1,27; межстрочный интервал – одинарный. Материалы должны быть оформлены с применением средств Microsoft Office 2003 (расширение текстового файла *.doc).

При наборе текста не допускается применять стили при формировании текста, вносить изменения в шаблон или создавать свой для формирования текста, ставить пробелы перед знаками препинания, применять любые разрядки слов. Необходимо слова внутри абзаца разделять одним пробелом, набирать текст без принудительных переносов, установить автоматическую расстановку переносов.

Таблицу, в зависимости от ее размера, помещают под текстом, в котором впервые дана ссылка на нее, или на следующей странице. Допускается помещать таблицу вдоль длинной стороны листа, при этом нумеруют арабскими цифрами графы и строки первой части таблицы. Слово "Таблица" указывают один раз слева (без отступа) над первой частью таблицы, после номера ставят точку, следом с прописной идет название таблицы, точку в конце не ставят. Таблица должна быть вставлена автоматически (через "Таблица: Добавить таблицу"). Название таблицы дублируют на английском языке под русским названием, и наоборот, если статья на английском языке (Таблица 1. Table 1.).

Рисунки. Допускаются только черно-белые четкие рисунки, выполненные средствами компьютерной графики или сканированные. Рисунки могут быть введены в текст статьи или выполнены в виде отдельных графических файлов. В последнем случае необходимо указать место расположения рисунка, написав на полях рукописи после абзаца, в котором он впервые упоминается: Рис. 1. и т. д. Все рисунки должны быть пронумерованы (Рис. 1. и т. д.) и иметь подрисуночные подписи. Номер рисунка и подрисуночная подпись располагаются под рисунком. Название рисунка дублируют на английском языке под русским названием, и наоборот, если статья на английском языке (Рис. 1. Fig. 1.). Точка в конце подрисуночной подписи не ставится.

Все обозначения на рисунке должны соответствовать обозначениям в тексте. Фотографии должны быть сделаны с хорошего негатива контрастной печатью. Ссылки на все рисунки в тексте обязательны. Ширина рисунка не должна быть больше ширины полосы набора текста.

Если в статье один рисунок или одна таблица, они не нумеруются.

Не допускается заканчивать статью рисунком или таблицей.

Все рисунки и таблицы должны быть читаемы и расположены по центру полосы набора.

Формулы. Все формулы набираются в формульном редакторе, нумеруются, на них должны быть ссылки в тексте в круглых скобках. Формулы выносятся отдельной строкой после ссылки с отступом два Тав. Номер формулы вводится в круглые скобки и выравнивается вправо. При наборе формул рекомендуется использовать следующие кегли шрифтов: основной – 11; крупный индекс – 7; мелкий индекс – 5; крупный символ – 14; мелкий символ – 10. Гарнитура шрифта Times New Roman. Для набора математических формул используют буквы латинского алфавита (светлый курсив), греческого алфавита (светлый прямой шрифт) и готический шрифт (светлый прямой). Индексы формул, обозначенные буквами латинского алфавита, набирают курсивом (m_i – масса i -го элемента), а обозначенные буквами русского алфавита – прямым шрифтом (l_p – длина разбега; $V_{\text{пос}}$ посадочная скорость). Сокращенные обозначения физических величин и единиц измерения (кВт, Ф/м, W/m) – светлым прямым без точек. Числа и дроби в формулах должны быть набраны светлым прямым шрифтом. Прямым шрифтом набирают также некоторые математические обозначения (sin, tg; max, min; const; log, det, exp

и т. д.). Векторные величины следует обозначать жирным курсивом, а не надсимвольной чертой: \mathbf{e} не \bar{e} . Перенос в формулах допускается делать в первую очередь на знаках (=, ", <, > и др.), во вторую очередь – на отточии (...), на знаках сложения и вычитания (+, –), в последнюю – на знаке умножения в виде косоугольного креста (\times). Перенос на знаке деления не допускается. Математический знак, на котором разрывается формула при переносе, обязательно должен быть повторен в начале второй строки. При переносе формул нельзя отделять выражения, содержащиеся под знаком интеграла, логарифма, суммы, произведения, от самих знаков. Небольшие формулы, не имеющие самостоятельного значения, набираются внутри строк текста. Наиболее важные формулы, все нумерованные формулы, а также длинные и громоздкие формулы, содержащие знаки суммирования, произведения и т. п., набирают отдельными строками. Отбивка до и после строки с формулой в этом случае – 6 пунктов. Вместо выражения вида \bar{b} рекомендуется писать $\frac{a}{b}$. Отдельные элементы математических формул, вынесенные в текст, набираются по приведенным выше правилам (прямой шрифт в формуле – прямой шрифт в тексте, курсив в формуле – курсив в тексте).

Химические символы (Ag, Cu) набирают прямым шрифтом. Для набора рекомендуется использовать редактор Chem Window.

Единицы физических величин следует приводить в международной системе СИ по ГОСТ 8.417-2002. ГСИ. Единицы величин.

Все аббревиатуры в тексте должны быть расшифрованы. Разрешаются лишь общепринятые сокращения названий мер, физических, химических и математических величин.

Структура статьи

ВВЕДЕНИЕ (состояние проблемы, задачи исследования) по центру, прописными буквами, шрифт прямой, светлый, далее через один интервал текст.

Через один интервал **ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ** (постановка задачи, методы и результаты исследования, их обсуждение – по центру, прописными буквами, шрифт прямой, светлый, через один интервал текст). Основную часть рекомендуется разбивать на разделы с названиями, отражающими их содержание.

Через один интервал **ЗАКЛЮЧЕНИЕ** (выводы – по центру, прописными буквами, шрифт прямой, светлый), далее через один интервал текст

Составные части статьи и порядок их следования

1. Научная статья (слева без отступа, с прописной буквы, шрифт прямой, светлый, точка в конце не ставится).

2. С новой строки индекс по универсальной десятичной классификации (УДК) слева без отступа (прописными буквами, шрифт прямой, светлый, без двоеточия после букв, точка в конце не ставится).

3. С новой строки DOI (слева без отступа, прописными буквами, шрифт прямой, светлый, точка в конце не ставится).

4. Через один интервал по центру **Название статьи** на русском языке (с прописной, шрифт полужирный, прямой, точка в конце не ставится).

При публикации статьи частями в нескольких выпусках издания части должны быть пронумерованы, у всех частей следует указывать общее заглавие статьи. Если части имеют, помимо общего, частное заглавие, то его приводят после обозначения и номера части. Пример:

Изучение закономерностей кристаллизации гексагидрата хлорида алюминия из солянокислых растворов. Часть 2. Параметры кристаллизации гексагидрата хлорида алюминия

5. Через один интервал основные сведения об авторе (авторах) без обозначения организационно-правовой формы юридического лица: ФГБУН, ФГБОУ ВО, ПАО, АО и т. п. (слева без отступа, см. в образце оформления статьи ниже).

6. Через один интервал с отступом приводят слово *Аннотация* (полужирный курсив, в конце ставят точку). Текст аннотации дается в подбор, рекомендуемый объем 200–250 слов.

Представляет собой краткую характеристику текста с точки зрения его назначения, содержания, вида, формы и других особенностей. Она передает главную, ключевую идею текста до ознакомления с его полным содержанием. Научная аннотация условно делится на три части: 1. Презентация вопроса или проблемы, которым посвящена статья. 2. Описание хода исследования. 3. Выводы: итоги, которых удалось достичь в результате проведенного исследования.

Запрещается использовать дословный текст из статьи во избежание повторов, название работы, а также таблицы, графики и внутритекстовые ссылки.

В начале не повторяется название статьи, аннотация не разбивается на абзацы. Аннотация должна быть полноценной и информативной, не содержать общих слов, отражать содержание статьи и результаты исследований, строго следовать структуре статьи. Следует избегать использования вводных слов и оборотов, лишних вводных фраз, например, "автор статьи рассматривает...", не нужно подчеркивать личный вклад автора. Исторические справки, если они не составляют основное содержание документа, описание ранее опубликованных работ и общеизвестные положения, в аннотации не приводятся. В тексте аннотации следует применять значимые слова из текста статьи, избегать сложных грамматических конструкций. Вводная часть минимальна, место исследования уточняется до области (края). Изложение результатов содержит конкретные сведения (выводы, рекомендации и т. п.). Допускается введение сокращений в пределах аннотации (понятие из 2–3 слов заменяют на аббревиатуру из соответствующего количества букв, в 1-й раз дается полностью, сокращение – в скобках, далее используется только сокращение). Числительные, если не являются первым словом, передаются цифрами. Нельзя использовать аббревиатуры (например, названий учреждений) без расшифровки и сложные элементы форматирования (например, верхние и нижние индексы). Категорически не допускаются вставки через меню "Символ", знак разрыва строки, знак мягкого переноса, автоматический перенос слов. Значения t° в английском варианте обозначают как "deg C".

7. С новой строки с отступом приводят *Ключевые слова* (полужирный курсив, в конце двоеточие), они должны максимально точно отражать предметную

область статьи (даются в подбор, разделяются запятой, буквы строчные, шрифт прямой, светлый, точка в конце не ставится).

8. С новой строки с отступом **Благодарности** (если есть) организациям (учреждениям), научным руководителям и другим лицам, оказавшим помощь в подготовке статьи, сведения о грантах, финансировании подготовки и публикации статьи, проектах, научно-исследовательских работах, в рамках или по результатам которых опубликована статья (см. в образце оформления статьи ниже).

9. С новой строки с отступом могут быть приведены сведения о финансировании исследования, подготовки и публикации статьи с предшествующим словом **Финансирование:** (после слова ставят двоеточие).

10. С новой строки с отступом приводят библиографическую запись на статью **Для цитирования:** (см. в образце оформления статьи ниже).

Далее все сведения должны быть представлены на английском языке:

11. Original article (через один интервал, слева без отступа, с прописной буквы, шрифт прямой, светлый, точка в конце не ставится).

12. Через один интервал по центру **Название статьи** на английском языке (с прописной, шрифт полужирный, прямой, точка в конце не ставится).

13. Через один интервал основные сведения об авторе (авторах) – имя и фамилию приводят в транслитерированной форме на латинице полностью, отчество сокращают до одной буквы (в отдельных случаях, обусловленных особенностями транслитерации, до двух букв), см. в образце оформления статьи ниже.

14. Через один интервал с отступом **Abstract**. Недопустимо использование машинного перевода, вместо десятичной запятой используется точка. Все русские аббревиатуры передаются в расшифрованном виде, если у них нет устойчивых аналогов в английском языке (допускается: ВТО – WTO, ФАО – FAO и т. п.). Безличные конструкции переводятся с использованием пассива.

15. С новой строки с отступом **Keywords:** (полужирный курсив, в конце двоеточие), ключевые слова даются в подбор, разделяются запятой, буквы строчные, шрифт прямой, светлый, точка в конце не ставится).

16. С новой строки с отступом **Acknowledgments** (если есть), после слова ставят двоеточие.

17. С новой строки с отступом **Funding** (если есть), после слова ставят двоеточие.

18. С новой строки с отступом **For citation:** см. в образце оформления статьи ниже.

19. Через один интервал с отступом текст статьи, включающий в себя обязательные структурные элементы (см. структуру статьи).

Нельзя использовать в текстах формулы-картинки и прочие искусственно вставленные символы. Ссылки на все приведенные в списке литературы источники в тексте заключаются в квадратные скобки, например: [2], [4–7] (здесь тире), [1, 18, 25]. Если в тексте есть прямая цитата, заключенная в кавычки, то обязательно должна быть указана страница, на которой эта цитата находится в цитируемом источнике. Например: [7, с. 28]. Ссылки на неопубликованные работы и работы, находящиеся в печати, не допускаются.

20. Через один интервал после текста статьи **Список источников** (по центру с прописной, шрифт полужирный, прямой, точка в конце не ставится). Оформляется по ГОСТ Р 7.0.5-2008. "Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления". В список включаются только те работы, на которые автор ссылается в статье. Источники в списке литературы нумеруют и располагают в порядке их упоминания в тексте (в порядке цитирования).

21. Через один интервал после списка источников **References** (по центру с прописной, шрифт полужирный, прямой, точка в конце не ставится). Нумерация записей должна совпадать с нумерацией в основном перечне затекстовых библиографических ссылок.

References представляет собой транслитерированный список литературы. Транслитерируются только источники, написанные кириллицей; французские, немецкие, итальянские, польские и прочие источники не переводятся, а остаются в references неизменными.

Для выполнения транслитерации необходимо зайти на сайт <http://translit-online.ru/> и настроить перевод: *ѐ* → *yo*; *й* → *y*; *х* → *всегда kh*; *ц* → *ts*; *щ* → *shch*; *э* → *e*. Транслитерированный текст в списке References необходимо отредактировать и добавить переводы на английский язык; заменить знаки ":", "/" и "/" на точку или запятую; после транслитерации названия издательства добавить Publ.; вместо *Москва* указать *Moscow*, вместо *Санкт-Петербург* – *Saint-Petersburg*; исправить обозначение страниц: вместо 235 с. – 235 p., вместо S. 45–47 – pp. 45–47; курсивом выделить название источника и название журнала (образец оформления см. ниже).

22. Через один интервал дополнительные сведения об авторе (авторах), инициалы разделяют пробелом (слева без отступа, дублируют на английском языке: ученая степень, звание, должность и др. (см. в образце оформления статьи ниже).

23. Сведения о дате поступления рукописи в редакцию, дате одобрения после рецензирования и дате принятия статьи к опубликованию.

24. Знак охраны авторского права приводят по ГОСТ Р 7.0.1 внизу первой полосы статьи с указанием фамилии и инициалов автора (авторов) или других правообладателей и года публикации статьи.

Образцы оформления списка источников

Монография

1. Агеев В. В. Грузопассажирские суда в военных конфликтах: монография. Калининград: Изд-во ФГБОУ ВПО "КГТУ", 2013. 106 с.

2. Ториков В. Е., Мельникова О. В., Ториков В. В. Выращивание ярового ячменя на крупяные, пивоваренные и кормовые цели на юго-западе центрального региона России: монография. Брянск: Изд-во БГСХА, 2014. 90 с.

Книга

Книга одного – трех авторов

1. Новикова А. М. Универсальный экономический словарь. Москва: Экономика, 1995. 135 с.
2. Сидоркина А. Н., Сидоркин В. Г. Биохимические аспекты травматической болезни и ее осложнений. Москва: ЭкоТрендз, 2010. 315 с.
3. Тарасевич Л. С., Гребенников П. И., Леусский А. И. Макроэкономика: учебник. Москва: Высш. образование, 2011. 658 с.
4. Максименко В. Н., Афанасьев В. В., Волков Н. В. Защита информации в сетях сотовой подвижной связи / под ред. О. Б. Макаревича. Москва: Горячая линия-Телеком, 2009. 360 с.

Книга четырех и более авторов

Описание начинается с основного заглавия. В сведениях об ответственности указываются либо все авторы, либо первый автор с добавлением в квадратных скобках сокращения [и др.]

1. Религии мира: пособие для преподавателей / Я. Н. Шапов [и др.]. Санкт-Петербург: Эксмо, 1996. 496 с.
2. История России в новейшее время: учебник / А. Б. Безбородов, Н. В. Елисеева, Т. Ю. Красовицкая, О. В. Павленко. Москва: Проспект, 2014. 440 с.

Книги, не имеющие индивидуальных авторов

1. Сборник задач по физике: учеб. пособие для вузов / под ред. С. М. Павлова. 2-е изд., доп. Москва: Высшая школа, 1995. 347 с.
2. Правильное питание: справочник. Москва: Эксмо, 2008. 704 с.
3. Кормопроизводство в России: всероссийский сб. науч. ст. Вып. 3. Казань; Санкт-Петербург, 2007. 268 с.

Отдельный том многотомного издания под общим заголовком

1. Пальцев М. А., Аничков М. Н. Патологическая анатомия: в 2 т. Москва: Медицина, 2001. Т. 2, ч. 1. 736 с.

Глава из книги (сборника)

1. Макушин В. Д., Волокитина Е. А. Причины неудач и осложнений при выполнении опорных остеотомий с применением аппарата Илизарова // Лечение врожденного вывиха бедра у взрослых / под ред. В. И. Шевцова, В. Д. Макушина. Курган, 2004. Гл. 8. С. 372–402.

2. Белоус Н. М. Храня теплую память о прошлом // Великая Отечественная война 1941–1945 гг. в истории моей семьи: сборник статей / под общей редакцией Р. В. Новожеева. Брянск: Изд-во БГАУ, 2015. С. 4–5.

Книги в интернете

Книги одного – трех авторов

1. Карпенков С. Х. Экология: учебник. Электрон. текстовые данные. Москва: Логос, 2014. 400 с. URL: <http://www.iprbookshop.ru/21892>. ЭБС "IPRbooks" (дата обращения: 15.12.2007).

Книги четырех и более авторов

1. Сборник задач по аналитической геометрии и линейной алгебре: учеб. пособие / Л. А. Беклемишева [и др.]; под ред. Д. В. Беклемишева. Электрон. текстовые данные. Изд. 3-е, испр. Санкт-Петербург: Лань, 2008. URL: <http://e.lanbook.com/view/book/76/> (дата обращения: 15.12.2007).

Статья в журнале

Статья одного – трех авторов

1. Толкачева О. В. Влияние барьерных факторов на стойкость пресервов // Рыбная промышленность. 2006. № 2. С. 14–16.

2. Байдалинова Л. С., Андропова С. В. Перспективы использования растительных антиокислителей для стабилизации гидролитических и окислительных процессов в препаратах полиненасыщенных жирных кислот // Известия Калининградского государственного технического университета. 2013. № 29. С. 74–80.

Статья четырех и более авторов

Описание начинается с основного заглавия. В сведениях об ответственности называются либо все авторы, либо первый автор с добавлением в квадратных скобках сокращения [и др.]

1. Сверхширокополосные сигналы для беспроводной связи / Ю. В. Андреев, А. С. Дмитриев, Л. В. Кузьмин, Т. И. Мохсени // Радиотехника. 2011. № 8. С. 83–90.

2. Клинико-физиологические составляющие врожденной косолапости / Ю. И. Клычкова [и др.] // Травматология и ортопедия России. 2008. № 3. С. 35–38.

Статья в электронном журнале

1. Белоус Н. А. Прагматическая реализация коммуникативных стратегий в конфликтном дискурсе // Мир лингвистики и коммуникации: электронный научный журнал. 2006. № 4. URL: http://www.tverlingua.by.ru/archive/005/5_3_1.htm (дата обращения: 15.12.2007).

Статья, опубликованная в сборниках научных трудов вузов, материалах конференций и семинаров

1. Авдеева Е. В., Евдокимова Е. Б., Заостровцева С. К. Биоразнообразие паразитов рыб и ее особенности в бассейне Вислинского залива (Балтийское море) // I Всерос. науч. интернет-конф. (12 февр. 2013): материалы. Казань, 2013. С. 52–56.

2. Александров Ю. П. Измерение динамической твердости титановых сплавов // Инновации в науке, образовании и бизнесе-2013: XI Междунар. научн. конф. (25–27 сент.): тр.: к 100-летию высш. рыбохоз. образования в России: в 2 ч. Федер. Агентство по рыболовству; ФГБОУ ВПО "КГТУ". Калининград: ФГБОУ ВПО "КГТУ", 2013. Ч. 2. С. 29–32.

Статья на английском или немецком языке

Для иностранных журналов том обозначается *V.* (англ.) или *Vd.* (нем.), страницы – *P.* или *S.*

1. Neurology control of locomotion in *C.Elegans* in modified by a dominant mutation in the GLR-1 ionotropic glutamate receptor / Yi Zheng et al. // *Neuron*. 1999. V. 24. N 2. P. 347–361.

2. Mank R., Kala H., Strube M. Dastellung und Testung von Polymerpharmaka // *Die Pharmazie*. Bd. 43. N 10. S. 692–693.

Диссертация или автореферат диссертации

1. Данилов Г. В. Как же быть?: дис. ... канд. экон. наук: 05.13.10: утв. 15.07.02. Москва, 1999. 138 с.

2. Назаров И. Г. Развитие коммуникативной компетентности социальных педагогов села в процессе дополнительного профессионального образования: автореф. дис. ... канд. пед. наук: 13.00.08 . Москва, 2002. 24 с.

Переводная книга

1. Себехей В. Теория орбит: ограниченная задача трех тел / пер. с англ. под ред. Г. Н. Дубошина. М.: Наука, 1982. 656 с. [Victor G. Szebehely. Theory of Orbits: the Restricted Problem of Three Bodies. New York: Academic Press, 1967].

2. Дейт К. Дж. Введение в системы баз данных / пер. с англ. М.: Вильямс, 2006. 1328 с. [Date C. J. An Introduction to Database Systems. 8th ed. Addison-Wesley, 2003. 1024 p.].

Электронный ресурс локального доступа

1. Смирнов А. И. Информационная глобализация и Россия [Электронный ресурс]: вызовы и возможности. Москва, 2005. 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

2. Техника спинальной анестезии [Электронный ресурс] / под ред. Е. М. Шифмана. Москва: ИнтелТек, 2005. 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

Патентные документы

1. Трехфазный асинхронный электрический двигатель: пат. 2128021 Рос. Федерация. № 2011138279/07 / Беляев Е. Ф., Ташкинов А. А., Цылев П. Н.; заявл. 16.09.11; опубл. 27.03.13. Бюл. № 9. 10 с.

Нормативные документы

1. ГОСТ 7.80-2000. Библиографическая запись. Заголовок. Общие требования и правила составления. Введ. 2001-07-01. Москва, 2000. 7 с.

2. Типовая инструкция по охране труда для пользователей персональными электронно-вычислительными машинами (ПЭВМ) в электроэнергетике: РД 153-34.0-03.298-2001. Введ. с 01.05.2001. Москва, 2002. 91 с.

Официальные документы

1. О лицензировании отдельных видов деятельности: Федер. закон [принят Гос. Думой 13. 07.2001] // Собрание законодательств РФ. 2001. № 33 (ч. 1). Ст. 3430. С. 127–143.

2. О программе государственных гарантий оказания гражданам Российской Федерации бесплатной медицинской помощи на 2009 год: постановление Правительства Рос. Федерации от 31.12.2008 № 10407-ТГ // Заместитель гл. врача. 2009. № 2. С. 98–105.

3. Инструкция о санитарно-противоэпидемическом режиме больниц: утв. Минздравом СССР от 23.03.76 № 288 // Справочник старшей (главной) медицинской сестры. Изд. 6-е, Ростов-на-Дону: Феникс, 2007. С. 378–387.

4. Вопросы системы и структуры федеральных органов исполнительной власти (извлечения): указ Президента РФ от 12.05.2008 № 724 // Здравоохранение. 2008. № 7. С. 135–137.

Образцы оформления References

Монография, книга

1. Shorygin A. A. *Pitanie i pishchevye vzaimootnosheniya ryb Kaspiyskogo morya* [Diet and food relations of fish in the Caspian Sea]. Moscow, Pishchepromizdat Publ., 1952, 268 p.

2. Latyshev V. N. *Tribologiya rezaniya. Kn. 1: Friksionnye protsessy pri rezanii metallov* [Tribology of Cutting, Vol. 1: Frictional Processes in Metal Cutting]. Ivanovo, Ivanovskiy Gos. Univ., 2009.

Статья в журнале

1. Zagurenko A. G., Korotovskikh V. A., Kolesnikov A. A., Timonov A. V., Kardymon D.V. *Tekhniko-ekonomicheskaya optimizatsiya dizayna gidrorazryva plasta* [Techno-economic optimization of the design of hydraulic fracturing]. *Neftyanoe khozyaystvo*, 2008, no. 11, pp. 54–57.

2. Sokolov L. I. Pitanie sibirskogo osetra *Acipenser baerii* Brandt r. Leny [Diet of the Siberian sturgeon of the river Lena]. *Voprosy ikhtiologii*, 1966, vol. 6, iss. 3 (40), pp. 550–560.

Статья в электронном журнале

1. Ivanova A. E. Problemy smertnosti v regionakh Tsentral'nogo federal'nogo okruga [Problems of mortality in regions of the Central Federal Okrug]. *Sotsial'nye aspekty zdorov'ya naseleniya*, 2008, no. 2, available at: <http://sotsial'nye.aspekty.ru/content/view/27/50/> (Accessed 19 September 2008).

2. Antipova L. V., Storublevtsev S. A., Getmanova A. A. Kollagensoderzhashchie napitki dlya funktsional'nogo pitaniya [Collagen drinks for functional nutrition]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologiy*, 2018, vol. 80, no. 3 (77), available at: <http://vestnik.voronezh.ru/content/view/54/30/> (Accessed 19 September 2008).

Статья, опубликованная в материалах конференций

1. Usmanov T. S., Gusmanov A. A., Mullagalin I. Z., Muhametshina R. Ju., Chervyakova A. N., Sveshnikov A. V. Osobennosti proektirovaniya razrabotki mestorozhdeniy s primeneniem gidrorazryva plasta [Features of the design of field development with the use of hydraulic fracturing]. *Trudy 6 Mezhdunarodnogo Simpoziuma "Novye resursos-beregayushchie tekhnologii nedropol'zovaniya i povysheniya neftegazootdachi"* [Proc. 6th Int. Technol. Symp. "New Energy Saving Subsoil Technologies and the Increasing of the Oil and Gas Impact"]. Moscow, 2007, pp. 267–272.

Диссертация и автореферат

1. Turkovskaia O. V. *Biologicheskie i tekhnologicheskie aspekty mikrobnoy ochistki stochnykh vod i prirodnykh ob"ektov ot poverkhnostno-aktivnykh veshchestv i nefteproduktov. Diss. dokt. biol. nauk* [Biological and technical aspects of microbial purification of sewage and nature objects from surface-active substances and oil products. Dis. dr. biol. sci.]. Saint-Petersburg, 2000, 360 p.

2. Dolganova N. V. *Razrabotka ekologicheskikh chistykh tekhnologiy belkovykh kormovykh produktov na osnove vtorichnykh resursov. Avtoreferat diss. dokt. tekhn. nauk* [Development of ecological pure technologies of protein feeding products on the basis of water resources. Abstract of dis. dr. sci.]. Saratov, 1997, 54 p.

Переводная книга

1. Timoshenko S. P., Yound D. H., Weaver W. Vibration problems in engineering. 4th ed. New York, Wiley, 1974. 521 p. (Russ. Ed.: Timoshenko S. P., Iang D. Kh., Uiver U. Kolebaniya v inzhernom dele. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1985, 472 p.).

Патентные документы

1. Belyaev E. F., Tashkinov A. A., Tsylev P. N. Trekhfaznyy asinkhronnyy elektricheskiy dvigatel' [Three-phase asynchronous electric motor]. Patent RF, no. 2011138279/07, 2013.

Нормативные документы

1. State Standard 8.586.5–2005. Method of measurement. Measurement of flow rate and volume of liquids and gases by means of orifice devices. Moscow, Standartinform Publ., 2007. 10 p. (In Russian).

ОФОРМЛЕНИЕ СТАТЬИ С ОДНИМ АВТОРОМ

Научная статья

УДК

DOI (далее вписывает редакция)

Экология и региональная политика энергосбережения

Сергей Юрьевич Глазьев

Аграрный научный центр "Донской", Ростовская область, Зерноград, Россия, sergl784@mail.ru, ORCID (при наличии)

В случае, когда автор работает (учится) в нескольких организациях (учреждениях), сведения о каждом месте работы (учебы) указывают после имени автора на разных строках и связывают с именем с помощью цифр:

Александр Васильевич Попов^{1,2}

¹Национальный исследовательский центр эпидемиологии и микробиологии имени почетного академика Н. Ф. Гамалеи, Москва, Россия, popov@yahoo.com, <https://orcid.org/0000-0003-1288-7561>

²Первый Московский государственный медицинский университет имени И. М. Сеченова, Москва, Россия

Аннотация. В статье представлена динамика урожайности зерна кукурузы в России и Ростовской области. Определено, что наибольшее количество гибридов кукурузы возделывалось...

Ключевые слова: кукуруза, урожайность, сортовая структура, сортосемена

Благодарности (если есть): автор выражает благодарность Алексею Вадимовичу Зимину за предоставление данных о донной топографии в Белом море (или: работа выполнена при поддержке Российского научного фонда в рамках проекта № 17-77-3019).

Финансирование (если есть):

Для цитирования: Глазьев С. Ю. Экология и региональная политика энергосбережения // Известия КГТУ (далее вписывает редакция)

Original article

Ecology and regional energy conservation policy

Sergey Yu. Glaz'ev (транслитерация, см. п. 18 выше)
Agricultural Research Center "Donskoy", Rostov region, Zernograd, Russia (на английском языке), serg1784@mail.ru, ORCID (при наличии)

Abstract.

Keywords:

Acknowledgments: the author is grateful to Aleksey V. Zimin for providing the bottom topography data of the White Sea (or: the work was carried out within the framework of project Nr 17-77-30019 supported by Russian Science Foundation).

Funding (если есть):

For citation: Glaz'ev S. Yu. Ecology and regional energy conservation policy. *Izvestiya KGTU = KSTU News* (далее вписывает редакция).

ТЕКСТ СТАТЬИ

Список источников

References

Информация об авторе

С. Ю. Глазьев – доктор экономических наук, профессор, академик Российской академии наук

Information about the author

S. Yu. Glaz'ev – Doctor of Science (Economy), Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences

Статья поступила в редакцию; одобрена после рецензирования; принята к публикации (дату вписывает редакция)

The article was submitted; approved after reviewing; accepted for publication

В конце указывают номер телефона автора, с которым можно снять вопросы по тексту. Телефон не будет опубликован.

ОФОРМЛЕНИЕ СТАТЬИ С НЕСКОЛЬКИМИ АВТОРАМИ

Научная статья

УДК

DOI (далее вписывает редакция)

Дистанционное высшее образование в условиях самоизоляции и проблема институциональных ловушек

Владимир Викторович Вольчик¹, Игорь Михайлович Ширяев²

^{1, 2}Южный Федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия

¹volchik@sfedu.ru, <http://orcid.org/0000-0002-0027-3442> (если есть)

²shiryaev@sfedu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1820-8710> (если есть)

Возможно приведение электронного адреса только одного автора, с которым планируется переписка. В этом случае электронные адреса других авторов приводятся в дополнительных сведениях об авторах в конце статьи.

Аннотация. В целях определения основных закономерностей возникновения и усиления институциональных ловушек, возникающих в условиях режима самоизоляции в системе высшего образования, авторами были проанализированы нарративы и глубинные интервью основных акторов. Дистанционное образование не является полноценной заменой образования в традиционной форме, затрудняет передачу неявного знания, контроль и обратную связь при обучении, неоднозначно влияет на издержки образовательной деятельности, не позволяет полагаться на надежность информационно-коммуникационных технологий...

Ключевые слова: экономика, управление народным хозяйством, институциональная экономика, дистанционное образование, цифровизация образования, высшее образование, самоизоляция, институциональные ловушки

Благодарности (если есть): авторы выражают благодарность Алексею Вадимовичу Зимину за предоставление данных о донной топографии в Белом море (или: работа выполнена при поддержке Российского научного фонда в рамках проекта № 17-77-3019).

Финансирование (если есть):

Для цитирования: Вольчик В. В., Ширяев И. М. Дистанционное высшее образование в условиях самоизоляции и проблема институциональных ловушек // Известия КГТУ (далее вписывает редакция)

Original article

Distant higher education under self-isolation and the problem of institutional traps

Vladimir V. Volchik¹, Igor' M. Shiryayev² (транслитерация, см. п. 18 выше)

^{1,2}Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia

¹volchik@sfedu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0027-3442> (если есть)

²shiryayev@sfedu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1820-8710> (если есть)

Abstract. To determine the main patterns of emergence and strengthening of institutional traps that arise under self-isolation in the higher education system, the authors analyzed the narratives and in-depth interviews of the main actors. Distance education is not a full-fledged substitute for the traditional education, as it impedes the transfer of implicit knowledge, control and feedback during training, ambiguously influences the costs of educational activities, and does not allow relying on the reliability of information and communication technologies. Transition to distant education can be interpreted as a new stage of evolution of the institutional trap of electronization and digitalization.

Keywords: economics, national economy management, institutional economics, distance education, digitalization of education, higher education, self-isolation, institutional traps For citation: Volchik V. V., Shiryayev I. M. Distant higher education under self-isolation and the problem of institutional traps. *Current Problems of Economics and Law*. 2020;14(2):236-248. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.21202/1993-047X.14.2020.2.235-248>.

Acknowledgments: the author is grateful to Aleksey V. Zimin for providing the bottom topography data of the White Sea (or: the work was carried out within the framework of project Nr 17-77-30019 supported by Russian Science Foundation).

Funding (если есть):

For citation: Volchik V. V., Shiryayev I. M. Distant higher education under self-isolation and the problem of institutional traps. *Izvestiya KGTU = KSTU News* (далее вписывает редакция).

ТЕКСТ СТАТЬИ

Список источников

References

Информация об авторах

В. В. Вольчик – доктор социологических наук, профессор, заведующий кафедрой "Политология"

И. М. Ширяев – доктор социологических наук, профессор

Information about the authors

V. V. Volchik – Doctor of Science (Sociology), Professor, Head of the Department of Politology

I. M. Shiryaev – Doctor of Science (Sociology), Professor

Статья поступила в редакцию; одобрена после рецензирования; принята к публикации (дату вписывает редакция)

The article was submitted; approved after reviewing; accepted for publication

В конце указывают номер телефона автора, с которым можно снять вопросы по тексту. Телефон не будет опубликован.

Адрес редакции:
236022, г. Калининград, Советский проспект, 1,
Калининградский государственный технический университет
Тел. (4012) 99-59-74
E-mail: svetlana.suprunova@klgtu.ru
<http://klgtu.ru/science/magazine/index.ph>

Издание зарегистрировано в Федеральной службе по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор),
Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС77-47915
от 22.12.2011 г.

Подписной индекс 83871 в Объединенном каталоге "Пресса России",
цена свободная

Редакторы: Г. А. Смирнова, С. В. Супрунова

Издательство ФГБОУ ВО "КГТУ"
236022, г. Калининград, Советский проспект, 1
Лицензия № 05609 от 14.08.2001
Отпечатано в типографии ФГБОУ ВО "КГТУ"
236022, г. Калининград, Советский проспект, 1
Подписано в печать 31.10.2022. Выход в свет 01.11.2022. Формат 60 x 88 (1/8)
Печ. л. 21. Уч.-изд. л. 13,4. Тираж 1000 экз. Заказ № 69 .