

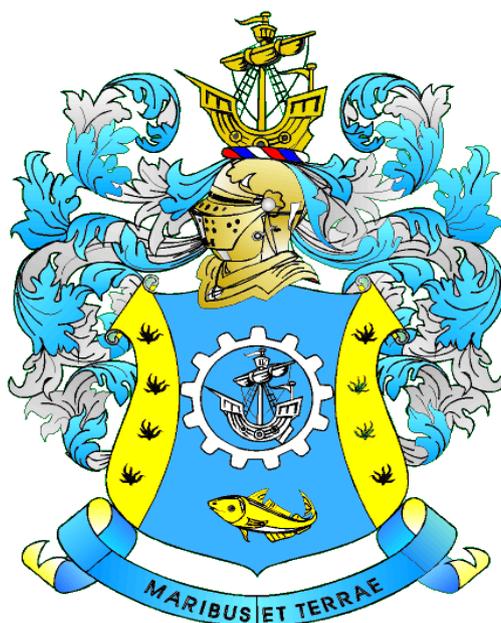
# ИЗВЕСТИЯ

## КГТУ 2016

### № 43

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕ-  
ЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Научный журнал



Калининград

«Известия КГТУ»  
Учредитель: ФГБОУ ВПО  
«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, доцент  
*Зам. главного редактора:* Н. А. Кострикова, канд. физ.-мат. наук, доцент

*С. Т. Антипов*, д-р техн. наук, проф., проректор по НИР ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», заслуж. изобретатель РФ;

*А. В. Бараненко*, д-р техн. наук, проф., ректор Института холода и биотехнологий ФГБОУ ВПО «С.-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики», Заслуж. деятель науки РФ;

*Г. Н. Белоглазова*, д-р экон. наук, проф., зав. кафедрой банковского дела ФГБОУ ВПО «С.-Петербургский государственный экономический университет»;

*А. М. Газалиев*, д-р хим. наук, проф., ректор Карагандинского государственного технического университета, акад. НАН РК;

*А. М. Ершов*, д-р техн. наук, проф., ФГБОУ ВПО «Мурманский государственный технический университет», заслуж. работник рыбн. хоз-ва РФ;

*В. В. Козловский*, д-р экон. наук, проф. кафедры экономики и предпринимательства Белорусского государственного экономического университета;

*Е. А. Криксунов*, д-р биол. наук, проф., зав. лабораторией онтогенеза кафедры ихтиологии МГУ им. М. В. Ломоносова, чл.-корр. РАН;

*С. Е. Кузнецов*, д-р техн. наук, проф., нач. кафедры САЭЭС Государственного университета морского и речного флота им. адм. С. О. Макарова, Заслуж. деятель науки РФ, акад. РАТ;

*О. М. Лашин*, д-р техн. наук, директор ФГУП «Камчатский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии» (КамчатНИРО);

*Ю. И. Нечаев*, д-р техн. наук, проф. кафедры вычислительной техники и информационных технологий С.-Петербургского государственного морского технического университета;

*В. А. Панфилов*, д-р техн. наук, ФГБОУ ВПО «Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия им. К. А. Тимирязева», акад. РАН;

*Тадеуш Пецух*, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой техники водной очистки и утилизации отходов Кошалинского политехнического университета (Польша);

*А. М. Салецкий*, д-р физ.-мат. наук, проф., зав. кафедры общей физики МГУ им. М. В. Ломоносова;

*Ю. Т. Сечин*, д-р биол. наук, проф. кафедры «Биоэкология и ихтиология» Московского государственного университета технологий и управления, заслуж. деятель науки РФ, Почетный работник рыбн. хоз-ва РФ;

*А. С. Холодов*, д-р физ.-мат. наук, проф., зам. директора ФГБУН «Институт автоматизации проектирования РАН», зав. кафедрой маг. моделирования ФГАОУ ВПО «Московский физико-технический институт», акад. РАН;

*Хугес-Халлетт Эндрю Джонатан*, д-р экон. наук, проф. Университета им. Джорджа Масона (штат Вирджиния, США)

*Выпускающий редактор* С. В. Супрунова

*Редакционная коллегия:*

*Б.А. Альтигуль*, д.т.н., проф.; *Ю.Н. Антипов*, д. физ.-мат. н., проф.; *О.М. Бедарева*, д.б.н., проф.;  
*В.Ф. Белей*, д.т.н., проф.; *Н.Д. Бобарыкин*, д.т.н., проф.; *В.В. Брюханов*, д. физ.-мат.н., проф.;  
*Р.Н. Буруковский*, д.б.н., проф.; *Н.Л. Великанов*, д.т.н., проф.; *А.А. Герасимов*, д.т.н., проф.;  
*Л.Т. Главинская*, д.экон.н., проф.; *С.В. Дятченко*, д.т.н., проф.; *А.В. Иванов*, д.экон.н., проф.;  
*Л.М. Лукьянова*, д.т.н., проф.; *О.Я. Мезенова*, д.т.н., проф.; *А.Г. Мнацаканян*, д.экон.н., проф.;  
*А.Б. Муромцев*, д.вет.н., проф.; *В.А. Наумов*, д.т.н., проф.; *В.И. Панасин*, д. с.-хоз. н., проф.;  
*М.М. Розенштейн*, д.т.н., проф.; *Е.С. Роньжина*, д.б.н., проф.; *В. И. Саускан*, д.б.н., проф.;  
*Н.А. Сберегаев*, канд.экон.н., проф.; *С.П. Сердобинцев*, д.т.н., проф.; *Г.Г. Серпунин*, д.б.н., проф.;  
*О.С. Сухарев*, д.экон.н., проф.; *Ю.А. Фатыхов*, д.т.н., проф.; *С.В. Фёдоров*, д.т.н., проф.;  
*В.А. Фунтиков*, д.хим.н., проф.; *Р.Ш. Хаджаев*, д.экон.н., проф.; *В.И. Шендерюк*, д.т.н., проф.;  
*С.В. Шибаев*, д.б.н., проф.; *В.Н. Эрлихман*, д.т.н., проф.; *А.В. Юров*, д.физ.-мат.н., проф.

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](http://www.klgtu.ru); E-mail: [svetlana.suprunova@klgtu.ru](mailto:svetlana.suprunova@klgtu.ru)

© ФГБОУ ВПО «Калининградский государственный технический университет», 2016

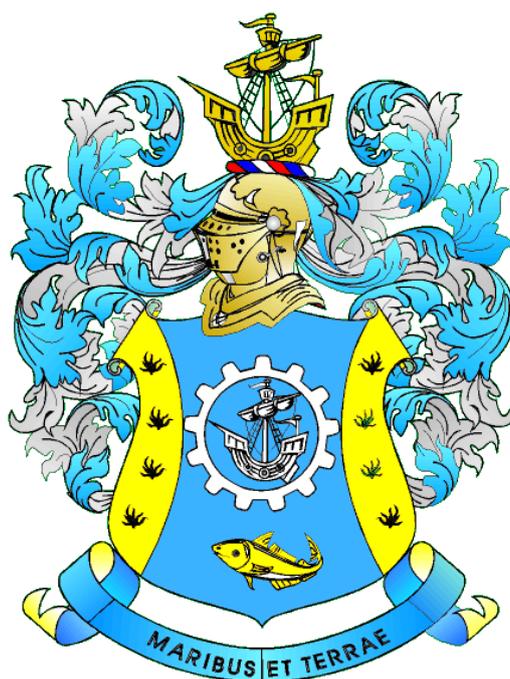
# KSTU NEWS

2016

№ 41

FEDERAL STATE BUDGETARY EDUCATIONAL  
INSTITUTION OF HIGHER EDUCATION  
«KALININGRAD STATE TECHNICAL UNIVERSITY»

## SCIENTIFIC JOURNAL



Kaliningrad



СОДЕРЖАНИЕ

**Биология, экология и рыбное хозяйство**

<i>Бугранова О. С., Цупикова Н. А.</i> Динамика сезонного развития фитопланктона пруда Нижнего (г. Калининград) в 2015 году и факторы, ее определяющие.....	11
<i>Бурбах А. С., Шибяев С. В., Соколов А. В.</i> Воспроизводительная способность корюшки ( <i>Osmerus eperlanus eperlanus L.</i> ) в реке Неман Куршского залива.....	22
<i>Заре П., Шибяев С. В., Касаткина С. М., Фазли Х.</i> К совершенствованию методики оценки биомассы каспийской кильки по данным акустических съемок в Каспийском море.....	34
<i>Науменко Е. Н., Судник С. А.</i> Видовое разнообразие веслоногих ракообразных (CRUSTACEA: MAXILLOPODA: COPEPODA Milne-Edwards, 1840) эстуариев Калининградской области (обзор).....	45
<i>Пьянов Д. С., Молчанова К. А., Дельмухаметов А. Б., Хрусталева Е. И.</i> Особенности доместикации судака ( <i>Sander lucioperca</i> ) и радужной форели ( <i>Oncorhynchus mykiss</i> ) на этапах роста и созревания в условиях установок замкнутого водообеспечения.....	55
<i>Соколов А. Н., Чубаренко Б. В., Карманов К. В.</i> Гидродинамические условия в береговой зоне Балтийской / Вислинской косы и Самбийского полуострова: шторм января 2012 года.....	67
<i>Цыбалёва Г. А., Кузьмин С. Ю.</i> Трофические характеристики озера Изумрудного (национальный парк «Куршская коса»).....	78

**Техника и технология пищевых производств**

<i>Алексеев Г. В., Верболоз Е. И., Леу А. Г.</i> Изучение влияния характера перемещения тары на стерилизацию рыбных консервов.....	89
<i>Анохина О. Н.</i> Установление срока годности рыбного кулинарного изделия.....	100
<i>Воробьев В. И., Казимирченко О. В.</i> Химическая и микробиологическая оценка коллагенсодержащего сырья (рыбной чешуи), подвергнутого предварительной обработке.....	109
<i>Долгий Н. А., Чаплыгин Д. В.</i> Применение методов машинного обучения к анализу изображений дефектов консервных банок с целью контроля их герметичности.....	121
<i>Наумов В. А., Суслов А. Э., Фатыхов Ю. А.</i> О выборе целевой функции при оптимизации параметров процесса сушки рыбы.....	132

**Сельское хозяйство и природопользование**

<i>Андрійчук А. В., Ткаченко Г. М., Ткачова И. В.</i> Гематологические и биохимические изменения в крови выездковых лошадей под влиянием физических нагрузок.....	145
<i>Анциферова О. А.</i> Причины различий гидрологического режима буроземов на автономных позициях рельефа в условиях Самбийской равнины.....	154

<i>Анциферова О. А., Харитонова Е. Н.</i> Влияние почвенно-агрохимических факторов на продуктивность люпина ( <i>Lupinus angustifolius</i> ) в опытных посевах.....	167
<i>Баринов В. В., Осипов Е. В., Лисиенко С. В.</i> Совершенствование технологии промысла тихоокеанского кальмара.....	178
<i>Бедарева О. М., Мурачёва Л. С., Троян Т. Н.</i> Инвентаризация и оценка урожайности кормовых угодий северо-восточной части Гурьевского района Калининградской области.....	186
<i>Калинина Е. А., Бедарева О. М.</i> Дендрофлора пойм малых рек и перспективы их использования для оптимизации городской среды.....	196

### ***Судостроение, машиностроение и энергетика***

<i>Бондарев В. А., Нечаев Ю. И.</i> Центр оперативного контроля морских катастроф судов промыслового флота.....	207
<i>Бондарев В. А., Бондарева О. М., Рагулина И. Р.</i> Основы построения адаптивной системы управления безопасностью плавания рыбопромысловых судов.....	221
<i>Демешко Г. Ф., Власьев М. В.</i> Определение размерений и характеристик CNG-судов с вертикальным расположением грузовых кассет.....	229
<i>Минько В. М., Евдокимова Н. А.</i> О существующих и новых подходах к количественной оценке условий труда в машиностроении.....	239
<i>Притыкин А. И., Мисник А. В., Лаврова А. С.</i> Особенности расчета перфорированных балок МКЭ.....	249

CONTENT

***Biology, Ecology and Fishing Industry***

<i>Bugranova O. S., Tsoupikova N. A.</i> Seasonal dynamics of phytoplankton in the Nizhny pond (Kaliningrad) in 2015 and its determining conditions.....	11
<i>Burbakh A. S., Shibaev S. V., Sokolov A. V.</i> Reproduction ability of European smelt ( <i>Osmerus eperlanus eperlanus L.</i> ) in the Neman river of the Curonian lagoon .....	22
<i>Zare P., Shibaev S. V., Kasatkina S. M., Fazli H.</i> An improved approach for assessing of kilka biomass by acoustic surveys in the Caspian sea.....	34
<i>Naumenko E. N., Sudnik S. A.</i> Species composition of COPEPODA (CRUSTACEA: MAXILLOPODA: COPEPODA Milne-Edwards, 1840) of the Kaliningrad region estuaries (review).....	45
<i>Pyanov D. S., Molchanova K. A., Delmukhametov A. B., E. I. Khrustalyov E. I.</i> Domestication of pikeperch ( <i>Sander lucioperca</i> ) and rainbow trout ( <i>Oncorhynchus mykiss</i> ) at the growth and maturation stages under ras conditions.....	55
<i>Sokolov A. N., Chubarenko B. V., Karmanov K. V.</i> Hydrodynamic conditions in the coastal zone of the Vistula spit and the Sambian peninsula: the case of the storm in january 2012.....	67
<i>Tsibaliyova G. A., Kuzmin S. Ju.</i> Trophic characteristics of lake Izumrudnoe (the national park «Curonian spit»).....	78

***Food Production Techniques and Technology***

<i>Alekseev G. V., Verboloz E. I., Leu A. G.</i> Study of the influence of movement of cans on canned fish sterilization.....	89
<i>Anokhina O. N.</i> Establishing shelf life of fish culinary product .....	100
<i>Vorobjov V. I., Kazimirchenko O. V.</i> Chemical and microbiological characteristics of pretreated collagen-containing raw material (fish scale).....	109
<i>Dolgy N. A., Chaplygin D. V.</i> Application of machine learning to the analysis of images of can defects for the purpose of leakage monitoring.....	121
<i>Naumov V. A., Suslov A. E., Fatykhov Yu. A.</i> The choice of the objective function when optimizing parameters of fish drying .....	132

***Agriculture and Nature Management***

<i>Andriichuk A. V., Tkachenko H. M., Tkachova I. V.</i> Hematological and biochemical changes in the blood of dressage horses during exercise.....	145
<i>Antsiferova O. A.</i> Reasons for differences of hydrological regime of brown soils on autonomous relief positions in Sambiyskaya plain.....	154
<i>Antsiferova O. A., Charitonova E. N.</i> Influence of soil-agrochemical factors on productivity of lupine ( <i>Lupinus angustifolius</i> ) in experimental crops.....	167
<i>Barinov V. V., Osipov E. V., Lisienco S. V.</i> Technological improvement of japanese flying squid fishery.....	178
<i>Bedareva O. M., Muracheva L. S., Troyan T. N.</i> Inventory and assessment of productivity of grasslands in the Nort-Eastern part of the Guryevsk district of the Kaliningrad region.....	186

*Kalinina E. A., Bedareva O. M.* Dendroflora of the flood lands of small rivers and the use for optimization of urban environment..... 196

***Ship Building, Machinery and Power-Engineering***

*Bondarev V. A., Nechaev Yu. I.* Center of operational monitoring of marine accidents on board fishery vessels..... 207

*Bondarev V. A., Bondareva O. M., I. R. Ragulina I. R.* Fundamentals of developing adaptive system for navigation safety management of fishing vessels 221

*Demeshko G. F., Vlasiev M. V.* Determination of dimensions and performance of CNG-vessels with vertically mounted cargo cassettes..... 229

*Minko V. M., Evdokimova N. A.* On existing and new approaches to quantitative assessment of labour conditions in mechanical engineering..... 239

*Pritykin A. I., Misnik A. V., Lavrova A. S.* Peculiarities of castellated I-beams calculation by FEM..... 249

# **БИОЛОГИЯ, ЭКОЛОГИЯ И РЫБНОЕ ХОЗЯЙСТВО**



УДК 574.5

ДИНАМИКА СЕЗОННОГО РАЗВИТИЯ ФИТОПЛАНКТОНА  
ПРУДА НИЖНЕГО (Г. КАЛИНИНГРАД) В 2015 ГОДУ И ФАКТОРЫ,  
ЕЕ ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ

О. С. Бугранова, Н. А. Цупикова

SEASONAL DYNAMICS OF PHYTOPLANKTON IN THE NIZHNY POND  
(KALININGRAD) IN 2015 AND ITS DETERMINING CONDITIONS

O. S. Bugranova, N. A. Tsoupikova

Рассматриваются структура и сезонная динамика фитопланктона пруда Нижнего по результатам проведенного комплексного мониторинга по гидрохимическим и гидробиологическим показателям (фитопланктон) в 2015 г. Основной целью статьи является изучение сезонной динамики развития фитопланктона в водоеме. Одной из основных задач исследования была попытка выявить факторы окружающей среды, определяющие динамику сезонного его развития. В статье приведены данные таксономического состава альгофлоры по основным ее отделам и данные анализа видового богатства.

Установлено в видовом составе фитопланктона 240 таксономических единиц, входящих в состав следующих семи отделов водорослей: *Chlorophyta*, *Bacillariophyta*, *Cyanophyta*, *Euglenophyta*, *Dinophyta*, *Cryptophyta* и *Chrysophyta*. По количеству видов преобладали водоросли отдела *Chlorophyta* (зеленые водоросли), составляющие более 50 % от общего видового богатства. Зафиксировано максимальное количество видов (113 видов) в сентябре во время пика численности зеленых водорослей, которые максимально представлены во все сезоны наблюдаемого периода. По результатам проведенного анализа отмечены весенне-летняя и летне-осенняя вспышки численности и биомассы растительного планктона. Эти вспышки характеризуются массовым развитием синезеленых водорослей и вегетацией крупноклеточных динофитовых водорослей.

Согласно значению средневегетационной биомассы по соответствующей классификации пруд Нижний был отнесен к гипертрофным водоемам. Статистический анализ показал положительные связи таких факторов, как температура воды, концентрация железа и фосфатов с биомассой фитопланктона, а также отрицательную связь между аммонийным азотом и биомассой фитопланктона в пруду. Описываются четыре этапа сезонной динамики развития фитопланктона в 2015 г. на основе изменений гидрологических, гидрохимических и гидробиологических показателей и доминирования определенных видов.

*фитопланктон, численность, биомасса, температура, биогены, пруд Нижний, гипертрофный водоем, корреляционные связи*

This article first describes the structure and seasonal dynamics of phytoplankton in the Nizhny Pond upon the results of comprehensive monitoring in 2015 which in-

cluded hydrochemical and hydrobiological (phytoplankton) indicators. The main purpose of the article is to analyze the seasonal dynamics of phytoplankton in the pond. An attempt to identify the environmental factors determining the dynamics of phytoplankton seasonal development served as one of the main research tasks. The article presents data on the taxonomic composition of the algal flora divided into its main phyla and data analysis of abundance of species.

The analysis allowed finding out 240 taxonomic units in the species composition of phytoplankton which belong to the following seven phyla of algae: *Chlorophyta*, *Bacillariophyta*, *Cyanophyta*, *Euglenophyta*, *Dinophyta*, *Cryptophyta* u *Chrysophyta*. Green algae dominated by the number of species amounting to more than 50 % of the total species wealth. The maximum number of species (113 species) was observed in September during the population peak of green algae which are represented at most within all seasons of the monitoring period. The research established the spring-summer and summer-autumn outbreaks in abundance and biomass of phytoplankton. Nuisance of blue-green algae and growth of macrocellular dinoflagellates are typical for these out-breaks.

According to the average value of phytoplankton biomass during a vegetation period the Nizhny Pond should be classified as a hypertrophic water body. Statistical analysis demonstrated a positive relationship between phytoplankton biomass and such factors as water temperature, concentration of iron and phosphate, but a negative relationship between the ammonium nitrogen and biomass of phytoplankton in the pond. The paper contains description of four stages of the seasonal dynamics of phytoplankton development defined in 2015 in compliance with changes in hydrological, hydrochemical and hydrobiological characteristics as well as in dominance of certain species.

*phytoplankton, abundance, biomass, temperature, nutrients, the Nizhny Pond, hypertrophic water body, correlation relationship.*

## ВВЕДЕНИЕ

Водоемы г. Калининграда являются важными эстетическими и функциональными элементами городской среды, а также имеют санитарно-гигиеническое значение, улучшают микроклиматические условия береговой полосы. Экосистемы таких водоемов испытывают серьезную антропогенную нагрузку, которая часто приводит к развитию эвтрофикации, токсификации, заилению и аккумуляции загрязняющих веществ.

Изучение динамики развития фитопланктона как первого и важного компонента любой экосистемы водоема позволяет определить уровень трофности водного объекта и функционирование его экосистемы в целом [1].

Пруд Нижний, расположенный в центре г. Калининграда, имеет сильно вытянутую продолговатую форму, приблизительно повторяющую линию ручья (Лебебах, позднее — Катцбах), на котором он был создан. Длина пруда составляет 1200, ширина — 55-90 м, площадь около 9 га [2, 3]. Берега водоема являются неотъемлемой частью внутригородских рекреационных пространств, поэтому экологическое состояние пруда требует постоянного и комплексного наблюдения за его экосистемой.

Цель данной статьи состоит в изучении внутригодовой динамики численности и биомассы фитопланктона пруда в 2015 г. Исследования включали изуче-

ние таксономического состава проб фитопланктона; анализ динамики его видового богатства; анализ сезонной динамики численности и биомассы; выявление корреляционных связей биомассы фитопланктона с некоторыми гидрохимическими показателями экосистемы водоема.

#### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА

Материал был собран с марта по декабрь 2015 г. на трех стандартных станциях с целью экологического мониторинга пруда Нижнего [2, 3]. Отбор и концентрирование проб, определение видового состава, а также подсчет численности и биомассы альгофлоры пруда осуществляли по рекомендуемым гидробиологическим методикам [4, 5]. Пробы фитопланктона объемом 0,5 л отбирали из поверхностного горизонта воды и консервировали раствором Люголя с добавлением ледяной уксусной кислоты и формалина [4]. Концентрирование проб осуществляли методом мембранной фильтрации. Количественная обработка проб фитопланктона проходила в камере типа «Учинская – 2» объемом 0,1 мл в световом микроскопе «Motic BA 310». Биомассу водорослей определяли методом «истинного объема» [6]. Качественную обработку проводили по определителям, указанным в [2]. Параллельно на тех же станциях проводился комплекс гидрологических и гидрохимических наблюдений. Анализ концентрации биогенных веществ осуществляли колориметрическим методом [7].

#### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

За рассматриваемый период исследования пруда Нижнего было выявлено 240 таксонов водорослей рангом до рода и из них 178 – рангом ниже рода. Основу видового богатства (138 видов) составлял отдел зеленых водорослей (58 % от общего видового разнообразия). Отдел диатомовых насчитывал 29 видов (12 %), синезеленых – 22 (9 %), эвгленовых – 21 (9 %), динофитовых – 16 (7 %), криптофитовых – 8 (более 3 %) и золотистых – 6 видов (менее 3 % от общего видового богатства фитопланктона).

Анализ динамики видового богатства альгофлоры пруда показал, что минимальное количество видов наблюдалось в марте и равнялось 56, а максимальное (113) в сентябре (рис. 1). Во все сезоны года максимально по количеству видов были представлены зеленые водоросли и составляли в среднем 50 видов. Золотистые водоросли, напротив, развиты слабо и представлены в среднем тремя видами. Максимальное число видов диатомовых водорослей наблюдается весной (20 видов) и минимальное летом (восемь видов); синезеленые по количеству видов преобладали летом и осенью (12 видов), а зимой – всего семь. Летом видовой состав криптофитовых был наиболее беден, а динофитовые и эвгленовые достигали своего видового богатства (в среднем пять и 13 видов соответственно).

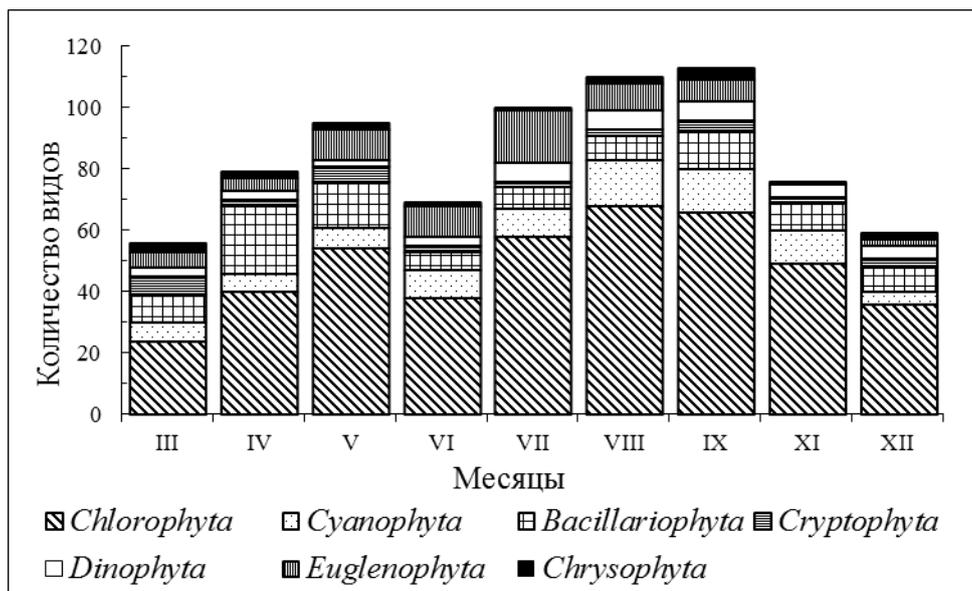


Рис. 1. Сезонная динамика видового богатства различных отделов водорослей в планктоне пруда Нижнего (2015 г.)

Fig. 1. Species diversity dynamics of phytoplankton in the Nizhny Pond (2015)

Анализ сезонной динамики численности и биомассы фитопланктона пруда (рис. 2, 3) показал два пика численности и биомассы: весенне-летний и летне-осенний.

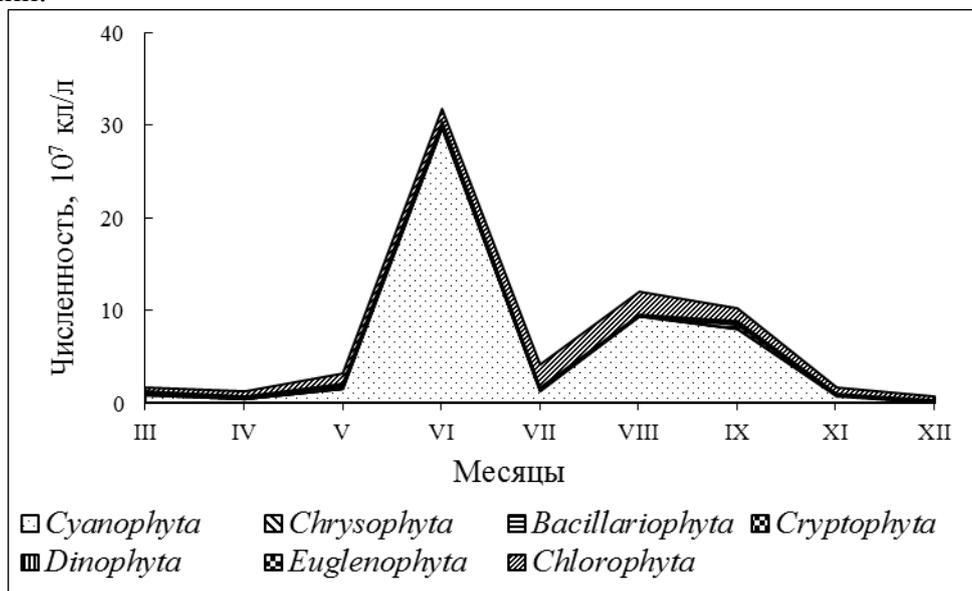


Рис. 2. Динамика общей численности основных групп фитопланктона (2015 г.)

Fig. 2. The total number dynamics of phytoplankton major groups (2015)

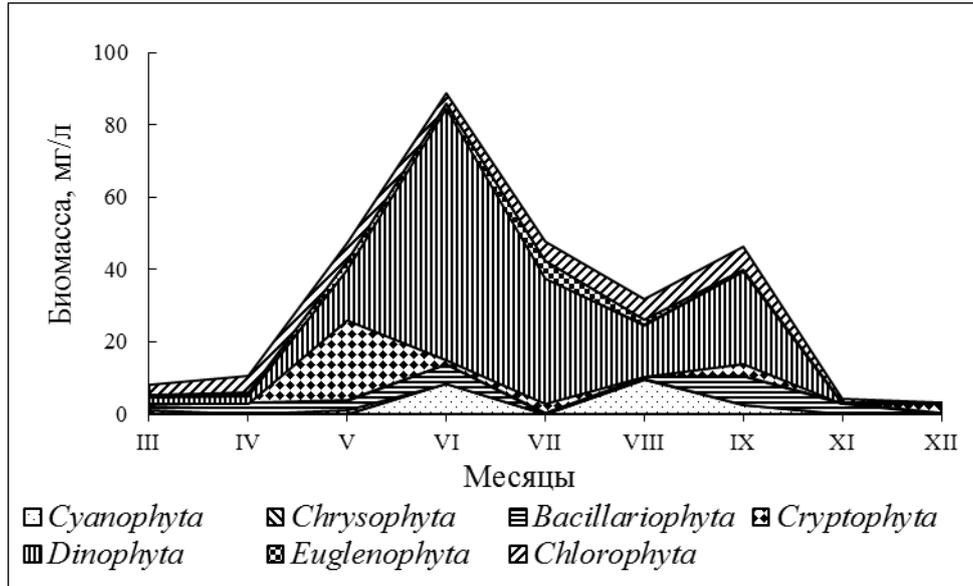


Рис. 3. Динамика общей биомассы основных групп фитопланктона (2015 г.)  
 Fig. 3. The total biomass dynamics of phytoplankton major groups (2015)

Численность фитопланктона в течение года росла от 12 млн. кл/л (абсолютный минимум) весной до 317 млн. кл/л в июне (абсолютный максимум), затем наблюдалось резкое снижение до 42 млн. кл/л в июле, что, вероятно, объясняется, по аналогии с другими водоемами, выеданием зоопланктоном в результате его массового развития в этот период [8]. К августу опять зафиксирован рост численности до 120 и далее постепенный спад до 7 млн. кл/л в декабре. По численности в течение всего года преобладали водоросли отдела синезеленых, составляющие от 29 % в марте до 94 % в июне от общей численности, за исключением проб декабря (менее 7 %). В формировании численности также заметную роль играют диатомовые (до 25 % в апреле) и зеленые (более 50 % в декабре) водоросли. Средняя численность за период исследования составила 74 млн. кл/л.

Биомасса фитопланктона, начиная с марта, постепенно возрастала от 8 до 88 мг/л (абсолютный максимум) в июне, затем постепенно снижалась до 32 мг/л в августе. К сентябрю биомасса резко возросла до 46 мг/л, и далее происходило постепенное ее снижение до 3 мг/л в декабре (абсолютный минимум). Основная доля в формировании биомассы принадлежит крупноклеточным представителям динофитовых водорослей – до 78 % от общей биомассы в июне. Также большой вклад вносили представители зеленых водорослей (до 43 % в апреле). Следует отметить водоросли отдела криптофитовых, которые, несмотря на свою небольшую биомассу в течение года, составляют 47 % в мае и 72 % в декабре от общей биомассы в эти месяцы. Средняя биомасса за период исследования была 32 мг/л.

Сезонная динамика фитопланктона в любом водоеме определяется целым комплексом взаимосвязанных факторов (температура, световые условия и содержание биогенных элементов) [9].

В 2015 г. конец весны и первая половина лета были прохладными (среднемесячные температуры воздуха с мая по июль оказались ниже климатической нормы на 0,4-0,9 °С), в то время как остальная часть года, и особенно ноябрь-

декабрь – очень теплыми (среднемесячная температура воздуха превысила средне многолетние значения на 2,8 и 4,8 °С соответственно) [10] (рис. 4).

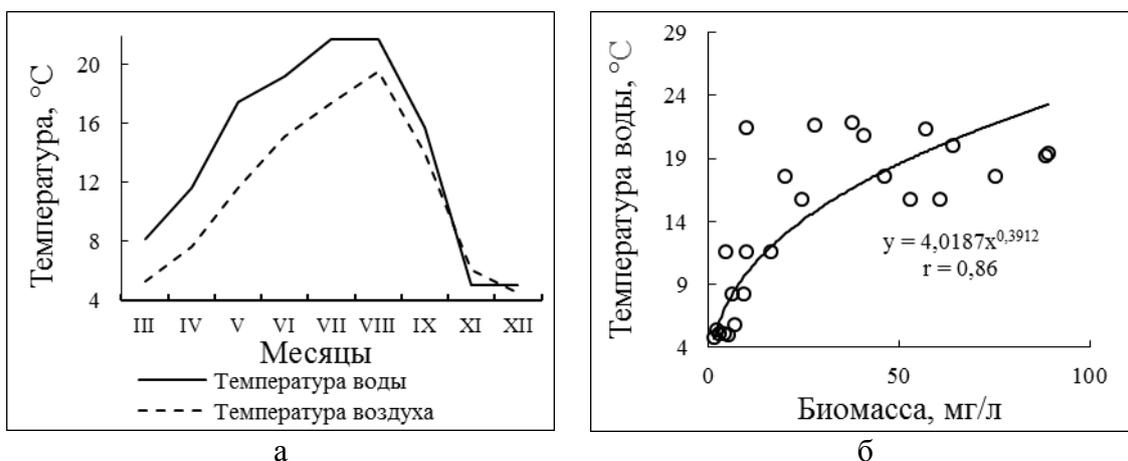


Рис. 4. Температура воды пруда (поверхностный горизонт) и воздуха (среднемесячная) (а) и корреляционная связь между температурой воды и биомассой фитопланктона (б) (2015 г.)

Fig. 4. Water (surface horizon) and air temperature, °С (а); phytoplankton total biomass / water temperature dependence (b) (2015)

Температура воды в пруду в период исследований в основном была выше температуры воздуха и максимальных значений (около 22 °С на поверхности) достигла к середине лета. Ледовый покров начал формироваться лишь в самом конце декабря. Проведенный статистический анализ (рис. 4) показал положительную тесную связь между температурой воды пруда и общей биомассой по станциям, которая описывается степенным уравнением с коэффициентом корреляции 0,86 .

Было также установлено, что большие концентрации некоторых биогенов в вегетационный период развития фитопланктона определяют продолжительность его вегетации и уровень численности популяций, а их дефицит способствует его снижению.

Биогенных веществ в воде пруда, в целом, довольно много для поверхностных водоемов (рис. 5, а), особенно азота аммонийного, содержание которого не опускалось ниже 0,4, а в декабре даже превысило 2,1 мг/л, что характерно для загрязненных и грязных вод. Статистический анализ показал обратную корреляционную связь азота аммонийного и биомассы фитопланктона в пруду (рис. 5, б). Максимальные значения азота аммонийного в декабре, возможно, связаны с деструкцией биомассы фитопланктона, накопленной при весеннем и летнем «цветении», и выделением органического азота зоопланктоном [11].

Концентрация фосфора фосфатов имеет четко выраженный сезонный ход с максимумом летом и в начале осени (до 0,5 мг/л в августе) и минимумом зимой (0,14 мг/л в декабре). Содержание общего фосфора в воде пруда и общая биомасса фитопланктона положительно коррелируют между собой с коэффициентом корреляции 0,53, и связь описывается логарифмической функцией (рис. 5, в).

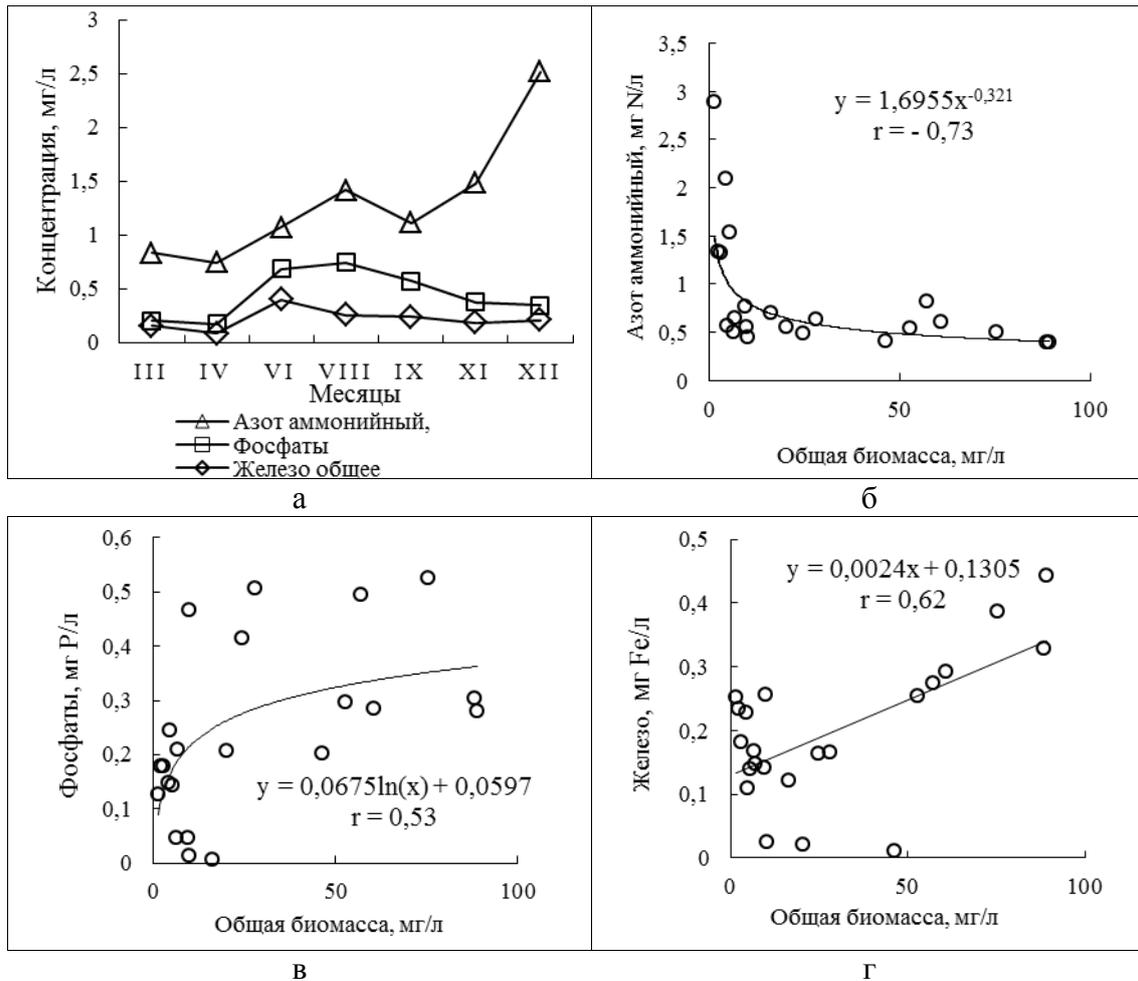


Рис. 5. Содержание биогенных элементов среднее по станциям (а), и корреляционные связи между содержанием азота аммонийного (б), фосфатов (в), общего железа (г) и биомассой фитопланктона  
 Fig. 5. Nutrients concentration, average at the stations (a); and nutrients concentration: total iron (б), phosphates (в), ammonia nitrogen (г) / phytoplankton total biomass dependence

Содержание растворенного железа также было подвержено заметным сезонным колебаниям. Летом наблюдалось выраженное увеличение концентрации общего железа (до 0,4 мг/л в июне), а в осенний и особенно весенний периоды – снижение (до 0,04 мг/л). Являясь биологически активным элементом, железо в определенной степени влияет на интенсивность развития фитопланктона в водоеме. Корреляционные связи между железом и общей биомассой фитопланктона положительные ( $r = 0,62$ ). Они описываются линейной функцией (рис. 5, г).

Особенности гидрохимических условий и связанная с ними сукцессия альгофлоры пруда Нижнего позволили выделить следующие этапы сезонной динамики фитопланктона:

Весенний период (март-начало июня), связанный с началом прогресса воды. Наблюдается весенний пик за счет быстрорастущих видов в условиях большого

содержания биогенов. В этот период доминировали *Cyclotella radiosa* ((Grunow) Lemmermann, 1900), *Stephanodiscus hantzschii* (Cleve & Grunow, 1880).

Летний период (конец июня-август), в начале которого отмечается резкое снижение биомассы фитопланктона (возможно, связанное с массовым развитием зоопланктона) и минерализация биогенных элементов. Восстановление концентрации биогенов способствует развитию летней альгофлоры. Доминировали виды: *Anabaena circinalis* (Bornet & Flahault, 1886), *Oscillatoria planctonica* (Woloszynska, 1912), *Merismopedia tenuissima* (Lemmermann, 1898), *Pandorina morum* ((O.F. Müll.) Bory, 1824).

Осенний период (конец августа-сентябрь), в котором наблюдается повышение биомассы теплолюбивого фитопланктона и появление холодолюбивых видов. В водорослевом комплексе пруда доминировали *Anabaena circinalis* (Bornet & Flahault 1886), *Oscillatoria planctonica* (Woloszynska 1912), *Merismopedia tenuissima* (Lemmermann, 1898), *Ankistrodesmus bernardii* (Komárek, 1983).

Зимний период (ноябрь-декабрь), характеризующийся слабым развитием фитопланктона и его деструкцией. Доминирующими видами являются *Cyclotella radiosa* ((Grunow) Lemmermann 1900), *Stephanodiscus hantzschii* (Cleve & Grunow 1880), *Cryptomonas ovata* (Ehrenberg, 1831).

## ВЫВОДЫ

1. За период исследования в пруду Нижнем было выявлено 240 таксономических единиц фитопланктона, из которых более 50 % составляют зеленые водоросли, что характерно для прудов городских территорий.

2. В сезонной динамике фитопланктона пруда Нижнего наблюдаются два пика численности и биомассы: весенне-летний и летне-осенний. Пики численности связаны с массовым развитием синезеленых водорослей, а пики биомассы – с вегетацией крупноклеточных динофитовых водорослей. За период наблюдения средняя численность фитопланктона составила 74 млн.кл/л, биомасса – 32 мг/л. Согласно классификации Трифионовой [1], пруд Нижний по значению средневегетационной биомассы можно отнести к гипертрофному водоему.

3. Максимальное видовое богатство альгофлоры пруда достигается в период пика численности фитопланктона – с мая по сентябрь, что определяется рядом факторов, таких как температура и содержание биогенов.

4. Температура и большие концентрации общего железа и фосфатов, как основные факторы развития фитопланктона, определяют продолжительность его вегетации. Статистические связи между этими параметрами были тесными положительными с коэффициентами корреляции 0,53-0,86. Однако корреляционный анализ показал и обратную тесноту связи ( $r = -0,73$ ) между аммонийным азотом и биомассой фитопланктона в пруду, возможно, связанную с высокими (выше оптимума) концентрациями аммония.

5. Сформированы этапы сезонной динамики фитопланктона пруда Нижнего, основанные на данных гидрохимических показателей и сукцессии альгофлоры пруда.

6. В сезонной динамике фитопланктона пруда Нижнего были выделены четыре основных периода, обусловленных изменениями взаимосвязанных гидрологических, гидрохимических и гидробиологических показателей и характеризующихся доминированием определенных видов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Трифонова, И. С. Экология и сукцессия озерного фитопланктона / И. С. Трифонова. – Ленинград: Наука, 1990. – 183 с.
2. Бугранова, О. С. Весенний фитопланктон пруда Нижнего (г. Калининград) в 2015 году / О. С. Бугранова // Эколого-географическая и этнокультурная комфортность родного края: молодежная научная конференция: материалы. – Калачаевск: КЧГУ, 2015. – С. 33-38.
3. Цупикова, Н.А. Гидрохимические условия развития весенне-летнего фитопланктона в пруду Нижнем (г. Калининград) в 2015 году / Н. А. Цупикова, О. С. Бугранова // Ключевые проблемы безопасности развития природно-промышленных систем: 1-я Междунар. техн. конф.: материалы – Орел: ПГУ, 2015. - С. 140-150.
4. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений / под ред. В. А. Абакумова. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1983. – 318 с.
5. Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. – Москва: Наука, 1975. – 240 с.
6. Брянцева, Ю. В. Расчет объемов и площадей поверхности одноклеточных водорослей Черного моря / Ю. В. Брянцева, А. М. Лях, А. В. Сергеева. – Севастополь, 2005. – 25 с.
7. Семенов, А. Д. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши / А. Д. Семенов. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1977. – 541 с.
8. Деревенская, О. Ю. Трофические взаимоотношения фито- и зоопланктона в карстовых озерах / О. Ю. Деревенская, О. В. Палагушкина, Н. М. Мингазова // Теоретическая и прикладная экология. - 2012. - № 3. - С. 84-88.
9. Кривина, Е. С. Фитопланктон урбанизированного водоема (на примере оз. Восьмерка, г. Тольятти, Самарская область). Количественное развитие, доминирующие виды и оценка качества воды / Е. С. Кривина, Н. Г. Тарасова // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2015. – Т. 17, № 4. – С. 203-209.
10. Климат Калининграда // Погода и климат. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/climate/26702.htm> (дата обращения: 25.12.2015).
11. Белевич, Т. А. Продукционные характеристики фитопланктона Белого моря в зависимости от источника азота / Т. А. Белевич // Биологические ресурсы Белого моря и внутренних водоемов Европейского Севера: XXVIII Междунар. конф.: материалы. – Петрозаводск, 2009. – С. 75–80.

REFERENCES

1. Trifonova I. S. *Jekologija i sukcesija ozernogo fitoplanktona* [Ecology and succession of lake phytoplankton]. Leningrad, Nauka, 1990, 183 p.
2. Bugranova O. S. *Vesennij fitoplankton pruda Nizhnego (g. Kaliningrad) v 2015 godu* [Spring phytoplankton of the Nyzhny pond (Kaliningrad) in 2015]. *Materialy molodezhnoj nauchnoj konferencii "Jekologo-geograficheskaja i jetnokul'turnaja komfortnost' rodnogo kraja"* [Proceedings of the youth scientific conference "Ecological and ethnocultural comfort of the native land"].

cal and geographical and ethnocultural comfort of native land”]. Karachaevsk, KChGU, 2015, pp. 33-38.

3. Cupikova N. A., Bugranova O. S. *Gidrohimiicheskie uslovija razvitiya vesenne-letnego fitoplanktona v prudu Nizhnem (g. Kaliningrad) v 2015 godu* [Hydrochemical conditions of development of spring and summer phytoplankton in the Nizhny pond (Kaliningrad)]. *Materialy 1-oj mezhdunarodnoj tehnichejskoj konferencii “Ključevye problemy bezopasnosti razvitiya prirodno-promyšlennyh sistem”* [Proceedings of the 1st international technical conference “Critical issues of developmental safety of natural-industrial systems”]. Orel, PGU, 2015, pp. 140-150.

4. *Rukovodstvo po metodam gidrobiologičeskogo analiza poverhnostnyh vod i donnyh otloženij* [Guideline for hydrobiological analysis of surface water and bottom deposits]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1983, 318 p.

5. *Metodika izučeniya biogeocenzov vnutrennih vodoemov* [Methodology for the study of biogeocenoses of inland water bodies]. Moscow, Nauka, 1975, 240 p.

6. Brjanceva Ju. V., Ljah A. M., Sergeeva A. V. *Rasčet ob’emov i ploščadej poverhnosti odnokletočnyh vodoroslej Černogo morja* [Calculation of volumes and surface area of unicellular algae in the Black sea]. Sevastopol', 2005, 25 p.

7. Semenov A. D. *Rukovodstvo po himičeskomu analizu poverhnostnyh vod sushi* [Guidelines for chemical analysis of surface inland water]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1977, 541 p.

8. Derevenskaja O. Ju., Palagushkina O. V., Mingazova N. M. Troficheskie vzaimootnošenija fito - i zooplanktona v karstovyh ozerah [Trophic interrelation of phyto- and zooplankton in karst lakes]. *Teoretičeskaja i prikladnaja jekologija*, 2012, no. 3, pp. 84-88.

9. Krivina E. S., Tarasova N. G. Fitoplankton urbanizirovannogo vodoema (na primere oz. Vos'merka, g. Tol'jatti, Samarskaja oblast'). Kolichestvennoe razvitie, dominirujuščie vidy i ocenka kachestva vody [Phytoplankton of an urbanized water body (the case of Vosmyerka lake, Tolyati, the Samara region). Quantitative development, dominant species and water quality assessment]. *Izvestija Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk*, 2015, vol. 17, no. 4, pp. 203-209.

10. *Klimat Kaliningrada* [Kaliningrad climate]. *Pogoda i klimat* [Weather and climate], available at: <http://www.pogodaiklimat.ru/climate/26702.htm> (accessed 25 December 2015).

11. Belevich T. A. Produkcionnye harakteristiki fitoplanktona Belogo morja v zavisimosti ot istočnika azota [Production characteristics of phytoplankton in the White sea depending on a nitrogen source]. *Materialy 28-j mezhdunarodnoj konferencii “Biologičeskie resursy Belogo morja i vnutrennih vodoemov Evro-pejskogo Severa”*. [Proceedings of the 28th international conference “Biological re-sources of the White sea and inland waters of European north”]. Petrozavodsk, 2009, pp. 75-80.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Бугранова Олеся Сергеевна – Калининградский государственный технический университет; ведущий инженер кафедры ихтиологии и экологии;  
E-mail: olesya.bugranova@klgtu.ru

*Bugranova Olesya Sergeyevna* – Kaliningrad State Technical University;  
engineer of the Department «Ichthyology and Ecology»;  
E-mail: olesya.bugranova@klgtu.ru

*Цупикова Надежда Александровна* – Калининградский государственный  
технический университет; кандидат геолого-минералогических наук; доцент  
кафедры ихтиологии и экологии; E-mail: tsoupikova@klgtu.ru

*Tsoupikova Nadezda Aleksandrovna* – Kaliningrad State Technical University;  
Candidate of Geological and Mineralogical Sciences; Associate Professor  
of the Department «Ichthyology and Ecology»;  
E-mail: tsoupikova@klgtu.ru

УДК 639.2/.3

ВОСПРОИЗВОДИТЕЛЬНАЯ СПОСОБНОСТЬ КОРЮШКИ  
(*Osmerus eperlanus eperlanus* L.) В РЕКЕ НЕМАН КУРШСКОГО ЗАЛИВА

А. С. Бурбах, С. В. Шибаетов, А. В. Соколов

REPRODUCTION ABILITY OF EUROPEAN SMELT (*Osmerus eperlanus eperlanus* L.) IN THE NEMAN RIVER OF THE CURONIAN LAGOON

A. S. Burbakh, S. V. Shibaev, A. V. Sokolov

Изучена воспроизводительная способность популяции европейской корюшки Куршского залива Балтийского моря. Мониторинг нерестового хода в 2014-2016 гг. осуществлялся в р. Скирвит, Неман и Матросовке. Исследовались промысловые уловы речных безмотенных неводов длиной 36 и 90 м с шагом ячеи 11 и 12 мм, а также контрольные уловы закидным неводом длиной 12 м с шагом ячеи 4 мм. Нерестовый ход происходит при температуре 2,5-5,6 °С в период март-апрель в течение двух недель в зависимости от погодных условий. Размерная структура уловов характеризуется следующими параметрами: длина особей – 9-22 см (средняя длина изменялась в пределах от 12,2 до 13,3 см), масса 4-117 г (средняя 17,5-19,7 г). Максимальные размеры особи 21,3 см, масса – 117 г, возраст – пять лет. Соотношение самок и самцов составляет 1:1, межгодовые колебания незначительны. Относительная индивидуальная плодовитость (ОИП) слабо зависит от массы самки ( $R=0,29$ ) и в среднем составляет  $E_w=511\pm 88$  шт./г. Абсолютная индивидуальная плодовитость (АИП) изменяется в пределах от 2,1 до 46,0 тыс. шт. и находится в линейной зависимости от массы самки:  $y = 607,74x - 1718,8$  ( $R=0,90$ ). Масса гонад в среднем составляет 15% от общей массы тела самки. Популяционная плодовитость по модифицированной формуле

В. С. Ивлева  $E_p = \sum_{l_{min}}^{l_{max}} pN_L \cdot Ea_L \cdot SF_L$  колеблется по годам в пределах от 13029 до

15934 икринок. Наибольший вклад в общий фонд популяционной плодовитости вносят особи в возрасте 3-4 года длиной 11-14 см и средней массой 17,5-19,7 г. Результаты проведенных исследований могут быть использованы для составления промысловых моделей, позволяющих определить оптимальные параметры эксплуатации популяции.

*Куршский залив, река Неман, европейская корюшка, размерная структура, относительная индивидуальная плодовитость, абсолютная индивидуальная плодовитость, популяционная плодовитость*

The article is concerned with the study of reproduction ability of European smelt in the Curonian lagoon of the Baltic Sea. Spawning migration in 2014-2016 was monitored in Skirvit River, the Neman River and Matrosovka River. We investigated commercial catches of seines with length 36 and 90 meters with size mesh 11 and

12 mm, also we investigated scientific catches of 12 meters length seine with mesh size 4 mm. Spawning migration is for two weeks in March and April with temperature 2,5-5,6 °C and it depends on weather conditions. The size structure is characterized with the following parameters: length- 9-22 cm, average length- 12,2-13,3 cm, weight- 4-117 g, average weight- 17,5-19,7 g. Maximum size of European smelt in catches is 21,3 cm, weight is 117 g, age is 5 years. Ratio of female and male in population is 1:1, annual fluctuations are insignificant. Relative individual fecundity slightly depends on female weight ( $R=0,29$ ) and it equals  $E_w=511\pm 88$  eggs/g. Absolute individual fecundity varies between 2,1 to 46,0 thousand eggs, it has linear correlation with female weight, such as  $y = 607,74x - 1718,8$  ( $R=0,90$ ). Weight of gonad is nearby 15% of female weight. Population fecundity was calculated with modified formula of V.S. Ivlev

$$E_p = \sum_{l_{min}}^{l_{max}} pN_L \cdot E_{aL} \cdot SF_L, \text{ and varies from 13029 to 15934 eggs. Fish with length}$$

11-14 cm, weight 17,5-19,7g, 3-4 years old give the biggest investment to population fecundity stock. The results of our investigations can be used for fishery models which allow calculation of optimal parameters for exploitation of European smelt stock.

*the Curonian lagoon, the Neman river, European smelt, size structure, relative individual fecundity, absolute individual fecundity, population fecundity*

## ВВЕДЕНИЕ

Европейская корюшка обитает в Балтийском море, нерестится в реках бассейна Куршского залива (р. Неман — Скирвит, Атмата, Русне и Матросовка), где, наряду с собственно заливом, ведется ее промышленный лов. Корюшка – важный объект промысла, величина улова российскими и литовскими рыбаками в среднем за период 2014-2016 гг. составила 486 т. Максимальные за историю промысла уловы достигали 8833 т в 1936 г.

Мониторинг состояния популяции корюшки с целью оценки общего допустимого улова (ОДУ), а с 2011 г. возможного вылова, ведется в заливе на протяжении длительного времени [1-6]. Однако ряд биологических параметров, к которым относятся плодовитость и воспроизводительная способность популяции, до настоящего момента изучены недостаточно. Имеются лишь некоторые данные по состоянию нерестилищ и плодовитости в работах 60-70-х гг. прошлого столетия [3, 7, 8].

Помимо собственно оценки воспроизводительной способности, плодовитость может быть индикатором условий обитания корюшки. Это особенно важно, учитывая строительство Балтийской атомной электростанции, которая может оказать воздействие как на условия воспроизводства, расположение нерестилищ, так и на биологические параметры популяции корюшки [1, 2, 9].

Целью настоящей работы является изучение воспроизводительной способности корюшки в р. Неман в современных условиях.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Сбор материала проводили в период нерестового хода корюшки в реки Скирвит и Матросовку в 2014-2016 гг. Оценку размерно-возрастной структуры

нерестового стада осуществляли на основе массовых промеров промысловых уловов речными безмотенными неводами длиной 36 и 90 м с шагом ячеи 11 и 12 мм, а также контрольных уловов закидным неводом длиной 12 м с шагом ячеи 4 мм. Мониторинг размерной структуры вели в течение всего нерестового хода, который обычно составлял около двух недель. Массовые промеры выполняли с учетом признака пола особи.

Биологический анализ со взятием проб для определения плодовитости проводили по стандартной методике (Правдин, 1966) [10], возраст устанавливали по отолитам (по методике Н. И. Чугуновой [11]). В измерениях использовали промысловую длину – от конца рыла до конца чешуйного покрова.

Общий объем собранного материала для определения плодовитости за три года составил 259 шт.; массовым промерам подвергнуты 20651, биологическому анализу – 2869 экз.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Нерестовый ход корюшки обычно происходит при температуре 2,5-5,6 °С и длится с первой половины марта до первой-второй декады апреля. Первые партии корюшки имеют непрозрачные икринки, трудно отделяющиеся друг от друга. Левая гонада в два раза превышает по размеру правую. Масса гонад в среднем составляет 15% от общей массы тела самки. К началу интенсивного хода корюшки, который имеет место при температуре воды 2,5-3,0 °С, икра становится прозрачной, у большинства самок икринки уже легко отделяются друг от друга. Через 2-3 дня появляются текущие самцы со стадией зрелости V и уже у всех самок икринки легко отделимы. Первые самки со стадией зрелости V обнаруживаются к концу периода, который наступает при температуре 3,0-4,5 °С. При температуре выше 7 °С нерестовый ход прекращается. Каких-либо явных отличий между плодовитостью самок корюшки в начале нерестового хода и в период интенсивного хода не выявлено. Заметим, что в промысловых и контрольных обловах представлены только половозрелые особи, составляющие нерестовый запас популяции, неполовозрелые особи в Куршский залив и реки не заходят.

Популяционными параметрами, определяющими характер воспроизводства корюшки, являются размерно-возрастная структура нерестового запаса, половая структура, темп полового созревания, относительная и абсолютная плодовитость, а также показатели популяционной плодовитости. Эти параметры связаны с размерными характеристиками особей и возрастом. Популяционная плодовитость подвержена определенным межгодовым колебаниям в связи с динамикой урожайности отдельных поколений [12, 13].

Проблема изучения структуры нерестового стада заключается в том, что нерестовый ход корюшки происходит в течение одной-двух недель и особи разной длины и возраста приходят не одновременно. Как правило, первыми идут старшие возрастные группы, а к концу нерестового периода подходят младшие. В этой связи встает вопрос достоверной оценки истинной размерно-возрастной структуры нерестового стада. Получение данной характеристики возможно только при непрерывном мониторинге двух параметров: размерной структуры уловов и ежесуточного объема вылова. Данный подход и был применен нами для корюшки Куршского залива.

Установлено, что в реках бассейна Куршского залива размерный состав нерестового стада корюшки представлен особями длиной от 9 до 22 см (рис. 1). В зависимости от урожайности отдельных поколений длина особей модальной группы в уловах варьировала от 11-13 см в 2015 до 14-16 см в 2016 г. (рис. 1).

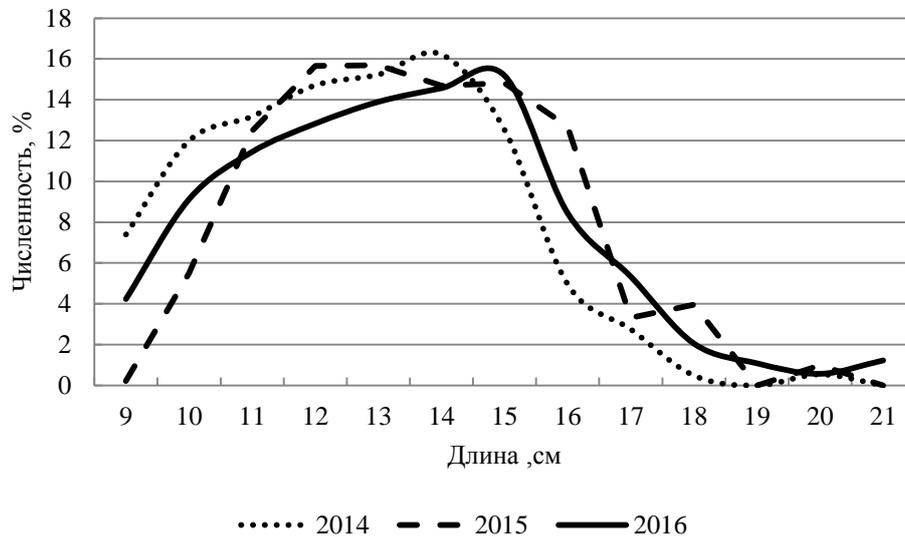


Рис. 1. Размерная структура уловов корюшки в период 2014-2016 гг.  
Fig. 1. Size structure of smelt capture in the Neman River in 2014-2016

Половая структура нерестового стада корюшки характеризуется в целом соотношением самок и самцов 1:1 (рис. 2а). В период нерестовой миграции не отмечены заметные изменения в соотношении полов (рис. 2б). Иногда в начале нерестового хода самки доминируют над самцами, поэтому средняя навеска особей в улове бывает выше.

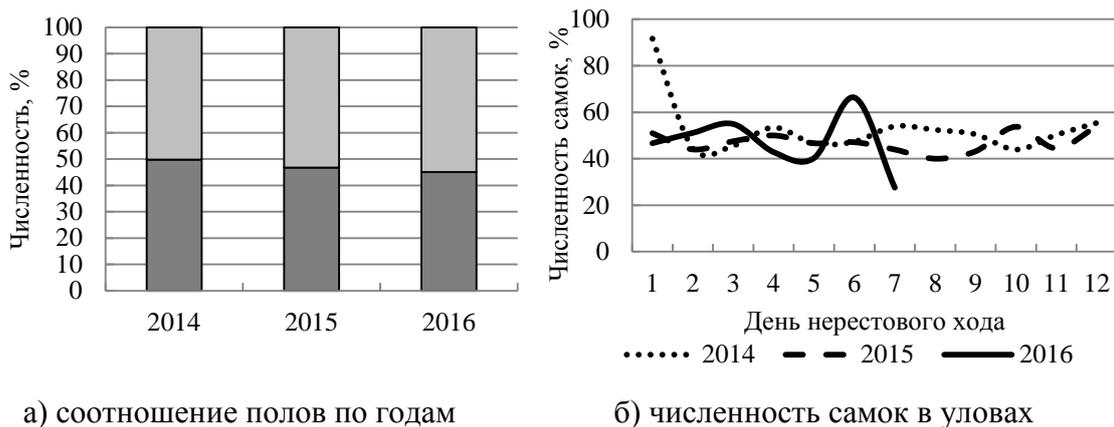


Рис. 2. Половая структура нерестового стада корюшки в р. Неман в период нерестовой миграции 2014-2016 гг.

Fig. 2. Sex structure of smelt during their spawning migration in the Neman River in 2014-2016

Плодовитость корюшки в различных водоемах колеблется в достаточно широких пределах. Так, Манюкас для корюшки Куршского залива в прошлом веке выявил колебания плодовитости от 16,8 до 34,1 тыс. шт.; для Ладожского озера они составили от 1,3 до 51,5 тыс. шт.; по Шестакову, корюшка Пярнуского залива имеет плодовитость в диапазоне 19,7-44,9 тыс. шт. (табл. 1).

Таблица 1. Плодовитость европейской корюшки различных водоемов

Table 1. Fecundity of European smelt of different water bodies

Водоем	Значение АИП (тыс. шт.)
Куршский залив (Манюкас, 1959 г.) [1]	16,8-34,1
Река Нева (Берг, 1948 г.) [14]	9-40
Пярнуский залив (Шестаков, 1967 г.) [15]	19,7-44,9
Выгозерское водохранилище [16]	5,3-72,7
Ладожское озеро [16]	1,3-51,5
Река Неман (2014-2016 г.) (собственные данные) [17]	2,1-46,0

Очевидно, что полученные данные малопригодны для анализа воспроизводительной способности стада, так как их колебания связаны с размерами рыб, которые подвергались анализу. Учитывая это, нами была применена следующая схема исследований [18]: изучалась зависимость относительной индивидуальной плодовитости ( $E_w$ ) от массы самки, затем, исходя из формы полученной зависимости, подбиралось оптимальное уравнение связи абсолютной индивидуальной плодовитости ( $E_a$ ) и массы, после чего рассчитывалась популяционная плодовитость ( $E_p$ ) с учетом размерной структуры нерестового запаса.

Установлено, что относительная индивидуальная плодовитость очень слабо зависит от массы самки, так как коэффициент корреляции оказывается очень маленьким ( $R=0,29$ ) (рис. 3а). Следовательно, можно принять, что она может характеризоваться некоторой средней величиной  $E_w=511\pm 88$  шт./г.

В связи с тем, что относительная индивидуальная плодовитость не зависит от массы самки, то согласно методике С. В. Шибаева [18] абсолютная индивидуальная плодовитость должна находиться в линейной зависимости от этого параметра (1):

$$E_a = e_0 + e_1 \cdot W, \quad (1)$$

где  $E_a$  - абсолютная индивидуальная плодовитость, шт.;  $e_0, e_1$  - коэффициенты;  $W$  - масса самки, г

Данная зависимость действительно хорошо описывается линейной функцией с коэффициентом корреляции  $R=0,90$  (рис. 3б). При этом величина индивидуальной абсолютной плодовитости в соответствии с размером самки изменяется в пределах от 2,1 до 46,0 тыс. шт. Получены следующие значения коэффициентов:  $e_0=607,71$ ,  $e_1=1718,8$ . Максимальная плодовитость 46,0 тыс. шт. отмечена для самки длиной 21,3 см в возрасте пяти лет весом 103 г.

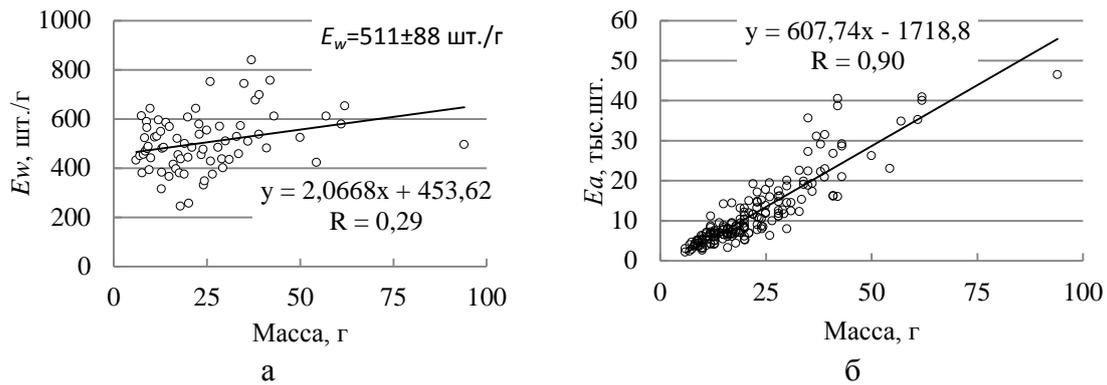


Рис. 3. Зависимость относительной индивидуальной плодовитости (а) и абсолютной индивидуальной плодовитости (б) от массы самки европейской корюшки  
 Fig. 3. Correlation of relative individual fecundity (a) and absolute individual fecundity (б) from the weight of European smelt female

С целью расчета популяционной плодовитости ( $E_p$ ) нами была использована модифицированная формула В. С. Ивлева [19], характеризующая количество икры, которое может отложить популяция при имеющейся возрастной, половой и репродуктивной структуре (2).

$$E_p = \sum_{l_{min}}^{l_{max}} pN_L \cdot Ea_L \cdot SF_L, \quad (2)$$

где  $l_{min}, l_{max}$  - минимальная, максимальная длина особи в нерестовом стаде, см;  $pN_L$  - доля размерной группы в нерестовом стаде;  $SF_L$  - относительная численность самок в размерной группе;  $Ea_L$  - абсолютная индивидуальная плодовитость размерной группы.

Используя связь длина-масса, установленную для корюшки Куршского залива,  $W = aL^b$  (рис. 4), зависимость индивидуальная абсолютная плодовитость – масса особи  $Ea = e_0 + e_1 \cdot W$  приведена к виду  $Ea = e_0 + e_1 \cdot a \cdot L^b$  и позволяет вычислить популяционную плодовитость как функцию размерной структуры нерестовой популяции в каждом конкретном году (3):

$$Ea = 607,71 + 10,14L^{3,136}. \quad (3)$$

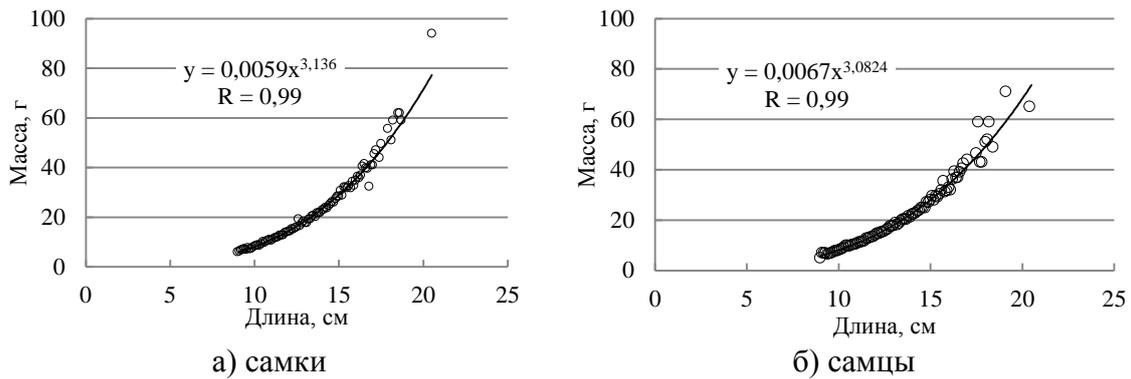


Рис. 4. Зависимость длина-масса для самок (а) и самцов (б) корюшки Куршского залива

Fig. 4. W-L dependence for European smelt females (a) and males (б) in the Curonian lagoon

Расчет популяционной плодовитости корюшки показал, что данный параметр изменяется с длиной рыбы. Минимальное значение  $E_p$  принадлежит наименьшим и наибольшим по размеру особям, максимальное значение приходится на среднеразмерные группы, что закономерно объясняется их большим количеством в нерестовом стаде (рис. 5). Таким образом, наибольший вклад в воспроизводство популяции корюшки вносят размерные группы 11-14 см в возрасте 3-4 года.

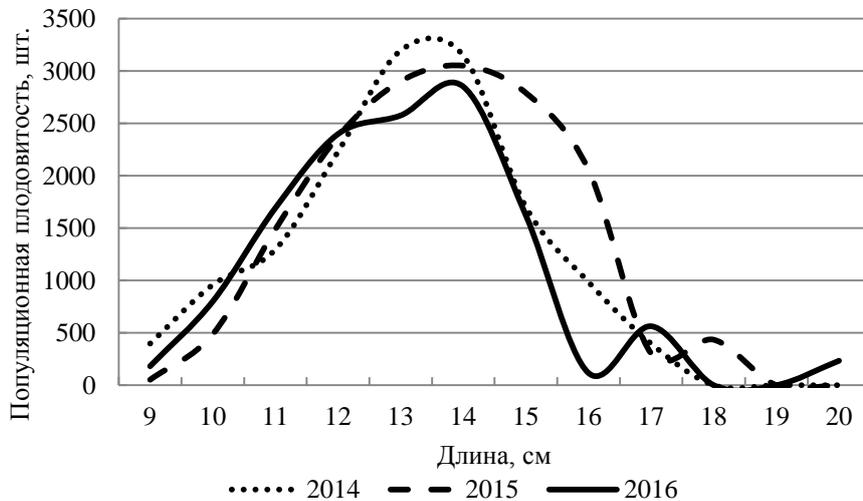


Рис. 5. Популяционная плодовитость корюшки Куршского залива  
Fig. 5. Population fecundity of European smelt in the Curonian lagoon

#### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Полученные количественные зависимости позволяют дать характеристику нерестового стада корюшки, формирующего промысловые уловы, и оценить воспроизводительную способность популяции.

В период 2014-2016 гг. уловы корюшки российской и литовской сторонами в среднем достигали 486 т. Максимальный вылов был зафиксирован в 2015 г. и

составил 700,0 т. Согласно данным анализа размерного состава промысловых уловов длина особей колеблется в пределах от 9 до 22 см, наибольшее среднее значение (13,3 см) приходится на 2015 г. Значение средней массы особей корюшки в уловах варьировало от 17,5 до 19,7 г, максимально отмеченная масса корюшки достигла 117 г (2015 г.). В целом соотношение самок и самцов в нерестовой части популяции корюшки составило 1:1, расчетное значение популяционной плодовитости – от 13029 до 15934 шт. (табл. 2).

Таблица 2. Параметры нерестового стада корюшки Куршского залива  
Table 2. Parameters of spawning stock of European smelt in the Curonian lagoon

Параметры		2014	2015	2016
Вылов, т		180,0	700,0	580,0
Длина, см	минимальная	9,0	9,2	9,0
	максимальная	20,0	20,0	22,0
	средняя	12,2	13,3	12,9
Масса, г	минимальная	4,0	6,0	6,0
	максимальная	65,0	117,0	94,0
	средняя	17,5	19,7	17,6
Соотношение полов (самки:самцы)		1:1,02	1:0,83	1:1
Популяционная плодовитость, шт.		14306	15934	13029

Различие в значениях популяционной плодовитости напрямую зависит от размерной структуры нерестового стада. Так, в 2014 и 2016 гг. средние размеры особей были меньше, чем в 2015 г., это отразилось на значении популяционной плодовитости, которая оказалась выше в 2015 г., чем в 2014 и 2016 гг. Таким образом, максимальная популяционная плодовитость наблюдалась в 2015 г., тогда же были отмечены максимальные значения средних длины и массы.

Полученные данные могут быть положены в основу расчета промысловой модели корюшки с целью оценки оптимальных параметров ее эксплуатации.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Манюкас, И. Ихтиофауна, состояние запасов и промысел рыб в заливе Куршюмарес / И. Манюкас // Куршюмарес. Итоги комплексных исследований. Вильнюс, 1959. – 403 с.
2. Гайгалас, К. С. Основные черты экологии и динамика промысловых уловов проходной формы европейской корюшки *Osmerus eperlanus* (L.) в заливе Куршю Марес и низовье р. Нямунас / К. С. Гайгалас, В. Т. Миштаутайте // Вопросы ихтиологии. – 1980. – Т. 20. – Вып. 4. – С. 625 – 634.
3. Носкова, Е. Д. Биология снетка *Osmerus eperlanus eperlanus m. spirinchus* (Pallas) и колебания его численности в Куршском заливе Балтийского моря: дис. ... канд. биол. наук / Носкова Елена Дмитриевна; Калининград, 1968. – 238 с.
4. Svagždys, A. Impact of environmental conditions on smelt catch fluctuations in the Nemunas River and the Curonian Lagoon // *Ekologija*. 2009. vol. 55. No. 3–4. P. 204–214.

5. Нерестовой ход корюшки (*Osmerus eperlanus eperlanus* L.) в реках бассейна Куршского залива / С.В. Шибаев [и др.] // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта, 2012. – Вып. 7. – С. 91 – 96.
6. Биологические показатели корюшки (*Osmerus eperlanus eperlanus* L.) реки Неман в период нерестовой миграции / С.В. Шибаев [и др.] // Известия КГТУ, 2014. – Вып. 32. – С. 99 – 106.
7. Гайгалас, К. С. Естественные нерестилища, миграционные пути промысловых рыб в дельте р. Нямунас и их современное состояние / К. С. Гайгалас // Гидробиологические и ихтиологические, исследования внутренних водоемов Прибалтики. – Вильнюс: Минтис, 1968. – С. 124 – 127.
8. Миштаутайте, В. Т. Морфологическая изменчивость корюшки водоемов Литвы (4. Плодовитость и определяющие ее факторы) / В. Т. Миштаутайте // Труды АН Лит. ССР, серия В, 4(76), 1976. – С.85–94.
9. Шибаев, С. В. Проблемы организации мониторинга водных биоресурсов в зоне возможного воздействия Балтийской АЭС / С. В. Шибаев, Е. В. Лунева, А. В. Соколов // Экологическая безопасность АЭС: междунар. науч.-практ. конф., посвященная 60-летию атомной энергетики: сб. тр. – Калининград (20-21 окт.), 2015. – С. 178–182.
10. Правдин, И. Ф. Руководство по изучению рыб / И. Ф. Правдин. – Москва, 1966. – 375 с.
11. Чугунова, Н. И. Руководство по методике определения возраста и роста рыб / Н. И. Чугунова. – Москва: Изд-во АН СССР, 1959. – 158 с.
12. Шибаев, С. В. Промысловая ихтиология: учебник / С. В. Шибаев. – Калининград: ООО «Аксиос», 2014. – 535 с.
13. Никольский, Г. В. Теория динамики стада рыб / Г. В. Никольский. – Москва: Наука, 1974. – 447 с.
14. Никольский, Г. В. Частная ихтиология: учебник / Г. В. Никольский. – Москва: Советская наука, 1970. – С. 175–177.
15. Шестаков В. Г. О биологии европейской корюшки в Пярнуской бухте / В. Г. Шестаков // Рыбохозяйственные исследования в бассейне Балтийского моря. – 1967. – Т. 3. – С. 113–118.
16. Черепанова, Н. С. Рыбохозяйственная характеристика корюшки (*Osmerus eperlanus* L.) Выгозерского водохранилища (Карелия) / Н. С. Черепанова, А. П. Георгиев // Сельское, лесное и водное хозяйство. – 2014. – № 11 [Электронный ресурс]. URL: <http://agro.snauka.ru/2014/11/1671> (дата обращения: 30.05.2016).
17. Анурьева, А. С. К изучению плодовитости корюшки (*Osmerus eperlanus eperlanus* L.) в реке Неман / А. С. Анурьева, С. В. Шибаев, К. Ю. Шокель // Водные биоресурсы, аквакультура и экология водоемов: III Балтийский морской форум: труды. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВПО «Калининградский государственный технический университет», 2015. – С. 13–15.
18. Шибаев, С. В. Оценка репродуктивной способности популяции рыб / С. В. Шибаев // Труды ГосНИОРХ. – Ленинград, 1987. – Вып. 266. – С. 101–117.
19. Ивлев, В. С. Метод оценки популяционной плодовитости рыб / В. С. Ивлев // Труды Латвийского отделения ВНИРО. – 1953. – Т. 1. – С. 37–42.

REFERENCES

1. Manjukas I. *Ihti fauna, sostojanie zapasov i promysel ryb v zalive Kjurshju-mares* [Ichthyofauna, stock status and fishing in Kuršių marios]. Vil'njus, 1959. 403 c.
2. Gajgalas K. S., Mishtautajte V. T. Osnovnye cherty jekologii i dinamika promyslovyh ulovov prohodnoj formy evropejskoj korjushki *Osmerus eperlanus* (L.) v zalive Kurshju Mares i nizov'e r. Njamunas [Main features of the ecology and dynamics of the commercial catches of migration form of European smelt in Kuršių marios and the Nemunas River]. *Voprosy ihtiologii*, 1980, vol. 20, no. 4, pp. 625-634.
3. Noskova E. D. *Biologija snetka Osmerus eperlanus eperlanus m. spirinchus (Pallas) i kolebanija ego chislennosti v Kurshskom zalive Baltijskogo morja. Diss. kand. biol. nauk* [Biology of dwarf smelt *Osmerus eperlanus eperlanus m. spirinchus* (Pallas) and fluctuation of its abundance in the Curonian lagoon of the Baltic Sea. Dis. Cand. Biol. Sci.]. Kaliningrad, 1968, 238 p.
4. Svagždys A. Impact of environmental conditions on smelt catch fluctuations in the Nemunas River and the Curonian Lagoon. *Ekologija*, 2009, vol. 55, no. 3-4, pp. 204-214.
5. Shibaev S. V., Sokolov A. V., Tylik K. V., Svirina L. V., Smirnova M. A., Shkickij V. A. Nerestovoj hod korjushki (*Osmerus eperlanus eperlanus* L.) v rekah bassejna Kurshskogo zaliva [Spawning migration of smelt (*Osmerus eperlanus eperlanus* L.) in the rivers of the Curonian lagoon basin]. *Vestnik Baltijskogo federal'nogo universiteta im. I. Kanta*, 2012, no. 7, pp. 91-96.
6. Shibaev S. V., Sokolov A. V., Anur'eva A. S., Novozhilov O. A., Luneva E. V. Biologicheskie pokazateli korjushki (*Osmerus eperlanus eperlanus* L.) reki Neman v period nerestovoj migracii [Biological characteristics of smelt (*Osmerus eperlanus eperlanus* L.) of the Neman River in the period of spawning migration]. *Izvestija KGTU*, 2014, no. 32, pp. 99-106.
7. Gajgalas K. S. Estestvennye nerestilishha, migracionnye puti promyslovyh ryb v del'te r. Njamunas i ih sovremennoe sostojanie [Natural spawning areas, migration paths of commercial fish in the Nyamunas River and its current condition]. *Gidrobiologicheskie i ihtiologicheskie, issledovanija vnutrennih vodoemov Pribaltiki*, Vil'njus, Mintis, 1968, pp. 124-127.
8. Mishtautajte V. T. Morfologicheskaja izmenchivost' korjushki vodoemov Litvy (Plodovitost' i opredeljajushhie ee faktory) [Morphological changes of smelt in Lithuanian water bodies (Fecundity and its determination factors)]. *Trudy AN Lit. SSR*, 1976, serija V, no. 4(76), pp. 85-94.
9. Shibaev S. V., Luneva E. V., Sokolov A. V. Problemy organizacii monitoringa vodnyh bioresursov v zone vozmozhnogo vozdejstvija Baltijskoj AJeS. Jekologicheskaja bezopasnost' AJeS [Organization of monitoring for water bioresources in the zone of potential impact of Baltic NPP. Environmental compliance of NPP]. *Sbornik trudov Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, posvjashhennoj 60-letiju atomnoj jenergetiki* [Proceedings of International research and practical conference dedicated to the 60th anniversary of nuclear energetics]. Kaliningrad, 20-21 oktjabrja 2015 g., pp. 178-182.
10. Pravdin I. F. *Rukovodstvo po izucheniju ryb* [Guide for fish investigation]. Moscow, 1966, 375 p.

11. Chugunova N. I. *Rukovodstvo po metodike opredelenija vozrasta i rosta ryb* [Guideline for determining fish age and growth]. Moscow, Izd-vo AN SSSR, 1959, 158 p.
12. Shibaev S. V. *Promyslovaja ihtiologija* [Fishery ichthyology]. Kaliningrad, ООО “Aksios”, 2014, 535 p.
13. Nikol'skij G. V. *Teorija dinamiki stada ryb* [Theory of fish stock dynamics]. Moscow, Nauka, 1974, 447 p.
14. Nikol'skij G. V. *Chastnaja ihtiologija* [Descriptive ichthyology]. Moscow, Sovetskaja nauka, 1970, pp. 175-177.
15. Shestakov V. G. O biologii evropejskoj korjushki v Pjarnuskoj buhte [On biology of European smelt in the Pyarnuskaya lagoon]. *Rybohozjajstvennyje issledovanija v bassejne Baltijskogo morja* [Fishery research in the basin of the Baltic Sea]. 1967, vol. 3, pp. 113-118.
16. Cherepanova N. S., Georgiev A. P. Rybohozjajstvennaja harakteristika korjushki (*Osmerus eperlanus* L.) Vygozerskogo vodohranilishha (Karelija) [Fishery characteristic of smelt (*Osmerus eperlanus* L.) in the Vygozerskiy reservoir (Karelia)]. *Sel'skoe, lesnoe i vodnoe hozjajstvo* [Agriculture, forestry and water management]. 2014, № 11, available at: <http://agro.snauka.ru/2014/11/1671> (accessed 30 May 2016).
17. Anur'eva A. S., Shibaev S. V., Shokel' K. Ju. K izucheniju plodovitosti korjushki (*Osmerus eperlanus eperlanus* L.) v reke Neman [On the study of smelt fecundity (*Osmerus eperlanus eperlanus* L.) in the Neman River]. *III Baltijskij morskij forum. Trudy Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii “Vodnye bioresursy, akvakul'tura i jekologija vodoemov”* [III Baltic Maritime Forum. Proceedings of International scientific conference “Aquatic bioresources, aquaculture and ecology of water reservoirs”]. Kaliningrad, FGBOU VPO “Kaliningradskij gosudarstvennyj tehničeskij universitet”, 2015, pp. 13-15.
18. Shibaev S. V. Ocenka reproduktivnoj sposobnosti populjacionnoj ryb [Estimation of reproductive ability of fish population]. *Trudy GosNIORH* [Proceedings of National Research Institute of Lake and River Fisheries]. Leningrad, 1987, no. 266, pp. 101-117.
19. Ivlev V. S. Metod ocenki populjacionnoj plodovitosti ryb [Valuation procedure of population fecundity]. *Trudy Latvijskogo otdelenija VNIRO* [Proceedings of Latvian branch of All-Union fishery and oceanography scientific research institute]. 1953, vol. 1, pp. 37-42.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Бурбах Анна Сергеевна* – Калининградский государственный технический университет; ведущий инженер кафедры ихтиологии и экологии;  
E-mail: [anna.burbakh@klgtu.ru](mailto:anna.burbakh@klgtu.ru)

*Burbakh Anna Sergeevna* – Kaliningrad State Technical University; Leading engineer of the Department of ichthyology and ecology;  
E-mail: [anna.burbakh@klgtu.ru](mailto:anna.burbakh@klgtu.ru)

*Шибяев Сергей Вадимович* – Калининградский государственный технический университет; доктор биологических наук, профессор; зав. кафедрой ихтиологии и экологии; E-mail: [shibaev@klgtu.ru](mailto:shibaev@klgtu.ru)

*Shibaev Sergey Vadimovich* – Kaliningrad State Technical University; Doctor of Biology, Professor; Head of the Department of ichthyology and ecology;  
E-mail: shibaev@klgtu.ru

*Соколов Андрей Владимирович* – Калининградский государственный технический университет; кандидат биологических наук, доцент; зам. декана факультета биоресурсов и природопользования; E-mail: sokolov@klgtu.ru

*Sokolov Andrey Vladimirovich* – Kaliningrad State Technical University; PhD, Associate Professor; Vice-dean of the Faculty of bioresources and nature usage;  
E-mail: sokolov@klgtu.ru

УДК 597.54(262.81)(06)

К СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ БИОМАССЫ КАСПИЙСКОЙ  
КИЛЬКИ ПО ДАННЫМ АКУСТИЧЕСКИХ СЪЕМОК В КАСПИЙСКОМ МОРЕ

П. Заре, С. В. Шибаяев, С. М. Касаткина, Х. Фазли

AN IMPROVED APPROACH FOR ASSESSING OF KILKA BIOMASS BY ACOUSTIC  
SURVEYS IN THE CASPIAN SEA

P. Zare, S. V. Shibaev, S. M. Kasatkina, H. Fazli

Исследовано влияние силы цели ( $TS$ ) на оценку плотности биомассы трех видов кильки при использовании существующих и новых  $TS$ -моделей. Разработанные новые модели позволяют учитывать биологическое состояние рыбы, и, прежде всего, количество половозрелых самок как важный фактор, определяющий силу цели каспийской кильки. В исследованиях использованы данные акустической съемки, выполненной в мае 1997 г. и охватывающей шельфовую и глубоководную части Южного Каспия в иранских водах. Размерно-видовой состав рыб определялся по данным траловых выборок. Анализ показал, что соотношение количества тралового улова на единицу усилия ( $CPUE$ , кг/ч) и акустического индекса ( $SA$ ,  $m^2/миля^2$ )  $r = 0.954$ . Влияние количества половозрелых самок проявляется по-разному в зависимости от региона Каспийского моря и вида кильки. В глубоководной части моря плотность анчоусовидной кильки при использовании новых моделей возросла в 2 раза, однако значимого различия между оценками плотности в зависимости от модели  $TS$  в шельфовом регионе не было выявлено. Использование существующих моделей  $TS$  завышало оценки плотности большеглазой кильки приблизительно на 43, кильки обыкновенной - на 48 % в шельфовом регионе, а плотность большеглазой кильки в глубоководной части моря недооценивалась на 31 %. Выполненные исследования показывают, что новые уравнения регрессии силы цели, учитывающие биологическое состояние рыбы, позволят усовершенствовать оценки численности и биомассы по данным акустических съемок в Каспийском море.

*килька, Каспийское море, плотность биомассы,  $TS$ -модель*

The article examines the effect of the target strength ( $TS$ ) on biomass estimation of three species of kilka by using existing and new  $TS$  models. New developed models allow taking account of the biological state of fish, and, above all, the number of mature females as an important factor, which determinates the target strength of Caspian kilka. The acoustic survey data for three species of kilka obtained from the shelf and deep parts of the southern Caspian in Iranian waters during May 1997 were used for this purpose. Species

and length compositions of pelagic fish in the study area were assigned according to the data of trawl hauls. There was a strong relationship ( $r^2 = 0.911$ ) between trawl catch rate per unit effort (*CPUE*, kg/hour) and acoustic index (*SA*,  $m^2/mile^2$ ). The comparative estimates of density biomass using existing and revised models were different depending on the percentage of mature females for regions and species. In deep waters, anchovy density, estimated using the new model, increased twofold. However, no significant difference was found between the densities estimated by two models in the shelf region. The existing model overestimated big-eyed kilka density by ~ 43 % and common density by ~ 48 % in the shelf region and underestimated big-eyed kilka density by ~ 31 % in deep waters relative to our model. An important consequence of these findings in regard to acoustic surveys of kilka is that the fish abundance would be improved if the percentage of mature females is considered. Therefore, use of this biological factor in estimation of *TS* is recommended in the future analysis.

*kilka, the Caspian sea, biomass density, TS model*

#### ВВЕДЕНИЕ

В Каспийском море обитает более 100 видов и подвидов промысловых рыб, одним из которых является килька. Здесь встречается три вида килек: *Clupeonella engrauliformis* (Анчоусовидная килька), *C. grimmi* (Большеглазая килька) и *C. cultriventris* (Обыкновенная килька). Данные виды рыб наиболее распространены и составляют основной запас мелких пелагических рыб в Каспийском море. Эти рыбы не только играют важную роль в морских экосистемах как источник пищи для других видов, но и являются объектом иранского промысла. Поэтому обеспечение устойчивого рыболовства по отношению к ним становится важным условием развития промысла и сохранения экосистемы Каспийского бассейна.

В последние годы численность этих ценных видов рыб значительно уменьшилось [1]. В связи с резким снижением вылова повысился интерес к оценке запасов кильки на основе проведения учетных съемок, т. е. с использованием данных, независимых от промысла. Более того, достижение устойчивого рыболовства в Каспийском море требует адекватной информации о динамике численности и закономерностях пространственного распределения основных промысловых видов рыб, важнейшим источником которой являются акустические съемки. Сила цели (*TS*) - важнейший показатель акустических съемок, позволяющий получить абсолютные величины плотности.

Акустические съемки основных промысловых видов рыб (три вида килек) в иранских водах Каспийского моря проводились в 1995-1997 гг., а затем прекратились. На этом этапе для оценки численности/биомассы кильки использовалось простое соотношение зависимости силы цели (*TS*) от длины рыбы (*L*):  $TS = F(L)$ , полученное на ограниченном ряде данных натуральных измерений, не учитывающих изменчивость ее биологического состояния в водах Каспийского моря [2-4].

Планируемое возобновление акустических съемок делает актуальным ревизию методики съемок и данных 1995-1997 гг. для совершенствования и

разработки рекомендаций по выполнению будущих съемок. Это является весьма актуальным, так как другие, например международные, акустические съемки в Каспийском море не выполняются. Ревизия данных съемки требует проведения новых измерений  $TS$  для трех видов килек.

Цель работы: исследование влияния силы цели ( $TS$ ) на оценку плотности биомассы трех видов кильки при использовании различных  $TS$ -моделей.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В данной работе приводятся новые оценки силы цели, полученные на основе измерений *in situ* в иранских водах Каспийского моря. Особое внимание уделяется влиянию биологического состояния рыбы на силу цели, а именно: зависимости силы цели от доли созревающих самок. Акустические съемки, сопровождаемые контрольными тралениями разноглубинным тралом, выполнены в южном секторе вод Ирана в мае 1997 г. Исследуемый район моря был предварительно разделен на две части: шельфовую с глубинами от 20 до 200 м и глубоководную – более 200 м. В свою очередь, шельфовая часть моря была разделена на три района, глубоководная – на два. Систему зигзагообразных галсов использовали в прибрежной части, параллельные галсы - в глубоководной части Каспийского моря.

Акустические измерения выполнялись с использованием калиброванного научного эхолота ЕК-500 (рабочая частота 38 кГц). Длительность импульса посылки составляла 1 мс. Калибровка эхолота была выполнена по общепринятой методике с применением стандартной сферы [5]. Скорость судна на акустических галсах составляла 10 уз. Местоположение его определялось с помощью системы GPS. Всего было выполнено 40 тралений разноглубинным тралом с вертикальным раскрытием приблизительно 24 м, размером ячеи в мешке 8 мм и скоростью траления 2.5 уз. Траления выполнялись в слое глубин от 6 до 120 м в зависимости от распределения скоплений рыбы. Продолжительность тралений составила 35-90 м. Размерный состав рыбы в уловах определялся по выборке из 200 экз.

Для исследований влияния силы цели на оценку плотности рыбы по данным акустических съемок были использованы следующие уравнения регрессии:

для анчоусовидной кильки

$$TS = 20\log L_r - 71.9; \quad (1)$$

$$TS = 20\log L_r - 0.12MF - 68.6, \quad (2)$$

для большеглазой кильки

$$TS = 20\log L_r - 71.4; \quad (3)$$

$$TS = 20\log L_r - 0.10MF - 67.4, \quad (4)$$

для обыкновенной кильки

$$TS = 20\log L_r - 70.8; \quad (5)$$

$$TS = 20\log L_r - 0.07MF - 64.1, \quad (6)$$

где  $L_t$  - полная длина (см); MF - количество половозрелых самок (%) и TS - сила цели (дБ).

Модели (1), (3) и (5) основаны на предыдущих исследованиях [6], которые были выполнены без учета биологического состояния рыбы. Модели (2), (4) и (6) получены в наших исследованиях.

По вышеприведенным уравнениям выполнены оценки плотности биомассы в шельфовой и глубоководных частях иранских вод Каспийского моря. Средние значения плотности и их доверительные интервалы были рассчитаны с использованием процедуры бутстреп - 1000 реализаций [7].

Расчеты плотности биомассы ( $\rho$ , т/миля<sup>2</sup>) выполнялись по известному уравнению:

$$\rho = \left( \frac{SA}{\sigma_{bs}} \right) w, \quad (7)$$

где  $\sigma_{bs}$  - сечение обратного рассеяния; SA - акустический индекс (относительная плотность) (м<sup>2</sup>/миля<sup>2</sup>) и  $w$  - масса кильки, соответствующая средней длине рыбы для каждого региона исследований.

Величина  $\sigma_{bs}$  рассчитывается как

$$\sigma_{bs} = 4\pi L^2 10^{0.1b_{20}}, \quad (8)$$

где L - полная длина рыбы (см) и  $b_{20}$  - коэффициент уравнения регрессии силы цели  $TS = f(L)$ .

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Бутстреп-распределение [7] величины акустического индекса (SA, м<sup>2</sup>/миля<sup>2</sup>) на континентальном шельфе и в глубоководных районах продемонстрировано на рис. 1. Средняя величина SA в диапазоне глубин 6–200 м на шельфе составила 519.4 м<sup>2</sup>/миля<sup>2</sup>, а в глубоководной части - 242.6 м<sup>2</sup>/миля<sup>2</sup>. Анализ показал, что величина SA в районах промысла коррелирует с величинами вылова на усилии (CPUE) (рис. 2). Коэффициент корреляции Pearson's  $r = 0.954$ .

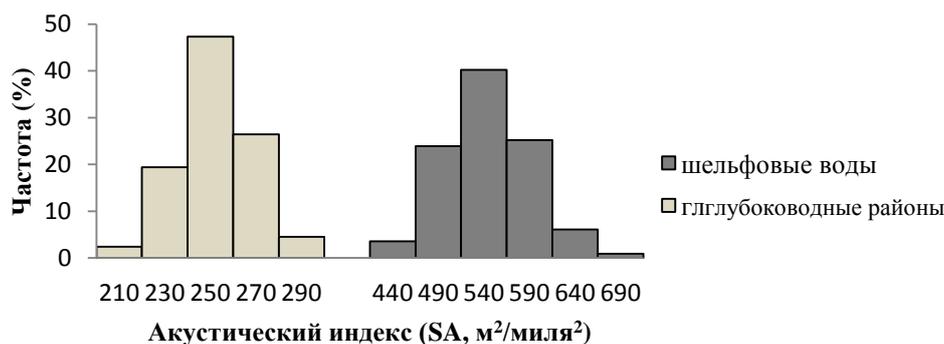


Рис. 1. Бутстреп-распределение величины акустического индекса (SA, м<sup>2</sup>/миля<sup>2</sup>) на континентальном шельфе и глубоководных районах

Fig. 1. Bootstrap distribution of the mean acoustic index (SA, м<sup>2</sup>/mile<sup>2</sup>) in the continental shelf and deep waters

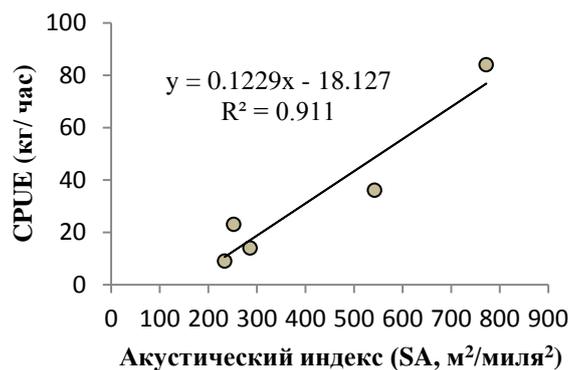


Рис. 2. Зависимость улова на усилие ( $CPUE$ , кг/ч) от величины акустического индекса ( $SA$ , м<sup>2</sup>/миля<sup>2</sup>)

Fig. 2. Relationship between catch-per-unit-effort ( $CPUE$ , kg/hour) and acoustic index ( $SA$ , m<sup>2</sup>/mile<sup>2</sup>)

В исследованиях использованы данные 40 тралений, выполненных в мае 1997 г. Основу уловов (до 99%) представляли три вида кильки: анчоусовидная - в 12 уловах, большеглазая килька - в пяти, а килька обыкновенная - в одном тралении. Величина прилова составляла 1 %.

Общая продолжительность акустических галсов составила 2570 миль, общая площадь района съемки – 10993 миль<sup>2</sup>, включая обследованную площадь шельфа в 2153 миль<sup>2</sup>, и площадь в глубоководной части 8840 миль<sup>2</sup>. Поскольку основа улова - килька (более 99% по численности), то при анализе данных съемки и оценки силы цели рассматривался суммарный индекс  $SA$ .

Средняя длина и соответствующая масса рыбы, доля самок и расчетные величины коэффициента  $b_{20}$ , полученные для уравнения регрессии силы цели от длины рыбы, приведены в таблице. Данные были получены в диапазоне глубин от 77 (континентальный шельф) до 556 м (глубоководная часть) при средней глубине 230 м.

Таблица. Результаты оценки  $TS$ -моделей трех видов каспийской кильки с учетом биологического состояния рыбы на шельфе ( $a$ ) и в глубоководной зоне ( $b$ )

Table. Estimation results of the  $TS$ -models of the three species of Caspian kilka taking into account biological state of the fish in shelf ( $a$ ) and deep ( $b$ ) regions

Параметры	Каспийская килька				
	анчоусовидная		большеглазая		обыкновенная
	$a$	$b$	$a$	$b$	
Длина рыбы, см	11.04	11.32	10.99	11.65	11.64
Масса, г	7.09	7.17	6.75	7.73	8.64
Доля зрелых самок, %	31.5	54.2	22.1	57.2	55.8
$b_{20}$ (существующая модель)	-71.9		-71.4		-70.8
$b_{20}$ (новая модель)	-72.5	-75.3	-69.6	-73	-67.8

Количество половозрелых самок увеличилось от 31.5 % на шельфе до 54.2 в глубоководной части для анчоусовидной кильки и от 22.1 % на шельфе до 57.2 в глубоководной части - для большеглазой. Количество половозрелых самок для обыкновенной кильки составило 55.8 % (таблица). Параметр  $b_{20}$  изменялся от -72.5 до -75.3 дБ для анчоусовидной кильки и от -69.6 до -73 дБ для большеглазой. Для обыкновенной кильки величина  $b_{20}$  составила -67.8 дБ.

Бутстреп-распределения оценок плотности трех видов кильки при использовании существующих уравнений регрессии (уравнения (1), (3) и (5)) и новых уравнений регрессии (уравнения (2), (4) и (6)) с учетом 95%-ного доверительного интервала показаны на рис. 3.

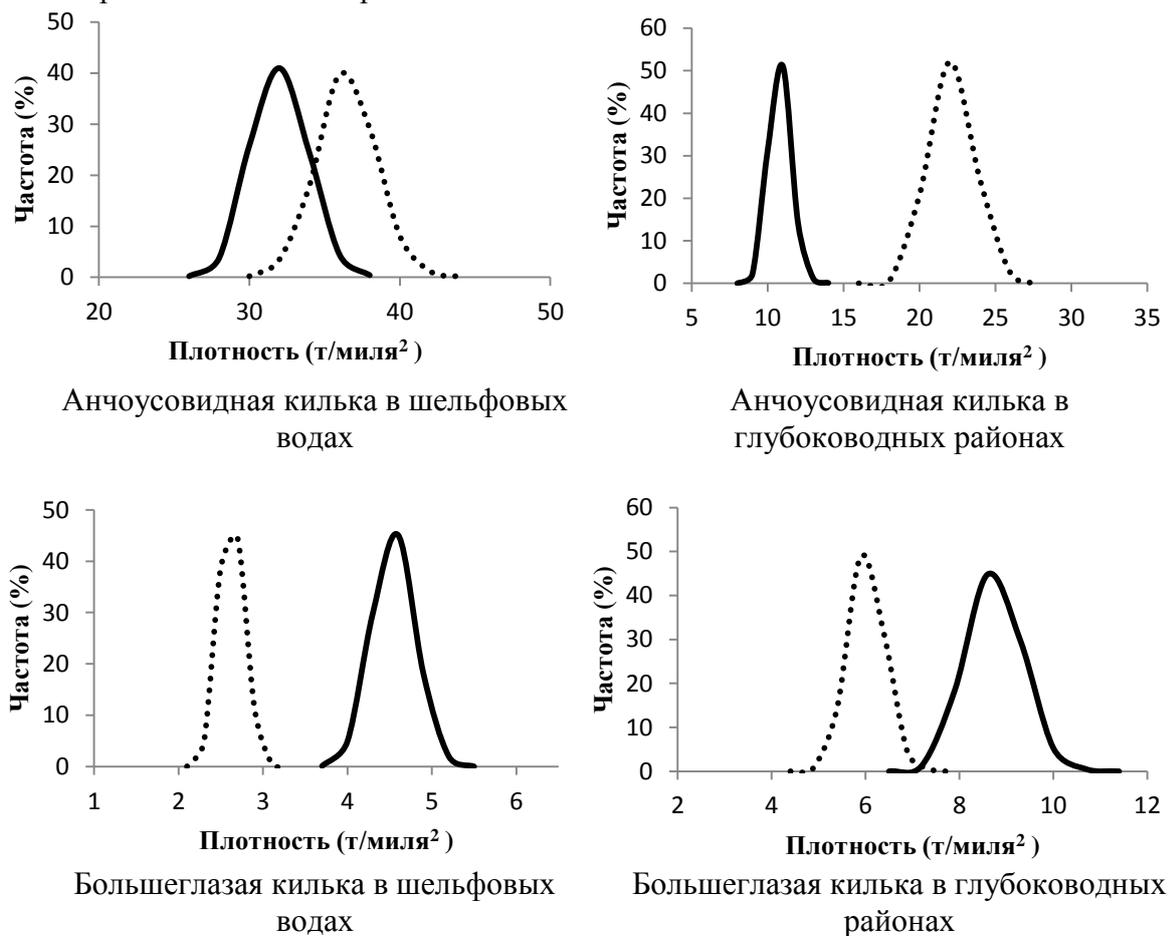


Рис. 3. Бутстреп-распределения оценок плотности трех видов каспийской кильки, полученные по данным акустических съемок в мае 1997 г. в иранских водах Каспийского моря при использовании существующих (кривая показана точками) и новых (сплошные кривые) *TS*-моделей

Fig. 3. Bootstrap distribution of density estimates of three species of kilka obtained by means of echo-integration during May 1997 in Iranian waters of the Caspian Sea using existing (solid-line curve) and new (dotted curve) *TS*-models

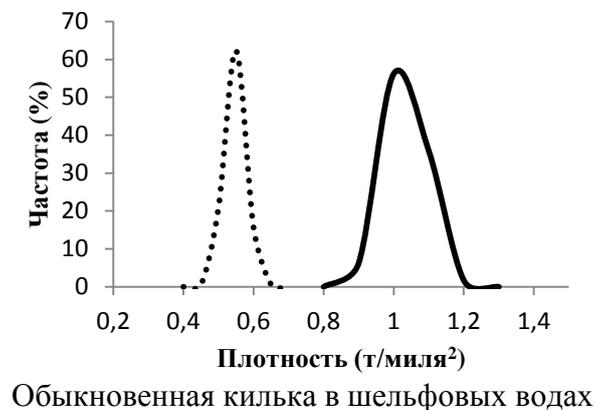


Рис. 3. Окончание

#### ОБСУЖДЕНИЕ

Сила цели играет важную роль при пересчете акустического индекса в абсолютные величины плотности численности и биомассы [8]. Одним из факторов, влияющих на величину  $TS$ , является биологическое состояние рыбы, включая репродуктивное. Наши исследования показали, что оценки силы цели зависят от количества самок и самцов в облучаемых скоплениях рыбы [2-4], поскольку размер гонад у самцов и самок значительно отличается. Понятно, что это влияние на силу цели в большей степени имеет место для самок, чем для самцов. Установлено, что влияние размера гонад на силу цели происходит опосредовано через изменение размера плавательного пузыря [9-14]. Принимая во внимание вышесказанное, отметим, что исследование зависимости оценки численности и биомассы рыб (по данным акустических съемок) от биологических параметров рыбы, в частности полового диморфизма и размера гонада у самцов и самок, актуально.

Результаты исследований показывают значительное влияние модели оценки силы цели на величину плотности скоплений, за исключением оценок плотности анчоусовидной кильки в шельфовой части Каспийского моря. Плотность анчоусовидной кильки в глубоководной части составила  $21.1 \text{ т/миля}^2$  при доверительном интервале  $18.1-24.2 \text{ т/миля}^2$  в случае  $b_{20} = -75.3$ . При использовании старого уравнения регрессии силы цели ( $b_{20} = -71.9$ ) [6] имеет место недооценка плотности почти на 50% ( $10.3 \text{ т/миля}^2$  при 95%-м доверительном интервале  $8.8-11.8 \text{ т/миля}^2$ ).

Плотность большеглазой кильки в глубоководной части Каспийского моря, рассчитанная по старому уравнению регрессии, составила  $5.8 \text{ т/миля}^2$  в доверительном интервале  $5.0-6.6 \text{ т/миля}^2$  и по новому уравнению  $8.46 \text{ т/миля}^2$  в доверительном интервале  $7.2-9.6 \text{ т/миля}^2$ . Ее плотность на шельфе Каспийского моря при использовании нового уравнения регрессии –  $2.5 \text{ т/миля}^2$  в доверительном интервале  $2.2-2.9 \text{ т/миля}^2$  и старого уравнения –  $4.4 \text{ т/миля}^2$  в доверительном интервале  $3.8-5.0 \text{ т/миля}^2$ . Наши исследования показывают разницу в 1.6 дБ в

величинах  $b_{20}$  для большеглазой кильки в глубоководной части Каспийского моря. В то же время в шельфовых водах Ирана новая ее оценка составила  $b_{20} = -69.6$  дБ по сравнению со старым уравнением  $b_{20} = -71.4$  дБ. Если использовать уравнение  $TS = 20 \log L_r - 71.4$  для оценки плотности большеглазой кильки в глубоководной части Каспийского моря, то недооценка составит 43%. И наоборот, если это же уравнение использовать для оценки плотности в шельфовых водах, то переоценка плотности составит около 45 %. Величина  $b_{20}$  для обыкновенной кильки в новом уравнении регрессии возросла на 3 дБ (-67.8 дБ против -70.8 дБ), поэтому новая оценка плотности будет составлять 0.47 от старой.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненные исследования наглядно показывают влияние биологического состояния каспийской кильки на ее силу цели. Данное обстоятельство ранее не принималось во внимание при оценке численности кильки.

Предлагаемые уравнения регрессии силы цели в зависимости от доли половозрелых самок обеспечивают повышение точности оценки плотности биомассы и численности кильки по данным акустических съемок за счет учета биологического состояния рыбы.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Fazli, H., 2011. Some environmental factors effects on species composition, catch and CPUE of kilkas in the Caspian Sea. *Int. J. Nat. Resour. Mar. Sci.* 1,157-164.
2. Оценки силы цели большеглазой кильки *Clupeonella grimmi* Каспийского моря / П. Заре [и др.] // Вопросы рыболовства. – 2016. – Т. 17, №3. – С. 1–16.
3. Изменчивость акустической силы цели кильки обыкновенной (*Clupeonella cultriventris*) / П. Заре [и др.] // Известия КГТУ. – 2016. – № 41. – С. 20-27.
4. Zare, P., Kasatkina, S. M., Shibaev, S. V., Fazli, F. *In situ* acoustic target strength of anchovy kilka (*Clupeonella engrauliformis*) in the Caspian Sea (Iran). *Fisheries Research*, 2016, accepted for publication.
5. Foote, K.G., Knudsen, H.P., Vestnes, G., MacLennan, D.N., Simmonds, E.J., 1987. Calibration of acoustic instruments for fish density estimation: a practical guide, 144. ICES Cooperative Research Report, pp. 69.
6. Ermolchev, V.A., Bushueva, S.A. 2004. On the results of research on the target strength of main fishes in the Caspian Sea, In: Chernook V. (Eds.), *Improvement of instrumental methods for stock assessment of marine organisms*, Proceedings of the Russian-Norwegian Workshop on Hydroacoustics, PINRO Press, Murmansk, Russia. pp. 32-41.
7. Efron, B., Tibshirani, R.J. 1993. *An introduction to the bootstrap*, 436 p. Chapman and Hall, New York.

8. MacLennan, D.N., Simmonds, E.J. 1992. Fisheries acoustics. Chapman and Hall, London. Pp. 324.
9. Ganas K., Michou S., Nunes C., 2015. A field based study of swimbladder adjustment in a physostomous teleost fish. PeerJ 3:e892 <https://doi.org/10.7717/peerj.892>.
10. Jørgensen, R., 2004. The effects of behaviour on the acoustic target strength of capelin (*Mallotus villosus*) and implications for acoustic abundance estimation. PhD thesis introduction, The Norwegian College of Fishery Science, University of Tromsø, Norway, pp.33.
11. Ona, E., 1990. Physiological factors causing natural variations in acoustic target strength of fish. J. MAR. BIOL. ASSOC. UK, 70, 107–127.
12. Ona, E., Zhao, X., Svellingen, I., Fosseidengen, J. E. 2001. Seasonal variation in herring target strength. In: Funk, F., Blackburn, J., Hay, D., Paul, A.J., Stephenson, R., Toresen, R., Witherell, D. (Eds.), In Herring: expectations for a new millennium. Lowell Wakefield Fisheries Symposia Series, Fairbanks, Alaska. pp. 461–487.
13. Ross S.T., 1980. Sexual and developmental changes in swimbladder size of the leopard searobin, *Prionotus scitulus* (Pisces:Triglidae). Copeia 1980: 611–615.
14. Thomas, G. L., Kirsch, J., Thorne, R.E., 2002. Ex-situ target strength measurements of Pacific herring and Pacific sand lance. North Am. J. Fish. Manage. 22, 1136–1145.

#### REFERENCES

1. Fazli H. Some environmental factors effects on species composition, catch and CPUE of kilkas in the Caspian Sea. Int. J. Nat. Resour. Mar. Sci., 2011, no. 1, pp. 157-164.
2. Zare P., Shibaev S. V., Kasatkina S. M., Fazli H. Ocenki sily celi bol'sheglazoj kil'ki *Clupeonella grimmi* Kaspijskogo morja [Assessment of target strength of big-eyed kilka *Clupeonella grimmi* in the Caspian Sea]. *Voprosy rybolovstva*, 2016, vol. 17, no. 3, pp. 1-16.
3. Zare P., Shibaev S. V., Kasatkina S. M., Fazli H. Izmenchivost' akusticheskoy sily celi kil'ki obyknovennoj (*Clupeonella cultriventris*) [Variations in the acoustic target strength of common kilka (*Clupeonella cultriventris*)]. *Izvestija Kalininskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta*, 2016, no. 41, pp. 20-27.
4. Zare P., Kasatkina S. M., Shibaev S. V., Fazli F. In situ acoustic target strength of anchovy kilka (*Clupeonella engrauliformis*) in the Caspian Sea (Iran). Fisheries Research, 2016, accepted for publication.
5. Foote K.G., Knudsen H.P., Vestnes G., MacLennan D.N., Simmonds E.J. Calibration of acoustic instruments for fish density estimation: a practical guide, 144. ICES Cooperative Research Report, 1987, 69 p.
6. Ermolchev V.A., Bushueva S.A. On the results of research on the target strength of main fishes in the Caspian Sea, In: Chernook V. (Eds.), Improvement of instrumental methods for stock assessment of marine organisms, Proceedings of the Russian-Norwegian Workshop on Hydroacoustics, PINRO Press, Murmansk, Russia, 2004, pp. 32-41.

7. Efron B., Tibshirani R.J. An introduction to the bootstrap, Chapman and Hall, New York, 1993, 436 p.
8. MacLennan D.N., Simmonds E.J. Fisheries acoustics. Chapman and Hall, London, 1992, 324 p.
9. Ganius K., Michou S., Nunes C. A field based study of swimbladder adjustment in a physostomous teleost fish. PeerJ 3:e892, available at: <https://doi.org/10.7717/peerj.892>, 2015.
10. Jørgensen R. The effects of behaviour on the acoustic target strength of capelin (*Mallotus villosus*) and implications for acoustic abundance estimation. PhD thesis introduction, The Norwegian College of Fishery Science, University of Tromsø, Norway, 2004, 33 p.
11. Ona E. Physiological factors causing natural variations in acoustic target strength of fish. J. MAR. BIOL. ASSOC. UK, 1990, no. 70, pp. 107-127.
12. Ona E., Zhao X., Svellingen I., Fosseidengen J. E. Seasonal variation in herring target strength. In: Funk F., Blackburn J., Hay D., Paul A.J., Stephenson R., Toresen R., Witherell D. (Eds.), In Herring: expectations for a new millennium. Lowell Wakefield Fisheries Symposia Series, Fairbanks, Alaska, 2001, pp. 461-487.
13. Ross S. T. Sexual and developmental changes in swimbladder size of the leopard searobin, *Prionotus scitulus* (Pisces:Triglidae). Copeia, 1980, pp. 611-615.
14. Thomas G. L., Kirsch J., Thorne R. E. Ex-situ target strength measurements of Pacific herring and Pacific sand lance. North Am. J. Fish. Manage. 2002, no. 22, pp. 1136–1145.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Заре Парвиз* – Калининградский государственный технический университет; аспирант кафедры «Ихтиология и экология»; E-mail: parvizzare58@yahoo.com

*Zare Parviz* – Kaliningrad State Technical University; Postgraduate student of the Department of Ichthyology and Ecology; E-mail: parvizzare58@yahoo.com

*Шибяев Сергей Вадимович* – Калининградский государственный технический университет; доктор биологических наук, профессор, зав. кафедрой ихтиологии и экологии; E-mail: shibaev@klgtu.ru

*Shibaev Sergey Vadimovich* – Kaliningrad State Technical University; Doctor of biological sciences, Professor, Head of the Department of Ichthyology and Ecology; E-mail: shibaev@klgtu.ru

*Касаткина Светлана Михайловна* – Атлантический научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (АтлантНИРО); зав. лабораторией электронной техники морских исследований; E-mail: ks@atlantniro.ru

*Kasatkina Svetlana Mikhailovna* – Research Institute of Marine Fisheries and Oceanography; Head of the Laboratory of Electronic Technology of Marine Researches; E-mail: ks@atlantniro.ru

*Фазли Хасан* – Исследовательский центр экологии Каспийского моря, г. Сари, Иран; доцент, зав. кафедрой биологии и оценки запасов рыб; E-mail: hn\_fazli@yahoo.com

*Fazli Hassan* – Caspian Sea Ecology Research Center, Sari, Iran; Associate Professor, Head of the Department of Biology and Stock Assessment; E-mail: hn\_fazli@yahoo.com

УДК 591.524.12(261.245/.246)

ВИДОВОЕ РАЗНООБРАЗИЕ ВЕСЛОНОГИХ РАКООБРАЗНЫХ  
(CRUSTACEA: MAXILLOPODA: COPEPODA Milne-Edwards, 1840) ЭСТУАРИЕВ  
КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ (ОБЗОР)

Е. Н. Науменко, С. А. Судник

SPECIES COMPOSITION OF COPEPODA (CRUSTACEA: MAXILLOPODA:  
COPEPODA Milne-Edwards, 1840) OF THE KALININGRAD REGION  
ESTUARIES (REVIEW)

E. N. Naumenko, S. A. Sudnik

Статья посвящена аналитическому обзору литературы по видовому составу веслоногих ракообразных (CRUSTACEA: MAXILLOPODA: COPEPODA Milne-Edwards, 1840) крупнейших эстуариев Калининградской области – Куршского и Вислинского заливов Балтийского моря.

Исследования видового состава веслоногих ракообразных Куршского и Вислинского заливов начаты учеными Кенигсбергского университета в первой половине XX в. По их данным копеподы Куршского залива были представлены пятнадцатью видами, которые относились к двенадцати родам. В конце XX – начале XXI вв. в сообщество веслоногих ракообразных Куршского залива входили двадцать четыре вида, относящиеся к шестнадцати родам. Были обнаружены восемь видов и подвидов копепод, ранее не указывавшихся в составе сообщества веслоногих ракообразных Куршского залива. По сравнению с данными ученых Кенигсбергского университета в настоящее время не регистрируются пять видов и подвидов копепод.

В начале XX в. веслоногие ракообразные Вислинского залива были представлены двадцатью тремя видами и подвидами, относившимися к двадцати родам. В конце XX – начале XXI вв. сообщество веслоногих ракообразных состояло из двадцати трех видов и подвидов, относящихся к шестнадцати родам, в том числе шесть таксонов ниже рода копепод, новых для водоема. По сравнению с данными вековой давности исчезли двенадцать видов и подвидов веслоногих ракообразных.

Показана тенденция изменения видового состава копепод в эстуариях Калининградской области: сокращение числа хищных и преобладание мелких видов. Вселение и натурализация хищных кладоцер *Cercopagis pengoi* и двустворчатых моллюсков *Rangia cuneata* в Вислинский залив привели к структурно-функциональным изменениям в сообществе зоопланктона и повлияли на кормовую базу рыб.

*веслоногие ракообразные, Куршский залив, Вислинский залив, Балтийское море*

The article is devoted to analytical review of the sources on copepods species composition (CRUSTACEA: MAXILLOPODA: COPEPODA Milne-Edwards, 1840) inhabiting the largest estuaries of the Kaliningrad region - the Curonian and the Vistula Lagoons of the Baltic Sea.

Research of copepods species composition of the Curonian and the Vistula lagoons were initiated by scientists from the Königsberg University in the first half of XX century. According to their data, copepods of the Curonian Lagoon were represented by 15 species which belonged to 12 genera. At the end of XX - beginning of XXI centuries, copepods community of the Curonian Lagoon was represented by 24 species belonging to 16 genera. There 8 species and sub-species of copepods previously not indicated as a part of copepods community inhabiting the Curonian Lagoon were found. As compared to the data of scientists from the Königsberg University, 5 species and sub-species of copepods are not recorded at the present day.

In the early twentieth century, the Vistula Lagoon copepods were represented by 23 species and subspecies belonged to 20 genera. At the end of XX - beginning of XXI centuries, copepods community was represented by 23 species and subspecies belonging to 16 genera, including 6 taxa lower than copepods genera that are new to the estuary. As compared to the age-old data, 12 species and sub-species of copepods disappeared.

The trends in copepods species composition in the estuaries of the Kaliningrad region are shown: reduction in the number of predatory species and predominance of small species can be noted. Invasion and naturalization of predatory cladocerans *Cercopagis pengoi* and bivalves *Rangia cuneata* in the Vistula Lagoon led to the structural and functional changes in zooplankton community and had an impact on nutritive fish base.

*Copepoda, the Curonian Lagoon, the Vistula Lagoon, the Baltic Sea*

## ВВЕДЕНИЕ

Куршский и Вислинский заливы – крупные эстуарии Балтийского моря. Они являются трансграничными водоемами, находящимися в пределах Калининградской области, и в настоящее время позиционируются как эвтрофные эстуарии лагунного типа [1-3]. Эти заливы относятся к числу водоемов, расположенных в зоне хозяйственной и рекреационной деятельности человека и испытывающих высокий антропогенный пресс. Вот почему остро стоит проблема контроля экологического состояния водоемов и их населения, которая усиливается тем, что Вислинский залив имеет высокий водообмен с морем и характеризуется меняющимся градиентом солености, а это увеличивает неустойчивость системы и ее ранимость.

Веслоногие ракообразные - важный компонент зоопланктона и как кормовая база молоди рыб, и как фильтраторы, участвующие в самоочищении водоемов. Это свидетельствует о том, что сохранение экосистем и видового разнообразия – две взаимосвязанные проблемы, которые необходимо рассматривать комплексно.

Зоопланктон и фауна веслоногих ракообразных эстуариев изучена достаточно подробно. Исследования были начаты учеными Кенигсбергского университета, затем продолжены польскими, литовскими и российскими [4].

Цель настоящей работы – анализ изменений в видовой структуре сообщества веслоногих ракообразных Куршского и Вислинского заливов Балтийского моря. Таксономические списки из литературных источников, чтобы избежать синонимии, были приведены в соответствие с современной систематикой, заимствованной из Integrated Taxonomic Information System (ITIS) (<http://www.itis.gov/>). Названия видов копепод, отсутствовавших в списке ITIS (в тексте отмечены символом\*), авторы принимали по Е. В. Боруцкому и В. Dussart [5-7]. Полужирным шрифтом указаны виды, обнаруженные в период последних исследований и ранее для данных эстуариев не указывавшиеся.

#### ВИДОВОЙ СОСТАВ СОРЕПОДА КУРШСКОГО ЗАЛИВА

Исследования видового состава веслоногих ракообразных Куршского залива были начаты в первой половине XX в., их результаты опубликованы в монографии профессора Кенигсбергского университета Шмидт-Риса [8]. В этот период копеподы были представлены пятнадцатью таксонами ниже рода, которые относились к двенадцати родам. Современная фауна веслоногих ракообразных в прибрежной и открытой частях залива включает двадцать четыре вида, относящиеся к шестнадцати родам (табл. 1). Сведения о видовом составе копепод литовских ученых относятся лишь к северной части Куршского залива [9-10]. Регулярные исследования зоопланктона и веслоногих ракообразных в режиме мониторинга были продолжены только российскими учеными [11, 12]. Обнаружены восемь видов и подвидов копепод, которые ранее не указывались для Куршского залива. Это *Cyclops scutifer* G. O. Sars, 1863; *C. vicinus* Ulyanin, 1875; *Diacyclops bicuspidatus* (Claus, 1857); *D. bisetosus* (Rehberg, 1880); *Eurytemora velox* (Lilljeborg, 1853); *Microsetella* Brady et Robertson, 1873; *Paracyclops fimbriatus* (Fischer, 1853); *Thermocyclops crassus* (Fischer, 1853).

По сравнению с данными кенигсбергских ученых в зоопланктоне в современный период не встречались пять таксонов ниже рода копепод (табл. 1). Это *Diacyclops languidus* (G. O. Sars, 1863); *Eurytemora hirundo* Giesbrecht, 1881; *Nitokra hibernica* (Brady, 1880); *Nannopus palustris* Brady, 1880; *Trophocyclops praeinus* (Fischer, 1860).

Изменения зафиксированы в составе доминирующих видов копепод. В начале XX в. Шмидт-Рис [8] отмечал среди доминантов в сообществе копепод *Megacyclops viridis*, *Cyclops strenuus*. В настоящее время преобладающими видами стали *Mesocyclops leuckarti* и *Diaptomus graciloides*. Наблюдается тенденция снижения численности видов отряда Cyclopoida. В то же время, *M. leuckarti* значительно увеличил свою численность.

#### ВИДОВОЙ СОСТАВ ЗООПЛАНКТОНА ВИСЛИНСКОГО ЗАЛИВА

Исследования зоопланктона и веслоногих ракообразных Вислинского залива были начаты в конце XIX в. и обобщены кенигсбергским ученым Ванхоффеном [13]. В этот период копеподы были представлены двадцатью тремя видами и подвидами, относящимися к двадцати родам (табл. 2). В середине XX в. подробные исследования видового разнообразия копепод Вислинского залива продолжены польским ученым З. Рожаньской [14]. Одновременно начаты регулярные исследования в российской части Вислинского залива [11, 15]. В настоящее время,

по данным российских ученых, сообщество копепод включает двадцать три вида и подвида, относящиеся к шестнадцати родам.

Было обнаружено шесть таксонов ниже рода веслоногих ракообразных, которые ранее в Вислинском заливе не регистрировались (табл. 2). Это *Canthocamptus staphylinus* (Jurine, 1820); *Cyclops scutifer* G. O. Sars, 1863; *Megacyclops gigas* (Claus, 1857); *Paracyclops fimbriatus* (Fischer, 1853); *Mesocyclops dybowski* (Lande, 1890); *Thermocyclops oithonoides* (Sars, 1863)\*.

В то же время, в современный период по сравнению с данными столетней давности не регистрируются двенадцать видов и подвидов копепод. Это виды *Achtheres sandrae*\*; *Argulus foliaceus*\*; *Centropages hamatus* (Lilljeborg, 1853); *Cylindropsyllus brevicornis*; *Eudiaptomus gracilis* (G.O. Sars, 1862); *Ergasilus gasterostei*\*; *E. sieboldi* von Nordmann, 1832; *E. gibbus* von Nordmann, 1832; *Eurytemora velox* (Lilljeborg, 1853); *Mesochra rapiens* (Schmeil, 1894); *Onychocamptus mohammed* (Blanchard et Richard, 1891); *Tachidus brevicornis*\*.

Состав доминирующих видов копепод не изменился. Как и прежде, в их число входят *A. bifilosa*, *E. affinis*, *M. viridis*. На акватории Вислинского залива расположены порты и терминалы, что делает экосистему залива крайне уязвимой по отношению к биологическим инвазиям. Недавнее вселение в планктонное сообщество и успешная натурализация хищной кладоцеры *Cercopagis pengoi* и двустворчатого моллюска *Rangia cuneata* привели к существенным изменениям в структуре и функционировании зоопланктона [16, 17]. Увеличилась плотность мелких видов коловраток *Filinia longiseta*, *Keratella cochlearis*, *Brachionus angularis*, являющихся седиментаторами и питающихся мелкими фракциями сестона. Это определило изменения в кормовой базе рыб, которые связаны со снижением в летний период численности и биомассы веслоногих ракообразных, являющихся основным пищевым объектом молоди и планктоноядных рыб.

Таблица 1. Видовое разнообразие веслоногих ракообразных (Copepoda Milne-Edwards, 1840) Куршского залива

Table 1. Species composition of copepoda (Copepoda Milne-Edwards, 1840) of the Curonian lagoon

Таксон	[8]	[9,10]	[11]	[12]
1	2	3	4	5
<i>Acartia bifilosa</i> (Giesbrecht, 1881)		+		+
<i>Acartia clausi</i> Giesbrecht, 1889		+		
<i>Acartia longiremis</i> (Lilljeborg, 1853)		+		
<i>Canthocamptus staphylinus</i> (Jurine, 1820)		+	+	+
<i>Centropages hamatus</i> (Lilljeborg, 1853)		+		
<b><i>Cyclops scutifer</i> G.O. Sars, 1863</b>			+	
<i>Cyclops strenuus</i> Fischer, 1851	+	+	+	+
<b><i>Cyclops vicinus</i> Ulyanin, 1875</b>			+	
<b><i>Diacyclops bicuspidatus</i> (Claus, 1857)</b>			+	+
<b><i>Diacyclops bisetosus</i> (Rehberg, 1880)</b>			+	
<i>Diacyclops languidus</i> (G.O. Sars, 1863)	+			
<i>Diaptomus graciloides</i> Lilljeborg, 1888	+	+	+	+
<i>Ectonosoma edwardsi</i> (Richard)*		+		

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5
<i>Eucyclops macruroides</i> (Lilljeborg, 1901)		+		
<i>Eucyclops macrurus</i> (G.O. Sars, 1863)			+	
<i>Eucyclops serrulatus</i> (Fischer, 1851)	+	+	+	+
<i>Eudiaptomus gracilis</i> (G.O. Sars, 1862)	+		+	+
<i>Eurytemora affinis</i> (Poppe, 1880)	+	+	+	+
<i>Eurytemora hirundo</i> Giesbrecht, 1881	+			
<i>Eurytemora hirundoides</i> (Nordquist)	+	+		
<b><i>Eurytemora velox</i> (Lilljeborg, 1853)</b>			+	
<i>Macrocyclops albidus</i> (Jurine, 1820)	+		+	+
<i>Macrocyclops fuscus</i> (Jurine, 1820)		+	+	
<i>Megacyclops gigas</i> (Claus, 1857)	+		+	+
<i>Megacyclops viridis</i> (Jurine, 1820)	+		+	+
<i>Mesocyclops dybowskii</i> (Lande, 1890)		+	+	+
<i>Mesocyclops leukarti</i> (Claus, 1857)	+	+	+	+
<b><i>Microsetella</i> sp. Brady and Robertson, 1873</b>			+	
<i>Nannopus palustris</i> Brady, 1880	+			
<i>Nitokra hibernica</i> (Brady, 1880)	+			
<b><i>Paracyclops fimbriatus</i> (Fischer, 1853)</b>			+	+
<i>Pseudocalanus elongatus</i> (Boeck, 1865)		+		
<i>Temora longicornis</i> (O.F. Müller, 1785)		+		+
<b><i>Thermocyclops crassus</i> (Fischer, 1853)</b>			+	+
<i>Thermocyclops oithonoides</i> (G.O. Sars, 1863)*		+	+	+
<i>Tropocyclops prasinus</i> (Fischer, 1860)	+			
<b>Итого</b>	<b>15</b>	<b>18</b>	<b>22</b>	<b>17</b>

Таблица 2. Видовое разнообразие веслоногих ракообразных (Copepoda Milne-Edwards, 1840) Вислинского залива  
Table 2. Species composition of copepods (Copepoda Milne-Edwards, 1840) of the Vistula lagoon

Вид	[15]	[11]	[14]	[13]
1	2	3	4	5
<i>Acanthocyclops vernalis</i> (Fischer, 1853)		+		
<i>Acartia bifilosa</i> (Giesbrecht, 1881)	+	+	+	+
<i>Acartia longiremis</i> (Lilljeborg, 1853)	+		+	
<i>Acartia tonsa</i> Dana, 1849	+		+	
<i>Achtheres sandrae</i> Gadd.*				+
<i>Argulus foliaceus</i> L.*				+
<b><i>Canthocamptus staphylinus</i> (Jurine, 1820)</b>	+			
<i>Centropages hamatus</i> (Lilljeborg, 1853)				+
<b><i>Cyclops scutifer</i> G.O. Sars, 1863</b>	+			
<i>Cyclops</i> sp. Muller (copepodit)			+	
<i>Cyclops strenuus</i> Fischer, 1851	+	+		+
<i>Cyclops vicinus</i> Ulyanin, 1875	+		+	
<i>Cylindropsyllus brevicornis</i> Van Douwe*				+

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5
<i>Diacyclops bicuspidatus</i> (Claus, 1857)	+			+
<i>Diaptomus graciloides</i> Lilljeborg, 1888	+	+		
<i>Ergasilus gasterostei</i> Kroyer*				+
<i>Ergasilus gibbus</i> von Nordmann, 1832				+
<i>Ergasilus sieboldi</i> von Nordmann, 1832				+
<i>Eucyclops serrulatus</i> (Fischer, 1851)	+			+
<i>Eudiaptomus gracilis</i> (G.O. Sars, 1862)			+	+
<i>Eurytemora affinis</i> (Poppe, 1880)	+	+	+	+
<i>Eurytemora hirundoides</i> (Nordquist)	+	+		
<i>Eurytemora velox</i> (Lilljeborg, 1853)				+
Harpacticoida spp.	+	+	+	
<i>Macrocyclus albidus</i> (Jurine, 1820)				+
<b><i>Megacyclus gigas</i> (Claus, 1857)</b>	+			
<i>Megacyclus viridis</i> (Jurine, 1820)	+	+	+	+
<i>Mesochra rapines</i> (Schmeil, 1894)				+
<b><i>Mesocyclops dybowskii</i> (Lande, 1890)</b>	+			
<i>Mesocyclops leuckarti</i> (Claus, 1857)	+	+		+
<i>Nannopus palustris</i> Brady, 1880	+			+
<i>Nitokra hibernica</i> (Brady, 1880)	+			+
<i>Onychocamptus mohammed</i> (Blanchard & Richard, 1891)				+
<b><i>Paracyclops fimbriatus</i> (Fischer, 1853)</b>	+			
<i>Pseudocalanus elongates</i> (Boeck, 1865)	+		+	
<i>Tachidus brevicornis</i> Lill.*				+
<i>Temora longicornis</i> (O.F. Müller, 1785)	+		+	+
<b><i>Thermocyclops oithonoides</i> (G.O. Sars, 1863)*</b>	+			
<b>Итого</b>	<b>23</b>	<b>9</b>	<b>11</b>	<b>23</b>

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Ретроспективный анализ литературных данных позволил установить, что фауна веслоногих ракообразных в эстуариях Калининградской области имеет общие черты с фауной копепод других эстуариев Балтийского моря. В российской части Куршского залива, который является закрытым эстуарием лагунного типа, пресноводный комплекс копепод отличается большим разнообразием по сравнению с солоновато-водным комплексом Вислинского залива, имеющего значительный водообмен с морем. Существование пресноводного комплекса копепод в предустьевых участках рек актуально и для других эстуариев Балтийского моря [18]. Вследствие постепенного повышения трофического статуса Куршского и Вислинского заливов в сестоне отмечено возрастание доли мелкодисперсной фракции [19], повлекшее увеличение плотности тонких фильтраторов в сообществе копепод. Данное явление отражает общую тенденцию, которая наблюдается и в других эстуариях Балтийского моря [20]. В то же время, успешная натурализация хищных кладоцер *C. pengoi* и двустворчатых моллюсков *R. cuneata*, моллюсков, которые являются мощными фильтраторами, стала причиной структурных и функциональных изменений в сообществе зоопланктона Вислинского залива.

ва в целом в сторону увеличения численности мелких видов, а также снижения численности и биомассы веслоногих ракообразных в летний период.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 15-29-02706.

*Авторы выражают искреннюю благодарность профессору Р. Н. Буруковскому, который сделал ряд ценных замечаний.*

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Шибин, А. И. Обзор определений лагунных систем и подходов к классификации прибрежных водоемов / А. И. Шибин, Б. В. Чубаренко // Ученые записки Русского географического общества (Калининградское отделение). – Калининград, 2003. – Т. 2. – CD-ROM версия – 12С-1 – 12С-32.
2. Chubarenko B. V. The Vistula Lagoon / B. V. Cubarenko // Transboundary waters and basins in the South-East Baltic. – Kaliningrad: Terra Baltica. 2008. – P. 37-57.
3. Александров, С. В. Многолетние изменения трофического статуса Куршского и Вислинского заливов Балтийского моря / С. В. Александров // Биология внутренних вод. – № 4. – 2009. – С. 27-34.
4. Науменко, Е. Н. Видовой состав зоопланктона эстуариев Калининградской области (обзор) / Е. Н. Науменко, С. А. Судник // Известия КГТУ. – 2014. – № 35. – С. 32-43.
5. Боруцкий, Е. В. Определитель свободноживущих пресноводных веслоногих рачков СССР и сопредельных стран по фрагментам в кишечниках рыб / Е. В. Боруцкий. – Москва: АН СССР, 1960. – 218 с.
6. Dussart B. Les Copépodes des eaux continentales d'Europe occidentale. Tome I. Calanoides et Harpacticoides. – Paris: Ed.N.Boubee & Cie, 1967. – 197 p.
7. Dussart B. Les Copépodes des eaux continentales d'Europe occidentale. Tome II. Cyclopoïdes et Biologie. – Paris: Ed.N.Boubee & Cie, 1969. – 292 p.
8. Schmidt-Ries H. Untersuchungen zur Kenntnis des Pelagials eines Stagnationswassers (Kurisches Haff) // Zeitschriften für Fischerei und deren Hilfswissenschaften. – 1940. – Bd. 6, H. 2. – P. 183-322.
9. Киселите, Т. Зоопланктон залива Куршю Марес / Т. Киселите // Куршю Марес. Итоги комплексного исследования / под ред. К. Янкевичюса. – Вильнюс: Мокслас, 1959. – С. 169-190.
10. Мажейкайте, С. И. Зоопланктон северной части залива Куршю Марес в 1974 и 1975 годах / С. И. Мажейкайте // 1. Сезонные изменения численности и видового состава многочисленного зоопланктона // Труды АН Лит. ССР [Seasonal variations of numerical and species composition of large zooplankton // Proceedings of the Academy of Sciences of the Lithuanian SSR]. Серия Б. – Вильнюс, 1978 б. – №4/84. – С. 55-58.
11. Крылова, О. И. Функционирование планктона и бентоса Куршского и Вислинского заливов Балтийского моря в связи с их экологическими различиями / О. И. Крылова; АтлантНИРО. – Калининград, 1985. – 225 с. – Деп. в ЦНИИТЭИРХ. 21.10.85; №714-рх.

12. Науменко, Е. Н. Зоопланктон прибрежной части Куршского залива: монография / Е. Н. Науменко. – Калининград: Атлантический научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, 2006. – 178 с.
13. Vanhöffen E. Die niedere Tierwelt des Frischen Haffs / E. Vanhöffen // Sitzungbericht der Gesellschaft Naturforschender Freunde zu Berlin. – 1917. – №2. – P. 113-147.
14. Róžańska Z. Zooplankton Zalewu Wislanego / Z. Rozanska // Zeszyty Naukowe Wysej Szkoły Rolniczej w Olsztynie. – 1963. – Т. 16. – N 278. – S. 41-57.
15. Науменко, Е. Н. Структурно-функциональная организация зоопланктона Вислинского залива Балтийского моря: монография / Е. Н. Науменко. – Калининград: Атлантический научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, 2010. – 198 с.
16. Науменко, Е. Н. Влияние вида-вселенца *Cercopagis pengoi* (Ostroumov) на структуру и функционирование зоопланктона Вислинского залива Балтийского моря / Е. Н. Науменко, И. В. Телеш // Известия Самарского научного центра РАН. - 2008. - Т. 10. - № 5/1. - С. - 244-252.
17. Рудинская, Л. В. Вселение североамериканского двустворчатого моллюска *Rangia cuneata* (G.B. Sowerby i, 1831) (Bivalvia: Mactridae) в Вислинский залив Балтийского моря / Л. В. Рудинская, А. А. Гусев // Российский журнал биологических инвазий. – 2012. – № 2. – С.115-127.
18. Telesh I. Life in the Salinity Gradient: Discovering Mechanisms Behind a New Biodiversity Pattern / I. Telesh, H. Schubert, S. Skarlato // Estuarine, Coastal And Shelf Science. – 2013. - V. 135. - P. 317-327.
19. Chechko V. A. Spatial structure and evolution of bottom sediments in the Vistula Lagoon / V. A. Chechko//Transboundary waters and basins in the South-East Baltic. – Kaliningrad: Terra Baltica. 2008. – P. 244-249.
20. Науменко, Е. Н. Структурно-функциональная организация зоопланктона Куршского и Вислинского заливов Балтийского моря: дисс. ... докт. биол. наук: 03.00.18 - Гидробиология / Науменко Елена Николаевна; Зоологический институт. – Санкт-Петербург, 2009. – 312 с.

## REFERENCES

1. Shibin A. I., Chubarenko B. V. Obzor opredeleniy lagunnykh sistem i podkhodov k klassifikatsii pribrezhnykh vodoemov [Overview of definitions of lagoon systems and approaches to classification of near-shore water bodies]. *Uchenye zapiski Russkogo geograficheskogo obshchestva (Kaliningradskoe otделение)*. Kaliningrad, 2003, vol. 2. CD-ROM versiya – 12S-1 – 12S-32.
2. Chubarenko B. V. The Vistula Lagoon. Transboundary waters and basins in the South-East Baltic. Kaliningrad, Terra Baltica, 2008, pp. 37-57.
3. Aleksandrov S. V. Mnogoletnie izmeneniya troficheskogo statusa Kurshskogo i Vislinskogo zalivov Baltijskogo morya [Longterm observations of the trophic status of the Curonian and Vistula Lagoons of the Baltic Sea]. *Biologiya vnutrennikh vod*, 2009, no. 4, pp. 27-34.
4. Naumenko E. N., Sudnik S. A. Vidovoy sostav zooplanktona estuarijev Kaliningradskoy oblasti (obzor) [Species composition of zooplankton of the Kaliningrad region estuaries (overview)]. *Izvestiya KGTU*, 2014, no. 35, pp. 32-43.

5. Borutskiy E. V. *Opredelitel' svobodnozhivushchikh presnovodnykh veslonogikh rachkov SSSR i sopredel'nykh stran po fragmentam v kishechnikakh ryb* [Manual for the identification of free living fresh water copepoda in the USSR and neighboring states by fragments in fish intestines]. Moscow, AN SSSR, 1960, 218 p.
6. Dussart B. *Les Copepodes des eaux continentales d'Europe occidentale. Tome I. Calanoides et Harpacticoides*. Paris: Ed. N.Boubee & Cie, 1967, 197 p.
7. Dussart B. *Les Copepodes des eaux continentales d'Europe occidentale. Tome II. Cyclopoides et Biologie*. Paris: Ed. N.Boubee & Cie, 1969, 292 p.
8. Schmidt-Ries H. Untersuchungen zur Kenntnis des Pelagials eines Strangewassers (Kurisches Haff). *Zeitschriften für Fischerei und deren Hilfswissenschaften*, 1940, Bd. 6, H. 2, pp. 183-322.
9. Kiselite T. *Kurshyu Mares. Itogi kompleksnogo issledovaniya* [Kursiu Marios. Results of integrated research]. Vil'nyus, Mokslas, 1959, pp. 169-190.
10. Mazheykayte S. I. Zooplankton severnoy chasti zaliva Kurshyu Mares v 1974 i 1975 godakh [Zooplankton of the northern part of Kursiu Marios in 1974 and 1975]. 1. *Sezonnye izmeneniya chislennosti i vidovogo sostava mnogochislennogo zooplanktona. Trudy AN Lit. SSR* [Seasonal variations of numerical and species composition of large zooplankton. Proceedings of the Academy of Sciences of the Lithuanian SSR]. Vil'nyus, 1978, no. 4 (84), pp. 55-58.
11. Krylova O. I. *Funktsionirovanie planktona i bentosa Kurshskogo i Vislinskogo zalivov Baltijskogo morya v svyazi s ikh ekologicheskimi razlichiyami* [Functioning of the plankton and benthos of the Curonian and Vistula Lagoons of the Baltic Sea in relation to their environmental differences]. Kaliningrad, AtlantNIRO, 1985, 225 p.
12. Naumenko E. N. *Zooplankton pribrezhnoy chasti Kurshskogo zaliva* [Zoological plankton of the coastal area of the Curonian Lagoon]. Kaliningrad, Atlant. NII ryb. khoz-va i okeanografii, 2006, 178 p.
13. Vanhöffen E. Die niedere Tierwelt des Frischen Haffs. *Sitzungsbericht der Gesellschaft Naturforschender Freunde zu Berlin*. 1917, no. 2, pp. 113-147.
14. Róžańska Z. Zooplankton Zalewu Wislanego. *Zeszyty Naukowe Wysej Szkoły Rolniczej w Olsztynie*. 1963. vol. 16, no. 278, pp. 41-57.
15. Naumenko E. N. *Strukturno-funktsional'naya organizatsiya zooplanktona Vislinskogo zaliva Baltijskogo morya* [Structural and functional organization of the zoological plankton of the Vistula Lagoon of the Baltic Sea]. Kaliningrad, Atlant. NII ryb. khoz-va i okeanografii, 2010, 198 p.
16. Naumenko E. N. Vliyanie vida-vselemtsa *Sercopagis pengoi* (Ostroumov) na strukturu i funktsionirovanie zooplanktona Vislinskogo zaliva Baltijskogo morya [Influence of invading species *Sercopagis pengoi* (Ostroumov) on the structure and functioning of zoological plankton of the Vistula Lagoon of the Baltic Sea]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN*. 2008, vol. 10, no. 5 (1), pp. 244-252.
17. Rudinskaya L. V., Gusev A. A. Vselenie severoamerikanskogo dvustvorchatogo mollyuska *Rangia cuneata* (G.B. Sowerby i, 1831) (Bivalvia: Mactridae) v Vislinskiy zaliv Baltijskogo morya [Immigration of North American clam *Rangia cuneata* (G.B. Sowerby i, 1831) (Bivalvia: Mactridae) to the Vistula Lagoon]. *Rossiyskiy zhurnal biologicheskikh invaziy*, 2012, no. 2, pp. 115-127.
18. Telesh I., Schubert H., Skarlato S. Life in the Salinity Gradient: Discovering Mechanisms Behind a New Biodiversity Pattern. *Estuarine, Coastal And Shelf Science*. 2013, vol. 135, pp. 317-327.

19. Chechko V. A. Spatial structure and evolution of bottom sediments in the Vistula Lagoon. Transboundary waters and basins in the South-East Baltic. Kaliningrad, Terra Baltica, 2008, pp. 244-249.

20. Naumenko E. N. Structural-Functional Organization of Zooplankton in the Curonian and Vistula Lagoons of the Baltic Sea: Diss. ... Doctor of Philosophy of Biology: 03.00.18 - Hydrobiology / Naumenko Elena Nikolaevna; Zoological Institute. – S-Petersburg, 2009. – 312 p.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Науменко Елена Николаевна* – Калининградский государственный технический университет; доктор биологических наук, доцент, зав. кафедрой ихтиопатологии и гидробиологии; E-mail: elenan.naumenko@gmail.com

*Naumenko Elena Nikolaevna* – Kaliningrad State Technical University; Doctor of Biology, Assistant professor, Head of the Department of ichthyopatolgy and hydrobiology; E-mail: elenan.naumenko@gmail.com

*Судник Светлана Александровна* – Калининградский государственный технический университет; кандидат биологических наук, доцент кафедры ихтиопатологии и гидробиологии; E-mail: lanasudnik@mail.ru

*Sudnik Svetlana Alexandrovna* – Kaliningrad State Technical University; PhD in Biology, Assistant professor of the Department of ichthyopatolgy and hydrobiology; E-mail: lanasudnik@mail.ru

УДК 639.3:[597.556.33+597.552.51](06)

ОСОБЕННОСТИ ДОМСТИКАЦИИ СУДАКА (*SANDER LUCIOPERCA*)  
И РАДУЖНОЙ ФОРЕЛИ (*ONCORHYNCHUS MYKISS*) НА ЭТАПАХ РОСТА  
И СОЗРЕВАНИЯ В УСЛОВИЯХ УСТАНОВОК ЗАМКНУТОГО  
ВОДООБЕСПЕЧЕНИЯ

Д. С. Пьянов, К. А. Молчанова, А. Б. Дельмухаметов, Е. И. Хрусталеv

DOMESTICATION OF PIKEPERCH (*SANDER LUCIOPERCA*) AND RAINBOW  
TROUT (*ONCORHYNCHUS MYKISS*) AT THE GROWTH AND MATURATION  
STAGES UNDER RAS CONDITIONS

D. S. Pryanov, K. A. Molchanova, A. B. Delmukhametov, E. I. Khrustalyov

В данной работе представлены результаты формирования продукционных стад судака (*Sander lucioperca*) и радужной форели (*Oncorhynchus mykiss*). Дана оценка репродуктивных качеств искусственно выращенных в условиях установок замкнутого водообеспечения (УЗВ) производителей: родительской генерации судака и ее потомства; первой и второй генераций радужной форели. Все исследования проводились в Калининградской области.

Репродуктивные показатели производителей судака родительской генерации были следующими: рабочая плодовитость составила  $92,1 \pm 5,5$  тыс. шт., относительная рабочая плодовитость –  $77,8 \pm 2,3$  тыс. шт./кг, диаметр икринок –  $1,10 \pm 0,03$  мм, время подвижности сперматозоидов у самцов –  $187,00 \pm 0,10$  с, объем эякулята –  $1,02 \pm 0,05$  мл. У самок судака первой генерации рабочая плодовитость оказалась  $23,3 \pm 1,1$  тыс. шт., относительная рабочая плодовитость –  $58,2 \pm 1,9$  тыс. шт./кг, время подвижности сперматозоидов самцов –  $108,00 \pm 0,01$  с, объем эякулята –  $0,58 \pm 0,02$  мл.

Репродуктивные показатели производителей форели первой генерации составляли: рабочая плодовитость –  $2,0 \pm 0,9$  и  $4,1 \pm 2,0$  тыс. шт., относительная рабочая плодовитость –  $6,8 \pm 1,5$  и  $12,7$  тыс. шт./кг у впервые созревших и повторно созревших самок соответственно, диаметр икринок –  $4,10 \pm 0,55$  и  $5,90 \pm 0,43$  мм, время подвижности сперматозоидов –  $51,30 \pm 5,70$  с, объем эякулята –  $9,17 \pm 3,33$  мл. Рабочая плодовитость самок второй генерации оказалась  $2,1 \pm 0,6$  и  $2,3 \pm 1,1$  тыс. шт., относительная рабочая плодовитость –  $4,0 \pm 1,2$  и  $4,4 \pm 2,0$  тыс. шт./кг у впервые созревших и повторно созревших соответственно, диаметр икринок –  $3,80 \pm 0,16$  и  $4,80 \pm 0,10$  мм, время подвижности сперматозоидов –  $46,00 \pm 2,60$  с, объем эякулята –  $9,30 \pm 2,52$  мл.

Полученные результаты говорят о положительных репродуктивных показателях искусственно выращенных производителей. Эти данные могут быть использованы при разработке технологии формирования продукционных стад (доместикации) и необходимы для обоснования полноциклического процесса разведения рыб.

*судак, радужная форель, маточное стадо, репродуктивные показатели, рабочая плодовитость, относительная рабочая плодовитость, время подвижности сперматозоидов*

This article presents the results related to the formation of broodstock of pikeperch (*Sander lucioperca*) and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Estimation of breeding parameters of artificially cultivated in the recirculating aquaculture systems broodstock is given for: parental generation of pikeperch and its first filial generation; the first and second generations of the rainbow trout. The research was carried out in the Kaliningrad region, Russia.

Breeding performance of parental generation of pikeperch was the following: the absolute fecundity  $92,1 \pm 5,5$  thou. eggs, the relative fecundity  $77,8 \pm 2,3$  thou. eggs/kg, the medium diameter of one egg  $1,10 \pm 0,03$  mm, sperm motility  $187,00 \pm 0,10$  sec, semen volume  $1,02 \pm 0,05$  ml. The absolute fecundity of the first generation of pikeperch has been  $23,3 \pm 1,1$  thou. eggs, the relative fecundity has been  $58,2 \pm 1,9$  thou. eggs/kg, sperm motility has been  $108,00 \pm 0,01$ , semen volume  $0,58 \pm 0,02$  ml.

Breeding performance of the first generation of rainbow trout was the following: the absolute fecundity  $2,0 \pm 0,9$  and  $4,1 \pm 2,0$  thou. eggs, the relative fecundity  $6,8 \pm 1,5$  and  $12,7 \pm 1,7$  thou. eggs/kg, the diameter of one egg  $4,10 \pm 0,55$  and  $5,90 \pm 0,43$  mm for the first and second time matured females respectively, sperm motility  $51,30 \pm 5,70$  sec, semen volume  $9,17 \pm 3,32$  ml. The absolute fecundity of the second generation of rainbow trout has been  $2,1 \pm 0,6$  and  $2,3 \pm 1,1$  thou. eggs, the relative fecundity has been  $4,0 \pm 1,2$  and  $4,4 \pm 2,0$  thou. eggs/kg, the diameter of one egg has been  $3,80 \pm 0,16$  and  $4,80 \pm 0,10$  mm for the first and second time matured females respectively, sperm motility has been  $46,00 \pm 2,60$ , semen volume  $9,30 \pm 2,52$  ml.

The obtained results of the breeding parameters of the artificial cultivated broodstock were positive. These data can be used in the development of broodstock formation technology (domestication) and are necessary for provision of a rationale for a complete cycle of fish cultivation.

*pikeperch, rainbow trout, broodstock, breeding parameters, absolute fecundity, relative fecundity, sperm motility*

## ВВЕДЕНИЕ

Установки замкнутого водообеспечения – высшая форма индустриального рыбоводства, позволяющая человеку добиться наибольшего контроля условий выращивания. При свойственных УЗВ недостатках (относительная дороговизна и техническая сложность) они в достаточной степени популярны и широко распространены. Растет и список видов рыб, выращиваемых в УЗВ.

Объекты нашего исследования – судак и форель – не являются типичными видами рыб для выращивания в УЗВ. Возможность выращивания судака в условиях замкнутого цикла обусловлена его высокими вкусовыми качествами, хорошим темпом роста, а также растущей ценой. Что же касается форели, традиционного объекта прудового и садкового рыбоводства, то ее выращивание в УЗВ может быть перспективно при сложностях с поддержанием необходимого температурного режима «под открытым небом» либо на отдельных этапах производственного процесса.

Вынесенный в заголовок термин «доместикация» по отношению к форели можно применить условно, поскольку для нее показан длительный период разведения и выращивания в индустриальных хозяйствах. Однако в нашем случае гибридная форма форели, около 30 лет разводимая и выращиваемая в садковом

хозяйстве «Прибрежное» Калининградской области, впервые была апробирована как объект полноциклического производства в условиях замкнутого цикла водообеспечения [1, 2].

Это представляет интерес, поскольку в условиях происходящего в последние 30 лет потепления климата в средней полосе России, и даже в более северных районах, разведение форели стало иметь много рисков, особенно при выращивании посадочного материала в летний период в открытых рыбоводных системах (бассейновые, садковые, прудовые), когда температура воды на длительный (40-60-суточный и более) период повышается до 22-24 °С. Отсюда неизбежные потери поголовья, нарушение в гаметогенезе производителей, планировании производственного процесса получения товарной рыбы.

В 70-80-е годы в Советском Союзе были проведены работы по изучению рыбоводно-биологических особенностей выращивания форели в УЗВ, но дальше создания первичной нормативной базы получения посадочного материала исследования не продвинулись [3]. Вместе с тем работы по доместикации и формированию маточных стад судака до недавнего времени совсем не осуществлялись.

В отношении судака речь идет о непосредственной доместикации, поскольку для введения в рыбохозяйственный оборот индустриального рыбоводного хозяйства, каковым является установка замкнутого цикла водообеспечения, используется оплодотворенная икра «дикого» судака Куршского залива, полученная на искусственных нерестовых гнездах и помещенная на 5-й стадии эмбрионального развития в инкубационную систему [4].

Вот почему очевидна необходимость научно-технического обоснования полноциклического процесса разведения и выращивания форели в установках замкнутого водообеспечения, имеющего целью оценку особенностей роста и созревания рыб в условиях УЗВ, репродуктивных качеств производителей. На основании этого можно будет говорить о смещении сроков созревания производителей и построении полициклических схем производства посадочного материала и товарной рыбы. Аналогичную цель преследует научно-техническое обоснование процесса разведения и выращивания судака в УЗВ.

Целью нашего исследования был анализ сроков созревания и оценка репродуктивных качеств производителей судака и форели, выращенных в искусственных условиях.

#### МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Исследовали две генерации судака и форели, выращенные в условиях УЗВ. Одна генерация судака является родительской, исходным материалом для неё послужила молодь, полученная из икры дикого судака и завезенная из инкубационного цеха СХК «Рыболовецкий колхоз «Имени Матросова»» (пос. Головкино, Калининградская область). В 2007-2010 гг. из этой молоди было сформировано ремонтно-маточное стадо, от которого в апреле 2011 г. получили первое потомство (первую генерацию), впоследствии с ним вели работы по выращиванию как производителей, так и товарной рыбы [5].

Молодь первой генерации форели была завезена из садкового нерестово-выростного хозяйства ООО «Аквакультура» (пос. Прибрежное, Калининградская

область) в 2012 г. Первое потомство от этой генерации получили в конце зимы 2013 г.

Все исследования проводили на базе УЗВ ООО «КМП Аква» (г. Светлый) и ООО «ТПК Балтптицепром» (г. Калининград). В состав технических узлов УЗВ входили: бассейны размером 1×0,5×0,4; 2×2×1; 3,5×2,2×1,2 м с уровнем воды от 0,25 до 1 м и водообменом один раз в час; механические фильтры с наклонным сетным полотном с ячейей 0,3 мм; биологические фильтры «кипящего слоя» с загрузкой из гранулированного полиэтилена; дегазаторы; ультрафиолетовые устройства в виде «батареи» с параллельным размещением ультрафиолетовых ламп, помещенных в каркас из полипропиленовых труб; оксигенаторы конусного типа; компрессоры для барботажа слоя гранул в биофильтрах; насосы для обеспечения циркуляции воды. Ежесуточная подпитка свежей воды на разных этапах составляла 3-10%.

В процессе исследований изучали особенности роста и созревания судака и форели. Скорость роста оценивали по величине общепродукционного коэффициента массонакопления (1) [6]:

$$K_M = \frac{(\sqrt[3]{M_K} - \sqrt[3]{M_H}) \times 3}{\Delta T}, \quad (1)$$

где  $M_H$  и  $M_K$  – масса рыб начальная и конечная, г;  $\Delta T$  – период выращивания, сут.

Готовность производителей к нересту оценивали по вторичным половым признакам, характеру поведения, легкости отдачи половых продуктов. У судака и форели рабочую плодовитость самок устанавливали объёмным методом учёта икры. Диаметр икринок определяли в десяти различных пробах путем промера десяти положенных в ряд икринок с последующим делением на десять. Подвижность сперматозоидов оценивали при помощи микроскопа Микмед-1 (ОАО «ЛОМО», Санкт-Петербург). На предметное стекло наносили каплю спермы, прибавляли каплю воды и устанавливали время от начала до конца поступательных движений. Объем эякулята определяли в счетной камере. Исследовали пятнадцать самок и двадцать самцов судака, шесть самок и пятнадцать самцов форели.

Весь собранный материал обрабатывали статистически с помощью программного пакета R 3.2.3. Для определения достоверности различий использовали метод однофакторного дисперсионного анализа.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Первое, на что следует обратить внимание и что может быть признано как очевидный эффект доместикации, – созревание производителей судака первой генерации, выращенной от икры «дикого» судака (впоследствии - генерация родителей) в возрасте 35-36 мес. К этому времени сумма градусодней, набранная за весь период до созревания, составила 18088, средняя температура воды – 19,9±0,5 °С, средняя масса производителей судака в возрасте трехгодовиков – 1124,1±6,3 г. В свою очередь, созревание производителей первой генерации произошло в возрасте 22-24 мес. Сумма градусодней на этот период достигла 11423, средняя температура – 15,2±0,6 °С, конечная масса рыбы – 409,0±3,5 г.

Сумма градусодней при выращивании производителей радужной форели первой генерации (без учета периода выращивания 2-граммовой молоди)

составила 5720. Первые текущие самцы были обнаружены в конце декабря 2012 г., первые текущие самки – в конце января 2013 г.

Первые текущие самцы второй генерации производителей были обнаружены в конце января 2014 г. Основная группа самок созрела в феврале-марте 2014 г. (возраст впервые созревших производителей 22-24 мес.). Однако среди рыб второй генерации в конце мая оказалось 30% самцов и 10% самок с текущими половыми продуктами, впервые созревших в возрасте 14 мес. Тепловой баланс для этой группы производителей составил 3400 градусодней. Созревание было отмечено при температуре воды 17-18 °С. Средняя масса самцов достигла  $870,0 \pm 95,3$ , самок –  $1231,1 \pm 119,6$  г.

Таким образом, производители радужной форели первой и второй генераций (потомство от первой генерации), за исключением созревших в возрасте 14 мес., впервые созревали в возрасте 22-24 мес. Причем средняя масса самок в первой генерации производителей была в диапазоне 1300-1500, самцов 1000-1300 г. Во второй генерации –  $1964,5 \pm 218,1$  и  $1824,3 \pm 420,3$  г соответственно.

Скорость роста судака и радужной форели отражена на рис. 1.

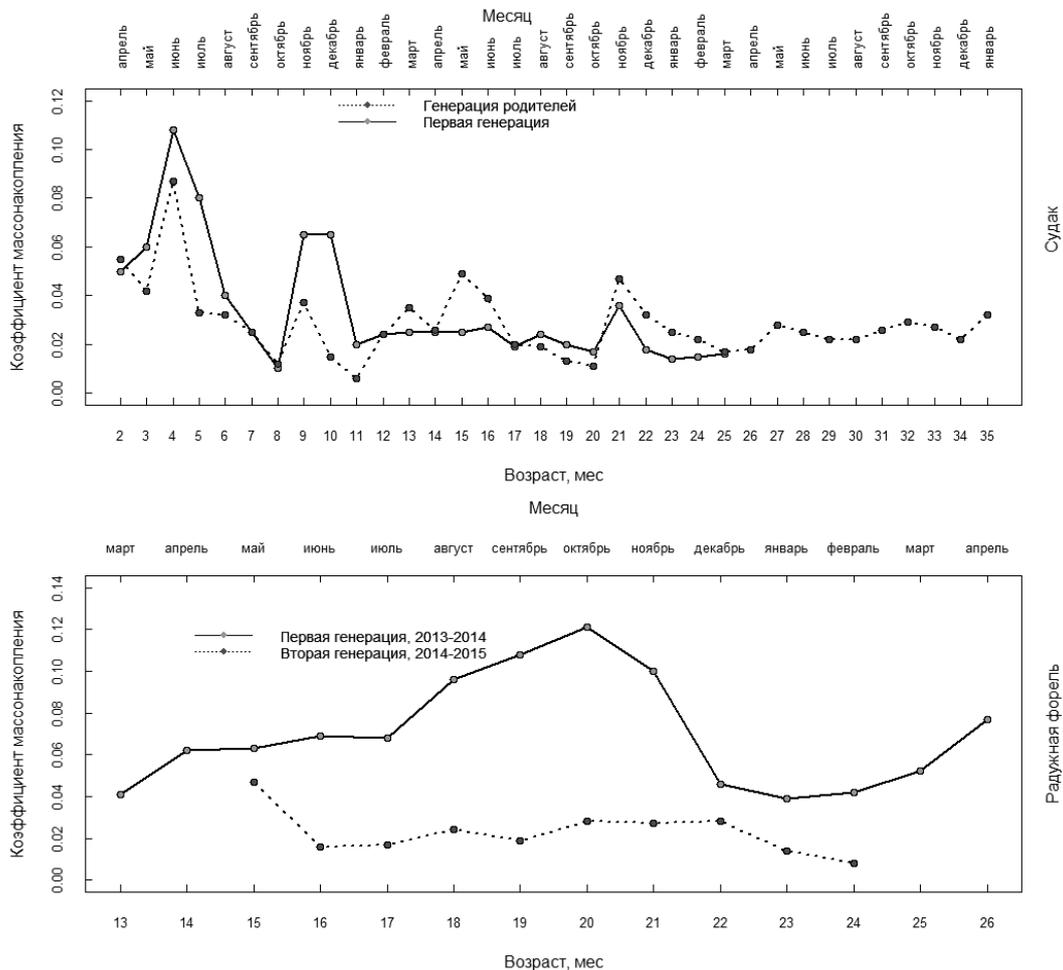


Рис. 1. Значения общепродукционного коэффициента массонакопления у двух генераций судака, выращенных в УЗВ

Fig. 1. Values of growth rate coefficient of two pikeperch generations cultivated in RAS

Среднее значение  $K_m$  для первой генерации составило  $0,035 \pm 0,005$ , для родительской генерации –  $0,027 \pm 0,002$ . Причем если оценивать влияние скорости роста на возраст созревания производителей судака, следует отметить, что достоверной связи выявлено не было. В родительской генерации в возрасте 24 мес. средняя масса рыб была  $435,0 \pm 3,9$ , в первой –  $409,0 \pm 3,5$  г.

При оценке скорости роста производителей форели второй генерации по величине коэффициента массонакопления обнаружено, что, несмотря на высокую температуру воды, в июне-августе он был достаточно большим. Максимальное значение показателя зафиксировано в мае 2014 г. при средней температуре  $19,9 \pm 0,3$  °С, оно составило  $0,047$ , закономерно снижаясь к началу нерестовой кампании. При этом средняя температура выращивания была  $15,6 \pm 1,2$  и  $16,8 \pm 1,4$  °С для первой и второй генераций соответственно (рис. 2).

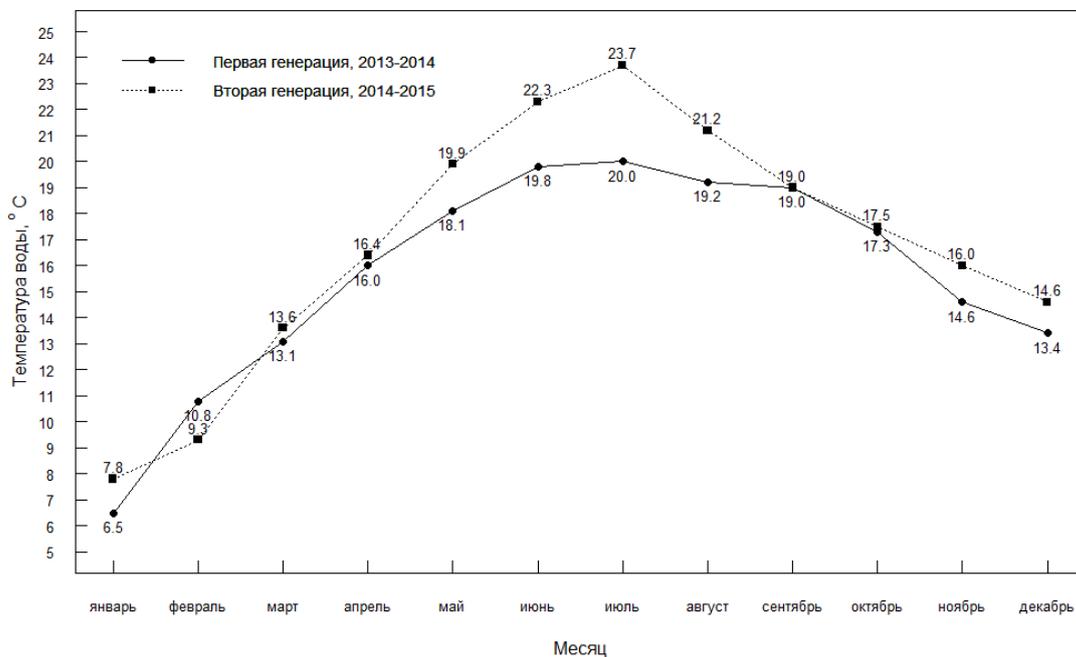


Рис. 2. Значения температуры воды при выращивании производителей форели первой и второй генерации

Fig. 2. Values of water temperature during cultivation of trout broodstock of the first and second generation

У судака рабочая плодовитость самок родительской генерации составила  $92,1 \pm 5,5$  тыс. шт., относительная рабочая плодовитость –  $77,8 \pm 2,3$  тыс. шт./кг, размер икринок –  $1,10 \pm 0,03$  мм, время подвижности сперматозоидов –  $187,00 \pm 0,10$  с, объем эякулята у самцов –  $1,02 \pm 0,05$  мл.

У самок судака первой генерации рабочая плодовитость оказалась  $23,3 \pm 1,1$  тыс. шт., относительная рабочая плодовитость –  $58,2 \pm 1,9$  тыс. шт./кг, время подвижности сперматозоидов –  $108,00 \pm 0,01$  с, объем эякулята самцов –  $0,58 \pm 0,02$  мл.

У производителей форели средний диаметр овулировавших икринок у созревших самок варьировал от 2,0 до 4,1 мм. Диаметр икринок после набухания

составил 4,8-5,9 мм. Рабочая плодовитость самок первой генерации оказалась в среднем у впервые созревших  $2,0 \pm 0,9$  и повторно созревших  $4,1 \pm 2,0$ , у второй генерации –  $2,1 \pm 0,6$  и  $2,3 \pm 1,1$  тыс. шт. икринок соответственно. У самцов объём единовременно отцеживаемой порции эякулята составлял 9,2-9,3 мл, время подвижности сперматозоидов у самцов двух генераций – в среднем  $48,65 \pm 2,65$  с. Процент оплодотворения икры у повторно нерестящихся самок был выше по сравнению с первично нерестящимися 93-95%.

Репродуктивные особенности искусственно выращенных производителей судака и форели представлены в таблице.

Таблица. Репродуктивные показатели производителей судака и форели  
Table. Breeding parameters of pikeperch and trout

Показатель	Вид			
	Судак		Радужная форель	
	Генерация родителей	Первая генерация	Первая генерация	Вторая генерация
Рабочая плодовитость, тыс. шт.	$92,1 \pm 5,5$	$23,3 \pm 1,1$	$2,0 \pm 0,9$ $4,1 \pm 2,0^2$	$2,1 \pm 0,6$ $2,3 \pm 1,1^2$
Относительная рабочая плодовитость, тыс. шт./кг	$77,8 \pm 2,3^1$	$58,2 \pm 1,9^1$	$6,8 \pm 1,5^1$ $12,7 \pm 1,7$	$4,0 \pm 1,2^1$ $4,4 \pm 2,0$
Диаметр икринок, мм	$1,10 \pm 0,03$	$1,07 \pm 0,02$	$4,10 \pm 0,55$ $5,90 \pm 0,43^3$	$3,80 \pm 0,16$ $4,80 \pm 0,10^3$
Время подвижности сперматозоидов, с	$187,00 \pm 0,10$	$108,00 \pm 0,01$	$51,30 \pm 5,70$	$46,00 \pm 2,60$
Объём эякулята, мл	$1,02 \pm 0,05$	$0,58 \pm 0,02$	$9,17 \pm 3,33$	$9,30 \pm 2,52$
<sup>1,2,3</sup> – различия достоверны при $p < 0,001$ ; $0,01$ ; $0,05$				

Средние значения относительной рабочей плодовитости самок судака родительской и первой генераций имеют достоверные различия ( $p < 0,001$ ). У производителей форели средние значения рабочей плодовитости у повторно созревших самок также имеют достоверные различия ( $p < 0,01$ ), значения относительной рабочей плодовитости у впервые созревших самок достоверны при  $p < 0,001$ , диаметр икринок – при  $p < 0,05$ .

#### ОБСУЖДЕНИЕ

Решающее влияние на созревание судака, вероятно, оказало наличие на этапах «искусственной зимовки» периодов с более низкой температурой воды, что показано для рыб первой генерации. Минимальная температура воды в течение двух месяцев в первую «зимовку» была 12-14, во вторую – 5,8-9,5 °С. Для генерации родителей «зимовку» проводили при температуре 12,5-14,0 °С.

Стоит отметить, что при управляемом режиме выращивания товарного судака (части рыб первой генерации, отправленной на товарное выращивание), когда средняя температура за период 24 мес. составила  $20,2 \pm 0,1$  °С, скорость роста рыб, определяемая величиной  $K_m$ , оказалась  $0,049 \pm 0,004$ , а достигнутая масса –  $723 \pm 31,4$  г [5].

Низкую рабочую плодовитость самок судака первой генерации можно связать с ранним созреванием. Например, у самок судака Куршского залива среднего возраста более шести лет рабочая плодовитость составляет  $271,1 \pm 14,2$  тыс. шт. икринок [4]. Более того, стоит отметить, что существует прямая зависимость между массой самки и ее плодовитостью. Так, невысокую плодовитость можно наблюдать у молодых особей, имеющих низкую массу и малую длину тела [7]. Это согласуется с нашими результатами, так как на момент созревания первой генерации средняя масса рыб оказалась  $409,0 \pm 3,5$  г. Вместе с тем при выведении на созревание рыб из товарной группы рабочая плодовитость составила  $77,9 \pm 4,7$  тыс. шт. икринок при средней массе самок  $723 \pm 31,4$  г [5].

Полученные значения относительной рабочей плодовитости искусственно выращенного судака двух генераций в целом соотносятся со значениями, характерными для судака из естественной среды обитания, которые колеблются в диапазоне от 48 до 467 тыс. шт./кг [7]. Например, относительная рабочая плодовитость самок судака Куршского залива составляет  $96,3 \pm 4,7$  тыс. шт./кг массы [4].

По сравнению с другими видами окуневых икра судака имеет сравнительно малый размер. Диаметр икринок в среднем варьирует от 0,5 до 1,4 мм [7]. В нашем случае он находился в отмеченном диапазоне, каких-либо отклонений не наблюдалось.

Продолжительность подвижности сперматозоидов зависит от вида рыбы и является важным параметром, влияющим на оплодотворяемость икры. В. Korbulу с соавторами [8], отбирая молоки у судака массой 0,7-1,4 кг, установили время подвижности сперматозоидов – от 78 до 120 с. Так, у первой генерации судака значение этого показателя находилось в пределах описанного диапазона. Сперматозоиды производителей судака нерестовой части популяции Куршского залива были подвижны в течение 75 с [4].

Таким образом, первая генерация судака, полученная от родительской, вполне пригодна для рыбоводных целей. Достижение высоких темпов роста и, как следствие, более раннего созревания позволило добиться хороших рыбоводных показателей производителей судака.

У форели снижение значения коэффициента массонакопления связано с изменением физиологического состояния производителей, достигших стадии половой зрелости, при котором значительная часть энергии шла не на соматический рост, а на генеративный обмен.

Основная группа самок созрела в феврале-начале марта при температуре воды около  $7^{\circ}\text{C}$ , что на  $1,5-2^{\circ}\text{C}$  ниже минимальной зафиксированной во второй половине января-первой половине февраля 2013 г. Таким образом, возраст созревания производителей форели составил в УЗВ 22-24 мес. с момента вылупления предличинок.

Высокая рабочая плодовитость, установленная для самок форели садкового хозяйства (первая генерация), в большей мере связана с возрастом и массой. Для самцов двух сравниваемых хозяйств не удалось обнаружить достоверных различий ни по показателю среднего объема эякулята, ни по среднему времени подвижности сперматозоидов.

Литературные данные дают противоречивые результаты. Так, в свое время сотрудниками ГосНИОРХ по селективно-племенной работе на эксперименталь-

ной станции «Ропша» было сформировано маточное стадо радужной форели. Однако, ввиду того, что этот опыт не был отработан и проводился впервые в нашей стране еще в 70-х годах прошлого столетия, показатели рабочей и относительной рабочей плодовитости были сравнительно низкими, составляя у 2-годовалых самок 1,6 тыс. шт. и 3,6 тыс. шт./кг; в возрасте пяти лет – 5,6 тыс. шт. и 2,1 тыс. шт./кг соответственно [3].

R. Serezli с соавторами [9] оценивали репродуктивные показатели производителей форели, выращенной в прудах. Созревание самок наступило в возрасте трех лет, а величина рабочей плодовитости и относительной рабочей плодовитости составила  $2,8 \pm 0,8$  тыс. шт. и  $2,1 \pm 0,7$  тыс. шт./кг соответственно [9]. М.Е. Özgür и İ. Bayir исследовали маточное стадо форели, полученное в условиях УЗВ, где рабочая плодовитость 4-годовалых самок оказалась  $6,0 \pm 0,4$  тыс. шт., а относительная рабочая плодовитость –  $1,6 \pm 0,1$  тыс. шт./кг [10].

Диаметр икринок у радужной форели, по наблюдениям многих авторов, варьирует в диапазоне 4,2-5,6 мм [3, 9-12]. В нашем случае у впервые созревших самок он оказался несколько ниже. Это может говорить о том, что размер икры у самок увеличивается с возрастом. В приведенных выше исследованиях средний возраст созревших самок был от трех лет и выше. Отметим, что поскольку мелкая икра не позволяет получить хороший выход полноценного жизнеспособного потомства, икру от впервые созревших самок следует реализовать как пищевую.

Значения времени подвижности сперматозоидов у двух генераций форели в целом оказались схожими с таковым из литературных источников. По наблюдениям ряда авторов, продолжительность подвижности сперматозоидов у форели находится в пределах 23-55 с [3, 10, 13].

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, первые этапы domestikации судака и формирования двух генераций производителей радужной форели в условиях УЗВ показывают влияние управляемого температурного режима на сокращение возраста первого созревания производителей, увеличение темпов роста выращиваемой рыбы. Следует отметить, что скорость роста рыбы в искусственных условиях значительно выше, чем в естественной среде, а использование управляемого температурного режима позволяет получить производителей судака и форели, пригодных для рыбоводных целей.

Результаты нашей работы могут быть использованы при разработке технологии формирования продукционных стад и необходимы для обоснования полноценного процесса разведения рыб.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Научно-техническое обоснование формирования маточного стада форели в установке замкнутого цикла водообеспечения [Текст]: отчет о госбюджетной НИР / ФГБОУ ВПО «Калининградский государственный технический университет»: рук. Хрусталева Е. И.; исполн.: Елфимова К. А. [и др.]. – Калининград, 2013. – 34 с. – № ГР 01201001806

2. Хрусталёв, Е. И. Первый этап разработки технологии формирования маточного стада форели в установке замкнутого цикла водообеспечения (УЗВ) / Е. И. Хрусталёв, К. А. Елфимова // Рыбное хозяйство, 2014. – № 1. – С. 79 – 81.
3. Титарев, Е.Ф. Форелеводство / Е. Ф. Титарев. – Москва: Пищевая промышленность, 1980. – 168 с.
4. Дельмухаметов, А. Б. Биотехника формирования и эксплуатации ремонтно-маточного стада судака в установках замкнутого цикла водообеспечения: дис. ... канд. биол. наук: 03.02.06 - Ихтиология / Дельмухаметов Артем Борисович. – Калининград, 2012. – 157 с.
5. Пьянов, Д. С. Результаты выращивания судака (*Sander lucioperca*, L.) в режиме полного цикла в установках замкнутого водоснабжения / Д. С. Пьянов, А. Б. Дельмухаметов, Е. И. Хрусталев // Известия КГТУ. – 2016. – № 41. – С. 49-59.
6. Купинский, С. Б. Продукционные возможности объектов аквакультуры /С. Б. Купинский. – Астрахань: Изд-во ДФ АГТУ, 2007. – 133 с.
7. Lappalainen J., Dörner H., Wysujak K. Reproduction biology of pikeperch *Sander lucioperca* (L.) – a review // Ecology of Freshwater Fish. – 2003. – Vol. 12 (2). – P. 95–106.
8. Korbuly B., Grozea A., Cean A., Bănațean-Dunea I., Păcala N., Vălean A. Milt dilution effectiveness on pikeperch (*Sander lucioperca*) sperm DNA inactivation // Zootehnie și Biotehnologii. – 2009. – Vol. 42. – P. 65–70.
9. Serezli R., Guzel S., Kocabas M. Fecundity and egg size of three salmonid species (*Oncorhynchus mykiss*, *Salmo labrax*, *Salvelinus fontinalis*) cultured at the same farm condition in North-Eastern, Turkey // Journal of Animal and Veterinary Advances. – 2010. – Vol. 9 (3). – P. 576-580.
10. Ihuț A., Mireșan V., Cocan D-I., Răducu C., Lațiu C., Pop D. Reproductive Indices of Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) Females from a Trout Farm // Bulletin UASVM Animal Science and Biotechnologie. – 2015. – Vol. 72 (2). – P. 157-161.
11. Özgür M.E., Bayir İ. A research on reproduction performance for broodstocks of Rainbow trout in a fish farm // Biyoloji Bilimleri Araştırma Dergisi. – 2013. – Vol. 6 (2). – P. 01-07.
12. Bromage N., Jones J., Randall C., Thrush M., Davies B., Springate J., Duston J., Barker G. Broodstock management, fecundity, egg quality and timing of egg production in the rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) // Aquaculture. – 1992. – Vol. 100. – P. 141-166.
13. Штайн, Г. Криоконсервация гамет рыб / Г. Штайн // Проблемы криобиологии. – 1991. - № 3. – С. 42-46.

## REFERENCES

1. Elfimova K. A. [i dr.] *Nauchno-tehnicheskoe obosnovanie formirovaniya matocznego stada foreli v ustanovke zamknutogo cikla vodoobespechenija: otchet o gosbjudzhetnoj NIR* [Scientific and technical basis for formation of trout broodstock in a recirculating aquaculture system: report of state-financed research work]. FGBOU VPO “Kaliningradskij gosudarstvennyj tehničeskij universitet, 2013, 34 p.

2. Hrustaljov E. I., Elfimova K. A. Pervyj jetap razrabotki tehnologii formirovanija matochnogo stada foreli v ustanovke zamknutogo cikla vodoobespechenija (UZV) [The first stage of process development of trout broodstock formation in a recirculating aquaculture system (RAS)]. *Rybnoe hozjajstvo*, 2014, pp. 79-81.
3. Titarev E. F. *Forelevodstvo* [Trout breeding]. Moscow, Pishhevaja promyshlennost', 1980, 168 p.
4. Del'muhametov A. B. *Biotehnika formirovanija i jekspluatacii remontno-matochnogo stada sudaka v ustanovkah zamknutogo cikla vodoobepechenija. Diss. kand. biol. nauk* [Biotechnology of formation and exploitation of replacement broodstock of pike perch in a recirculating aquaculture systems. Dis. cand. boil. sci]. Kalinin-grad, 2012, 157 p.
5. P'janov D. S., Del'muhametov A. B., Hrustalev E. I. Rezul'taty vyrashhivaniya sudaka (*Sander lucioperca*, L.) v rezhime polnogo cikla v ustanovkah zamknutogo vodosnabzhenija [The results of pikeperch (*Sander lucioperca*, L.) cultivation in the ras complete cycle conditions]. *Izvestija KGTU*, 2016, no. 41, pp. 49-59.
6. Kupinskij S. B. *Produkcionnye vozmozhnosti ob'ektov akvakul'tury* [Production possibilities of aquaculture objects]. Astrahan', DF AGTU, 2007, 133 p.
7. Lappalainen J., Dörner H., Wysujak K. Reproduction biology of pikeperch *Sander lucioperca* (L.) – a review. *Ecology of Freshwater Fish*. 2003, vol. 12 (2), pp. 95-106.
8. Korbuly B., Grozea A., Cean A., Bănațean-Dunea I., Păcala N., Vălean A. Milt dilution effectiveness on pikeperch (*Sander lucioperca*) sperm DNA inactivation. *Zootehnie și Biotehnologii*. 2009, vol. 42, pp. 65-70.
9. Serezli R., Guzel S., Kocabas M. Fecundity and egg size of three salmonid species (*Oncorhynchus mykiss*, *Salmo labrax*, *Salvelinus fontinalis*) cultured at the same farm condition in North-Eastern, Turkey. *Journal of Animal and Veterinary Advances*. 2010, vol. 9 (3), pp. 576-580.
10. Ihuț A., Mireșan V., Cocan D-I., Răducu C., Lațiu C., Pop D. Reproductive Indices of Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) Females from a Trout Farm. *Bulletin UASVM Animal Science and Biotechnologie*. 2015, vol. 72 (2), pp. 157-161.
11. Özgür M. E., Bayir İ. A research on reproduction performance for broodstocks of Rainbow trout in a fish farm. *Biyoloji Bilimleri Araştırma Dergisi*. 2013, vol. 6 (2), pp. 1-7.
12. Bromage N., Jones J., Randall C., Thrush M., Davies B., Springate J., Duston J., Barker G. Broodstock management, fecundity, egg quality and timing of egg production in the rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*. 1992, vol. 100, pp. 141-166.
13. Shtajn G. Kriokonservacija gamet ryb [Cryoconservation of fish reproductive cells]. *Problemy kriobiologii*. 1991, no. 3, pp. 42-46.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Пьянов Дмитрий Сергеевич – Калининградский государственный технический университет; ведущий инженер кафедры аквакультуры, аспирант;  
E-mail: dmitry.pyanov@klgtu.ru

*Pyanov Dmitry Sergeevich* – Kaliningrad State Technical University; Lead engineer of the Department of Aquaculture, PhD-student;  
E-mail: dmitry.pyanov@klgtu.ru

*Молчанова Ксения Андреевна* – Калининградский государственный технический университет; ведущий инженер кафедры аквакультуры, аспирант;  
E-mail: ksenia.elfimova@gmail.com

*Molchanova Ksenia Andreevna* – Kaliningrad State Technical University; Lead engineer of the Department of Aquaculture, PhD-student;  
E-mail: ksenia.elfimova@gmail.com

*Дельмухаметов Артём Борисович* – Калининградский филиал Санкт-Петербургского государственного аграрного университета; кандидат биологических наук, зав. кафедрой животноводства;  
E-mail: delmuchametov@list.ru

*Delmukhametov Artyom Borisovich* – Saint-Petersburg State Agrarian University (Kaliningrad department); PhD, Head of the Department of Animal Husbandry;  
E-mail: delmuchametov@list.ru

*Хрусталёв Евгений Иванович* – Калининградский государственный технический университет; кандидат биологических наук, профессор кафедры аквакультуры;  
E-mail: chrustaqua@rambler.ru

*Khrustalyov Eugeny Ivanovich* – Kaliningrad State Technical University; PhD, Professor of the Department of Aquaculture;  
E-mail: chrustaqua@rambler.ru

УДК 551.465.4:551.468.1(261.24)

ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ В БЕРЕГОВОЙ ЗОНЕ БАЛТИЙСКОЙ/ВИСЛИНСКОЙ КОСЫ И САМБИЙСКОГО ПОЛУОСТРОВА: ШТОРМ ЯНВАРЯ 2012 ГОДА

А. Н. Соколов, Б. В. Чубаренко, К. В. Карманов

HYDRODYNAMIC CONDITIONS IN THE COASTAL ZONE OF THE VISTULA SPIT AND THE SAMBIAN PENINSULA: THE CASE OF THE STORM IN JANUARY 2012

A.N. Sokolov, B.V. Chubarenko, K.V. Karmanov

Представлены результаты численного моделирования штормового нагона и течений вдоль Балтийской/Вислинской косы<sup>1</sup> и северного побережья Самбийского полуострова во время наиболее берегоразрушительного за последние годы шторма 12-14 января 2012 г. Показано, что изрезанность береговой линии и неоднородность подводного рельефа определяют наличие зон концентрации волновой энергии на ограниченных участках берега. Наибольший волновой нагон во время шторма реализовался в северной части Балтийской/Вислинской косы у пос. Коса, а также в районе корня Куршской косы у Зеленоградска. Прямое волновое воздействие губительно отразилось на состоянии променадов в Светлогорске, Пионерском и Зеленоградске, вызвало значительное отступление береговых уступов и обрывов по всему побережью Калининградской области. Зоны конвергенции вдольбереговых течений, которые могут способствовать выносу рыхлого песчаного материала в море, образовывались у Зеленоградска и Янтарного.

Штормовой нагон произошел на фоне повышенных значений среднего уровня Балтийского моря, установившихся после залива североморских вод в ноябре-декабре 2011 г. Суммарный подъем уровня воды у берега составил более 1 м, что привело к существенному увеличению потока энергии, приносимого волнами в береговую зону. Специальный модельный расчет с искусственно увеличенной глубиной до 1 м показал увеличение значимых высот волн в непосредственной близости от уреза с 1-2 до 2-2.5 м. Именно комбинация высокого фонового уровня моря, прямого действия волн с севера и недостаточные ширина и высота пляжей обеспечили разрушительное воздействие шторма 12-14 января 2012 г. на северном побережье Самбийского полуострова.

*штормовой нагон, вдольбереговые течения, ветровое волнение, численное моделирование, Балтийское море*

---

<sup>1</sup> На современных картах Балтийской и Вислинской косами называют, соответственно, российскую и польскую части всей барьерной аккумулятивной формы, отделяющей Калининградский/Вислинский залив от Балтийского моря. В научной литературе часто всю косу называют Вислинской [6].

The paper presents the results of numerical simulations of storm surge and alongshore currents at the northern shore of the Sambian Peninsula and near the Vistula Spit during the most shore-destructive storm event on 12-14, January 2012. It is shown that waves and storm surge conditions are not uniform along the shore. Variations of coastline and bottom relief cause concentration of wave energy at certain limited shore segments. The maximum storm surge occurred at the core part of the Curonian Spit near Zeleongradsk and at the northern part of the Vistula Spit near Kosa village. Direct wave action has had a detrimental effect on the promenade in Svetlogorsk, Pioneerskiy and Zelenogradsk, caused significant coastal retreat ledges and cliffs along the coast of the Kaliningrad region. Zone of alongshore currents convergences were indicated at Zelenogradsk and Jantarnyy, and might assist to transport of sandy material seaward.

Since the storm surge occurred on the background of increased values of mean sea level, the overall rise of the water level near the shore was more than one meter. A special simulation with artificially increased depth up to 1 meter showed an increase of significant wave heights from 1-2 to 2-2.5 meters in the vicinity of the shoreline, which caused a substantial increase in the wave energy flux. The combination of a high background sea level, wave surge induced by waves and wind from N-NW together with insufficient width and height of beaches determined destructive effect of the storm of January 12-14, 2012 on the northern shore of the Sambian Peninsula.

*storm surge, alongshore currents, wind waves, numerical modeling, the Baltic Sea*

## ВВЕДЕНИЕ

Ветер штормовой силы западных, северо-западных и северных румбов отрицательно сказывается на состоянии пляжей Калининградского региона, особенно северной стороны Самбийского полуострова, где находятся главные курортные районы – Светлогорск, Зеленоградск, Куршская коса. Интенсивные течения [1, 2], образующиеся в зоне между урезом и внешней границей зоны обрушения волн, вызывают активный транспорт материала, а подъем уровня, связанный со штормовым нагоном, усиливает разрушительное действие волн и течений на пляж и зону его сопряжения с авантюной или склоном клифа.

Условия конца осени 2011 и начала зимы 2012 г. в Балтийском регионе отличались от типичных условий аналогичных временных интервалов других лет двумя обстоятельствами. Во-первых, в ноябре-декабре 2011 г. произошел заток североморских вод в Балтийское море, в результате чего в декабре 2011 и январе 2012 г. уровень моря в центральной части Балтики был аномально высоким [3]. Во-вторых, период с конца ноября 2011 по январь 2012 г. характеризовался повышенной штормовой активностью: ветер, скорость которого в течение нескольких часов превышала 20 м/с, наблюдался более 10 раз [4].

Все штормовые ситуации были связаны с западным ветром, и только шторм 14 января, который не был ни самым сильным, ни самым продолжительным, пришел с направления С-СЗ. Именно при его воздействии берег северной части Самбийского полуострова испытал самое сильное разрушительное воздействие [4, 5]. Последствиями его стали: прорыв авантюны в северной части Балтийской/Вислинской косы с подтоплением домов пос. Коса; размыв авантюны у корня Куршской косы (примерный объем смытого материала составил около 50 тыс. м<sup>3</sup>); размыв незащищенного участка коренного берега в восточной части

г. Светлогорска, где под угрозой обрушения оказались здания оздоровительного центра им. Гайдара; повреждение элементов благоустройства набережных в г. Светлогорске, Пионерском, Зеленоградске. Материальный ущерб, нанесенный штормом объектам берегозащиты и приморской инфраструктуры, составил примерно 35 млн. руб., а естественному берегу Балтийской/Вислинской, Куршской косы и Самбийского полуострова – примерно 80 млн. руб. [5, 6].

Задачей данной работы было сравнение на основе численного моделирования гидродинамических условий (уровней штормового нагона, полей волнения и течений) на двух участках побережья Калининградской области, подвергавшихся наибольшему берегоразрушительному воздействию во время штормового периода декабря-января 2012 г.

### МЕТОД

Моделирование временного хода уровня моря с учетом ветрового нагона у берега, характеристик поверхностного волнения и усредненных по вертикали горизонтальных составляющих ветро-волновых течений проводилось с помощью программного комплекса MIKE 21 FM, разработанного DHI Software [7]. Расчетная область охватывала центральную часть Балтийского моря (рис. 1) и имела протяженность более 300 км, что сохраняло возможность разгона ветровых волн до их максимальных значений даже при самых сильных штормах.

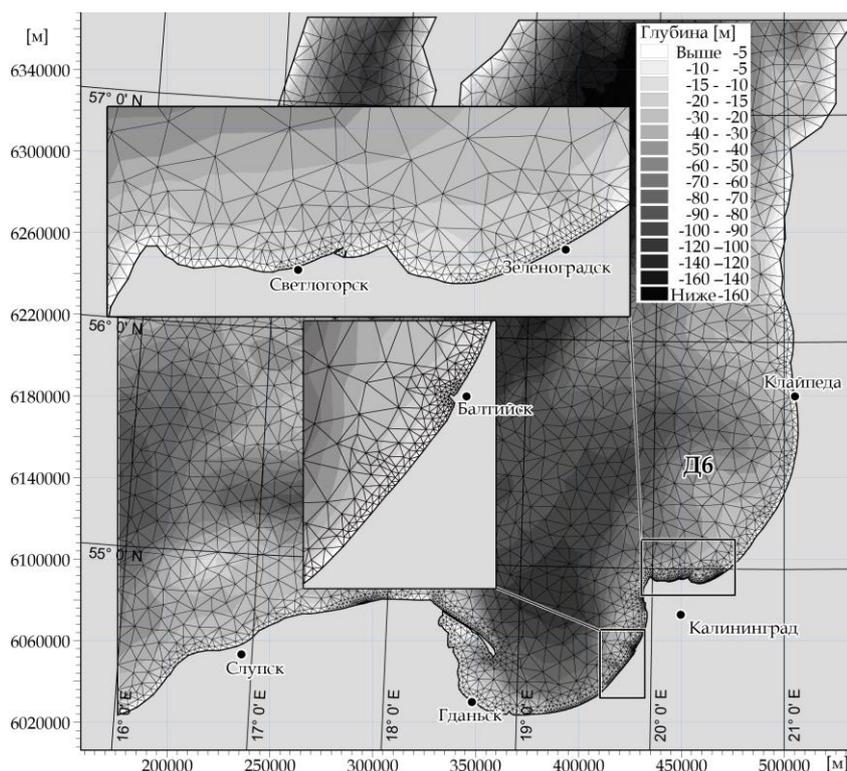


Рис. 1. Областью моделирования является центральная часть Балтийского моря. Расчетная сетка была измельчена вблизи берега для получения более детального решения

Fig. 1. Computational domain is the central part of the Baltic Sea. Computational grid was the finest near the shore to obtain more detailed solution

Размеры сторон ячеек нерегулярной расчетной сетки для участков открытого моря составляли 5-7 км, а для прибрежных зон – порядка 200 м. Расчетная сетка строилась с учетом информации о глубинах в акватории открытого моря [8], в прибрежной зоне была дополнена детальными данными из [9]. Все границы расчетной области были закрытыми, ветер был единственной движущей силой в модели, сток рек и крупномасштабные колебания уровня не учитывались. Скорость и направление ветра во всей расчетной области считались одинаковыми, что подтверждалось данными скатерометрических измерений [10]. Величина ветра задавалась по данным нефтедобывающей платформы Д-6 [3].

Правомерность подобного подхода для моделирования локальных гидродинамических условий в районе Самбийского полуострова во время сильного ветрового воздействия была показана в [11, 12]. Результаты калибровки модели по течениям подробно изложены в [11], а по волнению в [12]. Совпадение натуральных и расчетных скоростей течений и параметров волнения в прибрежной зоне можно считать вполне удовлетворительным: коэффициенты корреляции во всех случаях составляли более 0.8.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Временной ход скорости и направления ветра в течение моделируемого шторма показаны на рис. 2а. Пики усиления ветра днем 11 и 12 января соответствуют ветру юго-западного направления. В ночь на 13 января направление ветра сменилось на северо-западное и наблюдался первый из наиболее сильных пиков: 22 м/с. Утром 14 января направление ветра стало северо-северо-западным и наблюдался второй пик со скоростью 22 м/с. Именно последний пик, с северо-северо-западного направления, явился причиной большинства разрушений в береговой зоне.

Следует отметить, что северо-северо-западное направление ветра со скоростью более 20 м/с является достаточно редким явлением для Калининградского региона (повторяемость менее 1.5% для измерений в Светлогорске за период 1949-1973 гг.). Штормовой ветер северных румбов вызвал разгон волн по всей открытой акватории центральной части Балтийского моря, а также дополнительный подъем уровня моря непосредственно в прибрежной зоне (штормовой нагон), что привело в итоге к максимальному волновому воздействию на берег.

Для контрольных точек, расположенных примерно в 300 м от уреза, в районе Зеленоградска и северной части Балтийской/Вислинской косы (пос. Коса), расчет показал два значительных пика (рис. 2б) во временном ходе уровня штормового нагона за анализируемый период: в 0 ч 13.01.2012 и в 5 ч 30 мин 14.01.2012. Первый пик (примерно 48 см) связан с усилением ветра до 22 м/с в ночь с 12 на 13 января, которое сопровождалось сменой его направления с юго-западного на северо-западное. Второй пик уровня (на 10 см выше – 57 см) пришелся на усиление северо-северо-западного ветра ночью и утром 14 января, причем уровни штормового нагона вблизи Зеленоградска и в районе пос. Коса во время обоих пиков были практически одинаковыми.

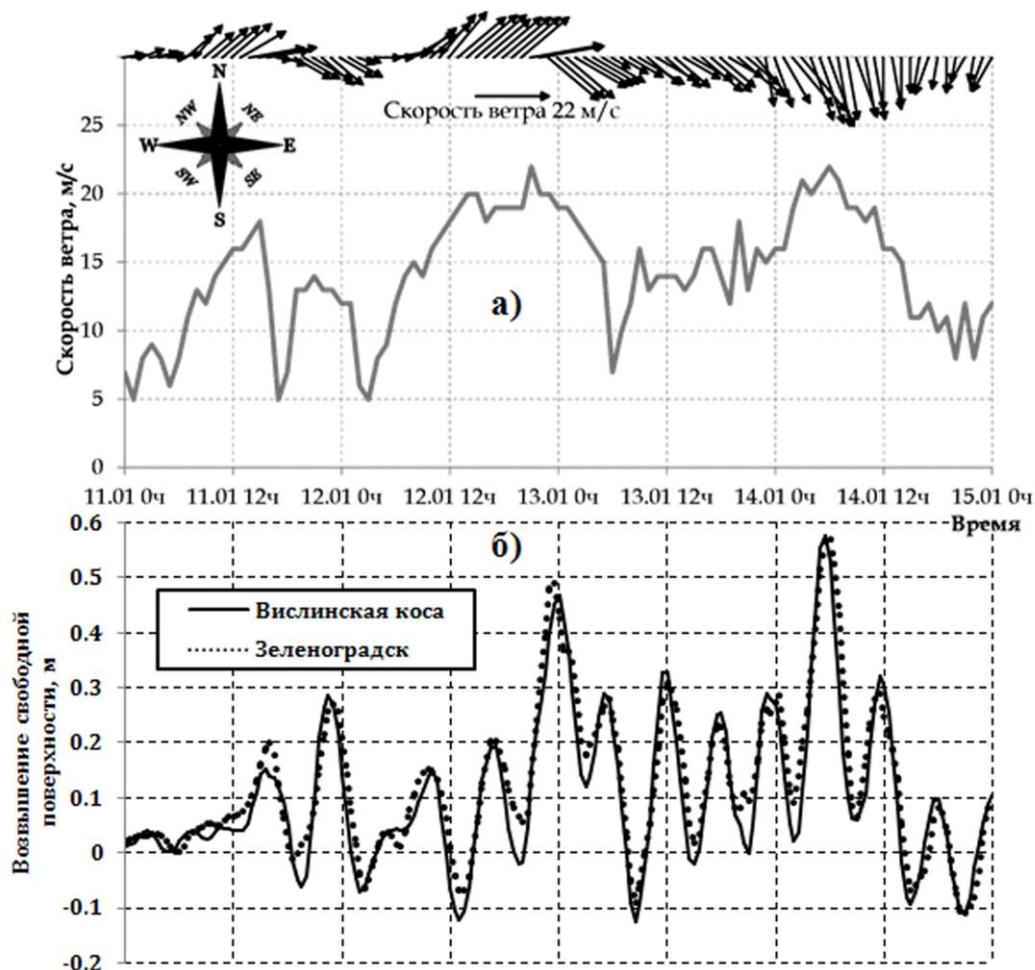


Рис. 2. Временной ход скорости и направления ветра (а) и рассчитанного уровня штормового нагона (б) 11-15 января 2012 г.

Fig 2. Wind speed and direction against the time (a) and modeled storm surge against the time (b). Period of time is 11-15.01.2012

Результаты расчетов полей возвышения свободной поверхности и осредненных по глубине течений для рассмотренных моментов пикового подъема уровня представлены на рис. 3. Во время первого пика подъема уровня (0 ч 13 января, ветер западный, 20 м/с) наибольший штормовой нагон (примерно 50 см) воспроизводился моделью у уреза в районе молв, ограничивающих Балтийский пролив<sup>2</sup>, а на северном побережье Самбии – в районе Зеленоградска (примерно 47 см). Осредненные по глубине скорости течений у берега составляли 50-70 см/с. Модель показала наличие небольшой зоны конвергенции течений в районе пос. Янтарного. Во время второго пика подъема уровня (5 ч 30 мин 14 января, ве-

<sup>2</sup> На российских картах пролив между Калининградским/Вислинским заливом и Балтийским морем указан без названия. Для его обозначения при мореплавании используется термин *Входные ворота Калининградского морского канала*, иногда для краткости используется название *Морской канал*, в научной литературе он именуется *Балтийский пролив* [6].

тер северо-западный, 20 м/с) наибольший штормовой нагон у уреза (примерно 62 см) возник чуть южнее южного мола Балтийского пролива, а на северном побережье Самбии так же, как и при первом пике, в районе Зеленоградска (примерно 61 см). Осредненные по глубине скорости течений у берега составляли 60-80 см/с. Зона конвергенции течений возникла у корня Куршской косы в районе Зеленоградска.

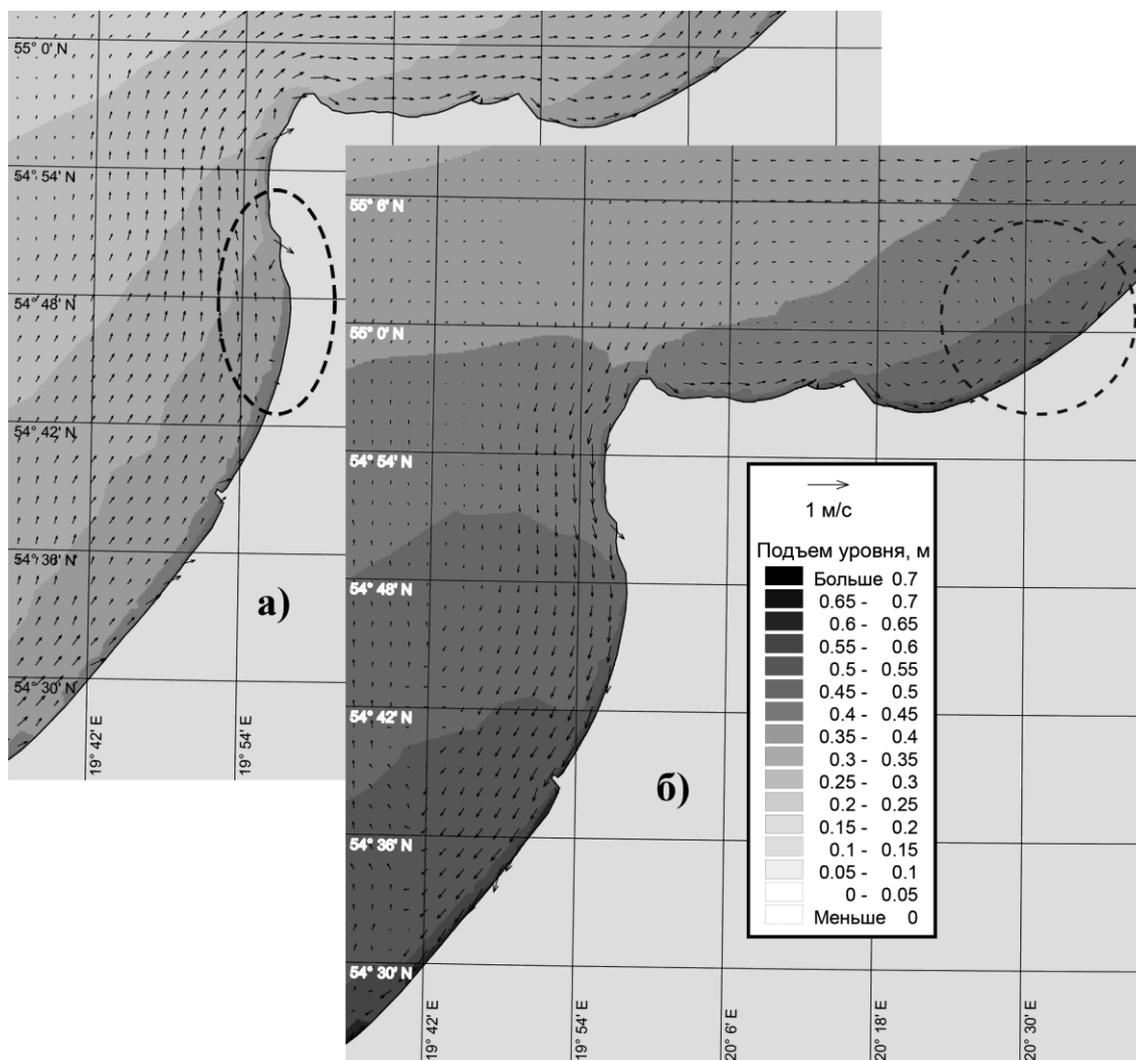


Рис. 3. Результаты моделирования уровней штормового нагона и осредненных по глубине течений во время пиковых подъемов уровня (а - 00:00, 13 января 2012 г., б - 05:30, 14 января 2012 г.). Пунктиром выделена зона конвергенции течений  
 Fig. 3. Levels of the storm surge and the depth-averaged currents. Simulation results for the peak of the level rise (а - 13.01.2012, 00:00; б – 14.01.2012, 05:30). The dotted line indicates zones of the currents convergence

Следует обратить внимание на очень интенсивные течения в зоне вблизи уреза: величины осредненных по глубине скоростей достигали 0.7-0.8 м/с. Такие скорости течений вполне достаточны для транспортировки взмученного волнами

и находящегося во взвешенном состоянии рыхлого песчаного материала как вдоль, так и от берега (в придонном компенсационном потоке).

Как показали расчеты, при воздействии северо-северо-западного ветра в пределах крупномасштабного литодинамического сегмента, который составляют северное побережье Самбийского полуострова и Куршская коса, возникла ситуация встречных потоков. Вдоль Куршской косы течения были направлены на юг, а вдоль северного берега Самбийского полуострова - на восток. Точка конвергенции при таком воздействии ветра и волн оказалась чуть севернее г. Зеленоградска у корня Куршской косы. По всей видимости, именно здесь происходил наиболее интенсивный поперекбереговой отток рыхлого взмученного материала (обычно на глубины до 30 м).

Видно, что в обоих случаях наибольший ветровой нагон реализуется в полосе шириной до полукилометра и более от уреза, т.е. там, где могло бы происходить основное обрушение волн в связи с торможением их подошвы о подводный склон. Увеличение глубин в силу нагона создает благоприятные условия для подхода волн ближе к урезу. Аналогичные локальные подъемы уровня возникают во всех бухтообразных углублениях берега, что приводит к локальной концентрации волновой энергии в пределах вершин бухт и, соответственно, усиленному разрушительному влиянию на берег. В Светлогорской и Пионерской бухтах были зафиксированы максимальные разрушения конструкций променадов. В районе пос. Сокольники, Филино, корня Куршской косы и северной части Балтийской/Вислинской косы у пос. Коса берегозащитные конструкции отсутствуют, поэтому наблюдался размыв коренного берега и отступление береговых уступов [5].

Как уже говорилось, рассматриваемый шторм развивался в условиях местного подъема уровня моря в Юго-Восточной Балтике на 40-60 см относительно средних значений [3]. С учетом ветро-волнового нагона суммарное превышение уровней средних отметок около берега составило более 1 м. В статье был проведен специальный модельный расчет с искусственно увеличенной глубиной до 1 м, который показал возрастание значимых высот волн в море вблизи уреза с 1-2 до 2-2.5 м, что обеспечивает существенно больший поток энергии, приносимой волнами в береговую зону. Именно комбинация высокого фонового уровня и прямого действия волн с севера-северо-запада и обеспечили необходимые условия для аномального разрушительного воздействия шторма 14 января 2012 г., достаточными они стали в силу малой ширины и высоты пляжей, которые не обеспечили необходимое волногашение.

#### ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ

Численное моделирование хода уровня моря, волнения и ветро-волновых течений на примере декабря 2011 - января 2012 гг. показало, что условия ветрового нагона и полей волнения неоднородны вдоль побережья. Во время шторма на отдельных участках берега, местоположение и протяженность которых определялись бухтообразной изрезанностью береговой черты, возникали условия повышенного ветрового нагона и концентрации волновой энергии – в локальных зонах небольшой протяженности в бухтах Светлогорска и Пионерского и значительной протяженности - на более открытых участках берега в районе Сокольников и Зеленоградска. Возникали также зоны конвергенции (район Зеленоградска и Янтарного), способствующие оттоку материала из прибойной зоны на большие глубины.

Заток североморских вод в Балтийское море (ноябрь-декабрь 2011 г.) и ветровая обстановка в течение декабря 2011 – начала января 2012 г. создала условия стабильно высокого уровня моря, на фоне которого во время штормовых воздействий с западного (неоднократно за весь период) и северного (только 14.01.12) направлений на отдельных участках берега возникал значительный локальный штормовой нагон. В эти моменты зона заплеска покрывала всю ширину пляжа, и прямое волновое воздействие губительно воздействовало на променады в Светлогорске, Пионерском и Зеленоградске, авантюну на Балтийской/Вислинской косе в районе входных молв Балтийского пролива и Куршской косы, вызвало значительное отступление береговых уступов по всему побережью Калининградской области.

В конечном итоге решающим фактором, определившим берегоразрушающее воздействие шторма 14.01.12, явилось то, что пляжи северного побережья Самбийского полуострова, не имеющие в это время достаточной ширины и высоты, не обеспечили необходимое волногашение. То, что единственный путь эффективной защиты побережья от любого аномального воздействия – это искусственная подпитка пляжей и доведение их ширины до значений (50-70 м), гарантирующих их защитную функцию, указывалось неоднократно [13, 14]. Традиционные характеристики пляжа (ширина и высота в тыльной части) не входят в параметры научного мониторинга Атлантического отделения ИО РАН<sup>3</sup>, нацеленного на оценку долговременной динамики берега [15, 16], поскольку зависят от текущего уровня моря и предшествующих погодных условий. Этот недостаток отмечался в [17], и в настоящий момент измерение параметров пляжа включено в программу практического мониторинга ГУ КО «Балтберегозащита» для оценки способности калининградских берегов противостоять штормовому воздействию, что особенно важно для участков, где находятся объекты приморской инфраструктуры городов курортов.

#### БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарят Е. М. Бурнашова (зам. директора ГУ КО «Балтберегозащита») за высказанные замечания. В части анализа данных и расчетов для Балтийской/Вислинской косы работа выполнена за счет поддержки гранта РФФИ 14-17-00547 «Разработка прогноза развития аккумулятивных берегов бесприливных морей России». Анализ общей обстановки в зимний сезон 2011/12 г. и ситуации на северном побережье Самбийского полуострова проводился в рамках темы № 0149-2014-0017 Государственного задания ИО РАН.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Шадрин, И. Ф. Течения береговой зоны бесприливногo моря / И. Ф. Шадрин. – Москва: Наука, 1972 – 125 с.
2. Massel S.R. Hydrodynamics of Coastal Zones. – Elsevier Science & Technology, Oceanography Series, 1989, vol. 48, 336 p.

---

<sup>3</sup> Институт океанологии им. П. П. Ширшова Российской академии наук.

3. Nausch G., Feistel R., Naumann M., Mohrholz V. Water exchange between the Baltic Sea and the North Sea, and conditions in the deep basins. HELCOM Baltic Sea Environment Fact Sheets 2015. Online. <http://www.helcom.fi/baltic-sea-trends/environment-fact-sheets/>.

4. Бобыкина, В. П. О зимней штормовой активности 2011-2012 гг. и ее последствиях для побережья Юго-Восточной Балтики / В. П. Бобыкина, Ж. И. Стонт // Водные ресурсы. – 2015. – Т. 42, № 3. – С. 322–328.

5. Рекомендации заседания «круглого стола» по теме: «О состоянии морского побережья Калининградской области и мерах по обеспечению берегозащиты», г. Калининград, 14 марта 2012 г. / Калининградская областная Дума. – Калининград, 2012. – 7 с.

6. Лазаренко, Н. Н. Гидрометеорологический режим Вислинского залива / Н. Н. Лазаренко, А. Маевский. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1971. – 279 с.

7. MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM Hydrodynamic and Transport Module. – Scientific Documentation, DHI Software, 2005, 48 p.

8. Seifert T., Kayser B. A high resolution spherical grid topography of the Baltic Sea. // Meereswiss. Ber, 1995, № 9, pp 72-88.

9. Чубаренко, Б. В. Информационно-картографический блок ИПАС / Б. В. Чубаренко, Е. С. Гурова / Информационно-прогнозная автоматизированная система береговой зоны Калининградской области. (IPAS) "ИПАС". – Калининград: АОИОРАН, 2006. – Т. 6. – 200 с.

10. The Ocean Surface Winds Team (OSWT) of the Center for Satellite Application and Research, <http://manati.star.nesdis.noaa.gov/index.php> (20 Декабря 2015).

11. Sokolov A., Chubarenko B. Wind influence on the nearshore currents formation in the South Baltic: numerical modeling results. // Archives of Hydro-Engineering and Environmental Mechanics. 2012. Vol. 59, No. 1. P. 3-14.

12. Соколов, А. Н. Анализ возможного влияния климатических изменений на параметры ветрового волнения в прибрежной зоне Юго-Восточной Балтики / А. Н. Соколов, Б. В. Чубаренко // Известия КГТУ. – 2014. – № 34. – С. 43-51.

13. Болдырев, В. Л. Создание искусственных песчаных пляжей на северном побережье Самбийского полуострова / В. Л. Болдырев, О. И. Рябкова / Проблемы геоморфологии и четвертичной геологии шельфовых морей. – Калининград, 1989. – С. 86-90.

14. Болдырев, В. Л. Динамика береговых процессов на Калининградском побережье Балтийского моря / В. Л. Болдырев, О. И. Рябкова // Известия РГО. – 2001. – Т. 133, вып. 5. – С. 41-48.

15. Бобыкина, В. П. Методика мониторинга берегов Калининградской области / В. П. Бобыкина, В. Л. Болдырев // Проблемы управления и устойчивого развития прибрежной зоны моря: мат. XXII Международной конференции / Геленджик, 16-20 мая 2007. – Краснодар: Изд-во, 2007. – С. 52.

16. Бобыкина, В. П. К геоэкологии берегов Калининградской области (по результатам мониторинга) / В. П. Бобыкина, К. В. Карманов // Известия КГТУ. – 2014. – № 35. – С. 44-54.

17. Бурнашов, Е. М. Современная динамика и геоэкологическое состояние морского берега Калининградской области: дис. ... канд. геогр. наук по спец. 25.00.36 / Бурнашов Евгений Михайлович. – Барнаул, 2011. – 205 с.

REFERENCES

1. Shadrin I. F. *Techenija beregovej zony besprilivnogo morja* [Currents of the coastal zone of a tideless sea]. Moscow, Nauka, 1972, 125 p.
2. Massel S. R. *Hydrodynamics of Coastal Zones*. Elsevier Science & Technology, Oceanography Series, 1989, vol. 48, 336 p.
3. Nausch G., Feistel R., Naumann M., Mohrholz V. Water exchange between the Baltic Sea and the North Sea, and conditions in the deep basins. *HELCOM Baltic Sea Environment Fact Sheets 2015*. Available at: <http://www.helcom.fi/baltic-sea-trends/environment-fact-sheets> (Accessed 5 February 2016).
4. Bobykina V. P., Stont Zh. I. O zimnej shtormovoj aktivnosti 2011-2012 gg. i ee posledstvijah dlja poberezh'ja Jugo-Vostochnoj Baltiki [On a winter storm activities in 2011-2012 and its consequences for the coast of the south-eastern Baltic]. *Vodnye resursy*, 2015, vol. 42, no. 3, pp. 322-328.
5. *Rekomendacii zasedanija «kruglogo stola» po teme: "O sostojanii morskogo poberezh'ja Kaliningradskoj oblasti i merah po obespečeniju beregozashhity"*, g. Kaliningrad, 14 marta 2012 g. [Recommendations of a round-table meeting "On conditions of the sea coast of the Kaliningrad region and arrangements for coastal protection", Kaliningrad, March 14, 2012]. Kaliningrad, Kaliningradskaja oblastnaja Duma, 2012, 7 p.
6. Lazarenko N. N., Maevskij A. (red). *Gidrometeorologicheskij režim Vislinskogo zaliva* [Hydrometeorological conditions of the Vistula lagoon]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1971, 279 p.
7. MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM Hydrodynamic and Transport Module. – Scientific Documentation, DHI Software, 2005, 48 p.
8. Seifert T., Kayser B. A high resolution spherical grid topography of the Baltic Sea. *Meereswiss. Ber*, 1995, no. 9, pp. 72-88.
9. Chubarenko B. V., Gurova E. S. *Informacionno-kartograficheskij blok IPAS. Informacionno-prognoznaja avtomatizirovannaja sistema beregovej zony Kaliningradskoj oblasti* [Information and cartographical IPAS unit. Informational and predictive automated system of the coastal zone of the Kaliningrad region]. Kaliningrad, AOIORAN, 2006, vol. 6, 200 p.
10. *The Ocean Surface Winds Team (OSWT) of the Center for Satellite Application and Research*. Available at: <http://manati.star.nesdis.noaa.gov/index.php> (Accessed 20 December 2015).
11. Sokolov A., Chubarenko B. Wind influence on the nearshore currents formation in the South Baltic: numerical modeling results. *Archives of Hydro-Engineering and Environmental Mechanics*. 2012, vol. 59, no. 1, pp. 3-14.
12. Sokolov A. N., Chubarenko B. V. Analiz vozmozhnogo vlijanija klimaticheskikh izmenenij na parametry vetrovogo volnenija v pribrezhnoj zone Jugo-Vostochnoj Baltiki [Sensitivity analysis for wave regime in wave-deformation zone in the South-Eastern Baltic in a view of possible climate changes]. *Izvestija KGTU*, 2014, no. 34, pp. 43-51.
13. Boldyrev V. L., Rjabkova O. I. Sozdanie iskusstvennyh peschanyh pljazhej na severnom poberezh'e Sambijskogo poluostrova [Building up man-made sand beaches at the north coast of the Sambian Peninsula]. *Problemy geomorfologii i chetvertichnoj geologii shel'fovyyh morej*. Kaliningrad, 1989, pp. 86-90.

14. Boldyrev V. L., Rjabkova O. I. Dinamika beregovykh processov na kalinigradskom poberezh'e Baltijskogo morja [Beach processes dynamics at the Kaliningrad coast of the Baltic Sea]. *Izvestija RGO*, 2001, vol. 133, no. 5, pp. 41-48.

15. Bobykina V. P., Boldyrev V. L. Metodika monitoringa beregov Kaliningradskoj oblasti [Monitoring technique of the coasts in the Kaliningrad region]. *Materialy XIII mezhdunarodnoj konferencii "Problemy upravlenija i ustojchivogo razvitiya pribrezhnoj zony morja"*, *Gelendzhik, 16-20 maja 2007* [Proceedings of XXII international conference "Management and sustainable development of the sea coastal zone", Gelendzhik, May 16-20, 2007]. Krasnodar, 2007, 52 p.

16. Bobykina V. P., Karmanov K. V. K geojekologii beregov Kaliningradskoj oblasti (po rezul'tatam monitoringa) [The geocology of the Kaliningrad region coasts (based on the monitoring results)]. *Izvestija KGTU*, 2014, no. 35, pp. 44-54.

17. Burnashov E. M. *Sovremennaja dinamika i geojekologicheskoe sostojanie morskogo berega Kaliningradskoj oblasti. Diss. na soisk. uch. stepeni kand. geogr. nauk* [Modern dynamics and geocological state of the sea coast in the Kaliningrad region. PhD thesis in geographical science]. Barnaul, 2011, 205 p.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Соколов Андрей Николаевич* – Атлантическое отделение Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН, старший научный сотрудник; БФУ им. Канта, кандидат технических наук, доцент;  
E-mail: tengritag@gmail.com

*Sokolov Andrei Nikolaevich* – Atlantic Branch of the P. P. Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences, Senior Researcher; Immanuel Kant Baltic Federal University, Associate Professor; Ph.D; E-mail: tengritag@gmail.com

*Чубаренко Борис Валентинович* – Атлантическое отделение Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН; заместитель директора по науке, заведующий лабораторией Прибрежных систем; кандидат физико-математических наук;  
E-mail: chuboris@mail.ru

*Chubarenko Boris Valentinovich* – Atlantic Branch of the P. P. Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences, Deputy Director of Science, Head of the Laboratory of Coastal Systems, Ph.D; E-mail: chuboris@mail.ru

*Карманов Константин Викторович* – Атлантическое отделение Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН; младший научный сотрудник;  
E-mail: mr.pocketoff@rambler.ru

*Karmanov Konstantin Victorovich* – Atlantic Branch of the P. P. Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences; Junior researcher;  
E-mail: mr.pocketoff@rambler.ru

УДК 574.5:502(470.26)(06)

ТРОФИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОЗЕРА ИЗУМРУДНОГО  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ПАРК «КУРШСКАЯ КОСА»)

Г. А. Цыбалёва, С. Ю. Кузьмин

TROPIC CHARACTERISTICS OF LAKE IZUMRUDNOE  
(THE NATIONAL PARK «CURONIAN SPIT»)

G. A. Tsibaliyova, S. Ju. Kuzmin

Озеро Изумрудное входит в озёрную систему водоёмов Куршской косы. Его гидробиологические исследования проведены в 2013-2015 гг. Пробы зоопланктона на озере отбирали сетью Апштейна. Сборы проводили в районах зарослей тростника, кубышки и в свободных от растений зонах. Обработку материала выполняли общепринятыми методами.

В составе зоопланктона оз. Изумрудного обнаружены тридцать три вида, в том числе двенадцать видов коловраток, десять видов ветвистоусых раков, пять видов копепод, встречались также раковинные амёбы, статобласты мшанок, инфузории, жгутиковые (шесть видов). По количественным показателям доминировали коловратки (55% численности), ветвистоусые раки составляли 18, копеподы - 19% общей численности зоопланктона.

В озере преобладали космополиты, обитатели небольших водоёмов и фитофилы. Численность зоопланктона изменялась от 35 до 80 тыс. экз./м<sup>3</sup>. Биомасса была в пределах 0,2 г/м<sup>3</sup>.

Сапробность здесь отмечена на уровне β-сапробных водоёмов. Максимальное развитие зоопланктона наблюдалось в южной части озера, в районе зарослей кубышки на глубинах до 1,5 м. В углублённой котловине количество зоопланктона снижалось, трофность достигала значений эвтрофированных систем.

В системе озёр национального парка оз. Изумрудное отличалось меньшим эвтрофированием, большим видовым разнообразием ракообразных и числом видов чистых водоёмов. У 70% видов индикаторная значимость характерна для α-β и β-сапробных систем. Низкий уровень развития зоопланктона в озере определяется заиленностью в районе котловины и концентрацией в этой зоне гуминовых веществ.

Для улучшения ситуации на озере необходимы его очистка, удаление ила с глубин в зоне концентрации.

*зоопланктон, коловратки, кладоцеры, копеподы, численность, трофность, сапробность*

Lake Izumrudnoe is a part of the lake ecosystem of the Curonian Spit reservoirs. Hydrobiological researches of Lake Izumrudnoe were carried out in 2013-2015. Tests of zooplankton on the lake were selected by Apstein's network. Collecting was carried out

in regions of thickets of reed, jug and in zones without plants. Processing of material was carried out by standard methods.

The zooplankton of Lake Izumrudnoe consists of 33 species, including: 12 types of Rotatoria, 10 types of Cladocera, 5 types of Copepoda, and also Testacea, statoblasts of Bryozoa, Infusorians, Flagellata (6 types). According to the quantitative indices, Rotatoria (55% of number) dominated, Cladocera amounted to 18%, copepods – to 19% of total number of zooplankton.

In the lake cosmopolitans - inhabitants of small reservoirs prevailed. The number of zooplankton changed from 35 thousand individuals /m<sup>3</sup> to 80 thousand individuals /m<sup>3</sup>. The biomass was in the range of 0,2 g/m<sup>3</sup>.

The saprobity in the lake was up to standard the  $\beta$ -saprobity of reservoirs. The maximal development of zooplankton was observed in the southern part of the lake about thickets *Nuphar lutea* at depths up to 1,5 m. Around a profound hollow development of zooplankton decreased, the trophic level reached values the eutrophic systems.

Cleaning of the lake, desliming of depths where mud concentrates is necessary for improvement of a situation on the lake.

*zooplankton, rotatoria, cladocera, copepoda, trophicity, saprobity*

## ВВЕДЕНИЕ

Озеро Изумрудное входит в озёрную систему водоёмов, образующую природный комплекс на территории национального парка «Куршская коса». Находится оно в районе пос. Рыбачьего, вблизи оз. Чайка, и связано с другими озёрами, а также с Куршским заливом каналами. В него впадают два дренажных канала, кроме того, оно соединяется с оз. Чайка. Площадь водного зеркала озера составляет 1,247 га, объём воды – 20 тыс. м<sup>3</sup>. Максимальная глубина – 2,8, средняя – 1,5 м. Максимальная толщина ила – 1,4, средняя – 0,6 м. Углублённая котловина расположена в западной части озера. Восточное побережье зарастает тростником, южное – кубышкой. Температура воды в период исследований изменялась от 18 до 19° С. Содержание кислорода в воде составляло 8,9 – 15,6 мг/л; рН = 5-8.

Территория расположения водоёмов являет собой уникальный природный комплекс, экосистему особо охраняемой зоны. Контроль экологического состояния озёр проводится с 2006 г. сотрудниками КГТУ по рекомендации администрации национального парка, что связано с использованием этих водоёмов как экологических маршрутов, зон отдыха и любительского рыболовства.

Озеро расположено вблизи пос. Рыбачьего и испытывает антропогенную нагрузку, что обуславливает актуальность исследований.

Целью данной работы являлось определение трофического статуса оз. Изумрудного, его специфики в системе озёр.

Были поставлены задачи: провести батиметрические и гидрологические исследования, изучить зоопланктон озера, использовать полученные данные для расчёта трофического состояния водоема.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Пробы зоопланктона отбирали в летний период сетью Апштейна (размер ячеи 100 мкм), охватывая районы по периметру на глубинах 0,5 - 2,5 м. Сборы материала проводили как в районах зарослей тростника и кубышки, так и в зонах,

свободных от растений. Обработку материала осуществляли общепринятыми методами [1-3]. Данная работа продолжает исследование системы озёр Куршской косы и включает материал по изучению оз. Изумрудного с 2013 по 2015 гг. Базой данных исследований послужило изучение 98 проб зоопланктона.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В составе зоопланктона обнаружены тридцать три вида, в том числе двенадцать видов коловраток, десять – клadoцер, пять – копепод, а также раковинные амёбы, ресничные, жгутиковые, статобласты мшанок. Видовой состав, численность видов (в %) и их краткая характеристика представлены в табл. 1.

Таблица 1. Видовой состав зоопланктона оз. Изумрудного, численность видов (в %) и их характеристика

Table 1. Specific structure of the zooplankton of Lake Izumrudnoe, number (in %) and their characteristic

Вид	Процент от общей численности	Характеристика (индекс сапробности S)
1	2	3
<b>Rotatoria</b>		
1. <i>Brachionus quadridentatus</i> Herman	3,5	Обычен среди макрофитов; S=1,7 (β)
2. <i>Brachionus calyciflorus</i> Pallas	11,8	Водоёмы разного типа; S=2,5 (β-α)
3. <i>Brachionus homoceros</i> (Wierzejski)	2,5	Небольшие водоёмы повышенной эвтрофности; S=2,0 (β-α)
4. <i>Brachionus angularis</i> Gosse	16,0	Распространение повсеместное; S=2,5 (β-α)
5. <i>Asplanchna sieboldi</i> (Leydig)	16,3	Обычен в планктоне небольших водоёмов; S=1,5 (о- β)
6. <i>Keratella cochlearis</i> (Gosse)	3,3	Космополит; S=1,9 (β)
7. <i>Keratella quadrata</i> (O.F. Müller)	0,1	Космополит; S=1,7 (β)
8. <i>Filinia longiseta</i> (Ehrenberg)	0,1	Космополит; S=2,3 (β- α)
9. <i>Trichocerca</i> (S.str.) <i>capucina</i> (Wierzejski et Zacharias)	0,3	В планктоне разных водоёмов; S=1,5 (о- β)
10. <i>Polyarthra dolichoptera</i> Idelson	0,3	Космополит; S=1,3 (о- β)
11. <i>Euchlanis dilatata</i> Ehrenberg	0,1	Населяет прибрежные зоны; S=1,6 (β)
12. <i>Synchaeta stylata</i> Wierzejski	0,7	Космополит; S=1,2 (о- β)

Продолжение табл. 1

1	2	3
<b>Соперода</b>		
13. <i>Cyclops vicinus</i> Uljanin	8,0	Мелкие водоёмы; S=2,1 (β-α)
14. <i>Cyclops kolensis</i> Lilljeborg	3,0	Форма литорали и пелагиали эвтрофированных озёр; S=1,8 (β-α)
15. <i>Termocyclops oithonoides</i> (Sars)	6,6	Чистые воды прудовых водоёмов S=1,6 (α-β)
16. <i>Megacyclops viridis</i> (Jurine)	1,3	Обычен среди макрофитов; S=1,5 (α-β)
17. <i>Cyclops scutifer</i> Sars	0,1	Тяготеет к олиготрофным болотистым водоёмам; S=1,7 (α-β)
<b>Cladocera</b>		
18. <i>Diaphanosoma brachyurum</i> (Levin)	1,5	Космополит западной части Палеарктики; S=1,6 (α-β)
19. <i>Sida crystalline</i> (O.F. Müller)	1,2	Обитатель прибрежных зарослей; S=1,4 (α-β)
20. <i>Daphnia longispina</i> O.F. Müller	1,0	Мелкие и средние водоёмы; S=1,6 (α-β)
21. <i>Daphnia cucullata</i> Sars	0,1	Обитатель пелагиали водоёмов; S=1,7 (α-β)
22. <i>Chydorus sphaericus</i> (O.F. Müller)	0,2	Космополит; S=1,8 (α-β)
23. <i>Bosmina</i> (B.) <i>longirostris</i> (O.F. Müller)	6,5	Планктон небольших водоёмов; S=1,2 (α-β)
24. <i>Alona rectangular</i> Sars	0,5	Обитатель дна водоёмов; S=1,6 (α-β)
25. <i>Scapholeberis mucronata</i> (O.F. Müller)	6,2	Прибрежные зоны небольших водоёмов; S=2,0 (β)
26. <i>Pleuroxus truncates</i> (O.F. Müller)	0,7	Зарослевый вид; S=1,4 (α-β)
27. <i>Ilyocryptus agilis</i> Kurz	0,1	Илистое дно мелких водоёмов; S=2,0 (α-β)
<b>Прочие</b>		
28. <i>Arcella vulgaris</i> Ehrenberg	1,0	S=2,0 (β-α)
29. <i>Centropypixis discoides</i> Deflandre	1,1	Встречается между водными растениями; S=1,4 (α-β)
30. <i>Plumatella fungosa</i> (Pall.)	2,5	Обитатель небольших водоёмов; S=2,1 (α-β)
31. <i>Plumatella repens</i> (L.)	2,6	Обитатель небольших водоёмов; S=1,9 (β)

Окончание табл. 1

1	2	3
32. <i>Verticella natans</i> Faure-Fremiet	0,4	Планктон озёр и прудов; S=1,7 (β)
33. <i>Volvox globator</i> Ehr.	0,4	Обитатель олигосапробных зон; S=1,8 (о-β)

Преобладающая численность в планктоне была у космополитов, обитателей небольших водоёмов и фитофилов. По количественным показателям и видовому разнообразию доминировали коловратки (55% численности). Основными среди них были виды: *Asplanchna sieboldi* – обитатель небольших достаточно чистых водоёмов, (о-β)-сапроб, *Brachionus angularis* – космополит, (β-α)-сапроб. Ветвистоусые ракообразные составляли 18% от общей численности зоопланктонов. Преобладали виды небольших водоёмов и прибрежной зоны: *Bosmina longirostris* - (о-β)-сапроб, *Scapholeberis mucronata* - β-сапроб. Численность копепод не превышала 19%. Максимальные показатели были у видов: *Cyclops vicinus* - (β- α)-сапроб, *Termocyclops oithonoides* – форма чистых вод прудовых водоёмов, (о-β)-сапроб.

Среди прочих обитателей водоёма присутствовали статобласты мшанок и тестации, характерные для системы озёр национального парка, а также в оз. Изумрудном встречался вид олигосапробных зон – *Volvox globator*.

Видовое сходство зоопланктона оз. Изумрудного и расположенного вблизи него оз. Чайка не превышало 45-50%. При этом в оз. Чайка отсутствовали виды более чистых водоёмов: *Bosmina longirostris*, *Diaphanosoma brachyurum*, *Termocyclops oithonoides*, *Volvox globator*, *Sida crystalline*. Беднее было и видовое разнообразие рачкового планктона (в 1,5 раза меньше, чем в оз. Изумрудное). Несомненно, это связано с гидрологическими особенностями оз. Чайка: более мелководного и интенсивно зарастающего осоково-тростниковым комплексом при единичной встречаемости кувшинковых [4].

Средняя численность зоопланктона в оз. Изумрудном за 2013-2015 гг. изменялась в пределах 20-50 тыс. экз./м<sup>3</sup>, биомасса – 0,2-0,3 г/ м<sup>3</sup>. Развитие организмов определялось, прежде всего, температурным фактором. При более тёплом весеннем периоде в планктоне численно преобладали ветвистоусые раки, продолжительной холодной весной – коловратки.

Количественные и трофические показатели зоопланктона за 2015 г. представлены в табл. 2.

Таблица 2. Количественные и трофические показатели зоопланктона оз. Изумрудного в летний период 2015 г.

Table 2. Quantitative and trophic indices of the zooplankton of Lake Izumrudnoe during the summer period of 2015

Показатели	Станции					
	1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6	7
Глубина (м)	1,5	2,4	2,3	1,1	1,5	2,4
Количество видов	27	17	19	26	14	14

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6	7
Численность, тыс. экз./ м <sup>3</sup>	79,7	40,9	35,3	43,5	65,9	35,7
Биомасса, г/ м <sup>3</sup>	0,3	0,2	0,1	0,2	0,3	0,1
Сапробность	2,0	2,1	2,0	2,0	1,9	2,1
Трофность	0,4 Мезотроф.	1,3 Эвтроф.	0,9 Мезотроф.	0,4 Мезотроф.	0,1 Мезотроф.	1,0 Эвтроф.
Развитие зоопланктона (тыс. экз./ м <sup>3</sup> )	Ниже среднего (51-250)	Низкое (5-50)	Низкое (5-50)	Низкое (5-50)	Ниже среднего (51-250)	Низкое (5-50)
N Rot.%/N Crust.%	6,6	4,5	3,0	4,6	4,0	4,2

В летний период в озере преобладали коловратки (N Rot.%/N Crust.% = 3,0-6,6). Сапробность была на уровне β-сапробных водоёмов. У 70% видов индикаторная значимость характерна для α-β- и β-сапробных систем.

Максимальное развитие зоопланктона отмечено в южной части озера, вблизи зарослей растений с плавающими листьями на глубинах до 1,5 м. Численность зоопланктона в этих районах была около 70 тыс. экз./ м<sup>3</sup>, трофность – характерная для мезотрофных водоёмов.

В районе углубленной котловины численность зоопланктона снижалась до 35 тыс. экз./ м<sup>3</sup>, трофность достигала значений, присущих эвтрофированным системам, заиленность – 80 см, что определяло концентрацию в этой зоне гуминовых веществ и свидетельствовало о низком развитии зоопланктона.

Особенности оз. Изумрудного в системе озёр национального парка выявляются сравнением зоопланктона разных озёр (табл. 3). Характеристика зоопланктона оз. Чайка представлена по средним показателям 2010-2012 [5, 6], оз. Изумрудного – 2013-2015 гг.

Таблица 3. Количественные и трофические показатели зоопланктона оз. Изумрудного и Чайка

Table 3. Quantitative and trophic indices of the zooplankton of Lake Izumrudnoe and of Lake Чайка

Показатели	Оз. Изумрудное	Оз. Чайка
1	2	3
Численность, тыс. экз./ м <sup>3</sup>	36,0	66,6
Биомасса г/ м <sup>3</sup>	0,2	0,2
Средняя индивидуальная масса (г)	0,005	0,003
Сапробность	1,9	1,8

Окончание табл. 3

1	2	3
Трофность I (E) [7]	0,7 Мезотроф.	1,8 Эвтроф.
Трофность II (E/O) [8]	0,5	0,7
Развитие зоопланктона	Низкое	Низкое
N Rot.%/N Crust.%	1,4	2,4
Доминанты (S – индикаторная значимость)	<i>Asplanchna sieboldi</i> (S=1,5) <i>Cyclops kolensis</i> (S=1,8) <i>Termocyclops oithonoides</i> (S=1,6)	<i>Brachionus calyciflorus</i> (S=2,5) <i>Cyclops vicinus</i> (2,1)

Развитие зоопланктона в озёрах низкое, сапробность – на уровне β-сапробных водоёмов.

Как отмечено выше, видовое сходство зоопланктона в этих озёрах составляет 45-50%. В оз. Чайка отсутствовали виды чистых водоёмов, богатым было видовое разнообразие коловраток, что свидетельствует о большей эвтрофикации данного озера. Этот же фактор подтверждается показателями трофности, доминантами и их индикаторной значимостью: в оз. Чайка возрастают значения E, E/O; снижается средняя индивидуальная масса; увеличивается индикаторная значимость доминантов.

#### ВЫВОДЫ

1. В составе зоопланктона оз. Изумрудного обнаружены тридцать три вида. Преобладали космополиты, обитатели небольших водоёмов, фитофилы. По видовому разнообразию и количественным показателям доминировали коловратки. Среднее значение N Rot. % / N Crust. % = 1,4.

2. Средняя численность зоопланктона изменялась от 20 до 50 тыс. экз./ м<sup>3</sup> (максимальное значение – 70 тыс. экз./ м<sup>3</sup>), биомасса составляла 0,2 – 0,3 г/ м<sup>3</sup>.

3. Максимальное развитие зоопланктона наблюдалось в прибрежной зоне – районе местообитания растений с плавающими листьями. Здесь трофность была характерной для мезотрофных водоёмов. В зоне котловины развитие зоопланктона уменьшалось до низкого уровня, а трофность увеличивалась до уровня эвтрофирования.

4. У 70% видов индикаторная значимость характерна для α-β- и β-сапробных систем. В целом сапробность в озере была на уровне β – сапробных водоёмов, т. е. умеренной степени загрязнения органикой.

5. В системе озёр национального парка оз. Изумрудное отличается меньшим эвтрофированием, большим видовым разнообразием ракообразных и числом видов чистых водоёмов.

6. Низкий уровень развития зоопланктона в оз. Изумрудном, как и в других озерах национального парка, определялся заиленностью и концентрацией гуминовых веществ (в районе котловины). Данное обстоятельство делает необходимым проведение комплекса мелиоративных мер по оздоровлению озёр национального парка.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Андроникова, И. Н. Структурно-функциональная организация зоопланктона озёрных экосистем / И. Н. Андроникова.- Санкт-Петербург, 1996.- 189 с.
2. Унифицированные методы исследования качества вод // СЭВ. Совещание руководителей водохозяйственных органов стран-членов СЭВ. - Ч. 3. Методы биологического анализа.- Москва, 1975.- 176 с.
3. Пашкова, О. В. Зоопланктон как индикатор органического и токсического загрязнения и экологического состояния гидросистем (обзор) / О. В. Пашкова // Гидробиологический журнал.- 2012.- Т. 48, № 6.- С. 3-25.
4. Губарева, И. Ю. Гигрофильная флора озера Чайка (Национальный парк Куршская коса) / И. Ю. Губарева, М. А. Герб // Проблемы изучения и охраны природного и культурного наследия национального парка «Куршская коса»: сб. науч. ст. – Вып. 10. - Калининград: Изд-во БФУ им. И. Канта, 2014. – С. 25-44.
5. Цыбалёва, Г. А. Зоопланктон прибрежной зоны озера Чайка в национальном парке «Куршская коса» / Г. А. Цыбалёва, С. Ю. Кузьмин // Проблемы изучения и охраны природного и культурного наследия национального парка «Куршская коса»: сб. науч. ст. / БФУ им. И. Канта.- Калининград, 2013. – Вып. – 9. – С. 91-100.
6. Цыбалёва, Г. А. Некоторые трофические характеристики системы озёр национального парка «Куршская коса» / Г. А. Цыбалёва, С. Ю. Кузьмин // Водные биоресурсы, аквакультура и экология водоёмов: междунар. науч. конф.: труды. Балтийский морской форум (26-27 мая 2015 г.).- Калининград: Изд-во ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2015. - С. 145-147.
7. Мязмете, А. Х. Изменения зоопланктона / А. Х. Мязмете // Антропогенное воздействие на малые озёра / АН СССР, Ин-т озёроведения.- Ленинград, 1980.- С. 54-64.
8. Hakkari, L. On the productivity and ecology of zooplankton and its role as food for fish in some lakes in Central Finland / L. Hakkari // Biol. Res. Rept. University Iyvas- Kyla, 1978, № 4.- P. 3-87.

REFERENCES

1. Andronikova I. N. *Strukturno-funktsional'naya organizatsiya zooplanktona ozernykh ekosistem* [Structural and functional organization of zoological plankton on lake ecosystems]. Saint-Petersburg, 1996, 189 p.
2. Unifitsirovannyye metody issledovaniya kachestva vod [Unified methods for research of water quality]. *SEV. Soveshchanie rukovoditeley vodokhozyaystvennykh organov stran-chlenov SEV. Vol. 3. Metody biologicheskogo analiza*. Moscow, 1975, 176 p.
3. Pashkova O. V. Zooplankton kak indikator organicheskogo i toksicheskogo zagryazneniya i ekologicheskogo sostoyaniya gidrosistem (obzor) [Zoological plankton as an indicator of organic and toxic contamination and environmental conditions of hydrosystems (overview)]. *Gidrobiologicheskij zhurnal*, 2012, vol. 48, no. 6, pp. 3-25.
4. Gubareva I. Yu., Gerb M. A. Gigrofil'naya flora ozera Chayka (Natsional'nyy park Kurshskaya kosa) [Hydrophilic flora of Chayka lake (National park “Curonian spit”)]. *Problemy izucheniya i okhrany prirodnogo i kul'turnogo naslediya natsion-*

*al'nogo parka «Kurshskaya kosa»: sbornik nauchnykh statey* [Problems of studying and protection of natural and cultural heritage of the national park “Curonian spit”: collection of scientific articles]. Vol. 10, Izd-vo BFU im. I. Kanta, Kaliningrad, 2014. - pp. 25-44.

5. Tsybaleva G. A., Kuz'min S. Yu. Zooplankton pribrezhnoy zony ozera Chayka v natsional'nom parke «Kurshskaya kosa» [Zoological plankton of the coastal area of Lake Chayka in the national park “Curonian spit”]. *Problemy izucheniya i okhrany prirodnogo i kul'turnogo naslediya natsional'nogo parka «Kurshskaya kosa»: sbornik nauchnykh statey* [Problems of studying and protection of natural and cultural heritage of the national park “Curonian spit”: collection of scientific articles]. Vol. 9, Izd-vo BFU im. I. Kanta, Kaliningrad, 2013, pp. 91-100.

6. Tsybaleva G. A., Kuz'min S. Yu. Nekotorye troficheskie kharakteristiki sistemy ozer natsional'nogo parka «Kurshskaya kosa» [Some trophic characteristics of the system of lakes in the national park “Curonian Spit”]. *Trudy Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii «Vodnye bioresursy, akvakul'tura i ekologiya vodoemov». Baltiyskiy morskoy forum 26-27 maya 2015 g.* [International scientific conference “Aquatic bioresources, aquaculture and ecology of water bodies”. Baltic maritime forum, May 26-27, 2015]. Kaliningrad, Izd-vo FGBOU VPO «KGTU», 2015, pp. 145-147.

7. Myaemete A. Kh. Izmeneniya zooplanktona [Changes of zoological plankton]. *Antropogennoe vozdeystvie na malye ozera*. Leningrad, Institut ozerovedeniya AN SSSR, 1980, pp. 54-64.

8. Hakkari L. On the productivity and ecology of zooplankton and its role as food for fish in some lakes in Central Finland. *Biol. Res. Rept. University Iyvas- Kyla*, 1978, no. 4, pp. 3-87.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Цыбалёва Галина Андреевна* – Калининградский государственный технический университет; кандидат биологических наук, доцент кафедры ихтиопатологии и гидробиологии

*Tsibaliova Galina Andreevna* – Kaliningrad State Technical University; PhD in Biology, Assistant professor of the Department of ichthyopatolgy and hydrobiology

*Кузьмин Сергей Юрьевич* – Калининградский государственный технический университет; кандидат биологических наук, доцент кафедры ихтиопатологии и гидробиологии; E-mail: kuzmin\_1958@mail.ru

*Kuzmin Sergei Jurievich* – Kaliningrad State Technical University; PhD in Biology, Assistant professor of the Department of ichthyopatolgy and hydrobiology; E-mail: kuzmin\_1958@mail.ru

# **ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ**



УДК 676.164

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ХАРАКТЕРА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ  
ТАРЫ НА СТЕРИЛИЗАЦИЮ РЫБНЫХ КОНСЕРВОВ

Г. В. Алексеев, Е. И. Верболоз, А. Г. Лей

STUDY OF THE INFLUENCE OF MOVEMENT OF CANS ON CANNED  
FISH STERILIZATION

G. V. Alekseev, E. I. Verboloz, A. G. Leu

Известно, что влаготепловая обработка пищевого сырья и полуфабрикатов имеет важное значение при производстве готовой продукции. Такая обработка важна как непосредственно в цепи технологического процесса, так и на некоторых финишных его стадиях. Важную роль в технологической цепи производства рыбных консервов, например, играет стерилизация, так как правильно выбранные способ и режим этого процесса позволяют получить продукт высокого качества. Существуют различные способы и устройства, позволяющие достаточно надежно стерилизовать рыбные консервы. Однако во всем мире общепризнанным и наиболее распространенным остается способ тепловой обработки рыбных консервов непосредственно в таре. Все конструкции аппаратов, предназначенных для проведения тепловой обработки пищевых продуктов с целью уничтожения и инактивации различного рода нежелательных микроорганизмов, делятся на стерилизаторы периодического и непрерывного действия. И те и другие, несмотря на постоянное совершенствование конструкции, обладают целым рядом недостатков, что заставляет разработчиков искать новые варианты проведения тепловой стерилизации, температурных режимов и прочее.

В работе исследованы перемещения упаковочной тары при тепловой обработке консервов, для этого она представлена в виде металлических банок цилиндрической формы, которые помещены в стерилизатор эрлифтного типа. В процессе решения основных уравнений гидродинамики, записанных для такой модели, осуществлен анализ режимов термообработки и показано влияние на нее условий перемещения тары.

Проведенные исследования позволили оценить коэффициенты лобовых сопротивлений перемещающейся тары. Эта оценка показывает, что значения  $C_R$  обязательно должны уточняться экспериментально, поскольку теоретические оценки не всегда адекватно описывают реальные значения этих величин.

*влаготепловая обработка, рыбные консервы, стерилизация, температурные режимы, неравномерность распределения температур, интенсивность естественной циркуляции*

It is well-known that wet-heat treatment of food raw material and processed food are very important in manufacturing of finished products. Such processing is important both in the manufacturing process, and at some of its final stages. Sterilization of the

product plays an important role in the production process of canned fish, since the right method and mode of sterilization process allows obtaining high-quality product. There are different ways and equipment ensuring fail-safe sterilization of canned fish. However, the most recognized and the most common method of heat treatment of canned fish is directly in the can. All devices, intended for undertaking heat processing of food products for the purpose of destroying different unfavorable microorganism, are divided into discontinuous and continuous sterilizers. Despite constant improvement of the designs, all of them possess a number of disadvantages, which make the developers search for new options of heat sterilization, temperature conditions etc.

The article examines movements of cans under heat processing of canned food. For this purpose, it is presented in the form of bowl-shaped metal cans which are placed in an air-lift sterilizer. In the process of solution of the main hydrodynamic equations written down for this model, we have done an analysis of heat treatment conditions and the way it is influenced by movement conditions of cans.

The conducted research allowed us to estimate coefficients of frontal drag of moving cans. This estimation shows that values of drag coefficient must be defined more exactly in experiments, because theoretical estimates do not always show real values of these variables.

*wet-heat treatment, canned fish, sterilization, temperature conditions, nonuniformity of temperature, intensity of natural circulation*

## ВВЕДЕНИЕ

Работа стерилизатора эрлифтного типа предполагает, что нагрев банки до температуры стерилизации и выдержка при этой температуре осуществляются за период перемещения тары от точки ее входа в стерилизатор до точки выхода из него. За это время банка двигается последовательно сначала в нисходящем потоке, а затем – в восходящем. Время пребывания банки в аппарате при этом представляются в виде:

$$\tau = (\tau_{\text{НК}} + \tau_{\text{ВК}} + \tau_{\text{Н} \rightarrow \text{В}} + \tau_{\text{В} \rightarrow \text{Н}}) \cdot Z, \quad (1)$$

где  $\tau_{\text{НК}}, \tau_{\text{ВК}}$  - время пребывания тары в нисходящем или восходящем потоке соответственно, здесь же  $\tau_{\text{Н} \rightarrow \text{В}}, \tau_{\text{В} \rightarrow \text{Н}}$  – время перехода банки из одного канала в другой канал.

Величина  $Z$  означает количество пар каналов в аппарате.

Исходя из соотношения  $\tau_{\text{НК}}, (\tau_{\text{ВК}}) \gg \tau_{\text{Н} \rightarrow \text{В}}, (\tau_{\text{В} \rightarrow \text{Н}})$ , время пребывания  $\tau$  с определенной точностью можно принять равным

$$\tau = (\tau_{\text{НК}} + \tau_{\text{ВК}}) \cdot Z.$$

Довольно просто можно определить, что указанное время будет определяться скоростью движения тары в каждой из пар каналов и длиной самих каналов, которая принимается равной, т.е.

$$\tau = (\tau_{\text{нк}} + \tau_{\text{вк}}) \cdot Z = \frac{H_{\text{нк}}}{U_{\text{бн}}} + \frac{H_{\text{вк}}}{U_{\text{бн}}} \quad (2)$$

Таким образом, для установления времени пребывания банки в стерилизаторе необходимо знать скорость движения банки в каждом из каналов.

Следует отметить, что кроме длины каналов важным параметром, определяющим эффективность процесса стерилизации, является частота вращения банки при ее перемещении с доньшка на крышку, которую обозначим  $n$ .

Указанное вращение банки в рассматриваемом стерилизаторе будет происходить при переходе банки из канала в канал. По-видимому, наиболее предпочтительной частотой будет такая, при которой жидкая фаза внутри банки будет находиться постоянно в движении, т. е. очередной переворот должен осуществляться в момент, когда движение жидкой фазы, вызванное предыдущим переворотом, заканчивается.

### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектами исследований являлись различные виды металлических банок цилиндрической формы, выступавших в роли упаковочной тары для тепловой обработки консервов. В процессе исследований их помещали в стерилизатор эрлифтного типа [1,2].

Для анализа режимов термообработки и влияния на нее условий перемещения тары записывали основные уравнения гидродинамики.

Предполагали, что перемещение банки определяется временем  $\tau_k$ , которое равно  $\tau_{\text{нк}}$  или  $\tau_{\text{вк}}$ . В том случае, когда  $\tau_n > \tau_{\text{нк}}$ , длина канала будет необоснованно занижена, так как очередной переворот уже произошел, а движение жидкости от предыдущего переворота еще не закончилось. Из этого можно сделать вывод о том, что время пребывания банки в канале и время движения жидкости внутри ее должны быть одинаковыми. Условие оптимальной работы аппарата, учитывая эти соображения, будет

$$\tau_{\text{нк(вк)}} = \tau_n \quad (3)$$

Для этого условия можно определить скорости движения банки в восходящем и нисходящем потоках, а также время движения жидкости внутри банки с продуктом.

Предполагая, что в каждый момент времени в рассматриваемом сечении канала будет находиться лишь одна банка, процесс перемещения банок можно представить как процесс перемещения единичной твердой частицы газожидкостной смесью. Такое предположение позволяет рассматривать процесс перемещения банки без учета влияния других банок, находящихся впереди или позади.

Составим баланс сил, действующих на банку и определяющих ее скорость в вертикальном направлении (рис. 1).

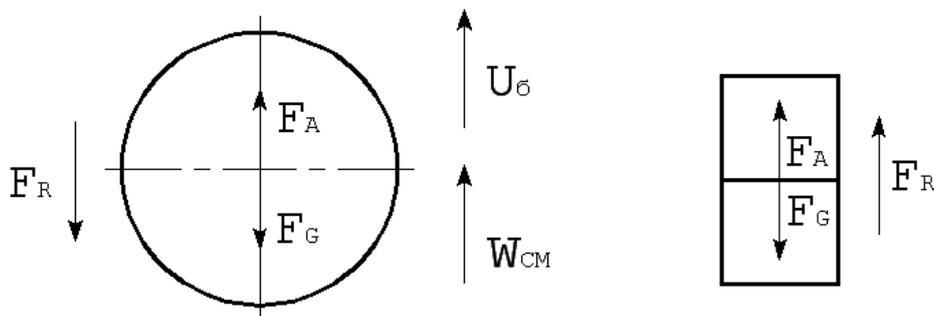


Рис. 1. Схема баланса сил, действующих на банку  
 Fig. 1. Diagram of balance of forces acting on a can

На банку, находящуюся в газожидкостном потоке, будут действовать сила тяжести  $F_G$ , архимедова сила  $F_A$  и сила сопротивления  $F_R$ .

Баланс сил в этом случае запишется в виде

$$F_A - F_G - F_R = \frac{m dU_{\text{б}}}{dt} \quad (4)$$

В случае равномерного движения банки вдоль канала получим [3]

$$F_A - F_G - F_R = 0 \quad (5)$$

Или, записав составляющие более подробно:

$$F_A = V_{\text{б}} \cdot \rho_{\text{см}} \cdot q \quad (6)$$

$$F_G = V_{\text{б}} \cdot \rho_{\text{б}} \cdot q \quad (7)$$

$$F_R = C_R \cdot S_{\text{mid}} \cdot \rho_{\text{см}} \cdot (W_{\text{ст}} - U_{\text{б}})^2 / 2 \quad (8)$$

Теперь соотношение (5) примет вид

$$V_{\text{б}} \cdot \rho_{\text{см}} \cdot q - V_{\text{б}} \cdot \rho_{\text{б}} \cdot q - C_R \cdot S_{\text{mid}} \cdot \rho_{\text{см}} \cdot (W_{\text{ст}} - U_{\text{б}})^2 / 2 = 0 \quad (9)$$

После дальнейших алгебраических преобразований получим

$$V_{\text{б}} \cdot q \cdot (\rho_{\text{б}} - \rho_{\text{см}}) = C_R \cdot \rho_{\text{см}} \cdot U_{\text{от}}^2 \cdot S_{\text{mid}} / 2.$$

Поскольку известно, что

$$\rho_{\text{см}} = \rho_{\text{ж}}(1 - \varphi_{\text{г}}) + \rho_{\text{г}} \cdot \varphi_{\text{г}} \quad (10)$$

и, принимая во внимание, что  $\rho_{\text{ж}} \gg \rho_{\text{г}}$  и  $(1 - \varphi_{\text{г}}) > \varphi_{\text{г}}$  можно полагать, что

$$\varphi_{\text{г}} \cdot \varphi_{\text{г}} \cong 0,$$

тогда

$$\rho_{\text{см}} \approx \rho_{\text{ж}}(1 - \varphi_{\text{г}}) \quad (11)$$

откуда

$$V_{\bar{6}} \cdot q[\rho_{\bar{6}} - (1 - \varphi_{\Gamma}) \cdot \rho_{\text{ж}}] = C_R \frac{\rho_{\text{ж}}(1 - \varphi_{\Gamma})(W_{\text{ст}} - U_{\bar{6}})^2 \cdot S_{\text{mid}}}{2} \quad (12)$$

$$\text{или } (W_{\text{ст}} - U_{\bar{6}})^2 = \frac{2V_{\bar{6}} \cdot q}{S_{\text{mid}} \cdot C_R} \frac{\rho_{\bar{6}} - \rho_{\text{ж}}(1 - \varphi_{\Gamma})}{\rho_{\text{ж}}(1 - \varphi_{\Gamma})}, \quad (13)$$

где  $W_{\text{см}} = W_{\text{ж}} + W_{\Gamma}$  – приведенная скорость смеси.

Таким образом, из выполненных преобразований следует, что скорость движения тары в восходящем газожидкостном потоке определяют геометрические размеры и условную плотность банки. Кроме того, эта характеристика зависит от скорости несущего потока и его газосодержания, а также коэффициента сопротивления банки  $C_R$ .

В нисходящих каналах банка движется прямоотком в свободной от газовой фазы жидкости [4-6].

Составляя баланс сил, действующих на банку при ее нисходящем движении (по аналогии с предыдущим случаем), получим:

$$F_A - F_G + F_R = 0;$$

$$V_{\bar{6}} \cdot \rho_{\bar{6}} \cdot q - V_{\bar{6}} \cdot \rho_{\text{ж}} \cdot q - C_R \cdot S_{\text{mid}} \cdot \rho_{\text{ж}} (U_{\text{бн}} - W_{\text{ж}})^2 / 2 = 0. \quad (14)$$

Откуда после ряда преобразований имеем уравнение для расчета  $U_{\text{бн}}$ .

$$U_{\text{бн}} = W_{\text{ж}} + \frac{2V_{\bar{6}} \cdot q}{C_R \cdot S_{\text{mid}}} \cdot \left( \frac{\rho_{\bar{6}}}{\rho_{\text{ж}}} - 1 \right) \quad (15)$$

Входящий в уравнения (12) и (14) коэффициент сопротивления банки  $C_R$  в общем случае является функцией числа Рейнольдса и требует либо теоретического, либо экспериментального определения [7-10].

Приведенная скорость жидкости при рассмотрении кинетических параметров газожидкостных потоков обычно определяется соотношением

$$W_{\text{ж}} = \frac{Q_{\text{ж}}}{S_{\text{к}}}. \quad (16)$$

Известно, кроме того, что  $W_{\text{ж}}$  связана с истинной средней скоростью жидкости через объемное газосодержание  $\varphi_{\Gamma}$ :

$$W_{\text{ж}} = \frac{W_{\text{жв}}}{1 - \varphi_{\Gamma}} \quad (17)$$

Из этого соотношения следует, что для решения поставленной выше задачи достаточно в одном из каналов определить значение приведенной скорости жидкости.

Определению  $W_{\text{ж}}$  в аппаратах эрлифтного типа посвящено достаточно большое число работ [9-12], в которых показано, что приведенная скорость жидкости находится из основного уравнения циркуляционного контура, предложенного Соколовым В. Н. и Доманским И. В.:

$$H_{\text{к}}(\rho_{\text{ж}} - \rho_{\text{см}}) \cdot q = \Delta P_{\bar{6}} + \Delta P_{\text{ц}}. \quad (18)$$

Более подробно, учитывая влияние  $\varphi_\Gamma$ , получим:

$$H_k(\rho_{ж} - \rho_{см})\varphi_\Gamma \cdot q = \Delta P_{\bar{6}} + \Delta P_{ц} \quad (19)$$

где  $\Delta P_{\bar{6}}, \Delta P_{ц}$  - потери напора в барботажной и циркуляционной трубах, соответственно,  $H/m^2$ ;  $H_k$  - высота канала аппарата, м;  $\rho_{ж}, \rho_\Gamma$  - плотность жидкости и газа,  $кг/м^3$ .

Окончательный вид последнего из записанных уравнений зависит от гидравлического сопротивления эрлифтного аппарата, обусловленного конструкцией элементов его каналов.

Анализ гидравлических сопротивлений эрлифтного аппарата кожухотрубного типа при  $\Gamma = 1$  позволил уравнение (19) получить в виде:

$$\Delta P = \left[ (\zeta_{вц} + \zeta_{вых.ц} + \zeta_{дп.ц}) \right] \cdot \frac{\rho_{ж} \cdot W_{ж}^2}{2}, \quad (20)$$

где  $\Delta P = H_k(\rho_{ж} - \rho_\Gamma)\varphi_\Gamma \cdot q$

На основании соотношения (20) для газлифтного кожухотрубного аппарата, имеющего опускные и подъемные трубы одинакового диаметра и работающего на жидкости, по своим физическим свойствам близкой к воде, получена упрощенная зависимость для расчета  $W_{ж}$ :

$$W_{ж} = 3,5 \left[ \frac{H_k \cdot \beta \left( \frac{\Delta \rho}{\rho_\Gamma} \right)^{0,125}}{\zeta_k} \right]^{0,5}, \quad (21)$$

где  $\zeta_k = 5,1 + 0,03 \left[ \frac{H_{к.б}}{d_{\bar{6}}} + \frac{H_{к.ц}}{d_{ц}} \right]$  - общий коэффициент сопротивления циркуляционного контура

$$\beta = 0,925 + \left( \frac{W_\Gamma^2}{q \cdot H_k} \right)^{0,25} \cdot \left( \frac{v_{ж}}{qH^3} \right)^{0,03} \cdot \left( \frac{\Delta \rho}{\rho_\Gamma} \right) \cdot \Gamma^m, \quad (22)$$

где при  $\Gamma \leq 1$   $m = 0,1$ ;

при  $\Gamma > 1$   $m = 0,3$ .

Можно отметить, что уравнение (24) дает хорошую сходимость с экспериментальными данными при

$$\frac{W_\Gamma^2}{(qH_k)} = 0,3 \cdot 10^{-3} \div 0,4 \quad \frac{qH_k^3}{v_{ж}^2} = 4 \cdot 10^9 \div 4 \cdot 10^{18}$$

$$\frac{\Delta \rho}{\rho_\Gamma} = 225 \div 830 \quad \Gamma = 0,23 \div 2,54$$

Для расчета кюветного эрлифтного аппарата может быть предложена зависимость

$$W_{ж} = \left[ \frac{2H(\varphi_{гк} - \varphi_{гц})(1 - \varphi_{гб})^2 \cdot q}{\zeta_k} \right]^{0,5}, \quad (23)$$

где  $\zeta_k = \zeta_{вх.б} + \zeta_{вых.б} + 2\zeta_{180^\circ} + \zeta_{дл.}$

Аналогичный подход может быть использован для расчета  $W_{ж}$  в эрлифтном аппарате с внешним циркуляционным контуром:

$$\int_0^{H_k} \varphi_{гб}(z) dz - \int_0^{H_k} \varphi_{гц}(z) dz = \left( \zeta_k / 2q \right) W_{ж}^2 . \quad (24)$$

Левая часть уравнения (27), при использовании средних значений газосодержания по высоте аппарата, является аналогом левой части уравнения (26).

Значение  $\zeta_k$  определялось так:

$$\zeta_k = \left( \frac{S_{кц}}{S_{кб}} \right)^2 (\zeta_{дл.б} + 3\zeta_{90^\circ} + \zeta_{н \rightarrow в}) + \zeta_{90^\circ} + \zeta_{в \rightarrow н} + \zeta_{дл.ц} . \quad (25)$$

В работе [11] оценена приведенная скорость жидкости в эрлифтном аппарате с внутренним циркуляционным контуром. В основе лежит также уравнение циркуляционного контура, представленное в виде уравнения (20). Коэффициент сопротивления контура складывается из записанных ниже величин:

$$\zeta_k = \zeta_{дл.б} + \zeta_{дл.ц} + \zeta_{б \rightarrow ц} + \zeta_{ц \rightarrow б} . \quad (26)$$

Было показано, что на  $\zeta_k$  значительное влияние оказывает величина отношения  $\frac{S_{кб}}{S_{кц}}$ , где числитель и знаменатель – расстояния концов подъемной трубки. Значения величин: верхней – расстояние до свободной поверхности жидкости и нижней – расстояние до днища.

Выполненные экспериментальные измерения  $\zeta_k$  показали, что значения этого параметра имеют ярко выраженный минимум. В зависимости от соотношения  $\frac{S_{кб}}{S_{кц}}$  для цилиндрической стенки, разделяющей каналы и имеющей острую, без специальных закруглений, кромку, этот минимум приходится на  $\Gamma = 0,8 - 1$ .

Характер зависимости  $\zeta_k$  от  $\Gamma$  подтверждается экспериментом, в котором  $\Gamma$  принимало значение 1.

Из вышеизложенного можно сделать вывод, что основное уравнение циркуляционного контура является универсальным и применимым для расчета скорости жидкости в аппаратах эрлифтного типа любой конструкции. Основываясь на этом выводе, составляем уравнение циркуляционного контура для пары каналов стерилизатора эрлифтного типа с учетом перемещения банок по каналам.

Схема циркуляционного контура представлена на рис. 2.

Канал I реализует нисходящий поток жидкости с распределенными по высоте канала банками, а канал II – восходящий.

При составлении уравнения циркуляционного контура вводили ряд упрощающих допущений:

– считали, что весь газ отделяется в верхней части подъемного канала и не поступает в виде пузырьков в опускной канал, тогда газосодержание в последнем можно принять стремящимся к нулю, т.е.  $\varphi_{гн} = 0$ ;

– предполагали, что в любой момент времени и в любом сечении каналов находится лишь одна банка, т. е. банки, как и следует из описания работы аппарата, движутся чередой друг за другом на определенном расстоянии, зависящем от частоты загрузки аппарата, и в любой момент будем иметь  $n_b$  – банок в подъемном канале и  $n_n$  – банок в опускном.

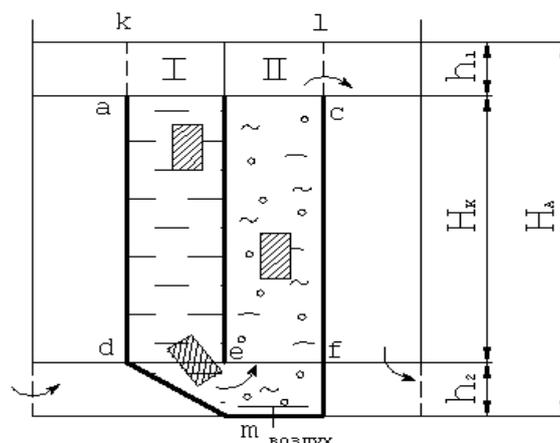


Рис. 2. Схема циркуляционного контура  
Fig. 2. Diagram of circulation loop

Вычисление давления в сечении «de» оказалось равным

$$P_{de} = P_0 + (H_k + h_1) \cdot \rho_{ж} \cdot q \cdot \Delta P_H \quad (27)$$

Давление в сечении «ef» складывалось из величин:

$$P_{ef} = P_0 + (H_k + h_1) \cdot \rho_{см} \cdot q + \Delta P_B \quad (28)$$

Давления в сечении «dl» и «lf» равны, если учесть потери при переходе потока из канала I в канал II, т. е.

$$P_{de} = P_{ef} + \Delta P_{H \rightarrow B} \quad (29)$$

Учитывая ранее записанные выражения, можно подставить значения  $P_{de}$  и  $P_{ef}$  и получить следующее соотношение:

$$P_0 + (H_k + h_1) \cdot \rho_{ж} \cdot q \cdot \Delta P_H = P_0 + (H_k + h_1) \cdot \rho_{см} \cdot q + \Delta P_B + \Delta P_{H \rightarrow B}$$

или после группировки и сокращения окончательно:

$$(H_k + h_1) \cdot \rho_{ж} \cdot q \cdot (H_k + h_1) \cdot \rho_{см} \cdot q = \Delta P_H + \Delta P_B + \Delta P_{H \rightarrow B}$$

## ВЫВОДЫ

Анализ полученных результатов и специальной научно-технической литературы показывает, что значения  $C_R$  могут быть рассчитаны теоретически для крайне ограниченного числа случаев, которые касаются в основном тел правильной симметричной (в трех или двух измерениях) формы и в условиях ламинарного обтекания.

Для экспериментального определения коэффициентов лобовых сопротивлений упаковочной тары следует обеспечивать следующие условия, максимально приближенные к условиям составления уравнения циркуляционного контура:

- весь газ отделять в верхней части подъемного канала и не допускать в виде пузырьков в опускной канал;
- в любой момент времени и в любом сечении каналов обеспечить наличие лишь одной банки;
- обеспечить движение друг за другом на определенном расстоянии, зависящем от частоты загрузки аппарата;

– в любой момент времени обеспечить наличие одинакового количества банок:  $n_b$  – банок в подъемном канале и  $n_n$  – банок в опускном.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Hale M. B., Brown T. Fatty acids and lipid classes of three underutilized species and changes due to canning // «Mar. Fish. Rev.». 1983, Vol. 45. – no. 4 - 6. - pp. 45 - 48.
2. Ohshima T., Wada S. // «Нихон суйсан гаккайси, Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.». 1986, Vol. 52. - № 6. - P. 1095 - 1102.
3. Leonard S. J. et al. Estimating Thermal Degradation in Processing of Foods / S. J. Leonard, R. L. Merson, G. L. Marsh, L. R. Heil // J. Agric. Food Chem. 1986. Vol. 34. - P. 392 - 396.
4. Nodkarni M. M., Hatton T. A. Optimal Nutrient Retention during the Thermal Processing of Conduction-Heated Canned Foods: Application of the Distributes Minimum Principle // Journal of Food Science. 1985. - Vol. 50. - P. 1312 - 1321.
5. Adams H. W. Class processing in agitated cookers.- Canner Pecker, 1972, № 6.
6. Mouchet M. Evolution de sterilisation J hudrolock.- Jnd. Alim. Etagric., 1967, №84.
7. Ball C. O., Olsen F. C. W. Sterilization food technologi. McGraw Hill Bok CO.- New York, 1957.
8. Lemlich P. Yndustrial Engineering Chemistry, june, 1965
9. Биденко, М. С. Перспективы развития технологии консервов из объектов океанического промысла / М. С. Биденко, С. А. Артюхова. – Калининград: АтлантНИРО, 1987. – С. 4-10.
10. Блинов, Ю. Г. Изменение коллагена при тепловой обработке мышечной ткани мороженой ставриды / Ю. Г. Блинов. – Владивосток: ТИНРО, 1987. – 6 с. – Деп. в ЦНИИТЭИРХ 26.05.87, № 844-рх87.
11. Алексеев, Г. В. Использование математического моделирования для ресурсосберегающих пищевых производств / Г. В. Алексеев, О. И. Аксенова // Научный журнал НИУ ИТМО. Сер.: Процессы и аппараты пищевых производств. – 2014. – № 3. – С. 1-10.
12. Saguy I., Karel M. Modeling of Quality Deterioration During Food Processing and Storage // Food Technology. 1980. - Vol. 34, no. 2. - P. 78 - 85.

#### REFERENCES

1. Hale M. V., Brown T. Fatty acids and lipid classes of three underutilized species and changes due to canning. *Mar. Fish. Rev.* 1983, vol. 45, no. 4-6, pp. 45-48.
2. Ohshima T., Wada S. Nihon sujsan gakkajsi. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* 1986, vol. 52, no. 6, pp. 1095-1102.
3. Leonard S. J., Merson R. L., Marsh G. L., Heil L. R. Estimating Thermal Degradation in Processing of Foods. *J. Agric. Food Chem.* 1986, vol. 34, pp. 392-396.

4. Nodkarni M. M., Hatton T. A. Optimal Nutrient Retention during the Thermal Processing of Conduction-Heated Canned Foods: Application of the Distributions Minimum Principle. *Journal of Food Science*. 1985, vol. 50, pp. 1312-1321.
5. Adams H. W. Class processing in agitated cookers. *Canner Pecker*, 1972, no. 6.
6. Mouchet M. Evolution de sterilisation J hudrolock. *Jnd. Alim. Etagric.*, 1967, no. 84.
7. Ball S. O., Olsen F. C. W. Sterilization food technologi. McGraw Hill Bok CO. New York, 1957.
8. Lemlich P. Yndustrial Engineering Chemistry, june, 1965.
9. Bidenko M. S., Artjuhova S. A. *Perspektivy razvitiya tehnologii konserвов iz ob'ektov okeanicheskogo promysla* [Prospects for the development of the technology for canned food out of deep-sea fishery products]. Kaliningrad, AtlantNIRO, 1987, pp. 4-10.
10. Blinov Ju. G. *Izmenenie kollagena pri teplovoj obrabotke myshechnoj tkani morozhennoj stavridy* [Alteration of collagen under heat treatment of muscle of frozen horse-mackerel]. Vladivostok, TINRO, 1987, 6 p. Dep. v CNIITJeIRH 26.05.87, № 844-rh87.
11. Alekseev G. V., Aksenova O. I. Ispol'zovanie matematicheskogo modelirovaniya dlja resursosberegajushhih pishhevyyh proizvodstv [Mathematical modelling for resource-efficient food productions]. *Nauchnyj zhurnal NIU ITMO. Seriya „Processy i apparaty pishhevyyh proizvodstv“*, 2014, no. 3, pp. 1-10.
12. Saguy I., Karel M. Modeling of Quality Deterioration During Food Processing and Storage. *Food Technology*. 1980, vol. 34, no. 2, pp. 78-85.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Алексеев Геннадий Валентинович* – Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики; доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой процессов и аппаратов пищевых производств; E-mail: gva2003@mail.ru

*Alexeev Gennadiy Valentinovich* – Sankt-Petersburg national exploratory university of information technology, mechanical engineering and optics; Doctor of technical sciences, Professor, Head of the department of processes and devices for food production; E-mail: gva2003@mail.ru

*Верболоз Елена Игоревна* – Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики; доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой технологических машин и оборудования; E-mail: gva2003@mail.ru

*Verboloz Elena Igorevna* – Sankt-Petersburg national exploratory university of information technology, mechanical engineering and optics; Doctor of technical sciences, Professor, Head of the department of production machines and equipment; E-mail: gva2003@mail.ru

*Леу Анна Геннадьевна* – Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики; аспирант кафедры процессов и аппаратов пищевых производств; E-mail: [gva2003@mail.ru](mailto:gva2003@mail.ru)

*Leu Anna Gennadievna* – Sankt-Petersburg national exploratory university of information technology, mechanical engineering and optics; graduate student of the department of processes and devices for food production; E-mail: [gva2003@mail.ru](mailto:gva2003@mail.ru)

УДК 664.951(06)

## УСТАНОВЛЕНИЕ СРОКА ГОДНОСТИ РЫБНОГО КУЛИНАРНОГО ИЗДЕЛИЯ

О. Н. Анохина

### ESTABLISHING SHELF LIFE OF FISH CULINARY PRODUCT

O. N. Anokhina

Наиболее перспективными направлениями переработки водных биологических ресурсов в настоящее время являются технологии комплексного использования сырья, в том числе его новых видов, обеспечивающие безотходное производство с минимальным отрицательным воздействием на окружающую среду; выпуск продуктов здорового питания. К 2020 г. предусматривается увеличение до 80 % глубины переработки водных биоресурсов за счет внедрения технологий комплексного использования сырья. Следовательно, расширение ассортимента и увеличение объема выпуска продуктов на основе вторичных ресурсов за счет снижения производственных потерь и повышения объемов продовольственных ресурсов на сегодняшний день весьма перспективны.

Существует множество технологий формованных изделий из гидробионтов: кулинарных изделий (котлеты, биточки, рыбные палочки), колбас, сосисок, консервов и др. Заинтересованность производителей в выпуске такой продукции обусловлена необходимостью расширения ассортимента и получением сбалансированных продуктов, имеющих высокую пищевую ценность.

Для решения задачи комплексной переработки вторичных биоресурсов необходимо развитие новых технологий, позволяющих не только создать новый вид продукта, сохранивший при переработке пищевую ценность, но и повысить рентабельность производства.

Возрождение рыбного кулинарного производства способно решить проблему комплексной переработки рыбного сырья с пониженной товарной ценностью, которое не используется населением в пищу, а также вторичных продуктов переработки рыбы и выпуска из них пищевой продукции с высокой питательной и биологической ценностью.

Особо выделяется в этой группе продуктов рыбный зельц, имеющий высокую биологическую ценность. Однако недостаточность разработок в области технологической документации сдерживает его промышленное производство в современных условиях.

Исходя из требований МУК 4.2.1847-04 проведены исследования рыбного зельца и определены сроки его годности.

*рыбный зельц, показатели безопасности, микроорганизмы, микробиологические показатели, показатели качества, органолептические показатели*

The priority areas now are technologies that ensure waste-free production. By 2020, it is planned to increase the level of processing of aquatic biological resources to

80 per cent through the introduction of non-waste technology. Therefore, expansion of the product range and increased production through the use of secondary products is one of the most promising directions.

Consumer market requirement of increased production of fish fillets leads to an increase in the number of secondary biological resources. Existing processing technologies do not provide receiving a food product with the desired properties; they are ineffective and are characterized by the loss of biologically valuable nutrients. To solve the problem of complex processing of secondary biological resources it is necessary to develop new technologies to not only create a new kind of product, maintaining the nutritional value while being recycled; but also to improve the profitability of production.

Development of fish culinary production can solve the problem of complex processing of raw materials with low marketing value, which is not traditionally used for food, as well as by-products of fish processing.

Fish headcheese stands out in this group of products, having a high biological value. All the above mentioned served as an impetus to modernization of this trend.

*fish headcheese, safety indicators, microorganisms, microbiological indicators, quality indicators, organoleptic indicators*

Основная цель, стоящая перед рыбоперерабатывающей промышленностью, согласно стратегии развития рыбной отрасли до 2020 г., заключается в обеспечении обязательного, повсеместного и бесперебойного снабжения населения страны безопасным и качественным продовольствием [1, 2].

Необходимость внедрять новые технологии характерна и для Российской Федерации, несмотря на то, что наша страна обладает значительными запасами водных биологических ресурсов. Новые технологии позволяют значительно расширять ассортимент продукции, вырабатывать продукты здорового питания с заданными качественными и количественными характеристиками, лечебно-профилактическими, геронтологическими и другими специализированными свойствами. Кроме того, при выпуске новых продуктов, как правило, повышается глубина переработки сырья, вовлекаются в производство вторичные ресурсы, что позволяет увеличивать выход готовой продукции с единицы перерабатываемого сырья [1, 2].

Таким образом, наиболее предпочтительными направлениями переработки водных биологических ресурсов являются ресурсосберегающие технологии, обеспечивающие комплексное использование сырья с минимальным воздействием на окружающую среду; использование в производстве новых видов сырья; производство продуктов здорового питания. К 2020 г. планируется увеличение до 80 % глубины переработки водных биоресурсов за счет внедрения безотходных технологий [1, 2]. Следовательно, расширение производства продукции и увеличение ассортимента продуктов благодаря использованию вторичных биоресурсов, приводящие к сокращению производственных потерь и увеличению объемов продовольственных ресурсов, на сегодняшний день весьма перспективны.

Также не стоит забывать о необходимости решения задачи повышения конкурентоспособности выпускаемой продукции. В настоящее время разработано и внедрено множество технологий формованных изделий из гидробионтов: кулинарных изделий (котлеты, биточки, рыбные палочки), колбас, сосисок, консервов

и др. Растущая заинтересованность производителей к выпуску такой продукции обусловлена не только необходимостью расширения ассортимента, но и получением продуктов здорового питания, имеющих высокую пищевую ценность [3, 4].

Объемы и структура потребления населением нашей страны рыбной продукции находятся в прямой зависимости, прежде всего, от уровня доходов семьи. Категория населения с низким уровнем доходов приобретает более дешевые виды рыб (хек, минтай, пикша); со средним уровнем доходов - продукцию среднего ценового сегмента (треска, сельдь, горбуша, скумбрия). С ростом доходов происходит переход на потребление продуктов более высокого ценового сегмента (лосось, форель, осетровые породы, филе, копченая рыбопродукция, моллюски, икра и т.д.), расширяется ассортимент потребляемой рыбы и морепродуктов, в том числе увеличивается потребление продуктов из живых и охлажденных водных биологических ресурсов [1, 2].

Потребитель в настоящее время хочет покупать пищевые продукты гарантированно безопасные для здоровья, с высокими органолептическими характеристиками и улучшенными функциональными и питательными свойствами в сочетании с традиционным внешним видом. Возрастает также спрос на натуральные пищевые продукты, так называемые продукты здорового питания, имеющие минимальную технологическую обработку без использования пищевых добавок [5].

Требование потребительского рынка по увеличению производства рыбного филе приводит к повышению количества вторичных биоресурсов – отходов филейного производства. Существующие технологии переработки не позволяют получить целевой пищевой продукт, они малоэффективны, отличаются потерей биологически ценных нутриентов. Для решения задачи комплексной переработки сырья необходимо развитие новых технологий, позволяющих не только создать новый вид продукта, сохранивший при переработке пищевую ценность, но и повысить рентабельность производства.

Возрождение рыбного кулинарного производства способно решить проблему комплексной переработки сырья с пониженной товарной ценностью, которое традиционно не используется населением в пищу, а также вторичных продуктов переработки рыбы и выпуска из них пищевой продукции, имеющей высокую питательную и биологическую ценность [4].

Особо выделяется в группе кулинарных продуктов рыбный зельц, имеющий высокую биологическую ценность. Но технологической документации для промышленного производства рыбного зельца в современных условиях не разработано. В литературных источниках описаны лишь зельц из голов осетровых, который хранится всего 12 ч, и различные рыбные студни из тресковых и лососевых видов рыб. К сожалению, эти продукты не получили широкого распространения на рынке товаров из-за ограниченных сроков годности и серьезного изменения сырьевой базы. Все вышеизложенное послужило толчком к модернизации производства рыбного зельца.

## МЕТОДЫ

Рекомендации по установлению сроков годности рыбного зельца разрабатывались согласно методическим указаниям МУК 4.2.1847-04 «Санитарно-эпидемиологическая оценка обоснования сроков годности и условий хранения пищевых продуктов» [6], которые устанавливают этапность проведения и мето-

дологию санитарно-эпидемиологической оценки обоснования сроков годности и условий хранения пищевых продуктов.

Основой санитарно-эпидемиологического обоснования сроков годности пищевых продуктов является проведение микробиологических, физико-химических исследований, оценка органолептических свойств образцов продукции в процессе хранения при температурах, предусмотренных нормативной и/или технической документацией [6].

Согласно МУК 4.2.1847-04 сроки исследования продуктов должны по продолжительности превышать предполагаемый срок годности, указанный в проекте нормативной или технической документации, на время, определяемое так называемым коэффициентом резерва.

Коэффициент резерва для скоропортящихся продуктов составляет:

- при сроках годности до 7 сут включительно - 1,5;
- при сроках годности до 30 сут включительно - 1,3.

Периодичность контроля качества и безопасности рыбного зельца представлена в табл. 1.

Таблица 1. Контрольные точки проведения исследований

Table 1. Research checkpoints

Сутки хранения						
0	4	7	15	20	28	36

В соответствии с СанПиН 2.3.2.1078-01 «Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов» [7] по стандартным методикам проведены микробиологические исследования сырья, рыбного зельца после приготовления и в процессе хранения.

Для проведения исследования были подготовлены образцы рыбного зельца из судака по разработанной рецептуре. Образцы хранили при температуре 2 – 4 °С в течение 36 сут.

Математическая обработка результатов и графическое представление полученных данных проводились с использованием программного пакета «Microsoft Excel».

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты микробиологического исследования сырья, используемого для приготовления зельца, представлены в табл. 2.

Таблица 2. Количественный и качественный состав микрофлоры используемого сырья

Table 2. Quantitative and qualitative composition of microflora of raw materials used

Сырье	КМАФАнМ	Видовой состав
Судак охлажденный	$4,2 \cdot 10^3$	p. Bacillus p. Pseudomonas p. Tallobacteria p. Staphylococcus
Морковь	$2,5 \cdot 10^3$	p. Bacillus

Окончание табл. 2

Сырье	КМАФАнМ	Видовой состав
Желатин	$0,9 \cdot 10^3$	p. Bacillus p. Staphylococcus
Смесь перцев	$1,6 \cdot 10^4$	p. Bacillus, Грамположительные бесспорные палочки, плесени
Приправа для рыбы	$1,1 \cdot 10^3$	p. Bacillus

На основании данных табл. 2 можно сделать вывод о том, что сырьё для производства рыбного зельца доброкачественное и соответствует требованиям СанПиН 2.3.2.1078-01 по микробиологическим показателям безопасности.

Результаты оценки микробиологических показателей рыбного зельца представлены в табл. 3.

Таблица 3. Результаты оценки микробиологических показателей рыбного зельца, контролируемых в процессе хранения

Table 3. Evaluation results of microbiological indicators of fish headcheese in storage

Показатели	Допустимые уровни	Сутки хранения						
		0	4	7	15	20	28	36
КМАФАнМ, КОЕ/г	Не более $5 \cdot 10^4$	$0,36 \cdot 10^3$	$0,55 \cdot 10^3$	$0,68 \cdot 10^3$	$0,98 \cdot 10^3$	$1,1 \cdot 10^3$	$2,8 \cdot 10^3$	$5,1 \cdot 10^4$
Бактерии группы кишечных палочек (БГКП, колиформы)	Не допускаются в 0,1 г	Не обнаружены в 0,1 г						
S.aureus	Не допускается в 1 г	Не обнаружен в 1 г						
Сульфитредуцирующие клостридии	Не допускаются	Не обнаружены						
Патогенные, в т.ч. сальмонеллы	Не допускаются в 25 г	Не обнаружены в 25 г						
L. Monocytogenes	Не допускается в 25 г	Не обнаружены в 25 г						
Бактерии рода Proteus, в 0,1 г	Не нормируются	Не обнаружены в 0,1 г						
Дрожжи, плесени	Не нормируются	Не обнаружены						

На рис. 1 представлено увеличение количества мезофильных аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ) в рыбном зельце в процессе хранения.

Из рис. 1 и табл. 3 следует, что увеличение КМАФАнМ выше допустимого уровня происходит после 35 сут хранения и свидетельствует о недоброкачественном состоянии продукта после этого срока. Патогенной и условно-патогенной

микробиологии на протяжении всего периода хранения рыбного зельца обнаружено не было. Эти данные говорят о высоком санитарном состоянии производства и безопасности разработанной продукции.

В ходе анализа в исследуемом образце были обнаружены два доминирующих вида бактерий из рода *Bacillus*:

- *Bac. subtilis*; составили 92 % от общей численности бактерий;
- *Bac. mesentericus*; составили 8 % от общей численности бактерий.

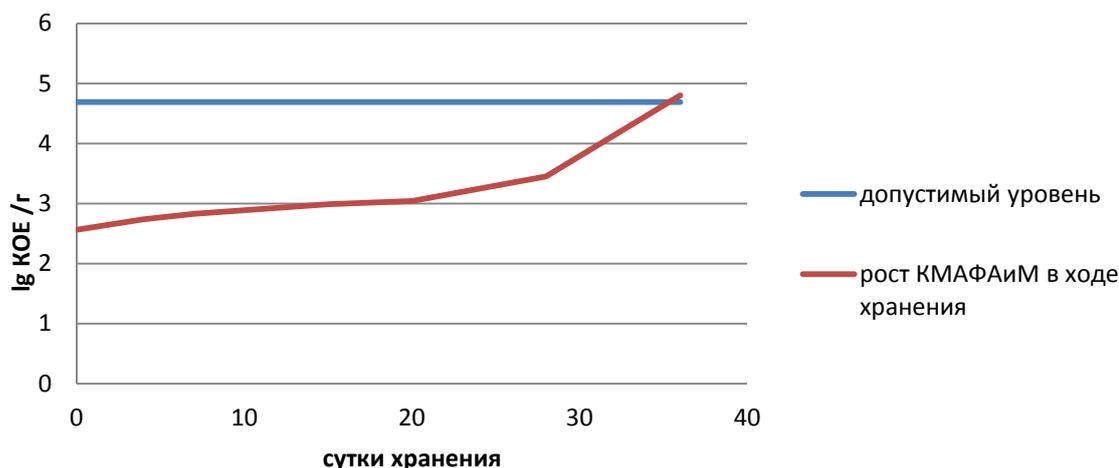


Рис. 1. Влияние срока хранения на КМАФАиМ  
Fig. 1. Effect of shelf life on growth of microorganisms

Кроме микробиологических исследований исследовали физико-химические показатели рыбного зельца, влияющие на его качество и безопасность. На рис. 2 показано изменение содержания азота летучих оснований в рыбном зельце.



Рис. 2. Влияние срока хранения рыбного зельца на накопления азота летучих оснований  
Fig. 2. Influence of fish headcheese shelf life on accumulation of volatile basic nitrogen

Из рис. 2 видно, что в процессе хранения зельца происходит ухудшение его качества с накоплением низкомолекулярных продуктов распада белковых веществ, в частности, идет накопление азота летучих оснований за счет развития микрофлоры.

Сравнительная органолептическая оценка рыбного зельца из судака в процессе хранения, проведенная по общепринятым показателям (внешний вид, цвет, вкус, запах, консистенция), представлена на рис. 3.

Данные рис. 3 свидетельствуют, что на всех этапах хранения образец имел высокие органолептические оценки по всем сенсорным показателям.

После 30-дневного хранения зельц из судака не утратил свои высокие свойства, лишь немного снизилась оценка по показателям «внешний вид», «вкус», «запах» – до 4 баллов.

Консистенция всех образцов была плотная, эластичная, на разрезе не крошащаяся, не растекающаяся, без расслоения.

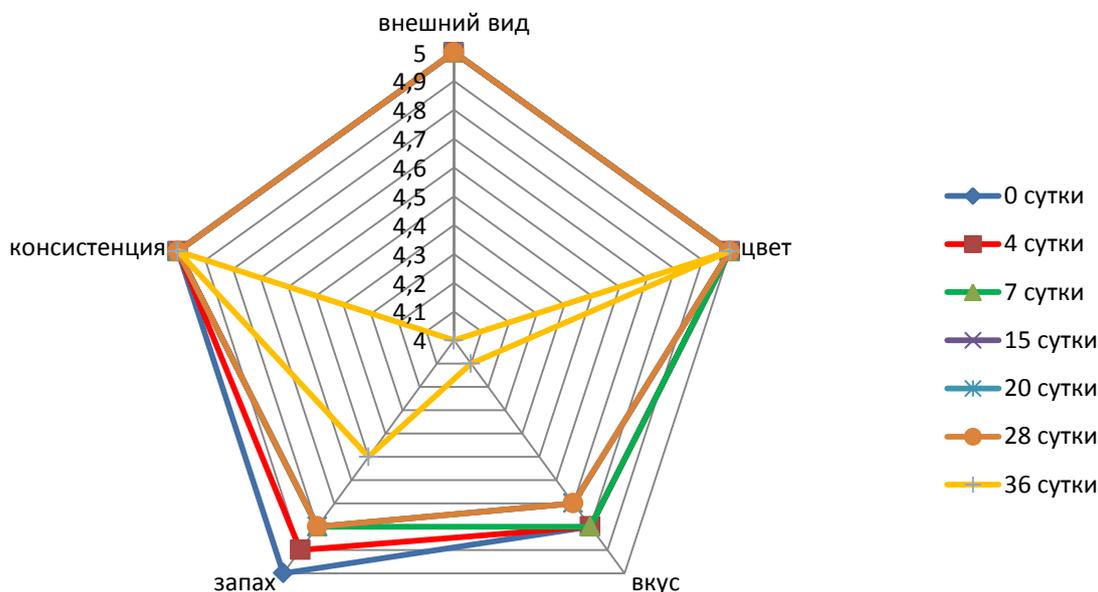


Рис. 3. Профилограмма органолептической оценки зельца из судака в процессе хранения

Fig. 3. Profile chart of organoleptic evaluation of pike perch headcheese in storage

### ВЫВОДЫ

На основе вторичных сырьевых ресурсов и мышечной ткани судака по разработанной рецептуре приготовлен рыбный зельц, хранившийся при температуре не выше 4 °С.

В результате проделанной работы изучено изменение его качества в процессе хранения и даны рекомендации по срокам годности данной продукции.

Рекомендуемый срок годности рыбного зельца из судака с учетом коэффициента резерва составляет 25 сут при температуре не выше 4 °С.

В соответствии с полученными данными разработан проект технической документации (ТИ, ТУ) на рыбный зельц.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Концепция развития рыбного хозяйства Российской Федерации на период до 2020 года [Электронный ресурс]. Одобрена распоряжением Правительства Российской Федерации от 02.09.03 г. № 1265-р/ Морская коллегия при Правительстве РФ – Режим доступа: <http://www.morskayakollegiya.ru/legislation/doktrinalny>.
2. Стратегия развития пищевой и перерабатывающей промышленности Российской Федерации на период до 2020 года (утв. распоряжением Правительства РФ от 17 апреля 2012 г. N 559-р) – Режим доступа: ГАРАНТ.РУ: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70067828/#ixzz4CowurzYG>
3. Гришина, И. В. Разработка ресурсосберегающей технологии рыбных колбас холодного копчения из вторичных продуктов переработки: автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 05.18.04 – Технология мясных, молочных, рыбных продуктов и холодильных производств / Гришина Ирина Васильевна; СПбГУНиПТ. – Санкт-Петербург, 2011 // электронный ресурс: <http://www.dissercat.com/content>.
4. Олейникова, К. М. Разработка рыбных колбасных изделий с ветчинной структурой: автореф. дисс... канд. техн. наук: 05.18.04 – Технология мясных, молочных, рыбных продуктов и холодильных производств / Олейникова Ксения Михайловна; ФГОУ ВПО «Дальрыбвтуз». – Владивосток, 2010 // электронный ресурс: <http://www.dissercat.com/content>.
5. Стабильность и срок годности. Мясо и рыбопродукты / Д. Килкаст, П. Субра-маниам (ред. сост.): пер. с англ.; науч. ред. канд. техн. наук, доц. Ю. Г. Базарнова. – Санкт-Петербург: ИД «Профессия», 2012. – 420 с.
6. МУК 4.2.1847-04 Санитарно-эпидемиологическая оценка обоснования сроков годности и условий хранения пищевых продуктов: методические указания. – Москва, 2004.
7. СанПиН 2.3.2.1078-01 Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. – Москва, 2001.

#### REFERENCES

1. *Koncepcija razvitija rybnogo hozjajstva Rossijskoj Federacii na period do 2020 goda* [Development concept of fishery in the Russian Federation for the period until 2020]. Available at: <http://www.morskayakollegiya.ru/legislation/doktrinalny>.
2. *Strategija razvitija pishhevoj i pererabatyvajushhej promyshlennosti Rossijskoj Federacii na period do 2020 goda* [Development strategy of food and processing industries in the Russian Federation for the period until 2020]. Available at: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70067828/#ixzz4CowurzYG>.
3. Grishina I. V. *Razrabotka resursosberegajushhej tehnologii rybnyh kolbas holodnogo kopchenija iz vtorichnyh produktov pererabotki. Avtoreferat dis. kand. tehn. nauk* [Development of a resource-saving technology for cold-smoked fish sausages made of secondary products. Abstract of diss. cand. sci. (Eng.)]. Saint-Petersburg, 2011, available at: <http://www.dissercat.com/content>.

4. Olejnikova K. M. *Razrabotka rybnyh kolbasnyh izdelij s vetchinnoj strukturoj. Avtoreferat dis. kand. tehn. nauk* [Development of fish sausages with ham structure. Abstract of diss. cand. sci. (Eng.)]. Vladivostok, "Dal'rybvtuz", 2010, available at: <http://www.dissercat.com/content>.

5. Kilkast D., Subra-Maniam P. *Stabil'nost' i srok godnosti. Mjaso i ryboprodukty* [Integrity and shelf life. Meat and fish products]. Saint-Petersburg, ID "Professija", 2012, 420 p.

6. Sanitarno-jepidemiologičeskaja ocenka obosnovanija srokov godnosti i uslovij hranenija pishhevyh produktov [Sanitary and epidemiological evaluation of the rationale for shelf life and storage conditions of food products]. *Metodicheskie ukazanija*, Moscow, 2004.

7. *Gigienicheskie trebovanija bezopasnosti i pishhevoj cennosti pishhevyh produktov* [Hygienic requirements for safety and nutritional value of food products]. Moscow, SanPiN 2.3.2.1078-01, 2001.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

*Анохина Ольга Николаевна* – Калининградский государственный технический университет; кандидат технических наук; доцент; зам. декана по учебной работе механико-технологического факультета; E-mail: [olga.anohina@klgtu.ru](mailto:olga.anohina@klgtu.ru)

*Anokhina Olga Nikolaevna* – Kaliningrad State Technical University; PhD in Engineering, Assistant professor; Deputy dean for academic affairs of the faculty of mechanics and technology; E-mail: [olga.anohina@klgtu.ru](mailto:olga.anohina@klgtu.ru)

УДК 796/799

ХИМИЧЕСКАЯ И МИКРОБИОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКИ КОЛЛАГЕНСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ (РЫБНОЙ ЧЕШУИ), ПОДВЕРГНУТОГО ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКЕ

В. И. Воробьев, О. В. Казимирченко

CHEMICAL AND MICROBIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF PRETREATED COLLAGEN RAW MATERIALS (FISH SCALE)

V. I. Vorobjov, O. V. Kazimirchenko

Цель исследований – выбор наиболее экономически приемлемого способа предварительной обработки рыбной чешуи. В работе проведены химические, органолептические и микробиологические исследования чешуи сардины как коллагенсодержащего сырья, используемого в качестве кормовой добавки. Чешую рыбы обрабатывали несколькими способами: промывка водой, помещение промытых и непромытых образцов в молочную сыворотку, при помощи «сухой чистки». По результатам органолептического и микробиологического анализа было выявлено, что наиболее перспективными являются «сухая» чистка и хранение сырья в молочной сыворотке.

С использованием способа «сухой» чистки рыбной чешуи была получена опытная промышленная партия кормовой добавки, образцы которой проанализированы по физико-химическим, органолептическим и микробиологическим показателям. Согласно полученным результатам химического анализа в образцах выявлено пониженное содержание белка 42,14 % (нормативное значение не менее 50 %), фосфора 6,6 % (нормативное значение не более 5 %) и кальция 13,6 % (нормативное значение не более 13 %). Кроме того, отмечено повышенное содержание цинка  $97 \pm 24$  % (нормативное значение не более 100 мг/кг), что, вероятно, связано с выловом сардины в мавританской зоне Атлантического океана. Органолептические и микробиологические показатели образцов соответствовали нормативным. В течение установленного срока хранения (шесть месяцев) в образцах не выявили превышение относительно нормируемого значения показателя общей бактериальной обсеменённости, что указывает на сохранение исходного качества разработанной кормовой добавки. Промышленная партия была использована в качестве компонентов в рецептуре кормов для перепёлок и прудового карпа.

*коллагенсодержащее рыбное сырье, чешуя рыбы, способы обработки, физико-химический анализ, микробиологические исследования*

The purpose of research is to choose the most economically method of pre-processing of fish scale. Some chemical, organoleptic and microbiological analysis of sardine scale used as a feed collagen additive were carried out Fish scale was treated by some methods: washing by water, immersion washed and unwashed samples in milk

serum, scale treatment by «dry» method. It was revealed that scale immersion in milk serum and «dry» method are the most perspective in the process of fish scale treatment.

The experimental industrial samples of the feed additive with using of «dry» method of fish scale treatment were obtained. The industrial samples were analyzed by physical, chemical, organoleptic and microbiological parameters. According to the results of chemical analysis the low protein content of 42.14% (normative value is not less than 50%), high phosphorus content of 6.6% (normative value is not more than 5%) and high calcium content of 13.6% (normative value is no more than 13%) were established. It was also noted the high zinc content of  $97 \pm 24\%$  (standard value of not more than 100 mg/kg). Probably the high level of zinc is due to the sardine catches in the Mauritanian region of the Atlantic Ocean. The organoleptic and microbiological parameters did not exceed the normative level. During the six month of feed additive's storage the common bacterial contamination did not exceed the normative parameters. The industrial samples of the feed additive were used as a component for quails and pond carp feeding.

*collagen raw materials, fish scale, treatment methods, physical analysis, chemical analysis, microbiological research*

## ВВЕДЕНИЕ

Известно, что в процессе переработки рыбы образуется большое количество (30-70 %) коллагенсодержащих рыбных отходов (головы, кости, кожа, плавники, чешуя, плавательный пузырь, рыбные бульоны и др.). Основным направлением переработки данного сырья является производство кормовой рыбной муки. В последние 10-15 лет в научной литературе появилось множество работ, связанных с переработкой рыбной чешуи и использованием её конечных продуктов в медицине, косметике, пищевой, клеевой, технической, строительной и комбикормовой промышленности, а также при производстве удобрений. К приоритетным направлениям переработки чешуи относится получение коллагена (ихтиожелатина) и биологически активных пептидов с молекулярной массой 1-5 кДа, т. е. продукции с высокой добавленной стоимостью. Обязательным условием получения данных продуктов является предварительная обработка исходного сырья, заключающаяся в удалении слизи, жира, минеральных веществ и частично белков (более 50 % сухих веществ чешуи). Кроме того, применяемые технологии [1-3] длительны по времени, требуют значительных энергозатрат, при производстве используются щёлочи, кислоты, ферменты, большое количество промывных вод.

В России только два предприятия (ОАО «Лужский завод «Белкозин», г. Луга и Верхневолжский кожевенный завод, г. Осташково) производят коллаген животного происхождения, в основном из шкур крупного рогатого скота, а производства, получающие рыбный коллаген и биологически активные пептиды из чешуи рыб, отсутствуют. В качестве сырья для выпуска кормовой рыбной муки в настоящее время используется лишь незначительная ее часть (10-15 %), основная ее часть утилизируется или выбрасывается на свалки. Однако переработка чешуи традиционными способами весьма проблематична (сложность её измельчения в сыром виде, засорение ею сепарационных отверстий (зеера) шнек-пресса, образование клейкой твёрдой массы в процессе варки сырья,

получение нестандартной рыбной муки с повышенным содержанием кальция и фосфора и пониженным содержанием белка, проблемы с эксплуатацией и очисткой оборудования), и в связи с этим производители рыбной муки отказываются её перерабатывать. Эта проблема весьма актуальна и для Калининградской области, где только на рыбоконсервном комплексе ОАО «РосКон» скапливается 150-250 т чешуи в год.

Цель исследований – выбор наиболее экономически приемлемого способа предварительной обработки рыбной чешуи как коллагенсодержащего сырья, используемого для получения кормовых добавок.

Исследования проводили в лабораториях кафедры химии и микробиологической лаборатории кафедры ихтиопатологии и гидробиологии КГТУ. Чешую сардины получали с рыбоконсервного комплекса ОАО «РосКон» в специальных пластмассовых ёмкостях, которые хранились при температуре около 0<sup>0</sup> С до момента реализации. Образцы готовой продукции (кормовой добавки) были изготовлены на промышленном оборудовании производственной базы НПП ООО «Прок-М». Физико-химический, органолептический и микробиологический анализы образцов кормовой добавки определяли в испытательном лабораторном центре АтлантНИРО. Органолептические и микробиологические испытания рыбной чешуи, обработанной различными способами, и полученной кормовой добавки в процессе хранения проводили в микробиологической лаборатории КГТУ по стандартным методикам [4].

#### ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Химический состав исходного коллагенсодержащего сырья (рыбной чешуи) представлен в табл. 1.

Таблица 1. Общий химический состав чешуи сардины

Table 1. General chemical composition of sardine scale

Содержание влаги (%)	Содержание жира (%)	Содержание белка (%)	Содержание золы (%)
63,4	2,0	15,7	18,9

Первичная обработка чешуи заключается в промывке жидкостями и последующем их стекании с целью удаления слизи и жира, что способствует снижению микробной обсеменённости сырья, сокращению технологического цикла его обработки и повышению качества конечной продукции. В наших исследованиях исходное коллагенсодержащее сырьё обрабатывалось разными способами. Одну часть рыбной непромытой чешуи заливали холодной водой (проба № 2), гидромодуль 1:2, другую – заливали молочной сывороткой (проба № 3), гидромодуль 1:2. Остальные образцы рыбной чешуи промывали холодной водой при гидромодуле 1:6 и после стекания воды часть образцов оставляли (проба № 4), а часть заливали молочной сывороткой (проба № 6). В качестве контроля (пробы № 1) использовалось исходное непромытое сырьё. Для чешуи также применяли способ «сухой» чистки (проба № 7) без использования жидкостей (способ находится в стадии патентования).

Испытания по срокам хранения образцов чешуи сардины, обработанной вышеуказанными способами, проводили при комнатной температуре. Предельные

сроки хранения устанавливали по изменению органолептических и микробиологических показателей.

Полученные в первые сутки хранения показатели представлены в табл. 2

Таблица 2. Изменение органолептических и микробиологических показателей чешуи сардины в процессе предварительной обработки (1-е сутки хранения)  
Table 2. Changing the organoleptic and microbiological parameters of sardine scale during pre-treatment (the 1<sup>st</sup> day of storage)

Номер пробы	Органолептические показатели	Общая бактериальная обсемененность, КОЕ/г
№ 1 непромытая чешуя	Отчетливый гнилостный запах	$6,5 \times 10^5$
№ 2 непромытая чешуя с водой	Неприятный гнилостный запах	$6,2 \times 10^4$
№ 3 непромытая чешуя с сывороткой	Приятный запах молочной сыворотки, появление пузырей на поверхности	$1,2 \times 10^5$
№ 4 промытая чешуя	Неприятный гнилостный запах	$4,6 \times 10^3$
№ 5 промытая чешуя с водой	Неприятный гнилостный запах	$3,0 \times 10^5$
№ 6 промытая чешуя с сывороткой	Приятный запах молочной сыворотки, появление пузырей на поверхности	$2,9 \times 10^3$

В первые сутки хранения минимальные значения общей бактериальной обсемененности регистрировали в пробе чешуи, промытой молочной сывороткой; максимальные показатели (более  $10^5$  КОЕ/г) – в контрольной пробе непромытой чешуи, в которой отмечали появление стойкого гнилостного запаха.

Данные по органолептическому и микробиологическому анализу рыбной чешуи рыб на вторые сутки хранения проб представлены в табл. 3.

Таблица 3. Изменение органолептических и микробиологических показателей чешуи сардины в процессе предварительной обработки (вторые сутки хранения)  
Table 3. Changing the organoleptic and microbiological parameters of sardine scale during pre-treatment (the 2<sup>d</sup> day of storage)

Номер пробы	Органолептические данные	Общая бактериальная обсемененность, КОЕ/г
№ 1 непромытая чешуя	Отчетливый гнилостный запах	$9,8 \times 10^5$
№ 2 непромытая чешуя с водой	Отчетливый гнилостный запах	$3,0 \times 10^5$
№ 3 непромытая чешуя с сывороткой	Приятный запах молочной сыворотки, много пузырей на поверхности	$1,5 \times 10^4$

Продолжение табл. 3

Номер пробы	Органолептические данные	Общая бактериальная обсемененность, КОЕ/г
№ 4 промытая чешуя	Отчетливый гнилостный запах	$8,8 \times 10^5$
№ 5 промытая чешуя с водой	Отчетливый гнилостный запах	$3,0 \times 10^5$
№ 6 промытая чешуя с сывороткой	Приятный запах молочной сыворотки, много пузырей на поверхности	$1,7 \times 10^4$

На вторые сутки хранения проб отмечали увеличение численности сапрофитных микроорганизмов в пробе непромытой рыбной чешуи. Низкие показатели общей бактериальной обсемененности вновь были установлены для пробы чешуи, помещенной в молочную сыворотку. По органолептическому анализу в данной пробе не устанавливали отклонения от нормы по цвету и запаху, в пробе непромытой чешуи выявляли устойчивый гнилостный запах порчи.

Учет результатов микробиологического и органолептического анализа на третьи, четвертые и седьмые сутки хранения проводили только для проб непромытой и промытой рыбной чешуи, помещенных в молочную сыворотку (табл. 4).

Таблица 4. Изменение органолептических и микробиологических показателей чешуи сардины в процессе предварительной обработки (третьи, четвертые и седьмые сутки хранения)

Table 4. Changing the organoleptic and microbiological parameters of sardine scale during pre-treatment (the 3<sup>d</sup>, 4<sup>th</sup> and 7<sup>th</sup> days of storage)

Номер пробы	Органолептические данные			Общая бактериальная обсемененность, КОЕ/г		
	третьи сутки	четвертые сутки	седьмые сутки	третьи сутки	четвертые сутки	седьмые сутки
№ 3 непромытая чешуя с сывороткой	Приятный запах молочной сыворотки, появление пузырей	Приятный запах молочной сыворотки, появление пузырей, молочный грибок на поверхности	Неприятный кислый запах	$1,5 \times 10^6$	$5,3 \times 10^4$	$1,0 \times 10^5$
№ 6 промытая чешуя с сывороткой	Приятный запах молочной сыворотки, появление пузырей	Приятный запах молочной сыворотки, появление пузырей, молочный грибок на поверхности	Неприятный кислый запах	$2,8 \times 10^6$	$1,4 \times 10^5$	$5,5 \times 10^4$

Во всех испытуемых пробах на третьи сутки хранения отмечали увеличение показателя общей бактериальной обсемененности (в среднем с  $10^4$  КОЕ/г до  $10^6$  КОЕ/г), при этом органолептические показатели оставались неизменными. На четвертые сутки хранения показатели общей бактериальной обсемененности понижались, что, вероятнее всего, было связано с интенсивным развитием на поверхности проб молочной плесени *Oidium lactis*. При этом органолептические показатели проб не изменялись. На седьмые сутки хранения во всех испытуемых образцах отмечали появление неприятного кислого тошнотворного запаха. Увеличение показателя общей бактериальной обсемененности регистрировали в пробе непромытой чешуи, помещенной в молочную сыворотку. В пробе промытой чешуи с сывороткой число сапрофитных микроорганизмов понижалось.

Результаты анализа чешуи, обработанной «сухим» способом, представлены в табл. 5.

Таблица 5. Общая бактериальная обсемененность чешуи сардины, обработанной «сухим» способом

Table 5. Common bacterial contamination of sardine scale treated by «dry» method

Наименование показателя	Полученные результаты	
	исходная непромытая чешуя (влажность 63,4%)	чешуя, обработанная «сухим» способом (влажность 30,1%)
Общая бактериальная обсемененность, КОЕ/г	$6,5 \times 10^5$	$9,3 \times 10^3$

В пробах рыбной чешуи, обработанной «сухим» способом, показатель общей бактериальной обсемененности существенно снижился по сравнению с уровнем микробной загрязненности непромытой, что, прежде всего, было связано с понижением влажности чешуи.

Таким образом, результаты проведенных исследований показали, что наиболее перспективной предварительной обработкой коллагенсодержащего сырья является способ «сухой» чистки чешуи, а также хранение сырья в растворе молочной сыворотки.

На основании проведенных исследований была получена опытная промышленная партия кормовой добавки из чешуи сардины в производственных условиях согласно разработанной технологии [5,6] с использованием способа «сухой» чистки. Образцы высушенной продукции представляли собой сыпучий материал в виде муки с диаметром частиц не более 2 мм с различными оттенками от светло-серого до светло-коричневого цвета.

Результаты физико-химического анализа промышленных образцов кормовой добавки представлены в табл. 6 (исследования были проведены в испытательном лабораторном центре АтлантНИРО).

Таблица 6. Физико-химические показатели проб промышленных образцов кормовой добавки

Table 6. Physical and chemical parameters of industrial samples of feed additive

Наименование определяемого показателя	Единицы измерения	Допустимые значения	Результаты испытаний	Погрешность/неопределенность*	Обозначение НД на метод испытаний
<b>Токсичные элементы</b>					
Свинец (Pb)	мг/кг	Не более 5,0	0,45	0,16	ГОСТ Р 53100-2008
Мышьяк (As)	мг/кг	Не более 2,0	0,17	0,04	ГОСТ Р 53101-2008
Кадмий (Cd)	мг/кг	Не более 0,2	0,21	0,06	ГОСТ Р 53100-2008
Ртуть (Hg)	мг/кг	Не более 0,5	0,05	0,01	МУК 4.1.1472-03
Медь (Cu)	мг/кг	Не более 80	2,33	0,54	ГОСТ 30692-2000
Цинк (Zn)	мг/кг	Не более 100	97,0	20,4	ГОСТ 30692-2000
<b>Пестициды</b>					
Гексахлорциклопексан (альфа-, бета-, гамма-изомеры)	мг/кг	Не более 0,2	Менее 0,001	-	ГОСТ 31481-2012
ДДТ и его метаболиты	мг/кг	Не более 0,4	Менее 0,007	-	ГОСТ 31481-2012
Алдрин	мг/кг	Не допускается	Менее 0,005 (не обнаружен)	-	МУ 2142-80
Гептахлор	мг/кг	Не допускается	Менее 0,005 (не обнаружен)	-	МУ 2142-80
<b>Аминокислоты</b>					
Аргинин (Arg)	%	-	2,2	0,9	М-04-38-2009
Тирозин (Tyr)	%	-	0,51	0,15	М-04-38-2009
Фенилаланин (Phe)	%	-	0,89	0,27	М-04-38-2009
Гистидин (His)	%	-	0,5	0,3	М-04-38-2009
Лейцин+Изолейцин (Leu+Ile)	%	-	0,98	0,25	М-04-38-2009
Метионин (Met)	%	-	0,65	0,22	М-04-38-2009
Валин (Val)	%	-	1,1	0,4	М-04-38-2009
Пролин (Pro)	%	-	1,77	0,46	М-04-38-2009
Треонин (Thr)	%	-	3,6	1,4	М-04-38-2009
Серин (Ser)	%	-	1,29	0,34	М-04-38-2009
Аланин (Ala)	%	-	3,15	0,82	М-04-38-2009
Глицин (Gly)	%	-	6,15	2,09	М-04-38-2009
Аспарагиновая кислота+Аспарагин (Asp+Asn)	%	-	4,6	1,8	М-04-38-2009
Глутаминовая кислота+Глутамин (Glu+Gln)	%	-	7,7	3,1	М-04-38-2009

Окончание табл. 6

Наименование определяемого показателя	Един. измер.	Допустимые значения	Результаты испытаний	Погрешность/неопределенность*	Обозначение НД на метод испытаний
Триптофан (Trp)	%	-	0,06	0,02	М-04-38-2009
Лизин (Lys)	%	-	1,60	0,54	М-04-38-2009
Цистин (Cys-Cys)	%	-	0,4	0,2	М-04-38-2009
<b>Физико-химические показатели</b>					
Массовая доля влаги	%	Не более 12	11,4	0,1	ГОСТ Р 54951-2012
Массовая доля жира	%	Не более 14	3,11	0,53	ГОСТ 13496.15-97
Массовая доля фосфора	%	Не более 5,0	6,6	1,1	ГОСТ 26657-97
Массовая доля хлористого натрия	%	Не более 5,0	0,15	0,05	ГОСТ 7636-85
Массовая доля кальция	%	Не более 13,0	13,6	1,2	ГОСТ 26570-95
Массовая доля антиокислителя - агидола (ионола)	%	Не более 0,2	Менее 0,005	-	ГОСТ 7636-85
Массовая доля золы, нераствор. в 10 %-ой соляной кислоте	%	Не более 1,0	0,08	0,02	ГОСТ 32045-2012
Наличие посторонних примесей	-	Не допускается	Не обнаружено	-	ГОСТ 7636-85
Металломагнитная примесь размером не более 2 мм	мг/кг	Не более 100	Менее 10	-	ГОСТ 31484-2012
Массовая доля сырого протеина	%	Не менее 50	42,14	1,23	ГОСТ 13496.4-93
Кислотное число	мг КОН/г	Не более 55,0	8,1	0,4	ГОСТ 13496.18-85
<b>Жирнокислотный состав</b>					
C14:0	%	-	8,4	-	ГОСТ 31663-2012
C16:0	%	-	22,2	-	
C16:1	%	-	8,8	-	
C17:0	%	-	0,5	-	
C17:1	%	-	1,1	-	
C18:0	%	-	3,8	-	
C18:1n9c	%	-	13,5	-	
C18:1n9t	%	-	1,1	-	
C18:2n6c	%	-	6,2	-	
C18:2n6t	%	-	2,5	-	
C18:3n3	%	-	1,0	-	
C20:1n9	%	-	1,7	-	
C20:2	%	-	0,7	-	
C20:3n3	%	-	1,0	-	
C20:5n3	%	-	17,2	-	
C22:1n9	%	-	1,7	-	
C24:1n9	%	-	0,5	-	
C22:5	%	-	1,7	-	
C22:6	%	-	4,7	-	

Результаты физико-химических анализов показали, что образец кормовой добавки отличается от нормативных показателей по ГОСТ [7] по пониженному содержанию протеина - 42,14 % (не менее 50 %), повышенному содержанию фосфора - 6,6 % (не более 5,0 %) и кальция 13,6 % (не более 13 %). Отмечен также повышенный уровень цинка -  $97 \pm 24$  % (не более 100 мг/кг), что, по-видимому, характерно для чешуи сардины, которая была выловлена в мавританской зоне Атлантического океана.

Результаты микробиологического и органолептического анализа проб промышленных образцов кормовой добавки представлены в табл. 7.

Таблица 7. Микробиологические и органолептические показатели проб промышленных образцов кормовой добавки

Table 7. Microbiological and organoleptic parameters of industrial samples of feed additive

Наименование определяемого показателя	Единицы измерения	Допустимые значения	Результаты испытаний	Обозначение НД на метод испытаний
Микробиологические показатели				
КМАФАнМ	КОЕ/г	Не более $5 \cdot 10^5$	$1,6 \cdot 10^3$	Правила бактериологического исследования кормов от 10.06.1975.
Энтеропатогенные эшерихии коли	-	В 1 г не допускаются	В 1 г не обнаружены	Правила бактериологического исследования кормов от 10.06.1975.
Proteus	-	В 1 г не допускаются	В 1 г не обнаружены	Правила бактериологического исследования кормов от 10.06.1975.
Анаэробы	-	В 1 г не допускаются	В 1 г не обнаружены	Правила бактериологического исследования кормов от 10.06.1975.
Токсичность (выживаемость инфузорий)	-	Не менее 70 % (не менее 80% комбикорма для свиней) выживаемости стилонихий	85% выживаемости стилонихий	ГОСТ 31674-2012
Патогенные микроорганизмы, в т. ч. сальмонеллы	-	В 25 г не допускаются	В 25 г не обнаружены	Правила бактериологического исследования кормов от 10.06.1975

Окончание табл. 7

Наименование определяемого показателя	Единицы измерения	Допустимые значения	Результаты испытаний	Обозначение НД на метод испытаний
Органолептические показатели				
Внешний вид муки	-	-	Сыпучая, без слежавшихся, плотных (неразрушаемых при надавливании) комков, без наличия признаков заплесневения	ГОСТ 7636-85
Запах	-	-	Свойственный данному виду муки, без постороннего запаха	ГОСТ 13496.13-75

По микробиологическим и органолептическим данным образцы кормовой добавки соответствовали нормативным показателям качества.

Образцы кормовой добавки были заложены на хранение в течение шести месяцев. Результаты микробиологических испытаний образцов представлены в табл. 8.

Таблица 8. Изменение показателей общей бактериальной обсеменённости образцов кормовой добавки, заложенных на хранение

Table 8. Change of the common bacterial contamination in feed additive samples during the storage

Месяц хранения	Общая бактериальная обсеменённость
1	$1,1 \times 10^3$
2	$1,7 \times 10^3$
4	$2,1 \times 10^3$
6	$6,4 \times 10^4$

В течение всего периода хранения показатели общей бактериальной обсеменённости образцов кормовой добавки не превышали нормативного значения. К концу установленного срока хранения в испытуемых образцах отмечали повышение количества сапрофитных микроорганизмов, но в пределах нормативного значения анализируемого показателя.

Промышленные партии полученных образцов кормовой добавки были введены в качестве компонента в состав рецептур кормов для перепёлок и продукционных гранулированных комбикормов для прудового карпа.

## ВЫВОДЫ

Рыбная чешуя – ценный источник протеина и минеральных веществ, которые могут быть использованы в различных отраслях промышленности. В настоящее время в России перерабатывается около 10-15% рыбной чешуи, остальная часть утилизируется или выбрасывается на свалку. Поэтому актуальным направлением исследования является поиск переработки рыбной чешуи экономически приемлемыми способами.

Проведенные органолептические и микробиологические исследования образцов чешуи сардины позволили сделать вывод о том, что заливка рыбной чешуи молочной сывороткой и ее переработка «сухим» способом являются наиболее перспективными методами предварительной обработки чешуи как коллагенсодержащего сырья. Однако его хранение в молочной сыворотке предполагает в дальнейшем либо отделение жидкой части и её последующую переработку с целью получения кормовых добавок и удобрений или же её утилизацию, либо переработку непосредственно раствора коллагенсодержащего сырья и молочной сыворотки, что значительно увеличивают время технологического цикла (процесс высушивания более влажного сырья) и энергозатраты данного производства.

Предварительная обработка рыбной чешуи «сухим» способом позволяет значительно сократить технологический цикл, энергозатраты, расход промывных вод, а также максимально сохранить питательную ценность исходного сырья.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Pat. CN 1948411(A) - 2007-04-18 A61K8/65, C09H3/00. Preparation method of undenatured fish scale collagen. Li Guoying Liu [CN] (Guoying, Liu Li, Li Guoying, Liu Wentao, Lai Guoli, Zhang Min.

2. Pat. CN 1948411(A) - 2007-04-18 A61K8/65, C09H3/00. Preparation method of undenatured fish scale collagen. Li Guoying Liu [CN] (Guoying, Liu Li, Li Guoying, Liu Wentao, Lai Guoli, Zhang Min.

3. До Ле Хыу Нам. Получение желатина из коллагенсодержащих продуктов разделки прудовых рыб с использованием ферментных препаратов: автореф. дис. ... канд. тех. наук: 05.18.04, 05.18.07 / До Ле Хыу Нам. – Воронеж, 2012. – 24 с.

4. Правила бактериологического исследования кормов. Утв. ГУВ Министерства сельского хозяйства от 10.06.1975. – 9 с.

5. Пат. RU 2528458 С1, МПК А23К 1/00. Способ получения кормовой добавки или удобрения из гидробионтов / В. И. Воробьев, А. А. Бушуев; патентообладатель ООО «Прок-Агро»; опубл. 20.09.2014, Бюл. № 26.

6. Пат. 2262861 С2 МПК7 А23К 1/10. Способ получения кормовой белково-минеральной муки / В. И. Воробьев, Н. Т. Сергеева (Россия). - № 2001108484.

7. ГОСТ 2116-2000 Мука кормовая из рыбы, морских млекопитающих, ракообразных и беспозвоночных. Технические условия. – Минск, 2000. – 11 с.

## REFERENCES

1. Pat. CN 1948411(A) - 2007-04-18 A61K8/65, C09H3/00. Preparation method of undenatured fish scale collagen. Li Guoying Liu [CN]. Guoying, Liu Li, Li Guoying, Liu Wentao, Lai Guoli, Zhang Min.
2. Pat. CN 1948411(A) - 2007-04-18 A61K8/65, C09H3/00. Preparation method of undenatured fish scale collagen. Li Guoying Liu [CN]. Guoying, Liu Li, Li Guoying, Liu Wentao, Lai Guoli, Zhang Min.
3. Do Le Hyu Nam. *Poluchenie zhelatina iz kollagensoderzhashhih produktov razdelki prudovyh ryb s ispol'zovaniem fermentnyh preparatov. Avtoreferat diss. kand. tehn. nauk* [Preparation of gelatine from collagen-containing processed pond fishery products with the use of enzyme preparations. Abstract of dis. cand. engineer. sci.]. Voronezh, 2012, 24 p.
4. Pravila bakteriologicheskogo issledovaniya kormov [Rules of bacteriological examination of feed]. Utv. GUV Ministerstva sel'skogo hozjajstva ot 10.06.1975 g., 9 p.
5. Pat. RU 2528458 C1, MPK A23K 1/00. Vorob'ev V. I., Bushuev A. A. Sposob poluchenija kormovoj dobavki ili udobrenija iz gidrobiontov [Method of producing a feed additive and fertilizer from aquatic animals]. Patentobl. OOO "Prok-Agro". Opubl. 20.09.2014. Bjul. № 26.
6. Pat. 2262861 S2 MPK7 A23K 1/10. № 2001108484. Vorob'jov V. I., Sergeeva N. T. Sposob poluchenija kormovoj belkovo-mineral'noj muki [Method for production of feed protein-mineral meal].
7. GOST 2116-2000. Muka kormovaja iz ryby, morskih mlekopitajushhih, rakoobraznyh i bespozvonochnyh. Tehnicheskie uslovija [Feed meal from fish, marine mammals, crustaceans and invertebrates. Specifications]. Minsk, 2000, 11 p.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Воробьев Виктор Иванович* – Калининградский государственный технический университет; доцент кафедры химии; E-mail: [mobi.dik.10@mail.ru](mailto:mobi.dik.10@mail.ru)

*Vorobjov Victor Ivanovich* – Kaliningrad State Technical University, Associate Professor of Chemical department; E-mail: [mobi.dik.10@mail.ru](mailto:mobi.dik.10@mail.ru)

*Казимирченко Оксана Владимировна* – Калининградский государственный технический университет; кандидат биологических наук, доцент кафедры ихтиопатологии и гидробиологии; E-mail: [okazimirchenko@gmail.com](mailto:okazimirchenko@gmail.com)

*Kazimirchenko Oksana Vladimirovna* – Kaliningrad State Technical University; Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of Ichthyopathology and Hydrobiology department; E-mail: [okazimirchenko@gmail.com](mailto:okazimirchenko@gmail.com)

УДК 664.8:861.51(06)

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ К АНАЛИЗУ  
ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЕФЕКТОВ КОНСЕРВНЫХ БАНОК С ЦЕЛЬЮ КОНТРОЛЯ  
ИХ ГЕРМЕТИЧНОСТИ

Н. А. Долгий, Д. В. Чаплыгин

APPLICATION OF MACHINE LEARNING TO THE ANALYSIS OF IMAGES OF  
CAN DEFECTS FOR THE PURPOSE OF LEAKAGE MONITORING

N. A. Dolgy, D. V. Chaplygin

Герметичность – обязательный показатель качества мясных, рыбных и молочных консервов. Использование современных методов контроля герметичности на основе средств технического зрения позволяет выявить дефектные консервные банки в условиях переменной производительности поточного консервного производства.

В статье рассматриваются вопросы применения методов технического зрения для поиска консервных банок на изображениях и применения методов машинного обучения для анализа и распознавания дефектов консервных банок. Выполнены эксперименты по обучению алгоритма поиска предметов на изображении по методу Виолы-Джонса с целью выделения на изображении консервных банок.

Разработан алгоритм выделения характеристик изображения, указывающих на видимые дефекты консервных банок, а именно: нарушения геометрии корпуса, формы и положения закаточного шва и локальных выделений субстанции из банки, образующихся в процессе стерилизации. С целью упрощения и ускорения процесса классификации были разработаны методы редукции и применены стандартные подходы к нормализации пространства выделенных характеристик изображений для их дальнейшей обработки.

С использованием метода сетчатого поиска исследованы параметры классификатора изображения дефектных консервных банок. Были опробованы различные ядра для классификации по методу опорных векторов, параметры ядер и подобран коэффициент регуляризации.

Реализованы программы по поиску банок на изображениях, экстракции и редукции характеристик изображений, указывающих на видимые дефекты консервных банок для построения кривых по вышеописанному алгоритму для классификации банок. С помощью этой программы были построены кривые обучения для различных ядер и различного коэффициента регуляризации.

*консервная банка, дефект, изображение, алгоритм, метод опорных векторов*

Can tightness is an important quality indicator of canned meat, fish and milk. Modern approaches to can leakage monitoring with the use of visual facilities allow us to find out defect cans during their mass production process.

The article considers applying methods of computer vision for detecting cans on the images and applying machine learning methods for analysis and classification of defect/non-defect cans. During the paper preparation, we carried out experiments with Viola-Jones object detection algorithm and used it to find cans on arbitrary images.

An algorithms has been developed for features extraction of an image, indicative of visible defects of cans , especially irregularities in case geometry, position and state of a seam and local emissions of can contents, caused by sterilization process. In order to simplify and speed-up classification process, we developed reduction methods and applied standard approaches to features normalization for further processing of the images.

By using grid search, we examined parameters of pattern classifier for images of defect cans. We tried different kernels for classification by support vectors machine, kernel parameters; and we chose regularization coefficient.

Software for cans detection on images, feature extraction and feature reduction is implemented, pointing to possible can defects, graphing learning curves for grid search on SVM parameters.

*can, defect, image, algorithm, support vector machine*

## ВВЕДЕНИЕ

Герметичность консервной банки в процессе консервирования и хранения является одним из условий, обеспечивающих отсутствие порчи продуктов.

Негерметичность консервной банки может быть определена как по геометрии самой банки – смещению закаточного шва, наличию заломов, внешних дефектов закаточного шва, возникающих вследствие неправильной настройки закаточной машины, так и по наличию на стенках банки локальных выделений, проникающих через каналы негерметичности в результате создающегося в процессе стерилизации избыточного давления внутри банки [1].

В каждом конкретном случае дефект консервов является визуально наблюдаемым. С целью автоматизации процесса отбраковки дефектных банок в статье авторами ставится задача разработки методики анализа изображений дефектов консервов.

Целью исследований явилась разработка алгоритма контроля методами, основанными на использовании систем технического зрения и машинного обучения для оценки герметичности наполненных консервных банок до и после стерилизации.

## МЕТОДЫ

Для решения задачи анализа изображений дефектов консервных банок, которая решается как задача двухклассовой классификации, используются алгоритмы машинного обучения. В ходе эксперимента исследовались выборки герметичных и негерметичных банок с различными видами дефектов. Для анализа изображений дефектов использовались алгоритмы, обучающиеся по принципу «стимул-реакция».

Решение задачи анализа и классификации может быть представлено в виде следующей последовательности (конвейера):

- идентификация исследуемого объекта на изображении;

- отделение исследуемого объекта от изображения;
- преобразование исследуемого объекта в набор его характеристик;
- классификация характеристик исследуемого объекта.

На вход этого конвейера подаются изображения с исследуемыми банками, выходом является логическое значение true/false, однозначно определяющее негерметичность.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В процессе идентификации исследуемого объекта на изображении устанавливалось его место. Определение области интереса на изображении (прямоугольник окружающий банку) позволяет сократить объем последующих обработок путём отбрасывания частей изображения, находящихся вне пределов этой области. Ограничение последующих шагов только областью интереса позволяет повысить точность классификации.

Идентификация объекта происходит достаточно быстро и дает сравнительно малое число ложноотрицательных срабатываний, т. е. случаев, когда фактически присутствующий на изображении исследуемый объект (банка) не фиксируется.

Так как в каждом случае конкретное изображение исследуемого объекта будет отличаться, алгоритм идентификации распознает объект с использованием нечётких признаков. В качестве алгоритма идентификации исследуемого объекта на изображении выбран алгоритм Виолы-Джонса [2].

При отделении исследуемого объекта от изображения он полностью отделяется от фона и обособливается. На вход процедуры отделения передаются исследуемое изображение, границы области интереса и фоновое изображение, не содержащее в себе банку.

Алгоритм отделения основывается на анализе корреляции изображений как с исследуемым объектом, так и без него.

При запуске алгоритма идентификации исследуемое изображение (рис. 1) переводится в одноцветный формат (grayscale).



Рис. 1. Исходное исследуемое изображение

Fig. 1. Original image



Рис. 2. Фоновое изображение

Fig. 2. Background image

Фоновые изображения (рис. 2) хранятся в одноцветном (grayscale) формате. Небольшие неточности в позиционировании камеры при изготовлении фоно-

вых изображений и при изготовлении изображений исследуемых объектов нивелируются при последующей обработке и классификации. При значительных изменениях вида объектов, попадающих в область видимости камеры, используется новый набор фоновых изображений.

Оба изображения, исследуемое и фоновое, ограничиваются прямоугольником области интереса. Это ограничение повышает точность отделения, так как исключает области изображения, которые также изменились по отношению к фону, но не находятся в окрестностях исследуемого объекта (банки). Изменения могут быть вызваны движением в области видимости камеры, перемещениями оборудования и персонала и т. д.

Для получившихся таким образом обрезанных изображений выполняется операция поиска корреляции между исследуемым и фоновым изображениями [3]. Некоррелирующие между собой области изображения представляют собой грубое описание границ исследуемого объекта с высокой зашумленностью (рис. 3).



Рис. 3. Приблизительные контуры границ исследуемого объекта  
Fig. 3. Rough edges outline of the studied object

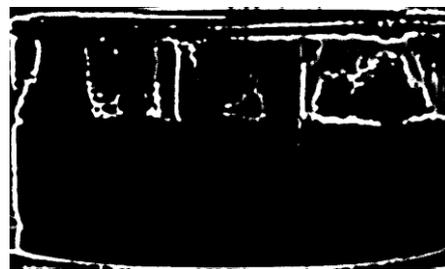


Рис. 4. Бинаризованные контуры границ исследуемого объекта  
Fig. 4. Binerized edges outline of the studied object

Зашумленность понижается низкочастотным фильтром (фильтр Гаусса). Отфильтрованное изображение бинаризуется по адаптивному гауссовому алгоритму (рис. 4).

На бинаризованном изображении оператором Кэнни [4] усиливаются найденные контуры, тем самым определяя границы исследуемого объекта (рис. 5).

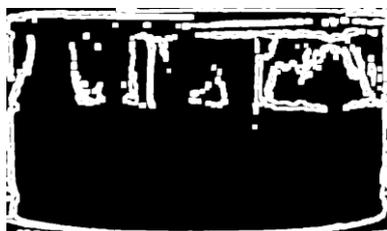


Рис. 5. Контуры границ исследуемого объекта  
Fig. 5 Edges outline of the studied object

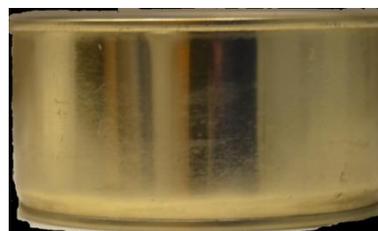


Рис. 6. Отделённый исследуемый объект  
Fig. 6. Separated object

Среди полученных контуров находится замкнутая область с наибольшей площадью, которая закрашивается белым цветом. Области вне этого большого

контура закрашиваются чёрным. При этом области внутри самого большого контура закрашиваются также белым цветом.

Полученное изображение используется как маска для исследуемого изображения, тем самым отделяя исследуемый объект от остального изображения (рис. 6).

Первый этап классификации по признаку герметичности включает в себя анализ геометрии банки: расположение закаточного шва, вмятины и заломы корпуса банки и другие дефекты. Исходным материалом является изображение банки, подсвеченное контрастным лазерным лучом (рис. 7 и 8).

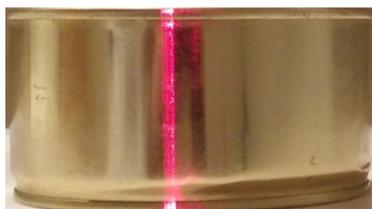


Рис. 6. Банка без дефектов  
Fig. 7. Flawless can

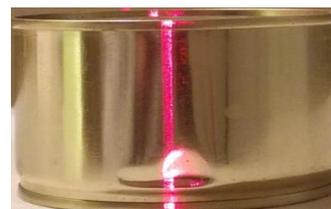


Рис. 8. Банка с заломом  
Fig. 8. Defective can

Для выделения подсвеченных областей изображения используется тот факт, что спектр лазерного луча сравнительно узок и можно отфильтровать подсвеченную область по оттенку. В примере подсветки контрастным лазерным лучом (рис. 7 и 8) используется лазер с длиной волны 660 нм. Используя цветовую модель HSV, разделяющую изображение на цветовой тон, насыщенность и яркость тона, можно выделить на изображении область, соответствующую цвету заданной частоты.

Поскольку шкала оттенков HSV отображает видимый цветовой диапазон на круговую шкалу с началом отсчёта на отметке 700 нм, то интересующий нас оттенок располагается в крайне узкой части шкалы оттенков и может быть выделен. Выделенная подсвеченная область фильтруется и закругляется (рис. 9).



Рис. 9. Отфильтрованный подсвеченный участок банки  
Fig. 9. Filtered and highlighted segment of a flawless can



Рис.10. Подсвеченный участок банки с изломом  
Fig.10. Filtered and highlighted segment of a defective can

На отфильтрованном изображении чётко выделяется закаточный шов, что позволяет анализировать его местоположение и возможные сдвиги. Также видно, что лазерный луч оставил почти идеально прямую линию, что говорит о гладко-

сти стенки банки, отсутствии на ней повреждений, крупных локальных выделений и т. д.

С другой стороны, для банки с заломом и потенциальной разгерметизацией оставленное лучом изображение будет другим (рис. 10). При этом отчётливо видны границы излома.

Выполнять классификацию напрямую не представляется возможным - шумы, перепады освещённости и случайные засветки сильно влияют на ее результат, приводя к ложнопозитивным срабатываниям. Поэтому необходимо, используя классические статистические методы, оценить, указывают ли следы, оставленные лазерным лучом, на герметичность банки.

Для осуществления данной оценки уменьшим объём обрабатываемых данных путём вычисления гистограмм яркости в вертикальном и горизонтальном направлениях (рис. 11).

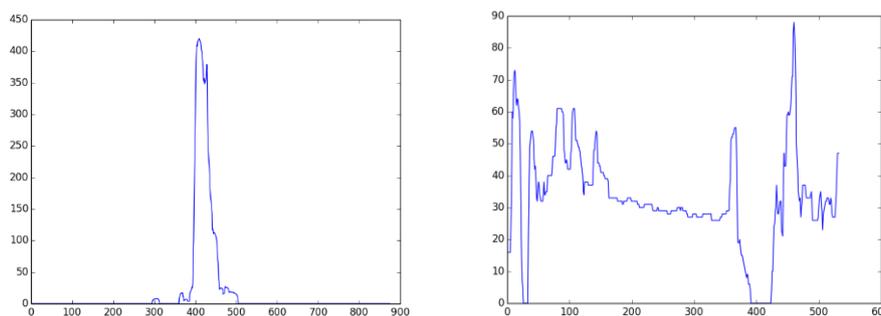


Рис. 117. Гистограммы яркости по осям X и Y  
Fig. 11. Luminance histograms by X and Y axes

Исходя из рекомендаций по использованию метода опорных векторов, данные гистограмм объединяются и приводятся к диапазону  $-1 \leq x \leq 1$ , причём среднее значение приводится к окрестности нуля. Нормализованный вектор значений яркостей (рис. 12) является выходным результатом работы алгоритма.

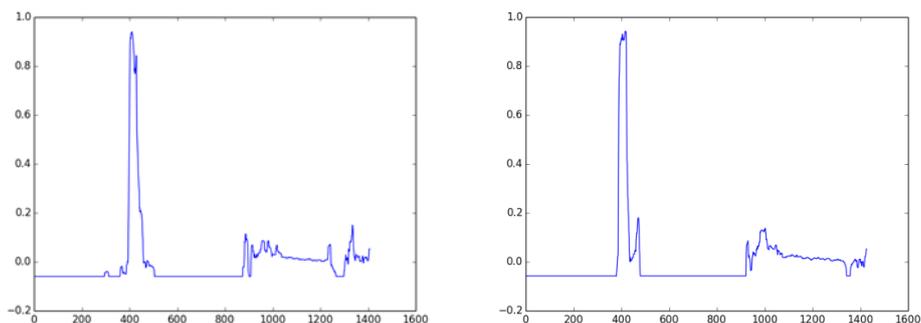


Рис. 12. Вектор значений яркостей банки без нарушений и с нарушениями геометрии  
Fig. 12. Luminance vectors for flawless and defective cans

Второй этап классификации по признаку герметичности основан на поиске цветовых аномалий, вызванных локальными выделениями. Полученное обособленное изображение исследуемого объекта уже можно было бы классифицировать, но оно содержит слишком много информации, и поиск сравнительно не-

большого пятна другого цвета может быть либо длительной операцией, либо иметь большой процент ложных срабатываний. Желательно усилить и выделить потенциальные цветовые аномалии перед их классификацией. Исследуемое изображение представлено на рис. 13, в правой части банки жёлтым маркером нанесено пятно, которое алгоритм должен выделить.



Рис. 13. Исследуемый объект с цветовой аномалией  
Fig. 13. Studied object with anomalous color vision

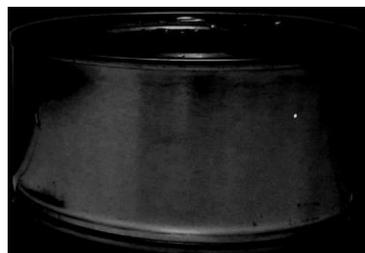


Рис. 14. Цветоразностное изображение B-G  
Fig. 14. B-G color-difference image

Исходя из того, что исследуемый объект (банка) имеет один и тот же цвет по всей поверхности и он близок к белому, изображение нормализуется с тем, чтобы доминирующий цвет изображения поверхности исследуемого объекта стал серым. То есть среднее значение яркостей пикселей во всех трёх каналах цвета должно располагаться посередине диапазона их возможных значений.

Так как цвет объекта в данном случае близок к белому, это приводит к равномерному изменению яркостей объекта во всех каналах цвета и, наоборот, при отличии от белого – к большей неравномерности между яркостями аномалий в каналах цвета.

Затем вычисляются шесть разностных изображения R-G, B-R, G-R, G-B, B-R, B-G, которые будут иметь сравнительно небольшие значения яркости в местах, где распределение яркости по каналам примерно одинаково; и большие положительные или отрицательные значения там, где значения яркости отличаются, т. е. в областях цветовых аномалий. Одно из наиболее показательных разностных изображений представлено на рис. 14.

Для лучшего усиления цветовой аномалии цветоразностные изображения дальше бинаризируются с достаточно высокой границей отсечки.

Финальное изображение получается путём выбора изображения с наивысшей яркостью, т. е. содержащего больше всего данных (рис. 15).

Разностное изображение в бинарном виде классифицируется методом опорных векторов с ядерным преобразованием [5].

Применительно к задаче классификации цветовых аномалий метод опорных векторов используется для анализа формы ранее выделенных цветовых аномалий в допущении, что границы последней, вызванной локальными выделениями, отличаются от границ аномалии, вызванной неравномерностью освещения исследуемой банки в момент съёмки снимка.

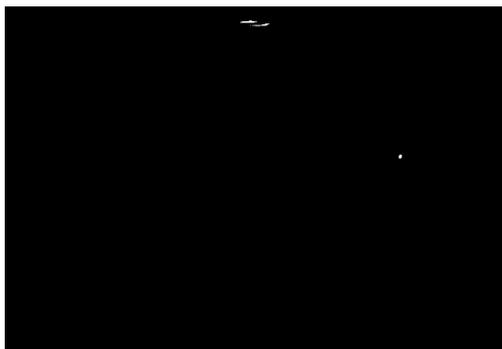


Рис. 15. Финальное цветоразностное изображение  
Fig. 15. Final color-difference image

Выбор ядра для метода опорных векторов, параметров ядра и регуляризации осуществляется на основе построения и анализа кривых обучения.

Для построения кривых обучения был подготовлен набор учебных данных, представляющих собой двухбитные изображения размером 100x100 пикселей. Из них 76 отпечатков капель, т. е. положительно классифицируемых изображений, и 84 отпечатка бликов (рис.16), т. е. отрицательно классифицируемых.



Рис. 16. Положительно (слева) и отрицательно (справа) классифицируемое изображение  
Fig.16. Positively (on the left) and negatively (on the right) classified images

Обучение классификатора производилось на учебном наборе данных. Для проверочного и учебного наборов данных определялась средняя точность классификации. Эта операция выполнялась для  $1 \dots m$  записей в учебном наборе, где  $m$  - общее количество записей в учебном и проверочных наборах. Выполнение этой операции позволило рассмотреть точность классификации как функцию от размера учебного набора и построить кривые обучения. Фрагмент программы, подготавливающей данные для построения кривых обучения, представлен на рис. 17.

На языке python [6] была реализована программа для построения кривых по вышеописанному алгоритму. С ее помощью были построены кривые обучения для различных ядер и различного коэффициента регуляризации. Кроме того, для нелинейного ядра – графики для полиномов разной степени (рис.18-20). На всех графиках кривая 1 - точность классификации для проверочного набора данных, кривая 2 - точность классификации для учебного набора данных.

```
# Train classifier with X_X from 1 to m
plot_M = []
plot_CV = []
plot_T = []
for m in range(3, len(X_X)):
    svc = svm.SVC(kernel='poly', degree=3, C=10).fit(X_X[0:m], X_Y[0:m])
    plot_M.append(len(X_X[0:m]))
    plot_CV.append(1 / svc.score(X_X, X_Y))
    plot_T.append(svc.score(T_X, T_Y))
```

Рис. 17. Фрагмент программы, подготавливающей данные для построения кривых обучения

Fig. 17. Fragment of the program preparing data for training curve plotting

Метод опорных векторов применяется не ко всему бинаризованному разностному изображению сразу, а к окну поиска, сканирующему изображение. В случае если в ходе сканирования метод опорных векторов классифицирует текущее содержимое окна поиска положительно, анализ изображения останавливается и исследуемый объект признаётся негерметичным. В противном случае после окончания сканирования исследуемый объект признаётся герметичным. Таким образом, использование метода опорных векторов ко всему вектору яркостей при анализе геометрических характеристик однозначно классифицирует банку герметичной или негерметичной.

Из графиков видно, что радиальная базисная функция и сигмоида передают неудовлетворительные результаты: точность классификации даже для учебного набора неоправданно низка. В свою очередь, линейное ядро показывает склонность к переобучению, которая возрастает с уменьшением коэффициента регуляризации, полиномиальное ядро для полинома шестого порядка – высокое отклонение от ожидаемой модели и, следовательно, неточный уровень распознавания герметичности банки. Для полиномов второго и третьего порядков стоит отметить графики с регуляризационными коэффициентами 10 (рис. 18) и 1 (рис. 19), которые показывают хорошую сходимость и высокую степень точности классификации [7].

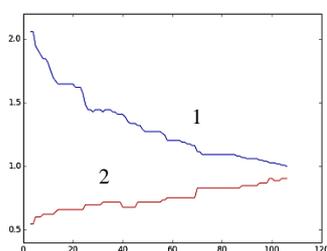


Рис. 18. Полиномиальное ядро: коэффициент регуляризации 10, полином третьей степени

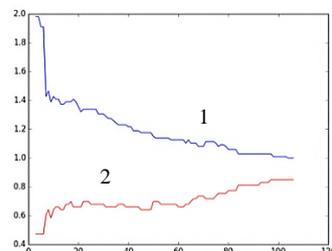


Рис. 19. Полиномиальное ядро: коэффициент регуляризации 1, полином третьей степени

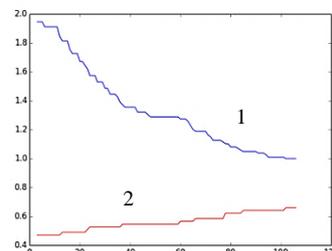


Рис. 20. Полиномиальное ядро: коэффициент регуляризации 0.1, полином третьей степени

## ВЫВОДЫ

Исходя из анализа, проведённого выше, показано, что в алгоритме обучения системы технического зрения, применяемой для распознавания дефектов консервных банок, рекомендуется использовать полиномиальное ядро третьего порядка с коэффициентом регуляризации 10.

Применение метода опорных векторов в сочетании с данным ядром демонстрирует хорошую точность модели, с аккуратностью более 99.9 % и полнотой в 1, т. е. отсутствием ложнонегативных срабатываний, а значит, классификаций дефектной банки как качественной.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бабарин, В. П. Стерилизация консервов: справочник / В. П. Бабарин. – Санкт-Петербург: ГИОРД, 2006. – 312 с.
2. P. Viola and M.J. Jones. Rapid Object Detection using a Boosted Cascade of Simple Features, proceedings IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 2001), 2001, IEEE, pp.1-9.
3. Шапиро, Л. Компьютерное зрение / Л. Шапиро, Дж. Стокман: пер. с англ. – 2-е изд. (эл.). – Москва: Бином. Лаборатория знаний, 2013. – 752 с.
4. John Canny. A Computational Approach to Edge Detection, IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence, vol. pami-8, no. 6, November 1986, pp. 679-698.
5. Вьюгин, В. В. Математические основы машинного обучения и прогнозирования / В. В. Вьюгин. – Москва: МЦМНО, 2014. – 304 с.
6. Scikit-learn: Machine Learning in Python / F. Pedregosa, G. Varoquaux, A. Gramfort et al. Journal of Machine Learning Research. – 2011. – Vol. 12, pp. 2825–2830.
7. Su-In Lee, Honglak Lee, Pieter Abbeel and Andrew Y Ng. Efficient L1 regularized logistic regression. In AAAI, 2006, pp. 1-8.

## REFERENCES

1. Babarin V. P. *Sterilizacija konservov: spravochnik* [Canned food sterilization: reference book]. Saint-Petersburg, GIORД, 2006, 312 p.
2. P. Viola and M. J. Jones. Rapid Object Detection using a Boosted Cascade of Simple Features, proceedings IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 2001), 2001, IEEE, pp.1-9.
3. Shapiro L., Stokman Dzh. *Komp'yuternoe zrenie* [Computer vision]. Moscow, Binom. Laboratorija znaniy, 2013, 752 p.
4. John Canny. A Computational Approach to Edge Detection, IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence, vol. pami-8, no. 6, November 1986, pp. 679-698.
5. V'jugin V. V. *Matematicheskie osnovy mashinnogo obuchenija i prognozirovaniya* [Mathematical background of machine learning and forecasting]. MCMNO, 2014, 304 p.

6. Pedregosa F., Varoquaux G., Gramfort A. et al. Scikit-learn: Machine Learning in Python. Journal of Machine Learning Research. 2011, vol. 12, pp. 2825-2830.

7. Su-In Lee, Honglak Lee, Pieter Abbeel and Andrew Y Ng. Efficient L1 regularized logistic regression. In AAAI, 2006, pp. 1-8.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Долгий Николай Алексеевич* – Калининградский государственный технический университет; зав. лабораториями кафедры автоматизации производственных процессов, доцент; E-mail: nic7493@mail.ru

*Dolgiy Nikolay Alekseevich* – Kaliningrad State Technical University;  
Head of the laboratories of the department of production processes automation,  
Assistant professor; E-mail: nic7493@mail.ru

*Чаплыгин Денис Викторович* – ООО «Сатгейт», Калининград; старший инженер;  
E-mail: akashihi@gmail.com

*Chaplygin Denis Viktorovich* – “SatGate” LLC, Kaliningrad; senior engineer;  
E-mail: akashihi@gmail.com

УДК 664.951

О ВЫБОРЕ ЦЕЛЕВОЙ ФУНКЦИИ ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ  
ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА СУШКИ РЫБЫ

В. А. Наумов, А. Э. Суслов, Ю. А. Фатыхов

THE CHOICE OF THE OBJECTIVE FUNCTION WHEN  
OPTIMIZING PARAMETERS OF FISH DRYING

V. A. Naumov, A. E. Suslov, Yu. A. Fatykhov

Проблема выбора оптимальных параметров процесса сушки пищевых продуктов является актуальной и в настоящее время. Данные параметры определяются технологическими требованиями и необходимыми качественными характеристиками. Наиболее часто целевой функцией оптимизации этого процесса выбирают его продолжительность. В статье предлагается формировать целевую функцию как показатель энергосбережения.

На основе исследований различных видов рыбы, проведенных на кафедре пищевых и холодильных машин ФГБОУ ВО «КГТУ», определена зависимость времени сушки  $\tau$  от температуры  $t$  и влагосодержания  $d$  воздуха. Аппроксимационные зависимости для трех видов рыбы получены методом наименьших квадратов в виде многочлена второго порядка. Анализ зависимостей показал наличие минимума функции времени сушки от влагосодержания воздуха.

Так как объем выборки по результатам эксперимента невелик, а погрешность может быть существенной, понижаем порядок аппроксимирующего многочлена, представив искомую функцию в виде линейной. Зависимость  $Y(t,d)$  соответствует физическому смыслу процесса: с ростом температуры время сушки монотонно убывает, а с ростом влагосодержания – возрастает.

Для оценки энергозатрат при сушке рыбы рассматривали зависимость потребления энергии сушильной установкой в единицу времени  $W$  от параметров процесса, т. е.  $W(t,d)$ . Предложенная зависимость связана с эмпирическими коэффициентами, обусловленными конструкцией установки. Оценка энергозатрат за время сушки определяется целевой функцией оптимизации процесса  $E(t,d) = Y(t,d) \cdot W(t,d)$ . Снижение энергозатрат происходит при увеличении влажности воздуха, росте температуры, а также и ее уменьшении; при этом в последнем случае увеличивается продолжительность процесса сушки рыбы.

*сушка рыбы, оптимизация, целевая функция, продолжительность, влагосодержание, энергосбережение.*

The problem of selecting optimum parameters of food drying process is relevant in the present time. The drying process parameters are determined by process requirements and the required quality characteristics. Most often, the process duration is chosen as the objective function of the drying process optimization. The article offers to form an objective function as an indicator of energy efficiency.

The study of different fish species was conducted in the Department of food and refrigerating machines KSTU in the form of dependence of the drying time  $\tau$  on temperature  $t$  and moisture content of the air  $d$ . Approximation dependences for the three fish species obtained by the method of least squares in the form of a second-order polynomial. Dependency analysis showed the presence of at least a function of drying time from the moisture content of the air.

Since the sample size subsequent to the experiment results is small and the error can be substantial, we reduce the order of the approximating polynomial and present the desired function as a linear. The dependence  $Y(t,d)$  corresponds to the physical meaning of the process: the drying time decreases monotonically with the temperature increasing, the drying time increases with the moisture content growing.

The dependence  $W(t,d)$  of the energy consumption of the drying installation per unit of time from process parameters were considered for estimating energy consumption for drying fish. The dependence is associated with the empirical coefficients determined by the installation design. Evaluation of energy consumption during drying is determined by the target function of the optimization process,  $E(t,d) = Y(t,d) \cdot W(t,d)$ . Reduction of energy consumption takes place under increasing moisture content of the air and temperature, but if it decreases, the duration of fish drying increases.

*fish drying, optimization, objective function, duration of drying, moisture content, energy saving*

## ВВЕДЕНИЕ

Проблема выбора оптимальных параметров процесса сушки пищевых продуктов, давно интересующая исследователей [1, 2], остается актуальной и в настоящее время (см., например, [3-5]). Естественно, что параметры этого процесса в первую очередь определяются соображениями технологии, позволяющей получить продукт с необходимыми вкусовыми качествами. В качестве критерия оптимальности выбирают время процесса [6] или иной показатель [7]. В современных условиях целесообразно целевую функцию формировать как показатель энергосбережения.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На кафедре пищевых и холодильных машин КГТУ были исследованы зависимости времени сушки рыбы от температуры  $t$  и влагосодержания воздуха  $d$  (таблица).

Таблица. Результаты экспериментального исследования сушки чехони

Table. Results obtained in the experimental study of sabrefish drying

№ п/п	$t$	$D$	$\tau$	
	°С	Г <sub>вл.</sub> /КГ <sub>сух.возд</sub>	ч	%
1	20	7,4	138	93,2
2	20	9,1	130	87,8
3	20	10,8	148	100
4	25	7,4	130	87,8
5	25	9,1	120	81,1

Окончание таблицы

№ п/п	$t$	$D$	$\tau$	
	°С	Г <sub>вл.</sub> /кг <sub>сух.возд</sub>	ч	%
6	25	10,8	125	84,5
7	30	7,4	88	59,5
8	30	9,1	90	60,8
9	30	10,8	110	74,3

Исследования процесса сушки рыбы (чехони, плотвы и окуня) для оптимизации параметров воздуха при вялении и холодном копчении проводились на экспериментальной установке, позволяющей поддерживать в течение длительного времени постоянные параметры воздуха: температуру, влажность и скорость [7]. Рыбу солили смешанным посолом, отмачивали, измеряли начальную влажность. Затем ее развешивали на прутках в установке и запускали установку в работу. Замеры промежуточной влажности рыбы в процессе сушки проводили каждые 8 ч, температура, влажность воздуха поддерживались постоянными в течение всего эксперимента. Скорость воздуха была одинаковой во всех экспериментах - 2,2 м/с.

#### ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Методом наименьших квадратов были получены многочлены аппроксимации времени сушки. В частности, для чехони многочлен второго порядка имеет следующий вид (в процентах максимального значения):

$$Y(t, d) = 250,956 + 5,307 \cdot t - 46,015 \cdot d - 0,207 \cdot t^2 + 2,299 \cdot d^2 + 0,238 \cdot t \cdot d; \quad (1)$$

для плотвы:

$$Y(t, d) = 574,172 - 19,169 \cdot t - 52,738 \cdot d - 0,307 \cdot t^2 + 2,884 \cdot d^2 + 0,077 \cdot t \cdot d; \quad (2)$$

для окуня:

$$Y(t, d) = 457,197 + 2,390 \cdot t - 89,923 \cdot d - 0,203 \cdot t^2 + 4,442 \cdot d^2 + 0,596 \cdot t \cdot d. \quad (3)$$

Анализировать зависимости типа (1-3) удобнее не на пространственных, а на контурных графиках (см. рис. 1-3). По ним видно, что с увеличением температуры время сушки падает, а это соответствует физическому смыслу процесса. При снижении влагосодержания воздуха сглаживающий многочлен второго порядка прогнозирует при всех температурах сначала уменьшение времени сушки, а затем (примерно при 8-9 Г<sub>вл.</sub>/кг<sub>сух.возд</sub>) повышение.

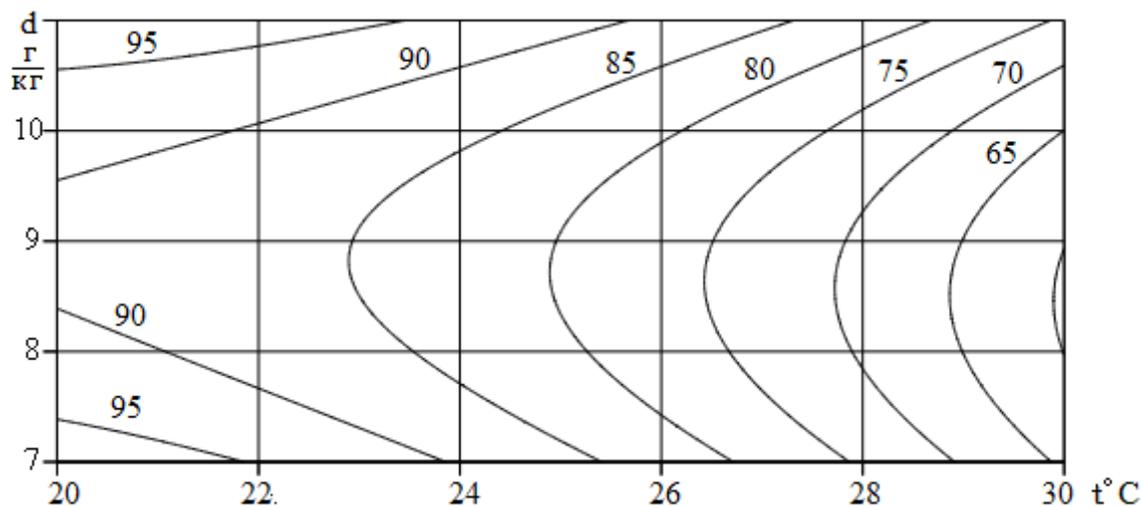


Рис. 1. Зависимость времени сушки чехони (в %) от температуры и влагосодержания воздуха при квадратичной аппроксимации  
 Fig. 1. Dependence of sabrefish drying time (%) on the temperature and moisture content of the air in case of quadratic approximation

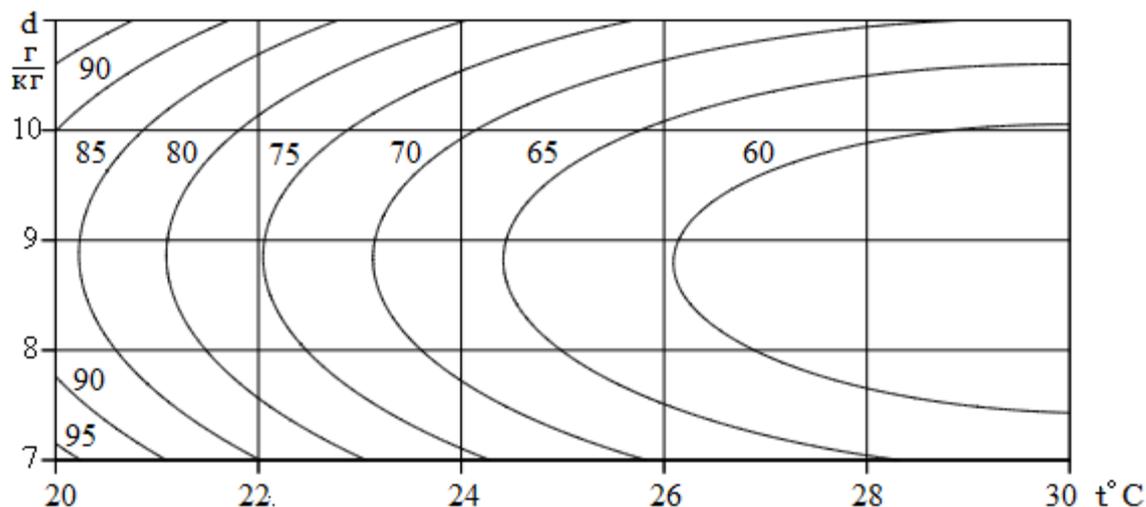


Рис. 2. Зависимость времени сушки плотвы (в %) от температуры и влагосодержания воздуха при квадратичной аппроксимации  
 Fig. 2. Dependence of roach drying time (%) on the temperature and moisture content of the air in case of quadratic approximation

Двумерные графики (рис. 4-6) показывают зависимость времени сушки рыбы от влагосодержания воздуха при двух значениях температуры. На рис. 4 линии 1 и 2 имеют минимум функции времени сушки от влагосодержания воздуха. Так как объем выборки невелик, погрешность в измерении всего одной экспериментальной точки на линии 1 могла бы привести к искажению физического смысла процесса. Аналогично и на рис. 5-6.

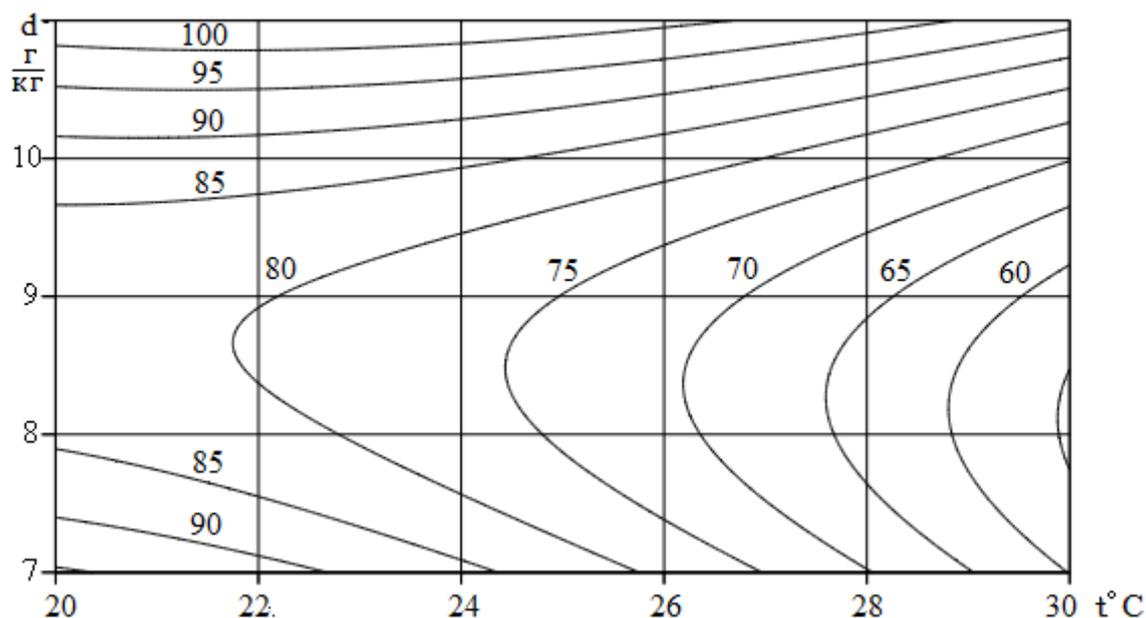


Рис. 3. Зависимость времени сушки окуня (в %) от температуры и влагосодержания воздуха при квадратичной аппроксимации  
 Fig. 3. Dependence of bass drying time (%) on the temperature and moisture content of the air in case of quadratic approximation

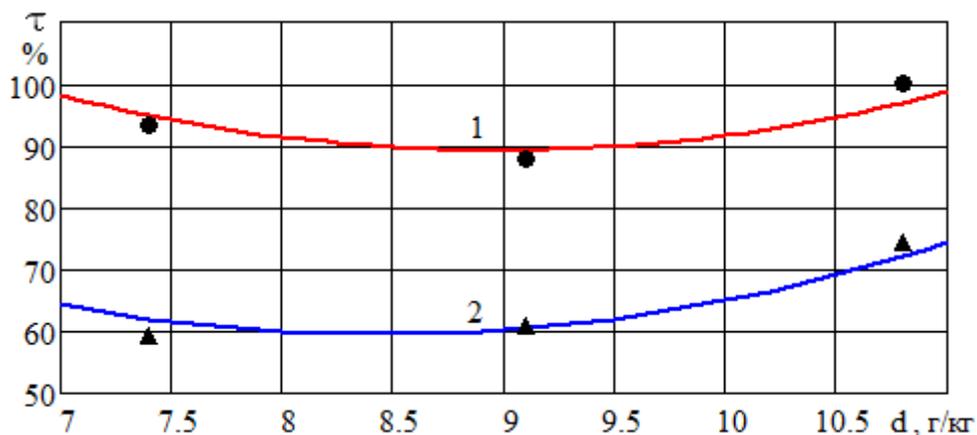


Рис. 4. Зависимость времени сушки чехони (в %) от влагосодержания воздуха при двух значениях температуры: 1 –  $t = 20^{\circ}\text{C}$ , 2 –  $t = 30^{\circ}\text{C}$ . Точки – опытные данные, линии – результат расчета по формуле (1) (квадратичная аппроксимация)

Fig. 4. Dependence of sabrefish drying time (%) on the moisture content at two temperatures: 1 –  $t = 20^{\circ}\text{C}$ , 2 –  $t = 30^{\circ}\text{C}$ . Points – experimental data, lines – result of calculation by the formula (1) (quadratic approximation)

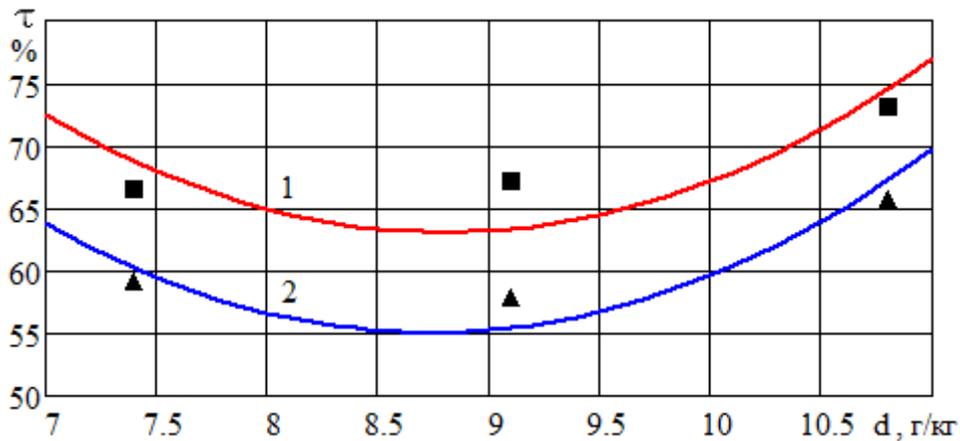


Рис. 5. Зависимость времени сушки плотвы (в %) от влагосодержания воздуха при двух значениях температуры: 1 –  $t = 25^{\circ}\text{C}$ , 2 –  $t = 30^{\circ}\text{C}$ .

Точки – опытные данные, линии – результат расчета по формуле (2) (квадратичная аппроксимация)

Fig. 5. Dependence of roach drying time (%) on the moisture content at two temperature values: 1  $t = 25^{\circ}\text{C}$ , 2  $t = 30^{\circ}\text{C}$ . Points – experimental data, lines – result of calculation by the formula (2) (quadratic approximation)

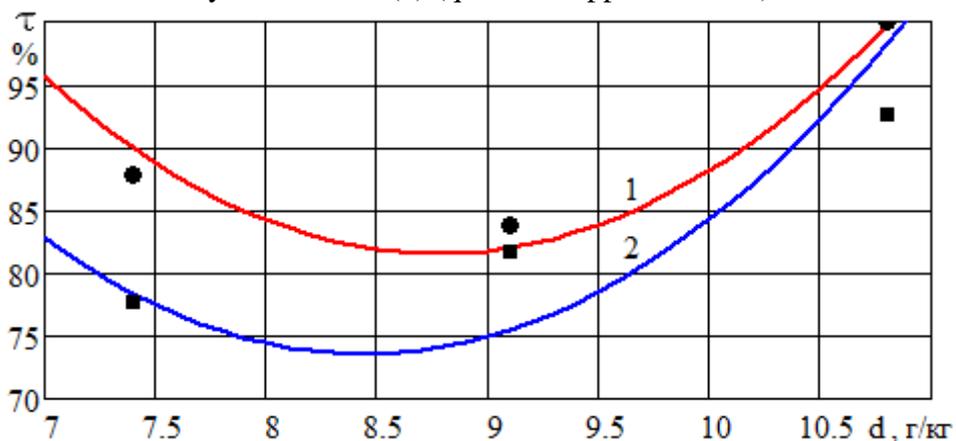


Рис. 6. Зависимость времени сушки окуня (в %) от влагосодержания воздуха при двух значениях температуры: 1 –  $t = 20^{\circ}\text{C}$ , 2 –  $t = 25^{\circ}\text{C}$ .

Точки – опытные данные, линии – результат расчета по формуле (3) (квадратичная аппроксимация)

Fig. 6. Dependence of perch drying time (%) on the moisture content at two temperatures: 1  $t = 20^{\circ}\text{C}$ , 2  $t = 25^{\circ}\text{C}$ . Points – experimental data, lines – result of calculation by the formula (3) (quadratic approximation)

Возможно, такой эффект объясняется не физической сутью процесса сушки, а особенностями сглаживания при небольшом объеме измерений [8]. Воспользуемся рекомендацией [9]: если аппроксимирующий многочлен противоречит физическому смыслу, нужно понизить его порядок.

Линейная функция аппроксимации времени сушки для чехони (в процентах от наибольшего значения) имеет следующий вид (рис. 7):

$$Y(t, d) = 136,802 - 2,883 \cdot t + 1,789 \cdot d ; \quad (4)$$

для плотвы (рис. 8):

$$Y(t, d) = 136,567 - 3,114 \cdot t + 1,677 \cdot d; \quad (5)$$

для окуня (рис. 9):

$$Y(t, d) = 85,579 - 2,320 \cdot t + 5,829 \cdot d. \quad (6)$$

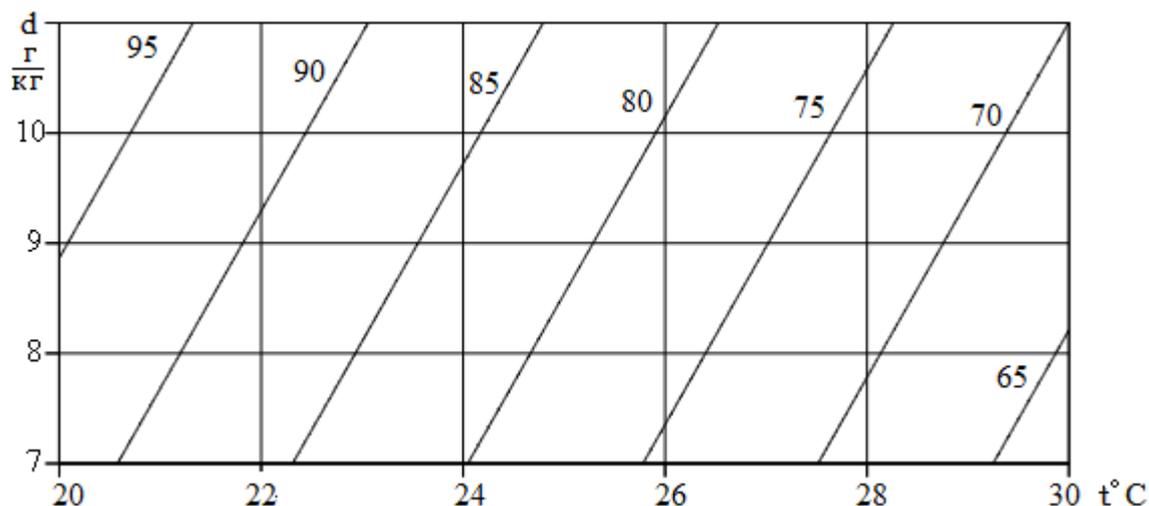


Рис. 7. Зависимость времени сушки чехони (в %)

от температуры и влагосодержания воздуха при линейной аппроксимации

Fig. 7. Dependence of sabrefish drying time (%) on the temperature and moisture content of the air in case of linear approximation

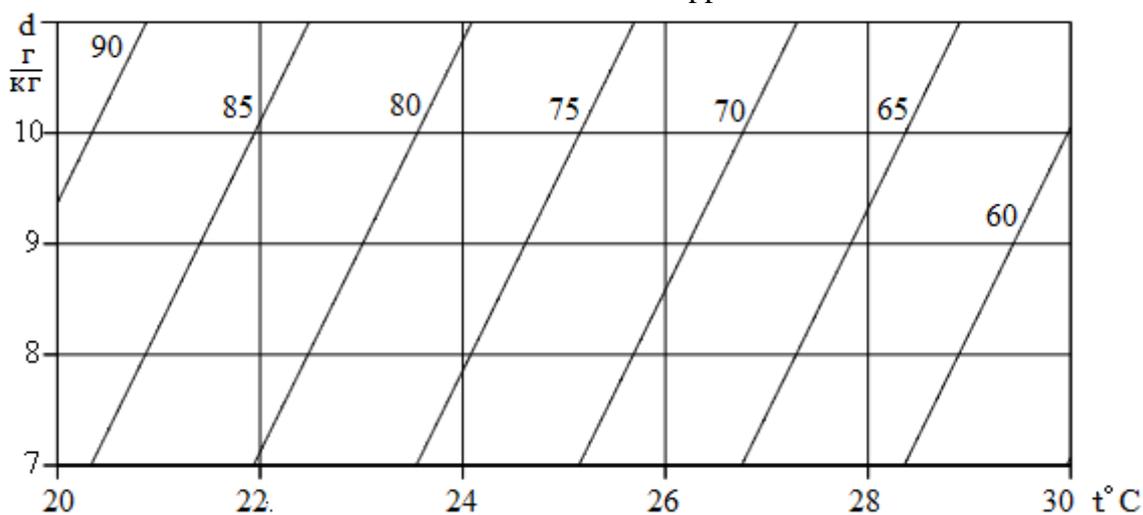


Рис. 8. Зависимость времени сушки плотвы (в %)

от температуры и влагосодержания воздуха при линейной аппроксимации

Fig. 8. Dependence of roach drying time (%) on the temperature and moisture content of the air in case of linear approximation

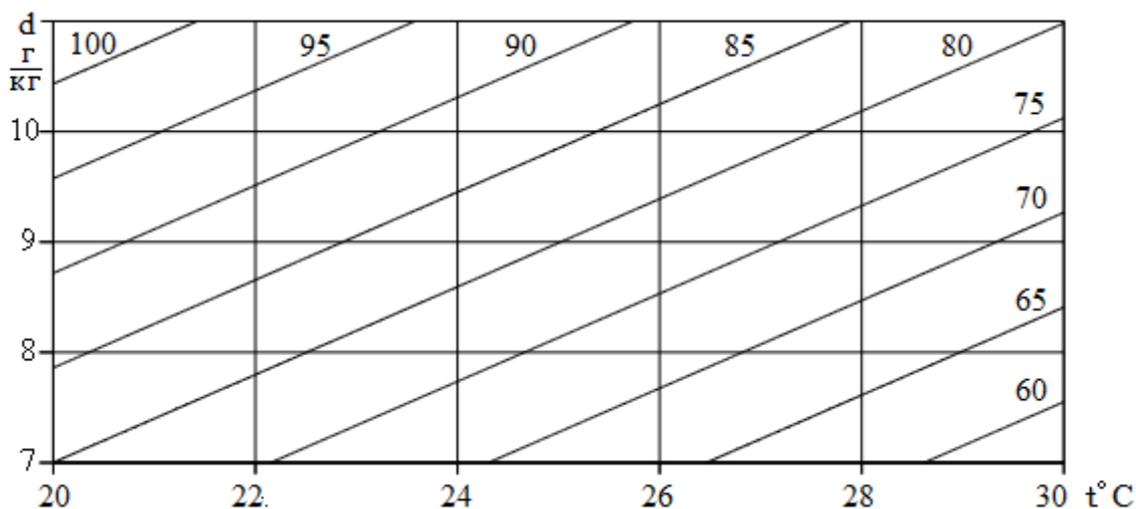


Рис. 9. Зависимость времени сушки окуня (в %) от температуры и влагосодержания воздуха при линейной аппроксимации  
 Fig. 9. Dependence of perch drying time (%) on the temperature and moisture content of the air in case of linear approximation

Зависимости (4-6) соответствуют физическому смыслу процесса: с ростом температуры время сушки монотонно убывает, с ростом влагосодержания воздуха – возрастает. Поэтому в дальнейших расчетах будем использовать формулу (2). Сравнение наклона линий уровня на рис. 7-9 позволяет заметить, что изменение влагосодержания воздуха сильнее всего влияет на время сушки окуня.

Для оценки энергозатрат при сушке рыбы требуется получить зависимость потребления электроэнергии установкой в единицу времени от значений параметров процесса  $W(t, d)$ . Примем за 100 % потребление электроэнергии при значениях параметров  $t=30^{\circ}\text{C}$  и  $d=7,4$  г/кг. Учтем, что энергопотребление возрастает с увеличением температуры и уменьшением влагосодержания воздуха. Тогда одним из вариантов зависимости может быть такая:

$$W(t, d) = 100 + a \cdot (t - 30) \cdot |t - 30|^n + b \cdot (7,4 - d) \cdot |7,4 - d|^m, \quad (7)$$

где  $a, b, n, m$  – числовые коэффициенты, которые определяются конструкцией установки для сушки рыбы.

Оценка энергетических затрат за все время сушки может быть выполнена по формуле

$$E(t, d) = Y(t, d) \cdot W(t, d). \quad (8)$$

На рис. 10 показано изменение энергетических затрат при сушке чехони, рассчитанное по формуле (8).

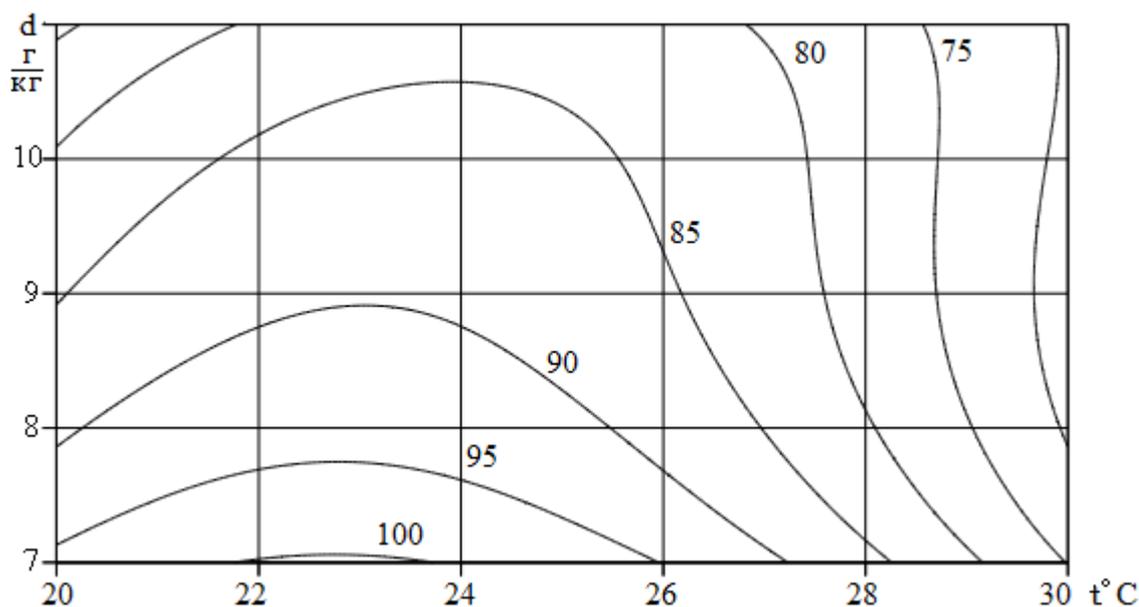


Рис. 10. Зависимость энергопотребления (в %) при сушке чехони от температуры и влагосодержания воздуха

Fig. 10. Dependence of energy consumption (%) during sabrefish drying on the temperature and moisture content of the air

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рассмотренном примере для сушки чехони наибольшее энергопотребление на единицу продукции наблюдается при минимальном влагосодержании воздуха и температурах 22-24°C.

Снижение энергетических затрат происходит при увеличении влагосодержания воздуха, а также как при росте температуры, так и при ее уменьшении. Нужно только помнить, что в последнем случае возрастает время сушки рыбы.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Doe, P. E. A mathematical model of the Torry fish drying kiln / P.E. Doe // *International Journal of Food Science & Technology*. – 1969. – V. 4. – P. 319–338.
2. Гинзбург, А. С. Основы теории и техника сушки пищевых продуктов / А.С. Гинзбург. – Москва: Пищевая промышленность, 1973. – 528 с.
3. Вороненко, Б. А. Постановка задачи тепломассопереноса процесса горячей сушки рыбы / Б. А. Вороненко, В. В. Пеленко, В. В. Стариков // *Процессы и аппараты пищевых производств: Электронный научный журнал*. – 2007, № 2. – URL: <http://processes.open-mechanics.com/articles/55.pdf>.
4. Kituu, G. M. Thin layer drying model for simulating the drying of Tilapia fish (*Oreochromis niloticus*) in a solar tunnel dryer / G. M. Kituu, D. Shitanda, C. L. Kanali etc. // *Journal of Food Engineering*. – 2010. – V. 98, No 3. – P. 325-331.
5. Dalvand, M. J. Determining the influence of drying conditions on EHD drying process / M. J. Dalvand, S. S. Mohtasebi, S. Rafiee // *ARNP Journal of Agricultural and Biological Science*. – 2012. V. 7, No 6. – P. 396-401.

6. Особенности массопереноса при сушке рыбы / А. Э. Суслов [ и др. ] // Известия вузов. Пищевая технология. – 2007. – № 2. – С. 56–57.
7. Наумов, В. А. Граничные условия при конвективной сушке рыбы / В. А. Наумов, А. Э. Суслов, Ю. А. Фатыхов // Вестник МГТУ. – 2015. – Т. 18, № 4. – С. 647-653.
8. Бояринова, Н. А. Особенности статистической обработки результатов экспериментальных исследований случайной функции, полученных разными авторами / Н. А. Бояринова, А. В. Кикот, В. А. Наумов // Известия КГТУ. – 2015. – № 37. – С. 199-206.
9. Наумов, В. А. Прикладная математика: учеб. пособие по решению профессиональных задач в среде Mathcad / В. А. Наумов. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2014. – 144 с.

#### REFERENCES

1. Doe P. E. A mathematical model of the Torry fish drying kiln. *International Journal of Food Science & Technology*. 1969, vol. 4, pp. 319-338.
2. Ginzburg A. S. *Osnovy teorii i tehnika sushki pishhevyh produktov* [Theoretical frameworks and food products dehydration techniques]. Moscow, Pishhevaja promyshlennost', 1973, 528 p.
3. Voronenko B. A., Pelenko V. V., Starikov V. V. Postanovka zadachi teplomassoperenosa processa gorjachej sushki ryby [Problem statement of heat and mass transfer of fish heat-drying]. *Processy i apparaty pishhevyh proizvodstv*, 2007, no. 2, available at: <http://processes.open-mechanics.com/articles/55.pdf>.
4. Kituu G. M., Shitanda D., Kanali C. L. etc. Thin layer drying model for simulating the drying of Tilapia fish (*Oreochromis niloticus*) in a solar tunnel dryer. *Journal of Food Engineering*. 2010, vol. 98, no 3, pp. 325-331.
5. Dalvand M. J., Mohtasebi S. S., Rafiee S. Determining the influence of drying conditions on EHD drying process. *ARNP Journal of Agricultural and Biological Science*. 2012, vol. 7, no 6, pp. 396-401.
6. Suslov A. Je., Jerlihman V. N., Fatyhov Ju. A. i dr. Osobennosti massoperenosa pri sushke ryby [Characteristics of mass transfer in the process of fish drying]. *Izvestija vuzov. Pishhevaja tehnologija*. 2007, no. 2, pp. 56-57.
7. Naumov V. A., Suslov A. Je., Fatyhov Ju. A. Granichnye uslovija pri konvektivnoj sushke ryby [Boundary conditions in convection drying of fish]. *Vestnik MGTU*. 2015, vol. 18, no 4, pp. 647-653.
8. Bojarinova N. A., Kikot A. V., Naumov V. A. Osobennosti statisticheskoj obrabotki rezul'tatov jeksperimental'nyh issledovanij sluchajnoj funkcii, poluchennyh raznymi avtorami [Features of statistical processing of experimental results of a random function obtained by different authors]. *Izvestija KGTU*, 2015, no. 37, pp. 199-206.
9. Naumov V. A. *Prikladnaja matematika: Uchebnoe posobie po resheniju professional'nyh zadach v srede Mathcad* [Applied mathematics: textbook on solution of professional tasks using Mathcad]. Калининград, Изд-во ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2014, 144 p.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

*Наумов Владимир Аркадьевич* – Калининградский государственный технический университет; доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой водных ресурсов и водопользования; E-mail: vladimir.naumov@klgtu.ru

*Naumov Vladimir Arkadievich* – Kaliningrad State Technical University; Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Water Resources and Water Management; E-mail: vladimir.naumov@klgtu.ru

*Суслов Александр Эдуардович* – Калининградский государственный технический университет; кандидат технических наук, доцент кафедры пищевых и холодильных машин; E-mail: sergs53@yandex.ru

*Suslov Alexandr Eduardovich* – Kaliningrad State Technical University; PhD, Associate Professor of the Department of Food and Refrigerating Machines; E-mail: sergs53@yandex.ru

*Фатыхов Юрий Адгамович* – Калининградский государственный технический университет; доктор технических наук, профессор кафедры пищевых и холодильных машин; E-mail: elina@klgtu.ru

*Fatykhov Yuriy Adgamovich* – Kaliningrad State Technical University; PhD, Professor of the Department of Food and Refrigerating Machines; E-mail: elina@klgtu.ru

## **СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ**



УДК 636.1:591.111

HEMATOLOGICAL AND BIOCHEMICAL CHANGES IN THE BLOOD  
OF DRESSAGE HORSES DURING EXERCISE

A. V. Andriichuk, H. M. Tkachenko, I. V. Tkachova

ГЕМАТОЛОГИЧЕСКИЕ И БИОХИМИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ В КРОВИ  
ВЫЕЗДКОВЫХ ЛОШАДЕЙ ПОД ВЛИЯНИЕМ ФИЗИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

А. В. Андрийчук, Г. М. Ткаченко, И. В. Ткачова

Physical exercise for athletic horses induces a series of normal physiological and biochemical adaptations. Dressage is a combination of mental and physical prowess to perform practiced movements to exacting standards with harmony between a horse and its rider. Many articles focus on exercise-induced changes of metabolic and biochemical parameters of horses involved in jumping, eventing and other equine athletic disciplines. But a scientific review to assess the hematological and some biochemical changes in horses involved in dressage still requires investigation and discussion. The objective of the present study was to investigate alterations of hematological parameters [haematocrit (HCT), hemoglobin concentration (HGB), the count of red blood cells (RBC), white blood cells (WBC), platelets (PLT), leucogram, mean corpuscular hemoglobin concentration (MCHC), mean corpuscular volume (MCV), mean corpuscular hemoglobin (MCH), red cell distribution width (RDW) and platelets distribution width (PDW)], as well as aspartate aminotransferase (AST), alanine aminotransferase (ALT), and lactate dehydrogenase (LDH) activities, and lactate and pyruvate concentrations in sport horses involved in dressage before and after exercise. The results of the present study showed a significant increase of WBC and granulocytes count, as well as RBC, HGB and HCT levels after exercise. Activity of AST reduced after exercise that may reflect adaptation related to regular dressage training.

*dressage, horses, hematological parameters, aminotransferases*

К лошадям, используемым в выездке, предъявляются определенные требования, но, к сожалению, в научных работах немного исследований, связанных с анализом гематологических и биохимических показателей. Учитывая актуальность данной проблемы, мы поставили перед собой цель проанализировать количественные изменения гематологических показателей и некоторых биохимических маркеров у выездковых лошадей до и после физических нагрузок. Объектом исследований были девять спортивных лошадей. Изучали следующие гематологические параметры: количество эритроцитов (RBC), средний объем эритроцитов (MCV), индекс анизоцитоза (RDWc), содержание гемоглобина (HGB), среднее содержание гемоглобина в эритроците (MCH), средняя концентрация гемоглобина в эритроцитах (MCHC), гематокрит (HCT), количество тромбоцитов (PLT), тромбоцитрит (PCT%), средний объем тромбоцитов (MPV), ширина распределения тромбоцитов (PDWc), количество лейкоцитов (WBC) с дифференцировкой на три

субпопуляции – лимфоциты (LYM), гранулоциты (GRA), моноциты, эозинофилы, базофилы и их предшественники (MID). Также проанализировали изменения активности аминотрансфераз и лактатдегидрогеназы, содержание лактата и пирувата в крови лошадей в динамике физических нагрузок. После физических нагрузок установлено существенное увеличение количества лейкоцитов и гранулоцитов, что свидетельствует об адаптационных реакциях организма к систематическим физическим нагрузкам через активацию фагоцитарного звена иммунной защиты. Существенное увеличение общего количества эритроцитов, гемоглобина и гематокрита после физических нагрузок связано с выходом эритроцитов из депо, что необходимо для обеспечения поставок кислорода к работающим мышцам и органам. Снижение активности аспартатаминотрансферазы у лошадей, используемых в выезде, указывает на адаптационные изменения метаболических процессов к физическим нагрузкам и на высокий уровень тренированности этих лошадей.

*выездка, лошади, гематологические показатели, аминотрасферазы*

## INTRODUCTION

Hematological parameters provides relatively simple but reliable methods of establishing physiological status by giving insight in various processes in a horse organism [1, 2]. In addition, blood hematological and biochemical parameters can be good indicators of the response to treatment, the severity and the systemic effects of a disease, as well as horse welfare, health and fitness levels of horses [2-4]. Despite the extended use of hematology in equine medicine, interpretation may be a challenge in some cases, because it can be significantly influenced by a great number of factors. Hematological parameters may vary according to a breed, sex, age, reproductive status, fitness and training levels, exercise, feeding, circadian variations, handling procedure of animals during blood withdrawal, degree of excitement and health state [2, 4, 5]. Among these factors, hematological adaptation is necessary to provide an appropriate blood supply during exercise.

Dressage is a combination of mental and physical prowess to perform practiced movements to exacting standards with harmony between a horse and its rider. Despite many claims that a dressage horse does not require a high level of physical fitness, in fact, collected dressage movements benefit from a much more sustained physical fitness as compared to many other equine athletic disciplines, especially in preparation for the advanced levels of the sport [6]. For this reason, certain cardiovascular and haematological adaptations are necessary to guarantee correct oxygen and blood borne substrates supply to active muscles during exercise and release of metabolites. These systems could act as limiting factors to the aerobic potential and, thereby, could limit physical performance of dressage horses [1].

Recent studies of equine exercise physiology have focused mainly on determining the usefulness of biochemical and hematological parameters for evaluating physiological capacity and adaptation to increasing loads in horses of different breeds [4, 7, 8]. It is important to understand the biochemical changes produced by various types of exercises, because they reflect changes in the functions of different systems and in the type of energy utilized [3, 7, 8]. Many articles focus on exercise-induced changes of metabolic and biochemical parameters in horses involved in jumping, eventing and other equine athletic disciplines [1, 4, 7, 8]. But a scientific review to assess the hematolog-

ical and some biochemical changes in horses involved in dressage still require investigation and discussion. Therefore, the aim of the present study was to determine hematological and biochemical parameters of horses involved in dressage before and after exercises.

## MATERIALS AND METHODS

**Horses and training.** Nine well trained Ukrainian Warmblood horses (3 mares, 5 geldings, 2 stallions) aged  $8.3 \pm 1.6$  years, involved in dressage were used in this study. Horses were housed in the same environment. They had the same vaccinate status and no signs of clinical disease. The females were non-pregnant. The diets were composed of grass hay and concentrated forage, fed three times per day. All horses had been in regular training for several years.

**Exercise test.** The study design consisted of one exercise test according to training program. This test consist of a number of dressage movements of average intensity including collected and extended movements in trot and canter. The exercise test consisted with the walk – 5 min; the trot – 10 min; the walk – 5 min; the collected trot with working in passage – 10 min; the walk – 10 min; the extended trot with half-pass diagonal – 10 min; the walk – 10 min; the collected and extended canter with flying changes in sequence – 10 min; the walk – 15 min. The duration of training was 1.25 hour.

**Blood samples.** Blood was drawn from jugular veins of the animals in the morning, 90 minutes after feeding, while the horses were in the stables (between 8:30 and 10 AM), and immediately after endurance race (between 11:00 AM and 2:00 PM). Blood was stored into tubes with K-EDTA and held on ice until centrifugation at 3,000g for 15 minutes. The plasma was removed. The erythrocytes' suspension (one volume) was washed with five volumes of saline solution three times and centrifuged at 3,000g for 15 minutes. Plasma aliquots were frozen and stored at  $-25^{\circ}\text{C}$  until analyzed.

**Hematological assays.** Routine hematological parameters [haematocrit (HCT), haemoglobin concentration (HGB), the count of red blood cells (RBC), white blood cells (WBC), platelets (PLT), leucogram, mean corpuscular hemoglobin concentration (MCHC), mean corpuscular volume (MCV), mean corpuscular hemoglobin (MCH), red cell distribution width (RDW) and platelets distribution width (PDW)] were measured and counted with an automated hematology analyzer (Abakus Junior Vet, Austria).

**Biochemical assays.** Alanine aminotransferase (ALT, E.C. 2.6.1.2) and Aspartate aminotransferase (AST, E.C. 2.6.1.1) activities were analyzed spectrophotometrically by standard enzymatic method [9]. The colorimetric method of Sevela and Tovarrek (1959) was used for the determination of lactate dehydrogenase (LDH, E.C. 1.1.1.27) activity [10]. Lactate and pyruvate concentrations were measured according to the procedure described by Herasimov and Plaksina (2000) [11].

**Statistical analysis.** Results are expressed as mean  $\pm$  S.E.M. All variables were tested for normal distribution using the Kolmogorov-Smirnov test ( $p > 0.05$ ). In order to find significant differences (significance level,  $p < 0.05$ ) between states before and after exercise, Wilcoxon signed-rank test was applied to the data [12]. All statistical analyses were performed using STATISTICA 10.0 software (StatSoft, Poland).

## RESULTS AND DISCUSSION

Exercise-induced physiological processes are reflected in changes in blood hematological parameters. In our study, all hematological parameters of horses were with-

in the reference values (Table 1). However, significant changes levels of leukocytes (WBC), granulocytes (GRA), erythrocytes (RBC), hemoglobin (HCT), hematocrit (HCT), and red cell distribution width (RDWc) in horses after exercise test were observed. In particular, WBC and GRA levels were increased by 25% and 25% ( $p<0.05$ ), respectively. The results showed increased RBC, HGB HCT and RDWc values by 26.9%, 29.5%, 27%, and 2.6% ( $p<0.05$ ), respectively (Table 1).

Table 1. Hematological indices of horses before and after exercise

Таблица 1. Гематологические показатели лошадей до и после физической нагрузки

Hematological indices	Before exercise	After exercise	The reference values
Leukocyte count, WBC [ $\cdot 10^9/L$ ]	6.83 $\pm$ 0.49	8.55 $\pm$ 0.74*	5.4-14.3• 5.5-12.0••
Lymphocyte count, LYM [ $\cdot 10^9/L$ ]	2.14 $\pm$ 0.29	2.50 $\pm$ 0.39	1.5-7.7*
Monocytes and some eosinophils count, MID [ $\cdot 10^9/L$ ]	0.14 $\pm$ 0.03	0.33 $\pm$ 0.11	0-1.5•
Granulocytes (neutrophils, eosinophils and basophils) count, GRA [ $\cdot 10^9/L$ ]	4.55 $\pm$ 0.36	5.72 $\pm$ 0.46*	2.3-9.5•
Percentage of lymphocytes, LY%	31.09 $\pm$ 3.15	28.60 $\pm$ 3.33	17-68•
Percentage of monocytes and some eosinophils, MID%	2.08 $\pm$ 0.46	3.71 $\pm$ 1.14	0-14•
Percentage of granulocytes, GR%	66.83 $\pm$ 3.35	67.70 $\pm$ 3.52	22-80•
Erythrocyte count, RBC [ $\cdot 10^9/L$ ]	7.47 $\pm$ 0.39	9.48 $\pm$ 0.60*	6.8-12.9• 5.5-10.0••
Hemoglobin level, HGB [g/dL]	11.67 $\pm$ 0.52	15.12 $\pm$ 1.0*	11-19• 8-18••
Hematocrit, HCT [%]	33.82 $\pm$ 0.98	43.19 $\pm$ 2.95*	32-53• 24-52••
Mean Corpuscular Volume, MCV [fL]	45.56 $\pm$ 1.30	45.83 $\pm$ 1.30	34-58• 35-58••
Mean Corpuscular Hemoglobin, MCH [pg]	15.68 $\pm$ 0.20	15.94 $\pm$ 0.23	12.3-19.7• 10-20••
Mean Corpuscular Hemoglobin Concentration, MCHC [g/dL]	34.42 $\pm$ 0.76	34.95 $\pm$ 0.70	31-39• 31-37••
Red Blood Cell Distribution Width, RDW [%]	20.31 $\pm$ 0.21	20.85 $\pm$ 0.22*	11-17•
Platelet count, PLT [ $\cdot 10^9/L$ ]	159.78 $\pm$ 8.19	180.41 $\pm$ 11.71	100-400• 150-400••
Mean platelet volume, MPV	8.18 $\pm$ 0.25	8.92 $\pm$ 0.46	9.7-12.8•
Platelet distribution width, PDW	33.27 $\pm$ 0.73	33.42 $\pm$ 0.47	

Legend: • – reference values according to the Operating Instructions Hematology Analyzer Abacus Junior Vet;

•• – reference values according to A. Winnicka (2004) (13);

\* – statistical significance ( $p<0.05$ ) between means in groups of horses before and after exercise.

• – реферативные значения гематологического анализатора Abacus Junior Vet;

•• – реферативные значения согласно А. Винницкой (2004) [13];

\* – статистически существенные изменения ( $p < 0,05$ ) между показателями, полученными до и после физической нагрузки.

There are two main WBC responses, physiological leukocytosis and stress leukocytosis. Physiological leukocytosis refers to changes in circulating WBC associated with the intervention of the sympathetic-adrenal axis resulting from splenic contraction in cases of fear, excitement, or high intensity exercise. Stress leukocytosis is associated with cortisol release under certain stressful situations [2]. Regular exercise is considered a physical stressor and as such has been shown to have profound effect on the immune response of many species [2, 14]. Mechanisms responsible for change of leukocyte values and function following exercise are believed to be multifactorial and complex; although, alterations in neuroendocrine hormones, in particular, catecholamines and corticosteroids, in response to an exercise challenge have been associated with transient immunosuppression [15]. In general, moderate training is considered to have beneficial effects on host defense mechanism [14], whereas prolonged periods of high-intensity training may lead to slight impairment of several immune parameters [2]. Krumrych (2006) investigated the effect of routine training exercise on hematological indices in jumping horses. As a result of training, a significant increase of WBC, RBC, HGB and cell volume counts were noted [4].

Our results showed significant increase granulocytes count in dressage horses after exercise (Table 1). Research studies examining granulocyte and monocyte function reported varying of acute exercise on phagocytic activity in horses [14, 15]. Moderate exercise was found to either have no effect on granulocyte and monocyte oxidative burst capacity or to increase these parameters [2]. Most studies show that of all subsets of circulating leukocytes, mainly neutrophils and lymphocytes, increase immediately after exercise [2, 4, 14, 16]. In summary, exercise increase granulocytes level and may reflect an appropriate response to exercise-induced stress rather than an impaired immunocompromised state [2, 14].

In our study was established that dressage horses had significantly higher values of all RBC, HGB, HCT, RDWc after exercise test. The most common finding for horses undergoing high-intensity training has been significant increases in the resting red blood cell count, hematocrit, and hemoglobin concentration [1, 3-5]. The increased of red blood cells indices after exercise test, observed in the present study, caused by mobilization of splenic erythrocytes and, therefore, increases the oxygen transport capacity [2, 4]. Increase of RDW levels in horses after exercise test were observed (Table 1). Red blood cell distribution width (RDW) is a simple and inexpensive parameter, routinely reported by automated hematological analyzers, and conventionally used as a measure of anisocytosis [17]. A previous study showed that RDW values are not affected by endurance running in altitude [18]. Our results agreed with Ellis and co-authors which have shown increased RDW values in healthy males after exhaustive running exercise [16].

Measurement of values of liver (AST, ALT) and muscle damage indicator (LDH), followed by a variety of training programs, can help to better understand the acute and chronic effects of resistance training [7, 8]. The results of the biochemical parameters in the two groups of examined horses before and after exercise are presented in Table 2.

Table 2. Biochemical parameters in the blood of dressage horses before and after exercise

Таблица 2. Биохимические показатели выездковых лошадей до и после физических нагрузок

Parameters	Before exercise	After exercise
ALT, $\text{mmol}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{L}^{-1}$	2.83±0.11	2.85±0.10
AST, $\text{mmol}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{L}^{-1}$	4.33±0.14	4.05±0.11*
LDH, $\text{mmol}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{L}^{-1}$	6.45±0.52	6.85±0.71
Lactate, $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$	4.59±0.77	5.13±0.78
Pyruvate, $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$	3.08±0.62	2.76±0.47

\* – statistical significance ( $p < 0.05$ ) between means in groups of horses before and after exercise.

\* – статистически существенные изменения ( $p < 0,05$ ) между показателями, полученными до и после физической нагрузки.

Significant decrease activities of aspartate aminotransferase by 6% ( $p < 0.05$ ) after exercise test was observed. The extent of changes depends on several factors: type of exercise, intensity of work (strength, duration and frequency) and individual variation [19]. Physiological increases of ALT and AST have been shown to occur without any tissue destruction [19]. AST catalyzes the transfer of an amino group from L-aspartate to  $\alpha$ -ketoglutarate, the products of this reversible transamination reaction are oxaloacetate and glutamate [20]. AST is a muscle-derived enzyme and as such is commonly used as indicator of muscle damage in the human athlete or athletic horses [21]. Physical training prepares the equine athlete for competition by inducing the physiological adaptations necessary to performance at a high level with minimal risk of injury, and by providing the appropriate behavioral and psychological factors essential for effective competition [8]. Fazio et al. (2011) reported a gradual and significant increase of AST and creatine kinase activities until the 60<sup>th</sup> day of training and a decrease at the end of training period (80<sup>th</sup> day) in Thoroughbred horses [8]. This increased could be explained to higher response of glycolytic metabolism that caused permeability changes in muscle fiber membranes [8]. These findings can be useful to assess the status of horses' performance and the degree of its training adaptability [8]. An increase in muscle mass and an increased activity of specific metabolic enzymes in concert with changes in the expression of structural proteins are known to contribute to changes in muscle and metabolism. Bouwman et al. (2010) investigated training-induced differential expression of equine muscle biopsy proteins [22]. Despite the poor resolution of the equine genome and proteome, they were able to identify the proteins of 20 differential spots representing 16 different proteins [22]. Evaluation of those proteins, including expression of mitochondrial AST, complies with adaptation of the skeletal muscle after normal training involving structural changes towards a higher oxidative capacity, an increased capacity to take up long-chain fatty acids, and to store energy in the form of glycogen [22]. Consequently, our findings are in agreement with a previous reports [8] where serum enzymatic activities increased in the early stages of training and decreased in the later stages of training.

## CONCLUSION

1. Exercise lead to significant increase of leukocytes and granulocytes values. These changes most likely occurred due the external factors, such as regular training and could improve the immune function of horses involved in dressage.

2. The increased of red blood cells indices after exercise test observed in the present study, caused by mobilization of splenic erythrocytes and, therefore, increases the oxygen transport capacity.

3. Significant decrease of aspartate aminotransferase activity in horses after exercise could reflect adaptations related to regular training for dressage.

4. It is important to understand the hematological and biochemical changes caused by various physical efforts because they reflect changes in the functions of different body systems. It can be used for health control and diagnosis of diseases and allow the evaluating the level of sport performance the accuracy of training and physiological condition of equine athletes.

*This study was supported by Polish National Commission for UNESCO.*

## REFERENCES

1. Piccione, G., Giannetoo, C., Fazio, M., Mauro, S., Caola, G. Haematological response to different workload in jumper horses. *Bulgarian Journal of Veterinary Medicine*, 2007, Vol. 10, pp. 21–28.

2. Satué, K., Hernández, A., Muñoz, A. Physiological Factors in the Interpretation of Equine Hematological Profile. *Hematology – Science and Practice*, Dr. Charles Lawrie (Ed.), 2012, ISBN: 978-953-51-0174-1, InTech, Available from: <http://www.intechopen.com/books/hematology-science-and-practice/haematological-profile-of-the-horse-phisiological-factors-influencing-equine-haematology>.

3. Andriichuk, A., Tkachenko, H., Łukaszewicz, J., Kurhaluk, N., Tkachova, I. Physical condition of horses from recreational Crimean and Pomeranian regions. *Praca zbiorowa “Globalizacja a problematyka ochrony środowiska”*, Red. naukowa T. Noch, J. Saczuk, A. Wesołowska. Wydawnictwo Gdańskiej Wyższej Szkoły Administracji, Gdańsk, 2014 a. S. 314–361.

4. Krumrych, W. Variability of clinical and haematological indices in the course of training exercise in jumping horses. *Bull. Vet. Inst. Pulawy*, 2006, Vol. 50, pp. 391-396.

5. Satué, E., Blanco, O., Muñoz, A. Age-related differences in the hematological profile of Andalusian broodmares and Carthusian strain. *Veterinarni Medicinca*, 2009, Vol. 54, pp.175–182.

6. Kohnke, J. Physical fitness – preparing a horse for dressage. *Talking Dressage*, 2011, Vol. 5, pp.1–4.

7. Janicki, B, Kochowicz, A, Buzala, M, Krumrych, W. Variability of selected biochemical parameters in young stallions during the 100-day performance test. *J. Equine Vet. Sci.*, 2013, Vol. 33, pp. 1136–1141.

8. Fazio, F., Assenza, A., Tosto, F., Casella, S., Piccione, G., Caola, G. Training and haematochemical profile in Thoroughbreds and Standardbreds: A longitudinal study. *Livestock Science*, 2011, Vol. 141, pp. 221–226.

9. Reitman, S., Frankel, S. A colorimetric method for determination of serum oxaloacetic and glutamic pyruvic transaminases. *American Journal of Clinical Pathology*, 1957, Vol. 28, pp. 56–63.
10. Sevela, M., Tovarek, J. A method for estimation of lactic dehydrogenase in body liquids. *Journal of Czech Physiology*, 1959, Vol. 98, pp. 844–848.
11. Herasymov, I.G., Plaksina, O.M. Nefermentatyvne vyznachennja laktatu ta piruvatu v odnij probi krovi [Not enzymatic determination of lactate and pyruvate in a single blood sample]. *Labaratorna diagnostyka*, 2002, no 2, pp. 46–47.
12. Zar, J.H. *Biostatistical Analysis*. Fourth ed. New Jersey: Prentice-Hall Inc., 4th ed., Englewood Cliffs, 1999, 594 p.
13. Winnicka, A. *The reference values of basic laboratory tests in veterinary medicine*. Warsaw Agricultural University Publishing, Warsaw, 2008.
14. Hines, M.T., Schott, H.C., Bayly, W.M., Leroux, A.J. Exercise and immunity: a review with emphasis on the horse. *Journal of Veterinary Internal Medicine*, 2008, Vol. 10, pp. 280–289.
15. Ortega, E. Neuroendocrine mediators in the modulation of phagocytosis by exercise: physiological implications. *Exerc. Immunol. Rev.*, 2003, Vol. 9, pp. 70–93.
16. Escribano, B.M., Castejon, F.M., Vivo, R., Agüera, S., Agüera, E.I., Rubio, M.D. Nonspecific immune response of peripheral blood neutrophils in two horse breeds (Anglo-Arabian and Spanish-Arabian): response to exercise. *Comparative Immunology, Microbiology and Infectious Diseases*, 2005, Vol. 28, pp. 145–154.
17. Alis, R., Romagnoli, M., Primo-Carrau, C., Pareja-Galeano, H., Blesa, J.R., Sanchis-Gomar, F. Effect of exhaustive running exercise on red blood cell distribution width. *Clin. Chem. Lab. Med.*, 2014, pp.1–4.
18. Banfi, G., Roi, G.S., Dolci, A., Susta, D. Behaviour of haematological parameters in athletes performing marathons and ultramarathons in altitude ('skyrunners'). *Clin. Lab. Haematol.*, 2004, Vol. 26, pp. 373–377.
19. Hinchcliff, K.W., Geor, R.J. The horse as an athlete: a physiological overview. In: *Equine Exercise Physiology. The Science of Exercise in the Athletic Horse*. Eds. K.W. Hinchcliff, R.J. Geor, A.J. Kaneps, Elsevier, 2008. – P. 2–11.
20. Hannigm, C., Spitzmüller, B, Hannigm, M. Transaminases in the acquired pellicle. *Archives of Oral Biology*, 2009, Vol. 54, pp. 445–448.
21. Padalino, B., Rubino, G., Centoducati, P., Petazzi, F. Training versus Overtraining: evaluation of protocols. *Journal of Equine Veterinary Science*, 2007, Vol. 27, pp. 28–31.
22. Bouwman, F.G., van Ginneken, M.M., Noben, J.P., Royackers, E., de Graaf-Roelfsema, E., Wijnberg, I.D., van der Kolk, J.H., Mariman, E.C., van Breda, E. Differential expression of equine muscle biopsy proteins during normal training and intensified training in young Standardbred horses using proteomics technology. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part D Genomics Proteomics*, 2010, Vol. 5, pp. 55–64.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Андрийчук Анастасия Васильевна* – Институт животноводства Национальной академии аграрных наук Украины, пгт Кулинич, Харьковский район, Харьковская область; аспирант; E-mail: anastasia.pohlyad@gmail.com

*Andriichuk Anastasiia* – Institute of Animal Science, National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, urban-type settlement Kulinichi, the Kharkov region, Post-graduate student; E-mail: anastasia.pohlyad@gmail.com

*Ткаченко Галина Михайловна* – Институт биологии и охраны среды, Поморская Академия, г. Слупск, Польша; кафедра зоологии и физиологии животных; кандидат биологических наук, докторант; E-mail: tkachenko@apsl.edu.pl

*Tkachenko Halyna* – Institute of Biology and Environmental Protection, Pomeranian University, Slupsk, Poland; Department of Zoology and Animal Physiology; Candidate of Biological Sciences, Assistant Professor; E-mail: tkachenko@apsl.edu.pl

*Ткачева Ирина Владимировна* – Институт животноводства Национальной академии аграрных наук Украины, пгт Кулинич, Харьковский район, Харьковская область; зав. отделом коневодства; E-mail: i-tkachova@yandex.ru

*Tkachova Irina* – Institute of Animal Science, National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, urban-type settlement Kulinichi, the Kharkov region; Head of the Horse-breeding Department; E-mail: i-tkachova@yandex.ru

УДК 631.4

ПРИЧИНЫ РАЗЛИЧИЙ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА БУРОЗЕМОВ  
НА АВТОНОМНЫХ ПОЗИЦИЯХ РЕЛЬЕФА В УСЛОВИЯХ САМБИЙСКОЙ  
РАВНИНЫ

О. А. Анциферова

REASONS FOR DIFFERENCES OF HYDROLOGICAL REGIME OF BROWN  
SOILS ON AUTONOMOUS RELIEF POSITIONS IN SAMBIYSKAYA PLAIN

O. A. Antsiferova

Ключевой участок расположен на залежном поле в Зеленоградском районе Калининградской области в пределах Самбийской холмисто-моренной равнины. Изучены строение, общие физические и водно-физические свойства буроземов на автономных позициях рельефа. С апреля по ноябрь 2014 – 2015 гг. проводился мониторинг режима влажности в метровом слое почв. Исследована динамика запасов продуктивной влаги в годы с разным увлажнением. Причинами различий гидрологического режима буроземов на автономных позициях рельефа в холмисто-моренных агроландшафтах Самбийской равнины являются геоморфолого-литологические факторы и дифференциация почв по илу. В условиях выпуклых вершин высоких холмов и наличия глубокого подстилания песком сформировались буроземы легкосуглинистые. Их физические свойства создают условия для свободной фильтрации атмосферной влаги. Это почвы автоморфного облика без выраженных признаков оглеения в профиле. На плоских вершинах с наличием пространственных литологических микро мозаик сформировались буроземы супесчаные глееватые. Режим увлажнения этих почв атмосферный, но наличие заиленных горизонтов в профиле и глинистых прослоек создает условия для временного избыточного увлажнения почв вследствие скопления гравитационной влаги. Поэтому развивается оглеение в иллювиальных горизонтах почвы и материнской породе. Бурозем автоморфный легкосуглинистый по сравнению с глееватым супесчаным менее увлажнен. В сухой год глубина проникновения и период биологического иссушения выше в неоглеенном буроземе. Условия для развития оглеения в супесчаных и легкосуглинистых почвах возможно оценивать по длительности периода дефицита воздуха в почвенном профиле. В глееватом буроземе, даже в сухой год (для приморского климата Самбийской равнины), период дефицита воздуха в иллювиальных заиленных горизонтах составляет не менее трех месяцев с апреля по ноябрь.

*буроземы, физические и водно-физические свойства почв, режим влажности почв, категории влажности, запасы продуктивной влаги, оглеение*

The key site is located on abandoned field in the Zelenogradsk district of the Kaliningrad region within Sambian hilly moraine plain. The structure, general physical and hydro-physical properties of brown soils (burozems) in autonomous relief positions is studied. The moisture regime monitoring in a meter-deep layer of soil from April to

November 2014 - 2015 years. The dynamics of productive moisture reserves in the years with different moisture are investigated. The reason for differences in the hydrological regime of brown soils in the autonomous relief positions in the agrolandscapes of Sambiyskaya hilly moraine plain are geomorphological and lithological factors and differentiation of silt soils. In the context of convex tops of high hills and the presence of deep sand underlain by loamy brown soils were formed. Their physical properties create the conditions for a free filtering of atmospheric moisture. These are soils of automorphic type without pronounced signs of gleying in the profile. On the flat tops with the presence of spatial lithological micromosaics, gleysolic sandy loamy brown soils have been formed. Moisture regime of these soils is atmospheric, but the presence of silted horizons in the profile and clay layers creates conditions for temporary excessive wetting of soils due to the gravitational accumulation of moisture. Therefore, there is gleying in the illuvial horizons of the soil and parent rock. The brown automorphous loam soils are less moisturized compared with gleysolic sandy loam brown soils. In a dry year, penetration depth and the period of biological dehydration is higher in non-gleyed brown soils.

Conditions for development of gleying in sandy loams and loam soils may be evaluated according to the length of the period of air deficiency in soil profile. In gleysolic brown soils (burozems) even in a dry year (for coastal climate of Sambiyskaya plain) period of air deficiency in the illuvial silted horizons is not less than three months from April to November.

*brown soils (burozems), physical and hydro-physical soil properties, soil moisture, moisture categories, productive moisture reserves, gleying*

## ВВЕДЕНИЕ

Автономными считаются почвы, которые формируются при поступлении веществ только с атмосферными осадками и продуктами жизнедеятельности живых организмов, обитающих на данной почве или в ней [1, с. 197]. Близкий по содержанию термин «автоморфные почвы» подразумевает, по определению С. С. Неуструева, почвы, не подвергающиеся переувлажнению за счет притока грунтовых или поверхностных вод и залегающие в плакорных условиях рельефа, обеспечивающего сток и дренаж [1, с. 197]. В холмисто-моренных равнинах Калининградской области такие почвы отмечены на вершинах холмов. Сочетание ряда факторов (гумидный, переходный от морского к континентальному климат региона, пространственная и вертикальная неоднородности гранулометрического состава пород, высокая плотность моренных суглинков, интенсивное развитие лессиважа, изменение гидрологического режима в окультуренных почвах по сравнению с целинными) приводит к тому, что почвы на автономных позициях рельефа нередко являются оглееными в разной степени [2 - 4]. Данное явление наблюдается в сходных экологических условиях и в других прибалтийских регионах [5]. Гидрологический режим автономных почв в агроландшафтах Калининградской области не изучен. Поэтому необходимо исследовать провинциальные особенности водного режима почв, оценить степень пространственной неоднородности, вскрыть закономерности движения влаги, причины и условия развития оглеения, что позволит ответить на вопрос о правомерности применения термина «автоморфный» к оглееным почвам на вершинах холмов, послужит основой для разработки количественных критериев

степени гидроморфизма [6, с. 95; 7]. Задачи работы: 1) изучить строение, общие физические и водно-физические свойства буроземов на автономных позициях рельефа; 2) провести мониторинг режима влажности в метровом слое почв с апреля по ноябрь; 3) исследовать динамику запасов продуктивной влаги в годы с разным увлажнением; 4) оценить условия для развития оглеения в профиле почв.

### ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ

Исследования проводили в 2014 – 2015 гг. на ключевом участке «Перелески» в Зеленоградском районе Калининградской области в пределах Самбийской холмисто-моренной равнины. В период изучения участок находился в залежном состоянии (два года). Рельеф поля типичный, холмисто-волнистый с выраженной цепочкой холмов, вытянутых с северо-запада на юго-восток. Почвенный покров представляет собой чередование сочетаний окультуренных буроземов (неоглеенных, контактно-глееватых, профильно-глееватых, эродированных) на вершинах холмов с глееватыми аналогами на склонах, глеевыми в открытых понижениях и дерново-глеевыми почвами в замкнутых понижениях.

Свойства почв определяли следующими методами: гранулометрический состав – по Качинскому; плотность твердой фазы – пикнометрически; плотность сложения – методом режущих колец (цилиндров) объемом 100 см<sup>3</sup>; общую пористость и пористость аэрации – расчетными методами; максимальную гигроскопическую влажность (МГ) и наименьшую влагоемкость (НВ) – по Николаеву; влажность завядания (ВЗ) – методом вегетационных миниатюр [8-9]; влажность разрыва капиллярной связи (ВРК) принята для песков и супесей 0,6 НВ, для суглинков – 0,7 НВ [9]; изучение режима влажности – термостатно-весовым методом. Статистическая обработка данных проведена в Excel.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На ключевом участке исследовали режим увлажнения буроземов на автономных позициях рельефа – двух близко расположенных вершинах холмов. Ареал бурозема легкосуглинистого (р. 511) находился на вершине выпуклого холма (самая высокая точка поля – 40 м над уровнем моря), ареал бурозема глееватого супесчаного (р. 486) – на плоской вершине холма (38 м над уровнем моря). Расстояние между изученными вершинами холмов составляет около 280 м. В период исследований поле являлось трехлетней залежью. Агрофизические свойства почв представлены в табл. 1.

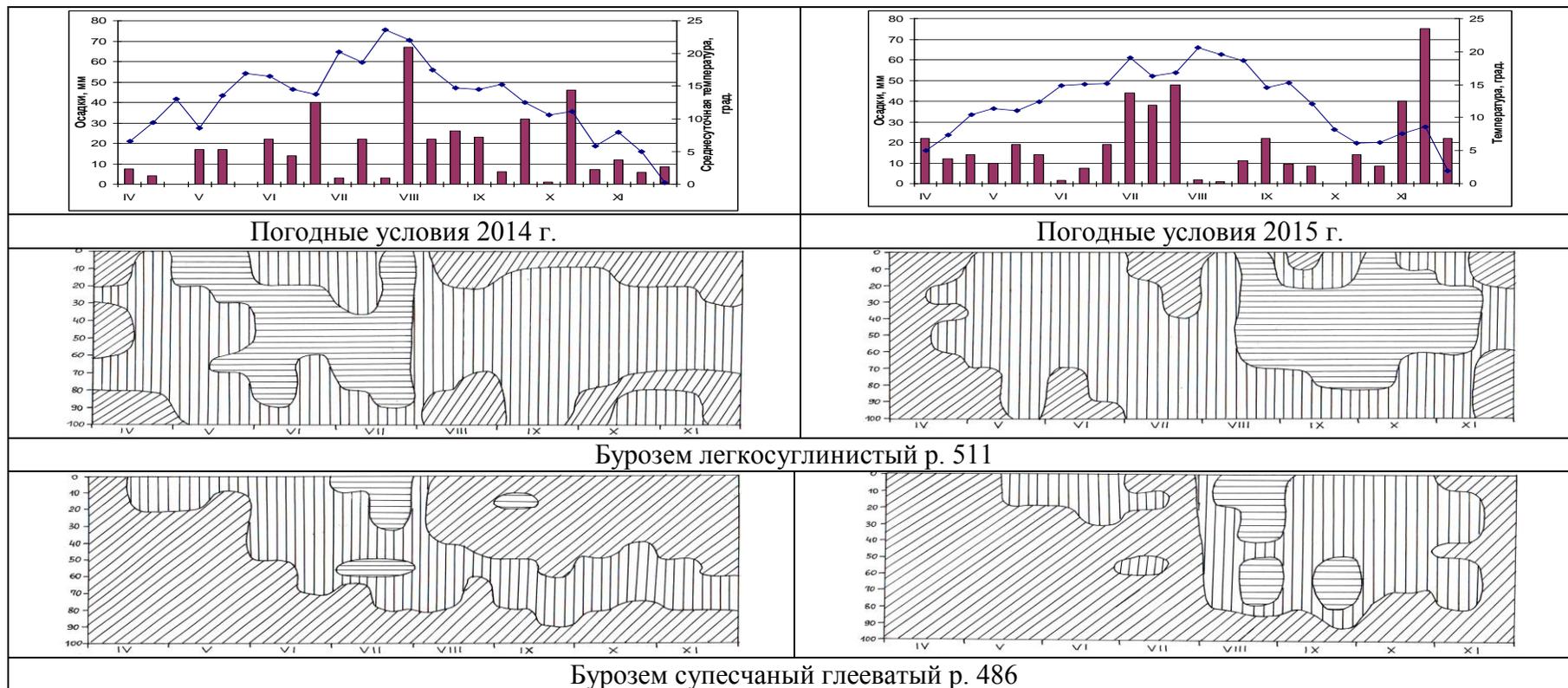
Гранулометрический состав бурозема разреза 511 представляет собой легкий суглинок, который подстилается слоистым водно-ледниковым песком с глубины 180 - 190 см (табл. 1). Максимальное содержание ила в горизонтах В1 и В2, что указывает на текстурную дифференциацию профиля. Величины плотности сложения гумусового горизонта укладываются в интервал оптимальных значений, рекомендованный для легких суглинков А. Г. Бондаревым [10, с. 17]. Плужная подошва отсутствует. Общая пористость гумусового горизонта характеризуется как удовлетворительная для пахотного слоя (по шкале Н. А. Качинского [10, с. 17]). Пористость аэрации оптимальная. С увеличением глубины значения общей пористости уменьшаются, потому что увеличивается плотность. Минимальные значения пористости аэрации при влажности, равной НВ,

Таблица 1. Общие физические и водно-физические свойства буроземов на вершинах холмов  
 Table 1. General physical and hydro-physical properties of brown soils (burozems) on hill tops

Горизонт, глубина, см	Гранулометрический состав, фракции в %		Физические свойства			Почвенно-гидрологические константы, % от объема				Pa
	< 0,001	< 0,01	d <sub>v</sub>	d	P <sub>общ</sub>	МГ	ВЗ	ВРК	НВ	
Разрез 511. Бурозем легкосуглинистый на выпуклой вершине										
A1 0-20	7,3	21,4	1,26	2,57	51,0	3,2	5,3	14,3	20,4	30,6
A1 20 – 30	9,7	23,1	1,28	2,60	50,8	3,2	5,2	16,2	23,2	27,6
B1 30 – 55	10,7	23,3	1,42	2,64	46,1	5,7	8,7	17,3	24,7	21,4
B2 55-90	10,5	22,4	1,57	2,65	40,8	5,3	8,3	18,9	27,0	13,8
C (BC) 90-130	9,3	21,6	1,56	2,66	41,6	5,6	8,6	18,3	26,2	15,4
C 130-150	9,6	22,5	1,56	2,65	41,6	5,9	8,9	18,2	26,0	15,6
C 150 – 170	9,5	21,8	1,55	2,66	41,7	5,7	8,6	17,0	24,3	17,4
C 170-190	5,6	17,2	1,57	2,67	41,2	5,5	8,4	12,4	20,7	20,5
D 190-210	4,4	9,5	1,47	2,68	45,2	1,3	2,4	8,9	14,8	30,4
D 210-240	3,2	7,2	1,48	2,69	45,0	1,2	2,0	7,1	11,8	33,2
Разрез 486. Бурозем супесчаный глееватый на плоской вершине										
A1 0-20	7,4	18,9	1,40	2,60	46,2	4,1	6,5	12,8	21,2	25,0
A1 20 – 25	7,9	18,5	1,53	2,62	41,6	4,0	6,4	12,5	20,8	20,8
B1g 25-47	9,4	19,7	1,64	2,66	38,4	4,4	7,2	12,5	20,8	17,6
B2g 47-80	10,7	18,1	1,65	2,68	38,4	5,1	8,1	17,0	24,4	14,0
B3g 80 - 103	11,9	21,7	1,67	2,67	37,5	5,2	8,5	15,4	22,0	15,5
BCg 103 – 120	14,0	23,6	1,66	2,66	37,6	5,8	9,6	16,6	23,7	13,9
Cg 120 - 150	12,8	22,2	1,67	2,67	37,1	5,5	9,2	16,1	23,0	14,1

Примечание. d<sub>v</sub> – плотность сложения, г/см<sup>3</sup>; d – плотность твердой фазы, г/см<sup>3</sup>; P<sub>общ</sub> – общая пористость, %;

Pa – пористость аэрации при влажности равной НВ, %.



Условные обозначения. Категории влажности:

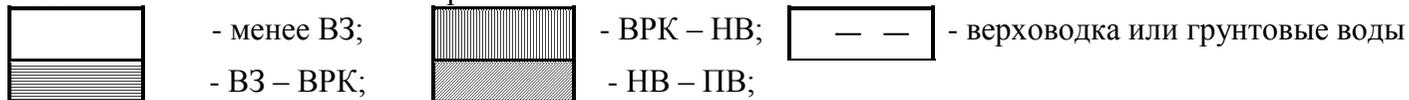


Рис. 1. Погодные условия (апрель – октябрь) 2014 - 2015 г. (на основании данных метеостанции г. Калининграда) и распределение влажности по категориям в буроземах вершин в апреле – ноябре 2014 -2015 г.

Fig. 1. Weather conditions (April - October) 2014 - 2015 (according to the data of the weather station in Kaliningrad) and distribution of moisture by categories in brown soils (burozems) in April – November, 2014 – 2015

наблюдаются в заиленных иллювиальных горизонтах. Строение почвообразующих пород примерно одинаково на всей площади вершины. Подстиление песком благоприятно для внутрипочвенного стока. Застоя воды в профиле не наблюдается, и выраженное оглеение не развивается. Почва является автоморфной.

Бурозем глееватый (р. 486) на плоской вершине холма имеет супесчаный, а с глубины 80 см – легкосуглинистый состав (табл. 1). Плотность гумусового горизонта значительно выше по сравнению с р. 511 и приближается к критической для пахотного слоя. Следствием повышенной плотности является неудовлетворительная пористость в горизонте А1. Подпахотные горизонты также сильно уплотнены, что указывает на наличие плужной подошвы.

В буроземе супесчаном глееватом резко выражена контрастность профиля по содержанию ила: обедненная верхняя часть и заиленная нижняя. Накопление ила в нижних горизонтах почвы приводит к ухудшению фильтрации влаги, т. е. снижению скорости водопроницаемости. Вместе с тем увеличивается водоудерживающая способность заиленных горизонтов по причине утяжеления гранулометрического состава. Следовательно, несмотря на легкий гранулометрический состав почвы, в ней создаются условия для периодического скопления гравитационной влаги над заиленными горизонтами. Как показало бурение, в пространстве вокруг бурозема р. 486 располагаются глинистые прослойки, что затрудняет боковой сток влаги и приводит к ее застою в иллювиальных горизонтах почвы. Признаки слабого оглеения вскрываются в профиле с 25 см, а с 80 см почва становится сильноглееватой.

2014 г. выдался сухим – 630 мм, по данным ближайшей к ключевому участку метеостанции г. Калининграда (средние многолетние значения 781 мм). За зимний период 2013-2014 гг. выпало 150 мм осадков (табл. 2). Это меньше среднеголетних значений – 160 мм. Апрель и май характеризовались низким количеством осадков (рис. 1). В таких условиях влажность в профиле автоморфного бурозема р. 511 уже в апреле начала переходить в оптимальный диапазон ВРК – НВ. В связи с активной вегетацией растительности, транспирацией и испарением влаги с поверхности почвы гумусовый горизонт в мае иссушился и влажность перешла в диапазон ВЗ - ВРК, что показывает дефицит продуктивной влаги (рис. 2). Осадки июня и первой половины июля промачивали только гумусовый горизонт, влажность которого находилась в границах ВРК – НВ. Засуха во второй половине июля привела к иссушению почти всей метровой толщи почвы. В августе выпало 115 мм осадков. Это способствовало увлажнению гумусового горизонта и формированию фронта гравитационной влаги с глубины 70 – 80 см. Влажность срединной части профиля пребывала в оптимальном диапазоне вплоть до конца ноября.

Таблица 2. Погодные условия зимних месяцев и марта

Table 2. Weather conditions in winter months and March

Месяц, год	Среднемесячная температура, °С	Кол-во осадков, мм	Месяц, год	Среднемесячная температура, °С	Кол-во осадков, мм
ХII. 2013	+3,2	68	ХII. 2014	+0,6	94
I. 2014	-3,8	60	I. 2015	+1,2	81
II. 2014	+1,8	22	II. 2015	+1,4	13
III. 2014	+5,5	49	III. 2015	+5,3	70

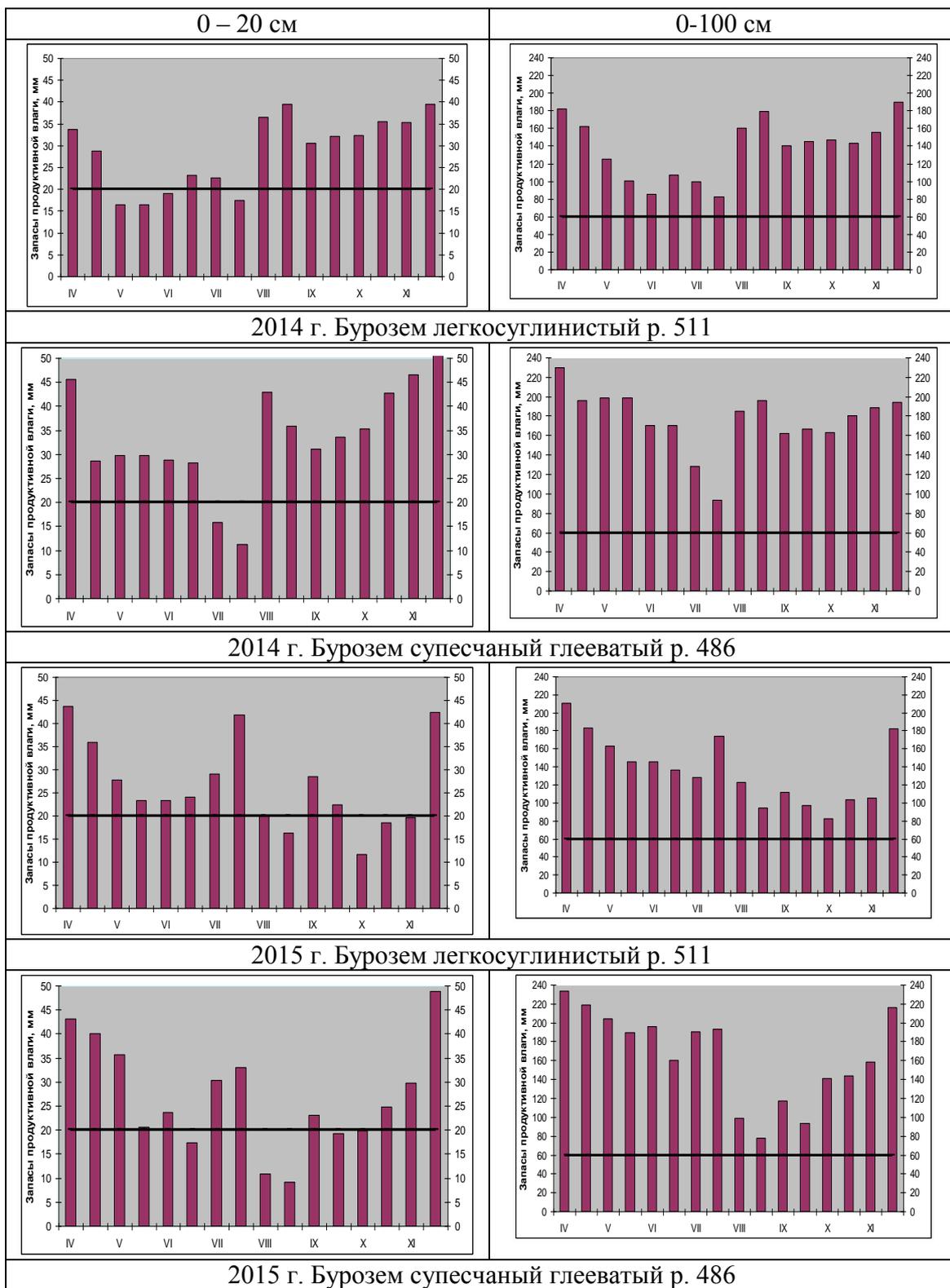


Рис. 2. Продуктивная влага в буроземах вершин с апреля по ноябрь 2014 –2015 гг.  
 Fig. 2. Productive moisture in brown soils (burozems) of hill tops in April – November 2014–2015

Профиль бурозема глееватого супесчаного р. 486 оказался гораздо более увлажненным (рис. 1). Весь апрель и май метровая толща почвы была насыщена влагой (капиллярно-посаженная вода), и значения полевой влажности были выше НВ, за исключением гумусового горизонта (0 - 20 см). В июне вследствие испарения, вегетации растений и латерального оттока влажность перешла в оптимальный диапазон ВРК – НВ до глубины 70 см. Однако нижние горизонты почвы так и остались влагонасыщенными (выше НВ). Наиболее сухой период выдался в июле. В профиле почвы образовались участки с дефицитом доступной растениям влаги (рис. 2) – диапазон ВЗ – ВРК. Осадки августа промочили почву только до 40 – 50 см. Зоны гравитационной и капиллярно-посаженной влаги оставались разделенными слоем с влажностью ВРК – НВ (рис. 1).

Таким образом, в засушливый для территории Калининградской области 2014 г. режим влажности почв на автономных позициях рельефа в пределах одного поля сильно различался. Автоморфный (неоглеенный) легкосуглинистый бурозем с подстиланием песками быстро просыхал весной, и в сухие декады лета возникал дефицит влаги. Состояние глееватого супесчаного бурозема на соседней вершине холма отличалось растянутым периодом повышенной увлажненности вследствие медленной фильтрации влаги через заиленные иллювиальные горизонты. Нижняя часть метровой толщи сохраняла влажность выше НВ в течение всего периода наблюдений. Наличие глинистых прослоек в пространстве вокруг ареала почвы приводит к замедлению латерального стока влаги. В структуре почвенного покрова они формируют микромозаики. По причине водоупорности глини гравитационная влага стекает по их поверхностям в сторону более водопроницаемых пород, т. е. легких суглинков р. 486 и локальных песчаных прослоек.

По данным метеостанции г. Калининграда за 2015 г., среднегодовая температура составила  $9,2^0$ , а сумма осадков 715 мм. Год характеризовался как умеренно сухой и теплый. Все среднемесячные температуры воздуха зимы 2014 – 2015 гг. оказались положительными (табл. 2). Суммарно за зиму выпало 188 мм осадков. Профиль изученных почв подвергся сквозному промачиванию, чему способствовали сырая погода, высокая влажность воздуха, осадки преимущественно в виде дождя или дождя со снегом и очень короткий период промерзания почв на глубину не более 20 см. В начале апреля 2015 г. влажность метровой толщи легкосуглинистого бурозема р. 511 была выше НВ (рис. 1). Уже в мае она перешла в оптимальный диапазон (ВРК – НВ) и пребывала в таком состоянии с отдельными зонами промачивания гумусового горизонта при дождях до середины августа. Максимальное иссушение почвы наблюдалось в августе – октябре по причине очень малого количества выпавших осадков (рис. 2) – фактической засухи. Только во второй половине ноября почва стала увлажняться вследствие прекращения вегетации растений (биологического иссушения), повышения влажности воздуха на фоне низких положительных температур.

В буроземе глееватом супесчаном р. 486 вплоть до августа влажность иллювиальных горизонтов была выше НВ. Просыхали только гумусовый горизонт и локальные участки на глубине 50 – 60 см (рис. 1). Однако засуха августа привела к иссушению почвы до глубины 80 см и возникновению дефицита влаги. Вплоть до середины ноября влажность иллювиальных горизонтов находилась в оптимальном диапазоне ВРК – НВ. А нижняя часть

профиля сохраняла высокую влажность над заиленными слоями весь период наблюдений.

Таким образом, изучение режима увлажнения двух почв на вершинах холмов в 2015 г. подтвердило закономерность, выявленную в 2014 г.: большая увлажненность глееватого супесчаного бурозема как результат скопления влаги над слабопроницаемыми заиленными горизонтами на фоне пространственных микро мозаик (рис. 3).



Рис. 3. Движение воды (обозначено стрелками) в буроземе на неоднородных породах в условиях автономной позиции рельефа (вершина холма)  
 Fig. 3. Movement of water (indicated by arrows) in the brown soils (burozems) on heterogeneous rocks under autonomous relief position (top of hill)

Оценка запасов продуктивной влаги (ЗПВ) выполнена по рекомендованной шкале [8, с. 151]. Потенциальные ЗПВ при влажности, равной НВ, в слое 0 – 20 см обеих почв удовлетворительные, а в метровой толще – хорошие (табл. 3).

В весенних влагозапасах различия четко выражены в сухой год. Так, в 2014 г. в неоглеенном буроземе гумусовый горизонт (0-20 см) содержал удовлетворительные ЗПВ, в слое 0 – 100 см – хорошие. В глееватом буроземе р. 486 ЗПВ, соответственно, хорошие и очень хорошие (даже избыточные - выше 200 мм). Весенние запасы продуктивной влаги в 2015 г. оказались сходными.

Период дефицита продуктивной влаги (менее 20 мм) в слое 0 – 20 см в автоморфном буроземе в 2014 г. составил около 60 дней в мае – июне и июле, а в буроземе глееватом – около 30 дней в июне-июле. При потенциальном использовании почв под пашню наибольшая опасность недостатка влаги для яровых складывалась в неоглеенном буроземе.

Таблица 3. Запасы продуктивной влаги (мм водяного слоя) в автономных буроземах

Table 3. Productive moisture reserves (mm water layer) in autonomous burozems

Разрез	Слой поч- вы, см	Весенние ЗПВ (I декада апреля)		Потенциальные ЗПВ (при влажности = НВ)
		2014 г.	2015 г.	
511	0 – 20	33,7	43,7	30,2
	0 - 100	182,0	210,9	155,3
486	0 – 20	45,7	43,2	29,4
	0 - 100	229,7	233,6	147,3

В 2015 г. дефицит ЗПВ в гумусовом горизонте (0 – 20 см) наблюдался около 60 дней (сухие декады июня, августа, сентября, октября). В итоге образовался недостаток влаги в период потенциального сева и всходов озимых культур.

В метровой толще обеих почв в изученные годы значения ЗПВ не опускались ниже критического в 60 мм.

В почвах гумидного климата важно исследовать гидрологические условия для развития оглеения в профиле. Пористость аэрации в 10 % считается той величиной, при которой (и ниже неё) возникает недостаток кислорода для корней большинства культурных растений, развивается оглеение и снижается урожай [10, с. 18]. Для каждого горизонта мы рассчитали значения влажности, соответствующей 10 %-ной пористости аэрации (рис. 4). Эту величину мы будем условно называть влажностью дефицита воздуха (ВДВ). В итоге на хроноизоплетах видно, что ВДВ превышена в неоглеенном буроземе в 2014 г. только в первой половине апреля в слое 80 – 100 см, а в 2015 г. – в первой половине апреля и в конце ноября. В глееватом буроземе р. 486 нижняя часть метровой толщи (80 – 100 см) в сухом 2014 г. около трех месяцев имела влажность выше ВДВ, а в 2015 г. – около шести месяцев. Периодически условия дефицита воздуха возникали с глубины 60 см. Таким образом, величина ВДВ подтверждает различия гидрологического режима изученных буроземов.

### ВЫВОДЫ

1. Причиной различий гидрологического режима буроземов на автономных позициях рельефа в холмисто-моренных агроландшафтах Самбийской равнины являются геоморфолого-литологические факторы и перераспределение ила по профилю почв.

2. В условиях выпуклых вершин высоких холмов и наличия глубокого подстилания песком сформировались буроземы легкосуглинистые. Их физические свойства создают условия для свободной фильтрации атмосферной влаги. Это почвы автоморфного облика без выраженных признаков оглеения в профиле.

3. На плоских вершинах с наличием пространственных литологических микромозаик сформировались буроземы супесчаные глееватые. Режим увлажнения атмосферный, но наличие заиленных горизонтов в профиле и глинистых прослоек создает условия для временного избыточного увлажнения почв вследствие скопления

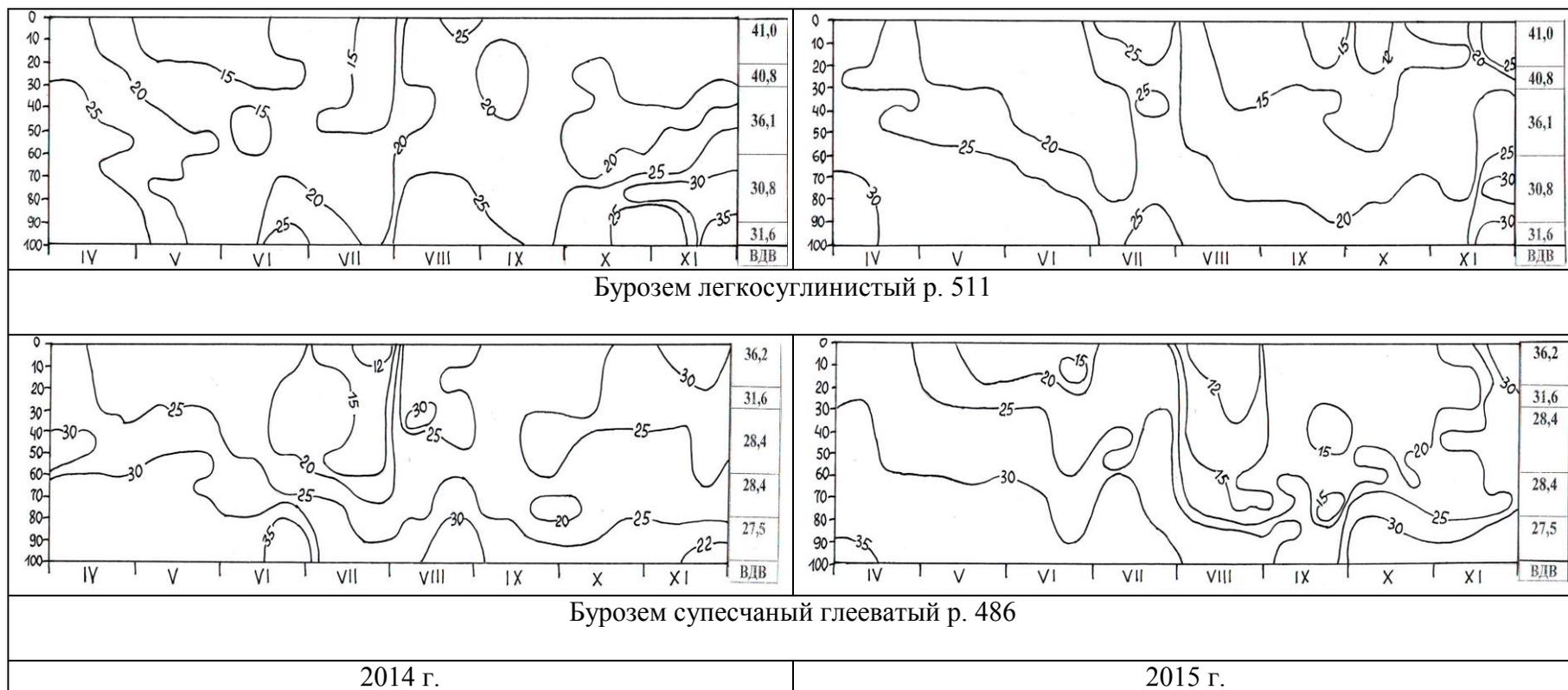


Рис. 4. Хроноизоплеты буроземов вершин в 2014 – 2015 гг. (влажность дана в объемных процентах)  
 Fig. 4. Chronozopleths of brown soils (burozems) of hill tops in 2014 - 2015 (humidity given in volume percent)

гравитационной влаги. Поэтому развивается оглеение в иллювиальных горизонтах почвы и материнской породе.

4. Профиль бурозема автоморфного легкосуглинистого менее увлажнен по сравнению с таковым глееватого супесчаного. В сухой год глубина проникновения и период биологического иссушения больше в неоглеенном буроземе.

5. Условия для развития оглеения в профиле супесчаных и легкосуглинистых почв возможно оценивать по длительности периода дефицита воздуха. В глееватом буроземе, даже в сухой год (для приморского климата Самбийской равнины), период дефицита воздуха в иллювиальных заиленных горизонтах составляет не менее трех месяцев с апреля по ноябрь.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Толковый словарь по почвоведению / отв. ред. А. А. Роде. – Москва: Наука, 1975. – 287 с.
2. Анциферова, О. А. Бурые лесные почвы Романовского участка / О. А. Анциферова // Проблемы сельского хозяйства: межвуз. сб. науч. тр. / КГТУ. – Калининград, 2005. – С. 31-40.
3. Герасимова, М. И. Автономные суглинистые почвы центральной части Калининградской области: проблемы генезиса / М. И. Герасимова, И. П. Гаврилова // Почвоведение, 2005, № 1. С. 5 – 15.
4. Анциферова, О. А. Особенности морфологического строения почв в катенах Самбийской холмистой равнины / О. А. Анциферова, А. В. Стельников // Известия КГТУ. – 2016. - № 40. – С. 110 - 120.
5. Soil Sequences Atlas / Edited by Marcin Świtoniak, Prezemysław Charzynski. – Torun, Poland. – 214 p.
6. Романова, Т. А. Диагностика почв Беларуси и их классификация в системе ФАО-WRB / Т. А. Романова. – Минск, 2004. – 428 с.
7. Kutilek, M. Ecologicka klasifikace pudnivikhosti. Vodni. hosp. – 1971. – Т.21, № 9. – S. 250 – 256.
8. Вадюнина, А. Ф. Методы исследований физических свойств почв / А. Ф. Вадюнина, З. А. Корчагина. – Москва: Агропромиздат, 1986. – 416 с.
9. Зайдельман, Ф. Р. Методы эколого-мелиоративных изысканий и исследований почв / Ф. Р. Зайдельман. – Москва: КолосС, 2008. – 486 с.
10. Шеин, Е. В. Курс физики почв / Е. В. Шеин. – Москва: Изд-во МГУ, 2005. – 432 с.

#### REFERENCES

1. *Tolkovyy slovar' po pochvovedeniju* [Explanatory dictionary of soil science]. Moscow, Nauka, 1975, 287 p.
2. Anciferova O. A. Burye lesnye pochvy Romanovskogo uchastka [Brown forest soils of the Romanovskiy site]. *Mezhvuzovskij sbornik nauchnyh trudov "Problemy sel'skogo hozjajstva"*. Kaliningrad, KGTU 2005, pp. 31-40.

3. Gerasimova M. I., Gavrilova I. P. Avtonomnye suglinistye pochvy central'noj chasti Kaliningradskoj oblasti: problemy genezisa [Autonomous loamy soils of the central part of the Kaliningrad region: genesis issues]. *Pochvovedenie*, 2005, no. 1, pp. 5-15.
4. Anciferova O. A., Stel'nikov A. V. Osobennosti morfologicheskogo stroenija pochv v katenah Sambijskoj holmistoju ravniny [Features of soil morphology in catenas of Sambiyskaya hilly plain]. *Izvestija KGTU*, 2016, no. 40, pp. 110-120.
5. Soil Sequences Atlas. Edited by Marcin Świtoniak, Prezemysław Charzynski. Torun, Poland, 214 p.
6. Romanova T. A. *Diagnostika pochv Belarusi i ih klassifikacija v sisteme FAO-WRB* [Diagnostics of soils in Belarus and their classification in FAO-WRB system]. Minsk, 2004, 428 p.
7. Kutilek M. Ecologicka klasifikace pudnikovosti. *Vodni. hosp.* 1971, vol. 21, no. 9, pp. 250-256.
8. Vadjunina A. F., Korchagina Z. A. *Metody issledovanij fizicheskikh svojstv pochv* [Methods for studying physical properties of soils]. Moscow, Agropromizdat, 1986, 416 p.
9. Zajdel'man F. R. *Metody jekologo-meliorativnyh izyskanij i issledovanij pochv* [Methods for exploration of ecological and reclamation research of soils]. Moscow, KolosS, 2008, 486 p.
10. Shein E. V. *Kurs fiziki pochv* [Course of soil physics]. Moscow, izd-vo MGU, 2005, 432 p.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

*Анциферова Ольга Алексеевна* – Калининградский государственный технический университет; кандидат сельскохозяйственных наук, доцент;  
E-mail: [anciferova@inbox.ru](mailto:anciferova@inbox.ru)

*Antsiferova Olga Alekseevna* – Kaliningrad State Technical University;  
PhD in Agricultural Sciences, Associate Professor;  
E-mail: [anciferova@inbox.ru](mailto:anciferova@inbox.ru)

УДК 631.4 : 633.2 : 631.5

ВЛИЯНИЕ ПОЧВЕННО-АГРОХИМИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ  
НА ПРОДУКТИВНОСТЬ ЛЮПИНА (*LUPINUS ANGUSTIFOLIUS*) В ОПЫТНЫХ  
ПОСЕВАХ

О. А. Анциферова, Е. Н. Харитонова

INFLUENCE OF SOIL - AGROCHEMICAL FACTORS ON PRODUCTIVITY  
OF LUPINE (*LUPINUS ANGUSTIFOLIUS*) IN EXPERIMENTAL CROPS

O. A. Antsiferova, E. N. Charitonova

Исследования проведены в 2016 г. на опытном поле ФГБНУ «Калининградский научно-исследовательский институт сельского хозяйства». Участок находится на Полесской моренной равнине (Полесский район Калининградской области). Установлено, что в пределах поля расположена элементарная почвенная структура, включающая два ареала дерново-подзолистых легкосуглинистых глееватых почв: 1) незэродированных, сформировавшихся на моренных супесях и суглинках; 2) слабоэродированных с подстилением тяжелыми суглинками и глинами. Изучены агрохимические свойства пахотного горизонта (0 – 20 см) на делянках площадью по 100 м<sup>2</sup> в вариантах опытов: 1) люпин Белозерный 110 в смеси с ячменем; 2) люпин Витязь; 3) люпин Сидерат 38. Применена методика выявления тренда по линейной регрессии зависимости определяемого свойства от расстояния. Пространственная неоднородность уровня рН<sub>KCl</sub> и содержания гумуса имеет тенденцию к убыванию и связана с развитием эрозионных процессов на пологом склоне. Достоверность различий свойств между ареалами почв по уровню рН, гумусу и обменному калию выше, чем по вариантам опытов. Поэтому различия почвенно-геоморфологических факторов приводят к формированию пестроты агрохимических свойств на поле. Наиболее чувствительными к влиянию повышенной кислотности являются смешанные посевы люпина с ячменем. Урожайность зеленой и воздушно-сухой массы, количество растений на единице площади, высота растений люпина различаются между двумя ареалами почв. Различия достоверны для смешанных посевов и люпина Витязь. Показатели продуктивности люпина варьируют в пространстве по убывающему тренду. В условиях преобладающей среднекислой реакции среды наиболее продуктивным оказался люпин сорта Сидерат. Изученные закономерности рекомендуется учитывать при дальнейшем планировании научных опытов с бактериальными удобрениями и штаммами азотфиксаторов во избежание ошибок в интерпретации результатов.

*дерново-подзолистые почвы, неоднородность почвенного покрова, пространственное варьирование агрохимических свойств почв, люпин узколистный (*Lupinus angustifolius*), продуктивность*

Research was conducted in 2016 in the experimental field «Kaliningrad Research Institute of Agriculture». The site is located within the Polesie moraine plains (the Kaliningrad region, the Poleskiy district). It was found that within the field there is an elementary soil structure comprising two areas of sod-podzolic light loamy gleyic soils: 1) non-eroded, formed on moraine sandy loams; 2) slightly eroded, underlain by heavy loams and clays. Agrochemical properties of arable layer (0 - 20 cm) on plots from 100 square meters in the experimental variants: 1) lupine Belozerny 110 in a mixture with barley; 2) lupine Vitiaz; 3) lupine Siderat (green manure) 38 are studied. We apply the method to identify the trend by linear regression of the dependence of the definable property on the distance. Spatial heterogeneity of pH (KCl) level and humus content is decreasing significantly and is associated with the development of erosion processes on a smooth slope. The significance of differences between the areas of soil properties on the level of pH, humus and exchange potassium is higher than on experimental options. Therefore, differences in soil and geomorphologic factors lead to diversity of agrochemical properties in the field. The most sensitive to the effects of increased acidity are mixed sowings of lupine with barley. Yields of green mass and air-dry weight, number of plants per unit area, and the height of lupine differ between the two areas of soil. Differences are valid for mixed crops and Vitiaz lupine. Indicators of lupine productivity vary in space according to a downward trend. Under the conditions of prevailing medium acid reaction, the most productive was Siderat lupine. It is recommended to consider investigated patterns when planning future scientific experiments with bacterial fertilizers and nitrogen-fixing bacteria strains in order to avoid errors in interpretation of results.

*sod-podzolic soils, soil heterogeneity, spatial variation of soil agrochemical properties, blue lupine (*Lupinus angustifolius*), productivity*

## ВВЕДЕНИЕ

Возделывание зернобобовых культур – одно из главнейших направлений биологизации земледелия в Нечерноземной зоне [1]. В России и многих зарубежных странах (Австралия, Германия, Польша) в настоящее время получил распространение люпин узколистный (*Lupinus angustifolius* L.), сорта которого имеют универсальное, кормовое и сидератное назначение [2]. Сортоиспытание люпина узколистного в Калининградской области позволит адаптировать культуру к почвенно-климатическим условиям региона. Учеными рекомендуется детально изучать морфогенетические, агрохимические и гидрологические свойства на делянках стационарных опытов. Это позволяет вскрыть причины пестроты урожайности и определить степень влияния почвенной неоднородности на результаты сортоиспытаний [3 - 8]. Натурные почвенно-агрохимические работы имеют большое значение в условиях внедрения технологий точного (координатного) земледелия и методов космического мониторинга посевов.

В задачи наших исследований входило: 1) изучение почвенного покрова опытного участка; 2) выявление степени варьирования агрохимических свойств почв в пространстве (на компонентах элементарной почвенной структуры и в вариантах опытов); 3) установление зависимости продуктивности одновидовых и смешанных посевов люпина от пестроты почвенно-агрохимических условий.

ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ

Исследования проводили в 2016 г. на опытном поле ФГБНУ «Калининградский НИИ сельского хозяйства». В физико-географическом аспекте участок находится в пределах Полесской моренной равнины. Абсолютные отметки над уровнем моря 17 – 18 м. Почвы осушаются системой закрытого гончарного дренажа. Изучены агрохимические свойства пахотного горизонта (0 – 20 см) на делянках площадью по 100 м<sup>2</sup> в вариантах опытов при сортоиспытании одновидовых и смешанных посевов люпина: 1) люпин Белозерный 110 в смеси с ячменем; 2) люпин Сидерат 38; 3) люпин Витязь. Перед посевом семена люпина были обработаны микробиологическими препаратами ризоторфин, мизорин. Анализ почвенных образцов проводили по следующим методикам: рН<sub>KCl</sub> определяли потенциометрически, обменный калий и подвижные фосфаты – по Кирсанову (ГОСТ Р 54650-2011), гумус – по Тюрину, гидролитическую кислотность – по Каппену, степень насыщенности основаниями – расчетным методом, обменный алюминий – по Соколову. Все анализы выполнены в 4-кратной повторности. Статистическая обработка данных проведена в Excel по стандартным и рекомендованным методам [4; 9 - 10].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Делянки стационарных опытов располагаются на пологом склоне к р. Овражке. Общий уклон на юго-запад. В результате детальной почвенной съемки вскрыта неоднородность почвообразующих пород верхней двухметровой толщи и установлено, что в пределах опытного поля расположена элементарная почвенная структура (ЭПС), включающая два основных компонента, дифференцированные по элементам рельефа: 1) элементарный почвенный ареал (ЭПА) дерново-подзолистой глееватой легкосуглинистой почвы на моренных супесях и легких суглинках в условиях ровного слабопологого (до 1<sup>0</sup>) участка; 2) ЭПА дерново-подзолистой глееватой слабосмытой легкосуглинистой почвы с подстиланием карбонатными красно-коричневыми тяжелыми суглинками и глинами с глубины 30 – 70 см на пологом (1-2<sup>0</sup>) участке. За пределами опытов ЭПА 2 выходит в микроложбину. Таким образом, делянки пересекали оба ЭПА. Агрохимическое обследование проведено поделочно. Обработка результатов сделана в двух вариантах: 1) с учетом почвенно-геоморфологических особенностей по широкой (20 м) трансекте общей длиной 270 м; 2) по вариантам опытов (табл. 1 – 2).

Таблица 1. Статистические показатели варьирования агрохимических свойств почв на опытном поле с учетом компонентов почвенного покрова

Table 1. Statistical indicators of variation of agrochemical properties of soils in the experimental field, taking into account soil mantle components

Показатель*	рН <sub>KCl</sub>	Нг**	Сумма обменных оснований	Степень насыщенности основаниями, %	Гумус, %	Подвижный Р <sub>2</sub> О <sub>5</sub>	Обменный К <sub>2</sub> О
		мг-экв на 100 г почвы				мг/кг	
1	2	3		4	5	6	7
<b>Вся выборка без учета ЭПА, n = 72</b>							
X	4,6	3,9	10,6	72,8	2,08	173,1	187,2

\* - X – среднее арифметическое; m – ошибка среднего; V – коэффициент вариации; lim – пределы варьирования; \*\* - гидролитическая кислотность.

Окончание табл. 1

l	2	3	4	5	6	7	8
m	0,03	0,08	0,3	0,9	0,02	8,3	5,2
V	4,6	12,0	23,6	11,0	9,6	20,7	11,1
lim	4,2 – 5,3	1,9 – 5,1	6,6 – 16,0	46,6 – 88,7	1,66 – 2,54	104 - 240	132 - 241
<b>ЭПА 1, n = 32</b>							
X	4,8	3,7	11,2	72,6	2,30	176,8	194,8
m	0,03	0,06	0,3	1,1	0,02	5,8	4,1
V	4,1	12,1	20,6	12,2	7,3	16,7	9,4
lim	4,5 – 5,3	1,9 – 5,1	6,6 – 15,0	46,6 – 88,7	2,07 – 2,54	125 - 220	171 - 241
<b>ЭПА 2, n = 40</b>							
X	4,5	4,0	10,1	71,0	1,90	170,2	181,2
m	0,02	0,05	0,3	1,1	0,02	5,9	4,6
V	3,4	6,3	15,5	9,1	8,8	17,1	10,2
lim	4,2 – 4,8	3,1 – 5,1	8,0 – 16,0	57,0 – 80,8	1,76 – 2,07	104 – 240	132 – 224
НСР <sub>05</sub>	0,1	0,2	0,8	2,8	0,06	15,8	9,8

Таблица 2. Статистические показатели варьирования агрохимических свойств почв по вариантам опытов

Table 2. Statistical indicators of variation of soil agrochemical properties according to experimental options

Показатель*	рН <sub>KCl</sub>	Нг**	Сумма обменных оснований	Степень насыщенности основаниями, %	Гумус, %	Подвижный Р <sub>2</sub> О <sub>5</sub>	Обменный К <sub>2</sub> О
		мг-экв на 100 г почвы				мг/кг	
1	2	3		4	5	6	
<b>Делянки повторов в варианте «люпин + ячмень», n = 24</b>							
X	4,8	3,5	10,4	74,5	2,12	188,8	195,7
m	0,03	0,05	0,3	1,0	0,02	8,9	7,3
V	5,3	8,3	12,6	9,8	9,1	19,5	13,8
lim	4,4 – 5,3	1,9 – 5,1	8,0 – 15,0	61,0 – 88,7	1,86 – 2,43	125 - 240	167 - 241
<b>Делянки повторов в варианте «люпин Витязь», n = 24</b>							
X	4,6	4,2	10,1	72,5	2,07	182,7	182,8
m	0,03	0,04	0,3	1,1	0,02	7,2	6,8
V	4,6	6,8	13,4	10,1	9,6	18,4	12,5
lim	4,2 – 5,0	2,9 – 5,6	6,6 – 14,8	54,0 – 85,1	1,76 – 2,38	115 - 220	132 - 218
<b>Делянки повторов в варианте «люпин Сидерат», n = 24</b>							
X	4,6	3,9	10,3	71,5	2,04	147,8	183,2
m	0,01	0,03	0,3	0,8	0,02	6,4	5,8
V	2,4	5,7	12,5	7,9	9,9	15,4	11,0
lim	4,5 – 4,8	3,5 – 4,7	8,0 – 14,8	61,0 – 77,9	1,66 – 2,54	104 - 188	141 - 200
НСР <sub>05</sub>	0,2	0,3	0,9	2,9	0,08	16,1	9,5

Примечание. Обозначения см. в табл. 1.

В результате обобщения всей выборки установлено, что на изученных делянках опытов преобладает среднекислая реакция среды с варьированием от сильнокислой до слабокислой. Для оценки пространственного изменения  $pH_{KCl}$  применена методика выявления тренда по линейной регрессии зависимости определяемого свойства (y) от расстояния (x) (в начале транsekты принимается  $x = 0$ ) [4, с. 28 - 30]. Результаты показывают, что неоднородность выражена в форме убывающего значимого тренда от ЭПА 1 к ЭПА 2 по мезорельефу (рис. 1). Различия между ЭПА достоверны.

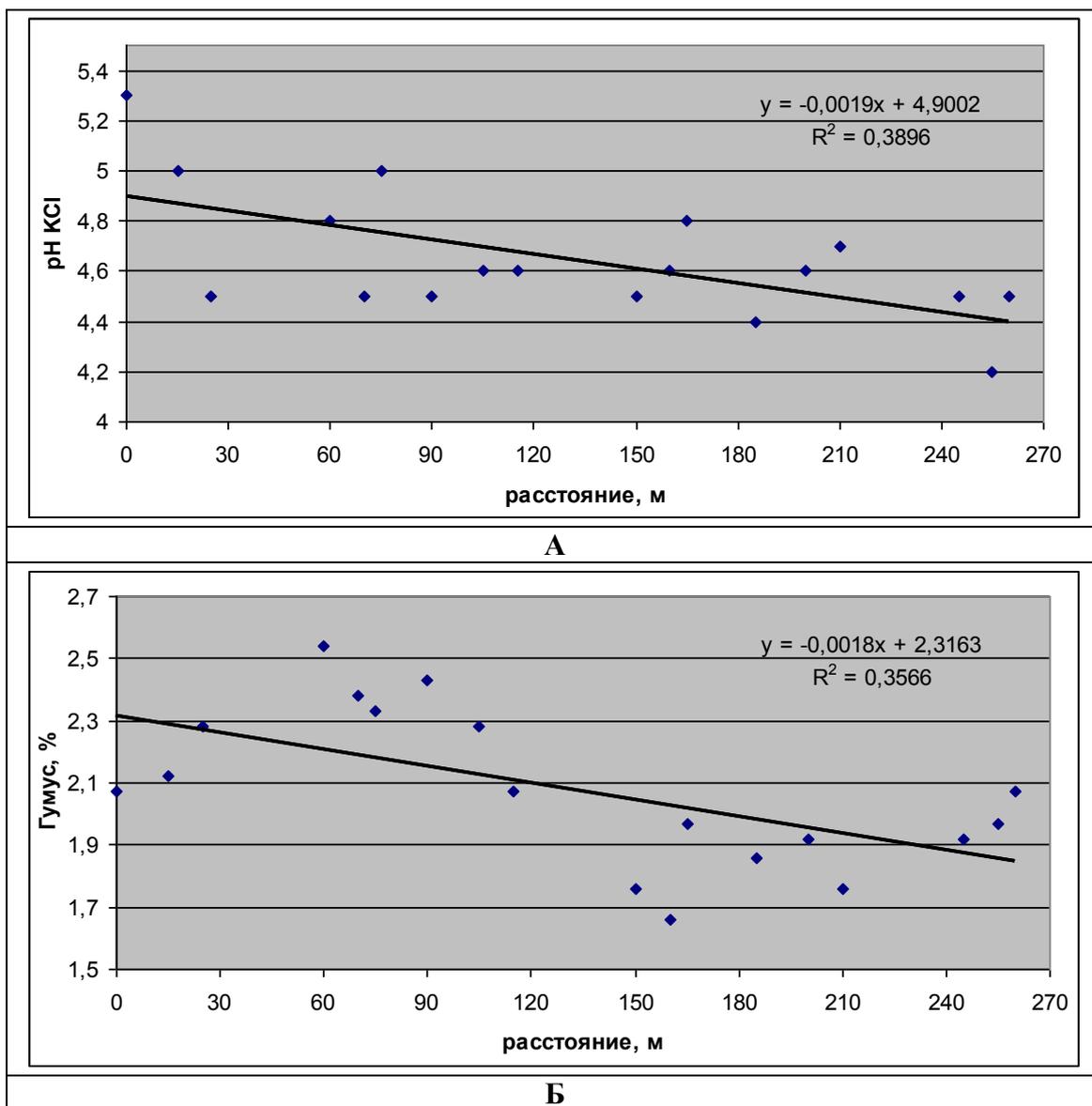


Рис. 1. Линейная регрессия зависимости  $pH_{KCl}$  (А) и содержания гумуса (Б) от расстояния по трансекте  
 Fig. 1. Linear regression of the dependence of  $pH_{KCl}$  (А) and humus content (Б) on the distance along the transect

Выяснение природы почвенной кислотности показало неоднозначную картину по делянкам. Однако в 72 % случаев в составе обменных катионов

преобладает водород над алюминием. Следовательно, кислотность обусловлена в большей степени антропогенными факторами: длительным применением гидролитически кислых удобрений (аммонийной селитры), а также гербицидов с кислой реакцией раствора (например, глифосатсодержащих препаратов).

Максимальное содержание алюминия в пахотном слое составило 2,9 мг на 100 г почвы. Корреляционная зависимость между  $pH_{KCl}$  и обменным алюминием средняя ( $r = -0,60$  – коэффициент корреляции).

Количество обменных оснований среднее с варьированием от низкого до повышенного. Пестрота этого свойства связана с локальными неоднородностями содержания тонкодисперсной фракции в составе мелкозема, припашкой на слабосмытых почвах карбонатного горизонта подстилающей породы. Различия между ЭПА недостоверны.

Пространственное распределение гумуса аналогично изменению значений  $pH$ : обнаружен убывающий значимый тренд от ЭПА 1 к ЭПА 2 (рис. 1). Различия между ЭПА достоверны и показывают, что на пологом склоне юго-западной экспозиции преобладают почвы слабой степени смытости.

Среднестатистическое содержание подвижного фосфора и обменного калия высокое с варьированием от повышенного до высокого. Различия между ЭПА по фосфору недостоверны, а по калию достоверны.

Таким образом, в пределах опытных посевов варьирование агрохимических свойств чаще всего укладывается в две соседние стандартные оценочные группы и является слабым. Исключение составляет  $pH_{KCl}$ , который и будет являться лимитирующим показателем.

При анализе неоднородности свойств без учета почвенных особенностей, а только по вариантам опытов (табл. 2) видно, что пестрота сильнее выражена в повторностях вариантов «люпин + ячмень» и «люпин Витязь». Размещение делянок варианта «люпин Сидерат» характеризуется минимальным пространственным варьированием всех свойств, за исключением содержания гумуса.

Учет надземной фитомассы проведен в фазу сизых бобов, оптимальную для использования люпинов на сидеральные цели. В условиях пространственной пестроты агрохимических свойств наиболее чувствительными к уровню  $pH_{KCl}$  оказались смешанные посевы (табл. 3).

Таблица 3. Урожайность зеленой массы ( $kg/m^2$ ) одновидовых и смешанных посевов люпина по вариантам опытов и с учетом ЭПА

Table 3. Yield of green mass ( $kg/m^2$ ) of homotypical and mixed crops of lupine according to experimental options and taking into account electrical engineering and industrial automation

Зеленая масса	Варианты опыта		
	Люпин + ячмень	Люпин Витязь	Люпин Сидерат
По вариантам опытов	$3,54 \pm 0,15$ 19,5	$4,18 \pm 0,14$ 18,7	$4,90 \pm 0,18$ 12,7
В пределах ЭПА 1	$4,01 \pm 0,17$ 8,7	$4,72 \pm 0,15$ 7,7	$4,73 \pm 0,13$ 6,0
В пределах ЭПА 2	$3,07 \pm 0,15$ 16,1	$3,67 \pm 0,13$ 8,1	$5,02 \pm 0,20$ 11,8
$НСР_{05}$	0,51	0,45	0,52

Примечание. Среднее значение  $\pm$  ошибка среднего  
Коэффициент вариации, %

Оптимальная реакция среды почвенного раствора для ячменя 6 – 7,5. На изученных делянках значения ниже оптимальных и варьируют в пространстве. Поэтому в варианте «люпин + ячмень» при статистической обработке урожая зеленой массы с делянок повторов выявлен высокий коэффициент корреляции именно с  $pH_{KCl}$  ( $r = 0,81$ ).

Дробный учет зеленой массы по различным ЭПА также показал достоверные различия: на ЭПА 1 усредненные значения  $pH_{KCl}$  выше, чем на ЭПА 2 (табл. 1).

Люпин Витязь реагирует снижением общей урожайности на увеличение кислотности почв. Несмотря на то, что культура люпина является максимально устойчивой к почвенной кислотности, при низких pH блокируется симбиотическая азотфиксация и, соответственно, прирост зеленой массы. Оптимальный pH для узколистного люпина лежит в слабокислой области. Эффективность симбиоза возрастает с увеличением pH от 4 до 6,5 [1, с. 307]. Поэтому испытываемые в опытах бактериальные удобрения и штаммы азотфиксаторов (мизорин, ризоторфин, КЛ5, ПГ5) не проявили своего потенциала в полной мере.

В исследованных нами вариантах опыта выражены сортовые особенности люпинов. Так, люпин сидератный в условиях сильно- и среднекислых почв не только не снижал урожайности зеленой массы, но она в среднем оказалась выше на ЭПА 2 по сравнению с ЭПА 1. Однако эти различия недостоверны (табл. 3).

На урожайность зеленой массы при учете по ЭПС, наряду с агрохимическими свойствами, оказали влияние и условия увлажнения. Запас продуктивной влаги в апреле – июне на ЭПА 1 был выше по сравнению с ЭПА 2 с близким подстиланием тяжелыми слабоводопроницаемыми породами.

Анализ других показателей продуктивности – воздушно-сухой фитомассы, количества растений на единице площади ( $1\text{ м}^2$ ), высоты растений – показал однозначную картину различий между компонентами ЭПС (табл. 4 – 6). Однако в ряде случаев различия недостоверны при 5%-ном уровне значимости. Так, высота растений достоверно различается только в варианте с люпином сорта Витязь. Разница между ЭПА по воздушно-сухой фитомассе и количеству растений на единице площади недостоверна в варианте с люпином сорта Сидерат 38.

Таблица 4. Урожайность воздушно-сухой надземной массы ( $\text{кг}/\text{м}^2$ ) одновидовых и смешанных посевов люпина по вариантам опытов и с учетом ЭПА

Table 4. Yields of air-dried above-ground mass ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ) of homotypical and mixed crops of lupine according to experimental options options and taking into account elementary soil areal

Воздушно-сухая масса	Варианты опыта		
	Люпин + ячмень	Люпин Витязь	Люпин Сидерат
По вариантам опытов	$646,7 \pm 19,6$	$613,3 \pm 22,4$	$726,7 \pm 24,7$
В пределах ЭПА 1	$773,3 \pm 23,6$	$775,0 \pm 13,9$	$760,2 \pm 24,6$
В пределах ЭПА 2	$520,0 \pm 10,6$	$440,0 \pm 20,1$	$735,1 \pm 23,1$
НСР <sub>05</sub> для ЭПА	71,4	64,2	41,7

На основании исследования можно заключить, что люпин Сидерат в условиях преобладающей среднекислой реакции среды по всем изученным показателям продуктивности превосходит люпин Витязь в чистых посевах и люпин Белозерный в смешанных посевах. Варьирование показателей во многом связано с разной эффективностью штаммов азотфиксаторов в опытах.

Таблица 5. Количество растений люпина на 1 м<sup>2</sup> в одновидовых и смешанных посевах по вариантам опытов и с учетом ЭПА

Table 5. Number of lupine plants per 1 m<sup>2</sup> in homotypical and mixed crops according to experimental options and taking into account elementary soil areal

Количество растений люпина на 1 м <sup>2</sup>	Варианты опыта		
	Люпин + ячмень	Люпин Витязь	Люпин Сидерат
По вариантам опытов	54 ± 9,7	147 ± 7,6	134 ± 2,6
В пределах ЭПА 1	79 ± 10,2	167 ± 6,0	142 ± 3,5
В пределах ЭПА 2	37 ± 8,0	126 ± 8,1	132 ± 2,0
НСР <sub>05</sub> для ЭПА	37,1	27,0	10,2

Таблица 6. Высота растений люпина (см) в одновидовых и смешанных посевах по вариантам опытов и с учетом ЭПА

Table 6. Lupine plant height (cm) in homotypical and mixed crops according to experimental options and taking into account elementary soil areal

Высота растений люпина, см	Варианты опыта		
	Люпин + ячмень	Люпин Витязь	Люпин Сидерат
По вариантам опытов	39,5 ± 2,9	40,2 ± 2,2	45,6 ± 3,9
В пределах ЭПА 1	44,0 ± 0,8	47,7 ± 1,3	50,5 ± 3,8
В пределах ЭПА 2	35,0 ± 3,5	32,7 ± 2,4	43,2 ± 3,8
НСР <sub>05</sub> для ЭПА	9,2	15,0	13,8

Мы проверили гипотезу о влиянии почвенно-агрохимических свойств на продуктивность люпина в пространстве при помощи построения трендов линейной регрессии по двум показателям: высоте растений и воздушно-сухой надземной фитомассе (рис. 2).

При расчетах использовалась общая выборка средних значений по всем вариантам. Полученные результаты выявили наличие значимого убывающего тренда.

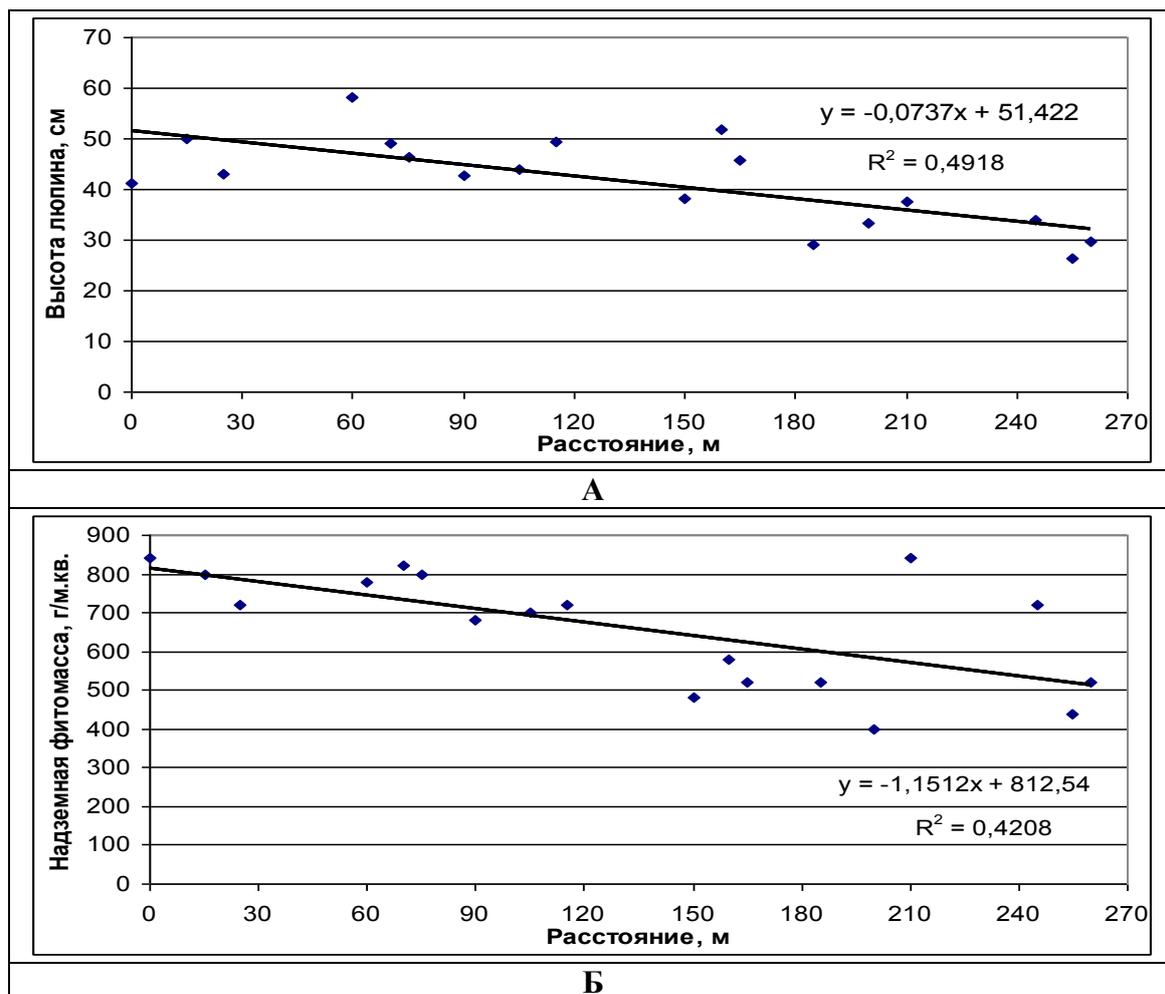


Рис. 2. Линейная регрессия зависимости высоты люпина (А) и надземной фитомассы (Б) от расстояния по трансекте  
 Fig. 2. Linear regression of the dependence of lupine height (A) and the above-ground biomass (B) on the distance on the transect

### ВЫВОДЫ

1. В пределах поля расположена элементарная почвенная структура, включающая два ареала дерново-подзолистых легкосуглинистых глееватых почв: 1) незэродированных, сформировавшихся на моренных супесях и суглинках; 2) слабоэродированных с подстилами тяжелыми суглинками и глинами.
2. Установлено, что пространственная неоднородность уровня  $pH_{KCl}$  и содержания гумуса имеет убывающий значимый тренд и связана с развитием эрозийных процессов на пологом склоне. Достоверность различий свойств между ЭПА по уровню  $pH$ , гумусу и обменному калию выше, чем по вариантам опытов. Поэтому следует признать ведущую роль почвенно-геоморфологических факторов в формировании пестроты агрохимических свойств на изученном опытном поле.
3. Наиболее чувствительными к влиянию повышенной кислотности являются смешанные посевы люпина с ячменем.
4. Урожайность зеленой и воздушно-сухой массы, количество растений на единице площади, высота растений люпина отличаются на различных ЭПА.

В пространстве это выражается в наличии убывающего тренда в связи с варьированием почвенно-агрохимических факторов.

5. В условиях преобладающей среднекислой реакции среды на разных ЭПА дерново-подзолистых глееватых почв при проведении опыта наиболее продуктивным из трех вариантов – люпин Белозерный + ячмень, люпин Витязь, люпин Сидерат 38 – оказался люпин Сидерат. Поэтому его предлагается использовать для выращивания в севооборотах с картофелем, льном для рекультивации почв.

6. Изученные закономерности рекомендуется учитывать при дальнейшем планировании научных опытов с бактериальными удобрениями и штаммами азотфиксаторов во избежание ошибок в интерпретации результатов.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Система биологизации земледелия Нечерноземной зоны России / под ред. В. Ф. Мальцева, М. К. Каюмова. – Ч. II. – Москва: ФГНУ «Росинформагротех», 2002. – 576 с.
2. Возделывание и использование кормового узколистного люпина. Практические рекомендации / под ред. И. П. Такунова. – Брянск, 2001. – 56 с.
3. Прохорова, З. А. Влияние неоднородности почвенного покрова на результаты математической обработки и их интерпретацию в многофакторных полевых опытах с удобрениями / З. А. Прохорова, А. С. Фрид // Агрохимия, 1983. – № 11. – С. 38 – 45.
4. Фрид, А. С. Некоторые вопросы методики длительного полевого опыта на современном этапе / А. С. Фрид. – Москва, 2002. – 83 с.
5. Самсонова, В. П. Пространственная изменчивость почвенных свойств: на примере дерново-подзолистых почв / В. П. Самсонова. – Москва, 2008. – 160 с.
6. Rütger, H. Entwicklung und Aufgabe moderner Feldversuchsmethodik / H. Rütger // Tagungsberichte Acad. Landwirt. (DDR). 1967. № 86.
7. Hoosbeck, M. R. Towards the quantitative modeling of pedogenesis / M. R. Hoosbeck, Briant R. B. // Geoderma. 1992. V. 55. P.183-210.
8. Wilding, L. P. Impact of spatial variability on interpretive modeling. Quantitative modeling of soil forming processes / Wilding L. P., Bouma J., Don W. Goss. // SSSA Special Publication 39. 1994. P. 62 – 75.
9. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б. А. Доспехов. – Москва: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
10. Дмитриев, Е. А. Математическая статистика в почвоведении / Е. А. Дмитриев. – Москва: Изд-во МГУ, 1995. – 320 с.

#### REFERENCES

1. *Sistema biologizacii zemledelija Nechernozemnoj zony Rossii* [System of biologization of agriculture of the Nonchernozem belt of Russia]. Moscow, FGNU “Rosinformagroteh”, 2002, 576 p.

2. *Vozdelyvanie i ispol'zovanie kormovogo uzkolistnogo ljupina. Prakticheskie rekomendacii* [Growing and using of forage blue lupine. Practical guidance]. Brjansk, 2001, 56 p.

3. Prohorova Z. A., Frid A. S. Vlijanie neodnorodnosti pochvennogo pokrova na rezul'taty matematicheskoj obrabotki i ih interpretaciju v mnogofaktornyh polevyh opytah s udobrenijami [Influence of topsoil heterogeneity on the results of mathematical processing and their interpretation in multiple-factor field experiments with fertilizers]. *Agrohimija*, 1983, no. 11, pp. 38-45.

4. Frid A. S. *Nekotorye voprosy metodiki dlitel'nogo polevogo opyta na sovremennom jetape* [Issues of long-term field experiments at the present stage]. Moscow, 2002, 83 p.

5. Samsonova V. P. *Prostranstvennaja izmenchivost' pochvennyh svojstv: na primere dernovo-podzolistyh pochv* [Spatial variability of soil properties: an example of soddy-podzolic soils]. Moscow, 2008, 160 p.

6. R  ther H. Entwicklung und Aufgabe moderner Feldversuchsmethodik. *Ta- gungsberichte Acad. Landwirt. (DDR)*. 1967, no. 86.

7. Hoosbeck M. R., Briant R. B. Towards the quantitative modeling of pedo- genesis. *Geoderma*. 1992, vol. 55, pp.183-210.

8. Wilding L. P., Bouma J., Don W. Goss. Impact of spatial variability on inter- pretive modeling. *Quantitative modeling of soil forming processes. SSSA Special Pub- lication 39*. 1994, pp. 62-75.

9. Dospheov B. A. *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovanij)*. [Field method (with the basic principles of statistical analysis of research results)]. Moscow, Agropromizdat, 1985, 351 p.

10. Dmitriev E. A. *Matematicheskaja statistika v pochvovedenii* [Mathematical statistics in soil science]. Moscow, Izd-vo MGU, 1995, 320 p.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Анциферова Ольга Алексеевна* – Калининградский государственный технический университет; кандидат сельскохозяйственных наук, доцент;  
E-mail: [anciferova@inbox.ru](mailto:anciferova@inbox.ru)

*Antsiferova Olga Alekseevna* – Kaliningrad State Technical University;  
PhD in Agricultural Sciences, Associate Professor; E-mail: [anciferova@inbox.ru](mailto:anciferova@inbox.ru)

*Харитоновна Елена Николаевна* – Калининградский государственный технический университет; студентка

*Kharitonova Elena Nikolaevna* – Kaliningrad State Technical University; student

УДК 639.2.081.191: 639.273

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОМЫСЛА ТИХООКЕАНСКОГО  
КАЛЬМАРА

В. В. Баринов, Е. В. Осипов, С. В. Лисиенко

TECHNOLOGICAL IMPROVEMENT OF JAPANESE FLYING SQUID FISHERY

V. V. Barinov, E. V. Osipov, S. V. Lisienko

В статье рассмотрено современное состояние промысла тихоокеанского кальмара и определены основные проблемы, связанные с низкими объемами добычи этого массового объекта. Показано, что имеющиеся технологии промысла применяют свет для концентрации кальмара, для чего надо использовать суда со световым оборудованием и в основном джиггерного лова. С учетом гидрологии подзоны Приморья промысел можно вести только в ночное время суток. В связи с этим для освоения тихоокеанского кальмара с учетом существующих технологий требуется суда переоборудовать, что не способствует заинтересованности судовладельцев в данном виде промысла, хотя допустимый улов может колебаться в пределах 60-650 тыс. т. Поэтому для новых технологий промысла тихоокеанского кальмара определены следующие требования: рыболовные суда должны использовать традиционные орудия рыболовства, промысел – обеспечивать эффективную работу одного или двух судов круглые сутки. Гарантирование этих требований заключается в ускорении процессов пищевой цепочки тихоокеанского кальмара за счет излучения акустических сигналов объектов его питания, обитающих в подзоне Приморья. Исследование кормовой базы тихоокеанского кальмара показало, что таким объектом является анчоус. Проведенные ранее изыскания позволили определить акустические характеристики сигнала анчоуса и разработать ряд схем концентрации кальмара с помощью пневмоакустических систем (ПАС). Предложены промысловые схемы с применением ПАС для промысла кошельковым неводом, или «кошельком», и пелагическими тралами. Это позволяет решить задачи использования существующего флота на промысле кальмара без переоборудования и в случае его низких концентраций легко переходить на другие виды лова.

*кальмар, акустическая система концентрации кальмара, траловый лов, кошельковый лов*

The paper shows the current state of Japanese flying squid fishery and the main problems related to low levels of production of this target species. It has been determined that available fishing technology uses light for squid concentration, for this reason we need vessels with lighting equipment and with a jig. In view of the hydrology of Primorye subzones, fishing can be carried out only at night. Therefore, it is required to reequip the vessels for the development of the Japanese flying squid, taking into account existing technologies, which excludes shipowners' interest in this type of fishery,

although allowable catch can vary between 60-650 thousand tone. In view of this, the following requirements have been set for new fishery technologies of the Japanese flying squid: fishing vessels must use traditional fishing gears, fishing should ensure efficient operation of one or two vessels day and night. Fulfillment of these requirements is in processes acceleration of the food chain of the Japanese flying squid by means of emission of acoustic signals of its prey items living in Primorye subzones. Research of the fodder resources of the Japanese flying squid showed that it is mainly anchovy. Previous studies allowed to determine acoustic characteristics of anchovy signal and allowed development of a number of concentration schemes for the squid using pneumoacoustic systems (PAS). We have proposed commercial schemes based on PAS for purse-seine and pelagic trawl fishing. This makes it possible to solve the problem of using the existing fleet for squid fishery without its re-equipment, and to switch to other types of fishing in case of low concentrations of squid.

*squid, squid concentration acoustic system, trawl fishing, purse-seine fishing*

## ВВЕДЕНИЕ

Тихоокеанский кальмар (*Todarodes pacificus*) является одним из массовых недоосвоенных гидробионтов в подзоне Приморья. Для него характерны очень сильные колебания численности от года к году, и уловы могут составлять от 60 - 650 тыс. т в год [1], что, в свою очередь, накладывает определенные риски и, соответственно, частично объясняет малые объемы добычи кальмара (менее 1 % от допустимого улова).

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Анализ технологий добычи кальмара в Японском море показывает, что вылов ведется специализированными судами джиггерного промысла, пелагическими тралями по близнецовой схеме, а также «кошельками». В настоящее время основным методом концентрации кальмара является использование световых источников на всех перечисленных видах промысла.

Отечественный промысел в основном ведется судами джиггерного лова одиночно или группами. Исследования показывают, что для обеспечения минимальных экономических показателей в случае джиггерного промысла количество судов в группе должно составлять 8-10 шт. [2, 3]. Это связано с тем, что такая группа судов позволяет создать на порядок большее световое поле, чем в сумме каждое по отдельности [4], и только в этом случае возможно активное использование традиционных орудий рыболовства (тралы и «кошельки»).

Даже при активном использовании в настоящее время светодиодных ламп, нужны значительные средства для переоборудования судов на джиггерный промысел кальмара или постройки специализированных кальмароловных судов (КЛС).

Изучение состава флота в подзоне Приморья показывает, что количество маломерных судов, которые могли бы вести промысел кальмара, достаточно, но отсутствует взаимодействие судовладельцев, поскольку у каждого из них количество судов ограничено 3-5 шт. Проводимый еще в 80-х годах прошлого века экспедиционный лов обнаружил неоднозначность экономических результатов, связанных с чередованием малых и больших уловов. Исследования работы ино-

странных судов в российской экономической зоне Японского моря дали такие же результаты. Поэтому проведение сравнений уловов в разных районах Японского моря, как отражение профессиональных возможностей, вредно. Однако опыт экспедиционного промысла должен быть использован, поскольку носит общесистемный развивающий характер [5].

Таким образом, новые технологии промысла кальмара должны учитывать все вышеприведенные факторы. Исходя из них, требования к технологиям добычи кальмара определим следующие:

1. На рыболовных судах необходимо использовать традиционные орудия рыболовства, что позволит исключить переоборудование судов на промысел джиггерами, а также в случае малых концентраций кальмара легко переходить на добычу других объектов промысла.

2. Технология промысла должна обеспечить:

- эффективную работу одного или двух судов, исходя из состава флота рыболовной компании;
- возможность круглосуточной организации промысла кальмара, поскольку при использовании света промысел в подзоне Приморья ведется только в ночное время, когда слой обитания кальмара составляет от 6 до 36 м [1], и сконцентрировать его в дневное время погружным световым источником исключается. В условиях тумана эффективность промысла падает и в ночное время.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Основным фактором образования скоплений короткоживущих массовых объектов является питание, поэтому исследование факторов этого процесса позволяет более точно подойти к решению вектора цели, направленного на совершенствование технологии промысла тихоокеанского кальмара. По данным работы [1], в рацион питания кальмара входят: рыбы (13,5 % - молодь сайры и 21 % - японский анчоус), ракообразные (27 %), кальмары и собственная молодь (47 %). Поскольку молодь сайры в подзоне Приморья отсутствует, то кальмар кормится, в большей степени, анчоусом и собственной молодь. Исследования суточного рациона показывают, что в светлое время суток кальмар тоже активно питается [1]. Использование световых источников ускоряет процессы в пищевой цепочке: фитопланктон → зоопланктон → мелкие кальмары и рыбы → кальмар. Соответственно в дневное время ускорить такую пищевую цепочку можно только на глубине.

Проводимые многие годы на кафедре промышленного рыболовства (ФГБОУ ВО Дальрыбвтуз) исследования в области акустического воздействия на поведение объекта лова обнаружили его достаточную эффективность. Поэтому для ускорения пищевой цепочки можно использовать акустические средства концентрации объекта за счет излучения сигналов японского анчоуса. Учеными Дальрыбвтуза было разработано устройство в виде пневмоакустического излучателя (ПАС) [6], испытания которого, проведенные в 2006-2009 гг., показали увеличение:

- вылова анчоуса на 275 % (использовался ставной невод);
- вылова тихоокеанского кальмара на 56 % (использовались вертикальные ярусы);
- плотности концентрации кальмара в 1,1-3,5 раз [7].

На основе этих исследований в работе [8] предложена технология лова тихоокеанского кальмара, заключающаяся в оснащении работающего джиггерами судна гирляндой с ПАС. Облов следует осуществлять с помощью кошелькового невода другим судном. Расчеты показали, что данная технология позволяет сделать рентабельным промысел тихоокеанского кальмара, однако требует наличия судна-подсчетчика.

В то же время высокая концентрация анчоуса и самого кальмара при использовании ПАС позволяет осуществлять облов кальмара только с его применением. С учетом вышеизложенного авторами предложена технология промысла тихоокеанского кальмара кошельковым неводом (рис. 1). При начале промысла судно ложится в дрейф, и с подветренной стороны опускается ПАС, соединённая с судном металлическим тросом, к которому крепится магистральный трубопровод для подачи сжатого воздуха. Наличие образования промыслового скопления можно наблюдать с помощью гидролокатора, а при его отсутствии – ориентироваться по времени: примерно 1 ч работы ПАС. По истечении этого срока производится облов скопления с помощью кошелькового невода.

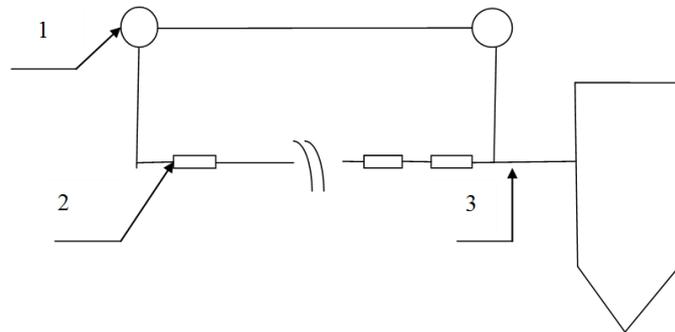


Рис. 1. Схема подключения ПАС для концентрации тихоокеанского кальмара в зоне облова кошельковым неводом: 1 – кухтыль, 2 – излучатель,

3 – магистральный трубопровод, прикрепленный к металлическому тросу

Fig. 1. Connection scheme of PAS for concentration of Japanese flying squid in the area of purse-seine fishing: 1 – large float; 2 – sender; 3 – main pipeline, attached to a metal cable

К достоинствам данного способа лова можно отнести возможность облова почти всего сконцентрированного скопления кальмара, даже тогда, когда он перестает питаться. Недостатком является высокая стоимость постройки кошелькового невода, составляющая порядка 10-15 млн. руб. Однако в настоящее время с развитием промысла сардины-иваси для промысла кальмара можно использовать ивасевые невода.

Также, используя ПАС, можно облавливать кальмар разноглубинным тралом, в том числе и по близнецовой схеме траления, которая эффективно может использоваться на маломерных судах. Структурная схема ПАС показана на рис. 2.

Технология промысла заключается в следующем: судно расставляет порядка 10 гирлянд с ПАС на расстоянии примерно 400 м друг от друга, ложится в дрейф и ожидает концентрации кальмара возле них в течение часа, после чего осуществляет траление. Подобные порядки можно использовать и на «кошельковом» промысле.

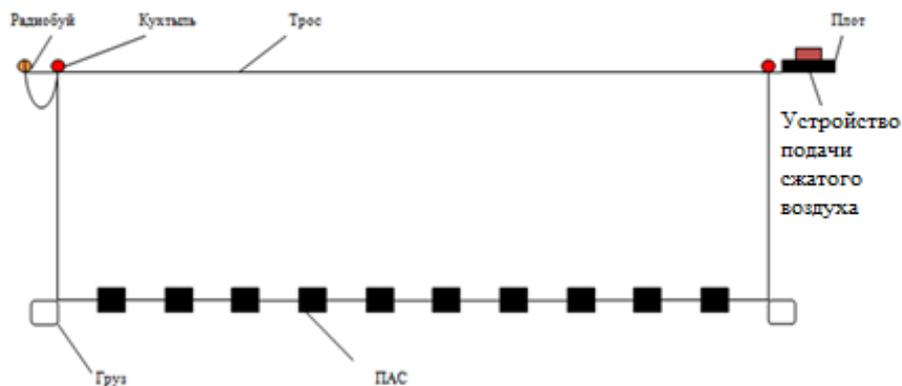


Рис. 2. Схема ПАС для концентрации тихоокеанского кальмара  
 Fig. 2. Scheme PAS for concentration of the Japanese flying squid

В случае использования среднетоннажных судов на траловом промысле кальмара или по близнецовой схеме можно применить сеть станций (рис. 3). Станции для привлечения кальмара выставляются в отдалении друг от друга с небольшим перекрытием зоны совместного воздействия на кальмара в форме эллипса.

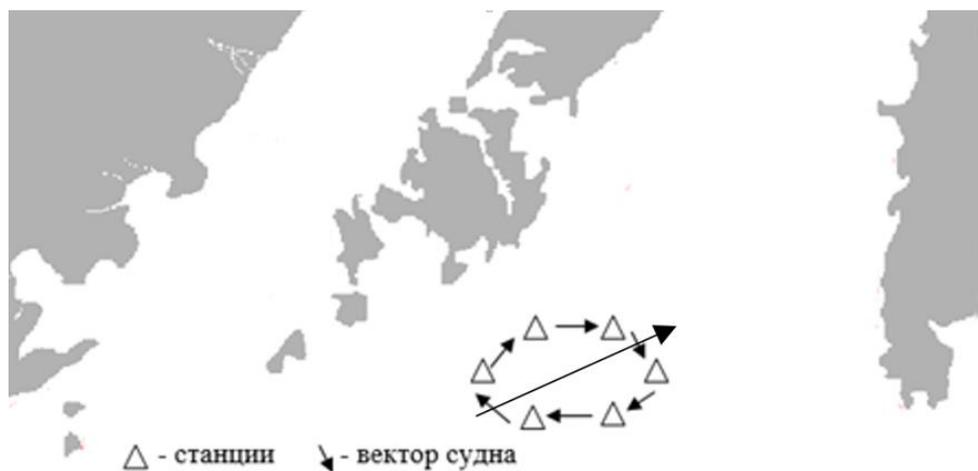


Рис. 3. Схема установки станций и траления  
 Fig. 3. Installation diagram of plants and trawling

Такая схема позволит в зависимости от концентрации кальмара проводить траление от одного излучателя до другого. Для среднетоннажных судов можно использовать тралы с гибкими динамическими распорными устройствами (ГДРУ), что даст возможность закрывать трал при низкой и открывать при увеличивающейся концентрации кальмара. Таким образом, промысел будет вестись в четко заданном районе и режиме.

Для определения оптимального расстояния между ПАС можно оборудовать траловую систему датчиками захода кальмара в трал и наполнения тралового

мешка. Такое расположение ПАС позволяет создать локальное скопление высокой концентрации.

При применении близнецового трала можно предложить вариант траления по диаметральной плоскости. После прохода области концентрации производится выборка трала и выливка улова, после чего осуществляется траление по другому курсовому углу.

Для поддержания концентрации скоплений кальмара для близнецовой схемы предлагается использовать гирлянды ПАС (рис. 4). Для эффективности промысла конструкции тралов должны обеспечивать их широкое горизонтальное раскрытие в поверхностном режиме траления, вертикальное раскрытие – от 7 до 37 м в глубину. Конструктивное решение этой задачи лежит в области создания многомотенных тралов (рис.4), что позволяет снизить сопротивление траловой системы на 30-40 % по сравнению с одномотенным тралом с аналогичными параметрами раскрытия устья трала.

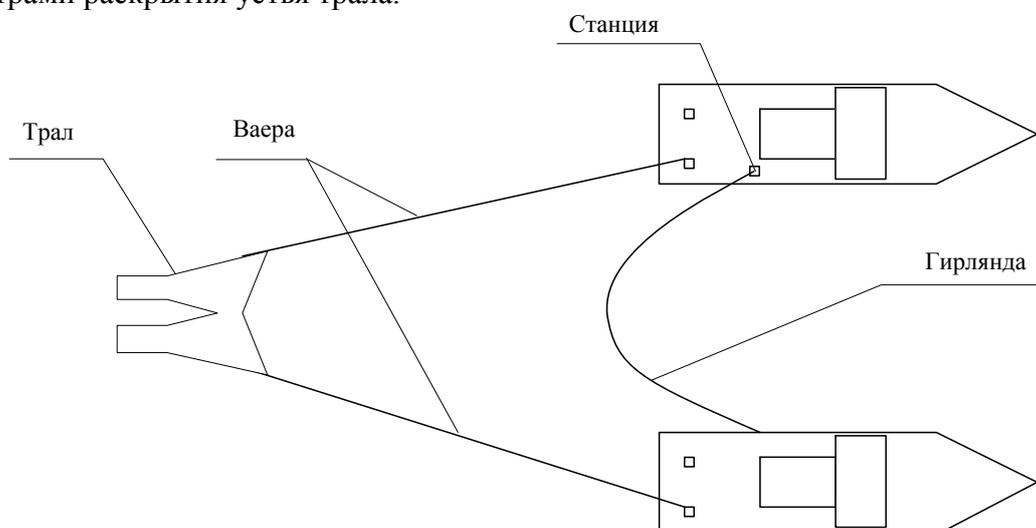


Рис. 4. Близнецовая схема траления с акустической гирляндой для привлечения кальмара

Fig. 4. Twin trawling scheme with an acoustic garland for squid attraction

### ВЫВОДЫ

Применение предложенных технологий промысла кальмара позволит отойти от устоявшихся стереотипов о том, что промысел тихоокеанского кальмара возможен только с помощью его концентрации в искусственном световом поле. Применение для концентрации кальмара группы ПАС позволит отказаться от использования специализированного флота, что существенно снизит затраты на промысел. Таким образом, предложенные технологии решают поставленные задачи совершенствования промысла тихоокеанского кальмара.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Мокрин, Н. М. Экология и перспективы промысла тихоокеанского кальмара *Todarodes pacificus* в Японском море: дис. ... кан. биол. наук: 03.00.16 / Мокрин Николай Михайлович; ТИПРО-Центр. – Владивосток, 2006. – 186 с.

2. Masuda, D., S. Kai, H. Maekawa, Y. Yamashita, Y. Matsushita: Catch performance of coastal squid jigging boats equipped with underwater lamps having a shading structure, *Nippon Suisan Gakkaishi*, 2013, no.79, pp. 785-792.
3. Matsushita, Y.: Energy audit of small scale squid jigging boats in western Japan, *Fisheries Engineering*, 2016, no.52, pp. 189-195.
4. Баринов, В. В. Совершенствование промысла тихоокеанского кальмара (*Todarodes pacificus*) / В. В. Баринов // Рыбное хозяйство. – 2014. – № 6. – С. 69-71.
5. Осипов, Е. В. Вектор целей развития прибрежного рыболовства / Е. В. Осипов // Актуальные проблемы освоения биологических ресурсов Мирового океана-2016: IV Международная научная конференция (24-26 мая) / Федер. Агентство по рыболовству; ФГБОУ ВПО «Дальрыбвтуз». – Владивосток: ФГБОУ ВПО «Дальрыбвтуз», 2016. – Ч. 1. – С. 163-166.
6. Кузнецов, М. Ю. Использование звуковых полей для интенсификации джиггерного лова тихоокеанского кальмара / М. Ю. Кузнецов, В. В. Баринов // Рыбпром. – 2009. – № 3. – С. 68-73.
7. Кузнецов, М. Ю. Исследование влияния акустических стимулов на плотность скопления гидробионтов вблизи кальмароловного судна / М. Ю. Кузнецов, В. Н. Вологдин, В. В. Баринов // Изв. ТИНРО. – Владивосток, 2010. – Т. 162. – С. 371-388.
8. Брик, Л. И. Обоснование технологии промысла тихоокеанского кальмара кошельковым неводом / Л. И. Брик, В. В. Баринов // Научные труды Дальрыбвтуза. – Владивосток, 2013. – Т. 30 – С. 64-70.

#### REFERENCES

1. Mokrin N. M. *Ekologiya i perspektivy promysla tikhookeanskogo kal'mara Todarodes pacificus v Yaponskom more. Diss. kand. biol. nauk* [Ecology and perspectives of *Todarodes pacificus* fishery in the Sea of Japan. Dis. cand. boil. sci.]. Vladivostok, TINRO-Tsentr, 2006, 186 p.
2. Masuda D., Kai S., Maekawa H., Yamashita Y., Matsushita Y. Catch performance of coastal squid jigging boats equipped with underwater lamps having a shading structure, *Nippon Suisan Gakkaishi*, 2013, no.79, pp. 785-792.
3. Matsushita Y. Energy audit of small scale squid jigging boats in western Japan, *Fisheries Engineering*, 2016, no.52, pp. 189-195.
4. Barinov V. V. Sovershenstvovanie promysla tikhookeanskogo kal'mara (*Todarodes pacificus*) [Advances in fishery for Japanese flying squid (*Todarodes pacificus*)]. *Rybnoe khozyaystvo*, 2014, no. 6, pp. 69-71.
5. Osipov E. V. Vektor tseley razvitiya pribreznogo rybolovstva [Trajectory of development goals of coastal fishery]. *IV Mezhdunarodnaya nauchnaya konferentsiya (24-26 maya) "Aktual'nye problemy osvoeniya biologicheskikh resursov Mirovogo okeana-2016"* [IV International scientific conference (May 24-26) "Current issues of biological resources development in the World ocean-2016"]. Vladivostok, FGBOU VPO "Dal'rybvтуz", 2016, vol. 1, pp. 163-166.
6. Kuznetsov M. Yu., Barinov V. V. Ispol'zovanie zvukovykh poley dlya intensifikatsii dzhiggernogo lova tikhookeanskogo kal'mara [Using acoustic field for intensification of jig fishing of Japanese flying squid]. *Rybprom*, 2009, no. 3, pp. 68-73.

7. Kuznetsov M. Yu., Vologdin V. N., Barinov V. V. Issledovanie vliyaniya akusticheskikh stimulov na plotnost' skopleniya gidrobiontov vblizi kal'marolovnogo sudna [Studying the effect of acoustic stimuli on concentration density of hydrobionts near a fishery boat]. Vladivostok, *Izv. TINRO*, 2010, vol. 162, pp. 371-388.

8. Brik L. I., Barinov V. V. *Obosnovanie tekhnologii promysla tikhookeanskogo kal'mara koshel'kovym nevodom* [Rationale for the technology of purse-seine fishing of Japanese flying squid]. Nauchnye trudy Dal'rybvтуza [Proceedings of Far Eastern State Technical Fishery University]. Vladivostok, 2013, vol. 30, pp. 64-70.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Баринов Василий Владимирович* – Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет; кандидат технических наук, доцент кафедры промышленного рыболовства; E-mail: fishery\_conf@mail.ru

*Barinov Vasiliy Vladimirovich* – Far Eastern State Technical Fishery University; assistant professor of the Department "Industrial fishing "; E-mail: fishery\_conf@mail.ru

*Осипов Евгений Валериевич* – Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет; кандидат технических наук, доцент кафедры промышленного рыболовства; E-mail: oev@mail.ru

*Osipov Evgeniy Valerievich* – Far Eastern State Technical Fishery University; assistant professor of the Department "Industrial fishing "; E-mail: oev@mail.ru

*Лисиенко Светлана Владимировна* – Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет; кандидат экономических наук, зав. кафедрой промышленного рыболовства; E-mail: oev@mail.ru

*Lisienko Svetlana Vladimirovna* – Far Eastern State Technical Fishery University; director of the Department "Industrial fishing"; E-mail: [lisienkosv@mail.ru](mailto:lisienkosv@mail.ru)

УДК 581.524;633.2.032;581.55

ИНВЕНТАРИЗАЦИЯ И ОЦЕНКА УРОЖАЙНОСТИ КОРМОВЫХ УГОДИЙ  
СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ГУРЬЕВСКОГО РАЙОНА  
КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

О. М. Бедарева, Л. С. Мурачёва, Т. Н. Троян

INVENTORY AND ASSESSMENT OF PRODUCTIVITY OF GRASSLANDS  
IN THE NORTH-EASTERN PART OF THE GURYEVSK DISTRICT  
OF THE KALININGRAD REGION

O. M. Bedareva, L. S. Muracheva, T. N. Troyan

Луговые ландшафты в Северо-Западной зоне РФ занимают 50 % всех сельскохозяйственных земель. Для Калининградской области их площадь составляет более 400 тыс. га, из них 122 тыс. приходится на сенокосы, а 279 тыс. – на пастбища. Являясь источником дешевых кормов высокого качества, сенокосные и пастбищные экосистемы области на значительных площадях утратили свой статус и представлены малопродуктивными пастбищными разностями. Обеднение луговой флоры ведет к снижению ботанического разнообразия и кормового качества луговых сообществ.

Объектом исследования послужили природные кормовые угодья (ПКУ) и почвы северо-восточной части Гурьевского района Калининградской области. Авторами исследован видовой состав природных и сеяных сенокосов и пастбищ, почвы, обработаны фондовые материалы по геоботаническим и агрохимическим обследованиям, рассмотрена классификация природно-кормовых угодий, изучены биоэкологические особенности кормовых растений.

В результате исследований выявлено, что на территории объекта преобладают дерново-слабоподзолистые легкосуглинистые почвы. Выделено три класса лугов: класс Л-1 суходольные луга, класс Л-2 низинные луга, класс Л-5 болотные луга. В площадном выражении преобладают суходолы нормального и временного избыточного увлажнения (474,5 га), далее следуют низинные луга с соответствующими подклассами (350,3 га) и завершают ряд болотные луга общей площадью 96,5 га. На основании проведенных геоботанических и почвенных исследований получены выводы, имеющие практическое значение по оптимизации почв и растительности.

*почва, кормовые растения, типология лугов, сенокос, пастбище, коренное и поверхностное улучшение*

Meadow landscapes in Northwestern Federal District of the Russian Federation are 50 percent of all agricultural land. For the Kaliningrad region, the area is more than 400 thousand hectares, of which 122 thousand ha account for hayfields, and 279 thousand- for pastures. Being a source of cheap feed, high quality hay and pasture ecosystems of the region have lost their status on large areas and are represented by marginal

grazing differences. Depletion of meadow flora leads to a decrease in Botanical diversity and forage quality of meadow communities.

The study included natural grasslands (ПКУ) and soil of the North-Eastern part of the Guryevsk district of the Kaliningrad region. In the process of writing the article, the following questions were considered: species composition of natural and seeded grasslands and pastures, agriculture soils; stock materials in the agrochemical and geobotanical surveys, classification by-Rodney-grassland and bioecological features of forage plants.

The studies revealed that sod-weakly podzolic light loamy soil dominated on the site. Three grassland classes were selected: L-I dry meadows class, L-2 lowland meadows class, L-5 wetland meadows class. Watershed of the normal and temporary excessive moisture (474,5 ha) dominate in the area expression, followed by lowland meadows to the respective related subclasses (350,3 ha) and then go low-lying meadows with a total area of 96.5 ha). On the basis of geobotanical and soil research, we came to conclusions of practical importance for the optimization of soils and vegetation.

*soil, forage plants, types of meadows, hay, pasture, radical and surface improvement*

## ВВЕДЕНИЕ

Почвенно-климатические условия области благоприятны для луговодства. Все природные кормовые угодья (ПКУ) региона можно разделить на абсолютные и нормальные суходолы – они широко распространены на холмистых элементах рельефа Озерского, Краснознаменского, Багратионовского районов области. Естественный травостой этих угодий представлен малоурожайными злаками, такими как овсяница овечья (*Festuca ovina* L.) и красная (*F. rubra* L.), белоус торчащий (*Nardus stricta* L.), и разнотравьем. Качество корма ПКУ, не подвергнутых поверхностному и коренному улучшению, низкое. Суходолы временного избыточного увлажнения – в их составе имеются более ценные травы: тимopheевка луговая (*Phleum pratense* L.), овсяница луговая (*Festuca pratensis* L.), ежа сборная (*Dactylis glomerata* L.), клевер луговой (*Trifolium pratense* L.), мятлик луговой (*Poa pratensis* L.). На низких участках, плохо мелиорированных, широко распространена щучка дернистая (*Deschampsia cespitosa*), образующая порой моноценозы вместе с вейником наземным (*Calamagrostis epigeios* L.), полевицей тонкой (*Agrostis capillaris* L.). Урожайность таких суходолов составляет 10-15 ц/га. Большая часть угодий нуждается в проведении культуртехнических и осушительных работ с последующим улучшением естественных травостоев.

Низинные сенокосы и пастбища приурочены к местам избыточного увлажнения как атмосферного, так и грунтового. Характерны для кислых оглеенных, тяжело- и среднесуглинистых по гранулометрическому составу почв. При оптимальном режиме использования травостоев с преобладанием лисохвоста лугового (*Alopecurus pratensis* L.) урожайность трав составляет 50 ц/га сена.

Пойменные луга – располагаются в долинах рек Деймы, Немана, Преголи, Шешупе, Анграпы и др. Занимают около 11 % естественных кормовых угодий. Прирусловая часть пойм используется под сенокосы, реже - под пастбища. В травостое преобладают ценные злаки: овсяницы луговая и красная, мятлик луговой,

кострец безостый (*Bromopsis inermis* L.), пырей бескорневищный (*Agropyron tenerum* Vasey.) и др. Питательная ценность кормовых трав высокая [1].

Цель работы – провести инвентаризацию и оценить урожайность кормовых угодий объекта.

### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Территория исследования (табл. 1) относится ко второму агроклиматическому району. Устойчивый переход среднесуточной температуры через 10° весной происходит в конце апреля - начале мая. В это время трогаются в рост ранне-спелые злаки – лисохвост луговой, мятлик луговой, мятлик однолетний, а также среднеспелые – ежа сборная, овсяница луговая. Пастбищный период начинается в мае, заканчивается в октябре.

Продолжительность пастбищного периода подтверждается средними многолетними метеоданными: период со среднесуточной температурой выше 10°С составляет 150 дней, количество осадков за год – 650-700 мм, ГТК-1,6.

Рельеф территории холмистый, преобладают невысокие продолговатые холмы, имеющие плоскую вершину. Наиболее холмистой является западная часть объекта, холмы здесь образуют гряды и тянутся с севера-востока на юго-запад [2].

Между этими холмами лежат неглубокие понижения и впадины вдоль мелких речек (Большой Морянки и Камышовой), ограничивающих холмистую часть. Далее на востоке рельеф становится спокойным и слабо приподнятым либо равнинным. Среди болот, сформировавшихся вдоль рек, имеются пруды – водоемы от выработанных торфяников.

Максимальная глубина залегания грунтовых вод больше 2 м, минимальная – 60 см (на болотах в северо-западной и северо-восточной частях). Грунтовые воды – жесткие, ненасыщенные гидрокарбонатами кальция и магния.

Таблица 1. Площади обследованных угодий Гурьевского района [3]

Table 1. Square of the surveyed lands of the Guryevsk district [3]

Обследованные угодья	Площадь, га	
	по земельному учету	по данным обследования
Общая площадь кормовых угодий	1997	1798,8
Сенокосы всего	167	680,8
в т.ч. коренного улучшения	126	86,5
Пастбища всего	1830	1118,0
из них культурных	1170	151,5
Леса	-	-
Кустарники	-	-
Болота	53	-
Прочие земли	30	-
Пески	28	-
Овраги	-	-

Почвенный покров объекта однородный, преобладают дерново-слабоподзолистые и болотно-низинные почвы, менее распространены супесчаные и среднесуглинистые.

Дерново-слабоподзолистые легкосуглинистые почвы приурочены к повышенным элементам рельефа, мощность гумусового горизонта составляет 25-30 см. Он имеет мелкокомковатую структуру, супесчаные горизонты часто бесструктурны. Данные химического анализа показывают, что эти почвы имеют кислую среду ( $\text{pH}_{\text{КСI}} 4,2-4,8$ ) или близкую к нейтральной ( $\text{pH}_{\text{КСI}} 5,8-6,2$ ) реакцию среды верхних горизонтов. Содержание фосфора ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) в гумусовом горизонте различное: от 1,3-7,5 до 10-25 мг/100 г почвы. Содержание подвижного калия ( $\text{K}_2\text{O}$ ) в почвах повышенное – 10-17 мг/100 г почвы.

Дерново-подзолистые оглеенные почвы на территории объекта занимают доминирующее положение, здесь представлена большая часть ПКУ [4].

Растительность на территории объекта представлена лесной, луговой, болотной формациями. Леса имеют незначительное распространение (147 га) и располагаются в основном отдельными небольшими массивами.

В работе приняты традиционные методы почвенных и геоботанических исследований. Проанализированы фондовые материалы прошлых лет геоботанического обследования объекта, в том числе картографические (М 1:10000).

На основании классификации И.А. Цаценкина на территории выделено три класса: класс Л-1 суходольные луга, класс Л-2 низинные луга, класс Л-5 болотные луга. В площадном выражении преобладают суходолы нормального и временного избыточного увлажнения (474,5 га), далее следуют низинные луга с соответствующими подклассами (350,3 га) и болотные луга общей площадью 96,5 га. Составлена таблица типологического состава кормовых угодий (табл. 2).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

По продуктивности надземной фитомассы в классе суходолов преобладают сеяные сенокосы. Валовая урожайность составляет 44-51 ц/га. На почвах болотного ряда даже сеяные сенокосы обладают меньшей урожайностью (19 ц/га).

В результате анализа данных обследования кормовых угодий северо-восточной части Гурьевского района выявлены различные типы сенокосов и пастбищ.

В основу классификации положен комплекс признаков природных факторов (климат, рельеф, почвенный покров, гидрологические условия местности) с учетом культуртехнического состояния. Классификация представлена следующими соподчиненными таксономическими группами: класс; подкласс; тип растительности (или модификация). На территории объекта выявлено три класса, шесть подклассов: класс Л-1 - 823,4 га: подкласс Л-1в -348,9 га, подкласс Л-1г -474,5 га; класс Л-2 -393,3 га: подкласс Л-2а -43,0 га, подкласс Л-2б -350,3 га; класс Л-5 - 582,1 га: подкласс Л-5а -485,6 га, подкласс Л-5б -96,5 га; в том числе распаханное -355,4 га [5].

Класс Л-1 суходольные луга. В статье приведена краткая характеристика выделенных таксонов. Подкласс Л-1в злаково-разнотравные нормально увлажненные суходолы равнин на дерново-слабоподзолистых легкосуглинистых почвах. Площадь – 348,9 га. Луга подкласса занимают слабоволнистые равнины. Увлажнение атмосферное достаточное. Почвы дерново-слабоподзолистые легкосугли-

нистые. Травостой представлен двумя типами – полевицево-ежовым и сеяними травами. В травостое первого типа кроме полевицы и ежи сборной присутствует гребенник обыкновенный, мятлик луговой. Из бобовых – 10-15% от общего проективного покрытия составляет клевер белый (*Trifolium repens* L.). Урожайность этого типа – 16 ц/га сена и 12 ц/га сухой поедаемой массы. Корм хорошего качества. Травостой второго типа представлен сеяними травами – ежой сборной, тимофеевкой луговой, райграсом многоукосным (*Lolium multiflorum* Lam.). Урожайность сена 51 ц/га, сухой поедаемой массы 47 ц/га. Корм хорошего качества. Высокая урожайность объясняется присутствием крупных злаков, высота травостоя 80-100 см, общее проективное покрытие 120-130 %.

Подкласс Л-Іг злаково-осоково-разнотравные временно избыточно увлажненные суходолы равнин на дерново-слабоподзолистых глееватых легкосуглинистых и супесчаных почвах. Площадь – 474,5 га. Луга подкласса расположены на слабопониженных равнинах водоразделов и составляют 26% от общей площади кормовых угодий. Почвы дерново-слабоподзолистые глееватые различного гранулометрического состава. Наибольшую площадь в подклассе занимают низовозлаковый тип и распаханное кормовое угодья. Сеяные травы в подклассе имеют незначительную площадь – 31,4 га. В травостое преобладают ежа сборная, овсяница луговая, тимофеевка луговая. Дернина рыхлая, слабо уплотнённая. Урожайность сена составляет 44 ц/га, сухой поедаемой массы – 40 ц/га. Весь корм хорошего качества. Щучково-полевицево-разнотравный тип занимает площадь 24,8 га. Щучка дернистая приспособлена к существованию в различных условиях, так как ее корневая система имеет развитую воздухоносную ткань. Общее проективное покрытие составляет 100-120 %, средняя высота - 40-50 см. [6, 7].

Подкласс Л-2б злаково-осоково-разнотравные на дерново-слабоподзолистых глеевых, дерново-глеевых легко-среднесуглинистых почвах; натечно-грунтового питания. Площадь – 350,3 га. Кормовые угодья подкласса расположены на пониженных равнинах водоразделов по всей территории объекта. Увлажнение атмосферное, натечное и грунтовое, местами избыточное. Почвы дерново-подзолистые глеевые различного гранулометрического состава. В подкласс входит несколько типов. Наиболее значимыми среди них являются полевицево-щучковый - площадь 113,5, сеяные травы – 87,3, распаханное кормовое угодья – 130,6 га.

Класс Л-5 болотные луга. Подкласс Л-5а болотные луга на минеральной почве. Площадь – 485,6 га. Луга подкласса расположены по понижениям водоразделов. Почвы болотно-низинные перегнойно-глеевые. Увлажнение избыточное, грунтовое, натечное, часто с застоем воды на поверхности. В подкласс входят несколько типов, самым крупным является низовозлаковый (площадь 157,7 га). Травостой представлен низовыми злаками: гребенник обыкновенный, райграс пастбищный, полевица обыкновенная. Урожайность сена составляет 19 ц/га, сухой поедаемой массы – 14 ц/га. Корм среднего качества. Проектное покрытие травостоя 130 %, высота 70 см. В подклассе имеются распаханное кормовое угодья площадью 39,6 га; предусмотрено провести залужение [8, 9].

Подкласс Л-5б болотные луга на торфяных почвах. Площадь – 96,5 га. Луга подкласса занимают низкие части поймы р. Камышовый. Увлажнение избыточное, грунтовое и натечное. Почвы болотно-низинные торфяные. Подкласс пред-

Таблица 2. Типологический состав сенокосов и пастбищ

Table 2. Typological composition of hayfields and pastures

Наименование типов и модификацией с указанием основных видов растений	Площадь, га	Урожайность, ц/га		Содержание, кг/ц		Распределение угодий по качеству корма					
		сенокосы	ср. сухая поедаемая масса	кормовые единицы	переваримый протеин	сенокосы			пастбища		
						хорошее	среднее	плохое	хорошее	среднее	плохое
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Класс Л-I Суходольные луга											
Подкласс Л-I в злаково-разнотравные нормально увлажненные суходолы равнин на дерново-слабоподзолистых легкосуглинистых почвах											
Полевицево-ежовый с гребенником обыкновенным; клевером белым	104,5	16	12	39	5,2	-	15,5	-	-	89,0	-
Сеяные травы (ежа сборная, тимофеевка луговая, пырей многоукосный)	244,4	51	47	48	3,2	6,3	-	-	238,1	-	-
Итого:	348,9					6,3	15,5		238,1	89,0	
Подкласс Л-I г злаково-осоково-разнотравные временно избыточно увлажненные суходолы равнин на дерново-слабоподзолистых глееватых легкосуглинистых и супесчаных почвах											
Щучково-полевицево-разнотравный	24,8	20	13	45	5,4	-	7,2	-	-	17,6	-
Низовозлаковый (гребенник обыкн., полевица обыкн., райграс пастбищный (с ежой сборной)	233,1	13	9	46	4,1	12,8	32,0	2,7	-	173,4	12,2
Сеяные травы (ежа сборная, тимофеевка луговая)	31,4	44	40	47	4,3	14,4	-	-	17,0	-	-
Распаханные кормовые угодья	185,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Итого:	474,5					27,2	39,2	2,7	17,0	191,0	12,2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Класс Л-2 низинные луга											
Подкласс Л-2 а влажные и сырые луга выщелоченных понижений											
Разнотравно-полевицево-пастбищнорайграсовый с полевицей обыкновенной	43,0	19	15	47	3,2	-	3,6	-	6,0	33,4	-
Итого:	43,0	-	-	-	-	-	3,6	-	6,0	33,4	-
Подкласс Л-2 б злаково-осоково-разнотравные сырые луга низин натечно-грунтового питания на дерново-слабоподзолистых глеевых, дерново-глеевых легко и среднесуглинистых почвах											
Щучково-ситниковый	18,9	20	12	40	5,6	-	9,4	-	-	9,5	-
Полевицево-щучковый с ежей сборной, тимфеевкой луговой	113,5	17	12	48	6,2	-	41,6	-	-	71,9	-
Сеяные травы (ежа сборная, тимфеевка луговая)	87,3	24	22	47	6,3	30,3	-	-	57,0	-	-
Распаханные кормовые угодья	130,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Итого:	350,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Класс Л-5 болотные луга											
Подкласс Л-5 а болотные луга на минеральной почве											
Разнотравно-осоковый с манником большим	102,8	20	12	40	5,6	-	10,5	39,5	-	31,8	21,0
Низкозлаковый с гребенником обыкновенным, райграсом пастбищным, полевицей обыкновенной, тимфеевкой луговой	157,7	19	14	44	4,5	-	57,3	-	28,0	72,4	-
Сеянные травы (ежа , тимфеевка)	108,6	21	19	50	4,6	35,5	-	-	73,1	-	-

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Сорно-разнотравный (бодяк, полынь)	76,9	-	-	-	-	-	-	52,2	-	-	24,7
Распаханные кормовые угодья	39,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Итого:	485,6	-	-	-	-	35,5	67,8	91,7	101,1	104,2	45,7
Подкласс Л-5 б болотные луга на торфяных почвах											
Разнотравный со щучкой дернистой	96,5	17	12	38	5,2	-	55,1	41,4	-	-	-
Итого:	96,5	-	-	-	-	-	55,1	41,4	-	-	-
Всего по объекту	1798,8					99,3	232,2	135,8	419,2	499,0	57,6

ставлен одним типом – разнотравным. В травостое содержится небольшое количество злаков – полевица обыкновенная, мятлик луговой. Из разнотравья – лапчатка гусиная, полынь обыкновенная. В травостое присутствует щучка дернистая - 10-15 % общего проективного покрытия.

#### ВЫВОДЫ

– Природно-климатические условия Калининградской области благоприятны для формирования луговой и пастбищной растительности.

– На основании анализа фондовых материалов и использования типологической классификации лугов на территории объекта выявлено три класса: класс Л-1 суходольные луга, класс Л-2 низинные луга, класс Л-5 болотные луга. В площадном выражении преобладают суходолы нормального и временного избыточного увлажнения (474,5 га), далее следуют низинные луга с соответствующими подклассами (350,3 га) и завершают ряд болотные луга общей площадью 96,5 га.

– Сенокосы по качеству кормов неравнозначны: сенокосы хорошего качества с травостоем из ценных кормовых трав – овсяницы луговой, ежи сборной, тимофеевки луговой и других – занимают площадь 99,3 га. Сенокосы среднего качества с удовлетворительно поедаемым травостоем – полевица собачья, гребенник обыкновенный – 232,2 га. Сенокосы плохого качества, содержащие ценозы щучки дернистой, отмечены на площади 135,8 га.

– По данным геоботанического обследования средняя урожайность природных сенокосов 15 ц/га, улучшенных (сеяных) – 41 ц/га.

– По данным химического анализа образцов сена лучшими типами травостоя по качеству и питательности корма являются сеяные травы (48 кг/ц кормовых единиц и 3,2 кг/ц переваримого протеина). Повышенное содержание клетчатки (37%) в травах этого типа объясняется тем, что такие крупные злаки, как ежа сборная, тимофеевка луговая, сразу грубеют после образования соцветий.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Амелина, М. А. Кормопроизводство в условиях Калининградской области / М. А. Амелина, Л. С. Еремеева. – Калининград: ФГУИПП «Янтарный сказ», 2000. – С. 9-11.
2. Барина, Г. М. Калининградская область. Климат / Г. М. Барина. – Калининград: ФГУИПП «Янтарный сказ», 2002. – С.21-28.
3. Завалишин, А. А. Почвы Калининградской области / А. А. Завалишин, Б. В. Надеждин. – Москва: Изд-во АН СССР, 1975. – С. 5-131.
4. Агрохимическая характеристика почв. Программа повышения плодородия по применению средств химизации. - Калининград, 1996.- С. 21-22.
5. Пастбища и сенокосы СССР / под ред. акад. ВАСХНИЛ Н. Г. Андреева. – Москва: Колос, 1974. – С. 39-46.
6. Кормовые растения сенокосов и пастбищ СССР/ под ред. И. В. Ларина. - Москва - Ленинград, 1950. – Т. 1. - С. 156-180.
7. Андреев, Н. Г. Луговое хозяйство / Н. Г. Андреев. – Москва: ВО «Агропромиздат», 1989. – С. 171-218.

8. Leigh, E. G. The relation between biomass, productivity, stability and diversity of a community / E.G. Leigh // Proc. Mat. Acad. Sci. USA. –1964. – Vol. 53. –P. 777-783.

9. Connel, J. A. The ecological regulation of species diversity / J. A. Connel, E. Orias // American Naturalist. – 1964. – Vol. 98. – P. 399-414.

#### REFERENCES

1. *Kormoproizvodstvo v uslovijah Kaliningradskoj oblasti* [Forrage production in the Kaliningrad region]. Kaliningrad, Jantarnyj skaz, 2000, pp. 9-11.

2. Barinova G. M. *Kaliningradskaja oblast'. Klimat* [The Kaliningrad region. Climate]. Kaliningrad, FGUIPP “Jantarnyj skaz”, 2002, pp. 21-28.

3. Zavalishin A. A., Nadezhdin B. V. *Pochvy Kaliningradskoj oblasti* [Soils of the Kaliningrad region]. Moscow, Izd-vo AN SSSR, 1975. pp. 5-131.

4. *Agrohimicheskaja karakteristika pochv. Programma povyshenija plodorodija po primeneniju sredstv himizacii* [Agrochemical characteristic of soils. Enrichment program on use of chemicals]. Kaliningrad, 1996, pp. 21-22.

5. *Pastbishha i senokosy SSSR* [Pastures and haylands of the USSR]. Moscow, Kolos, 1974, pp. 39-46.

6. *Kormovye rastenija senokosov i pastbishh SSSR* [Forage plants of the pastures and haylands of the USSR], Moscow-Leningrad, 1950, vol. 1, pp. 156-180.

7. Andreev N. G. *Lugovodstvo* [Grassland science]. Moscow, VO “Agropromizdat”, 1989, pp. 171-218.

8. Leigh E. G. The relation between biomass, productivity, stability and diversity of a community. Proc. Mat. Acad. Sci. USA. 1964, vol. 53, pp. 777-783.

9. Connel J. A., Orias E. The ecological regulation of species diversity. American Naturalist. 1964, vol. 98, pp. 399-414.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Бедарева Ольга Михайловна* – Калининградский государственный технический университет; доктор биологических наук, доцент, зав. кафедрой агропочвоведения и агроэкологии; E-mail: olgabedareva@mail. ru

*Bedareva Olga Mikhajlovna* – Kaliningrad State Technical University; Doctor of Biological Science, Assistant Professor, Head of the department of agrology and agroecology; E-mail: olgabedareva@mail. ru

*Мурачёва Любовь Семёновна* – Калининградский государственный технический университет; кандидат биологических наук, доцент

*Muracheva Lyubov Semenovna* – Kaliningrad State Technical University; PhD, Associate Professor

*Троян Татьяна Николаевна* – Калининградский государственный технический университет; кандидат биологических наук, доцент

*Troyan Tatyana Nikolaevna* – Kaliningrad State Technical University; PhD, Associate Professor

УДК 551. 586: 58.035

ДЕНДРОФЛОРА ПОЙМ МАЛЫХ РЕК И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ  
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

Е. А. Калинина, О. М. Бедарева

DENDROFLORA OF THE FLOOD LANDS OF SMALL RIVERS AND THE USE  
FOR OPTIMIZATION OF URBAN ENVIRONMENT

E. A. Kalinina, O. M. Bedareva

Объектом исследования является дендрофлора малой р. Товарной. Пойма реки характеризуется наличием несанкционированных свалок, заболоченностью, регулярным подтоплением. Она проходит по территориям жилой застройки, поэтому главной задачей является поиск путей очистки и расширения русла и максимального восстановления природных древесных экосистем. В результате обследования произведены лесотаксационные учеты, выявлен видовой состав растительности. Изучено правобережье и левобережье реки, произведено зонирование территории. Метод сплошной таксации позволил максимально охватить территорию объекта и выявить 1925 экземпляров древесной растительности. Практически во всех выделенных зонах господствует влаголюбивая растительность, относящаяся к экологической группе гигрофитов. Однако кажущееся соответствие эдафотопических условий не соответствует культуртехническому состоянию растительности. Это связано в первую очередь с длительным заболачиванием, которое не выдерживает ни одна экологическая группа древесной растительности. Большая часть особей (около 80 %) отнесена по принятой шкале жизненного состояния к категории «сильно ослабленные и отмирающие». В работе применены картографические материалы, которые не только позволили визуализировать ситуацию с размещением объектов, но и обозначить план мероприятий по улучшению культуртехнического состояния, наметить оптимальные пути по выполнению натурных работ. Неоднородность выделенных зон диктует необходимость индивидуального подхода по оптимизации окружающей среды каждой из них. В статье, с одной стороны, остро поставлены проблемы очистки и расширения русла городской реки, а с другой – рационального и продуманного использования пустующих территорий под объекты зеленого строительства.

*древесная прибрежно-водная растительность, культуртехническое состояние, русло реки, виталитет*

The target of the research is dendroflora along the Tovarnaya river. Floodplain of the river is characterized by the presence of pollution, dumps, regular waterlogging. The survey identified species composition of the vegetation. We have studied right bank and left bank of the river, and held territorial zoning. Census method allowed us to cover the site and to identify 1925 items of woody vegetation. Most of the trees are classified as 3

and 4 and require sanitary felling and thinning. Heterogeneity of the selected zones necessitates an individual approach to optimization of the environment.

*woody coastal vegetation plants, crop-engineering condition, river bed, vitality*

## ВВЕДЕНИЕ

Новые объекты зеленого строительства в большинстве своем устраиваются с использованием территориальных резервов – в поймах малых рек и водоемов, на участках несанкционированных свалок и пустырях. Пойменные территории обладают огромным потенциалом. Зброшенные и забытые берега малых рек часто очень колоритны, имеют свою историю и могут стать бесценным источником вдохновения для создания культурного ландшафта. Эти зоны, граничащие с жилыми застройками, после их облагораживания становятся любимыми местами отдыха и прогулок [1-4].

Система территорий вдоль речных долин пронизывает все функциональные зоны города, поэтому работы по обследованию и благоустройству ведутся на территориях жилых районов и промышленных зон. В Калининграде практически все пойменные территории малых рек изначально находятся в запущенном состоянии: там размещены несанкционированные свалки, в том числе крупногабаритного мусора; для нарушенных берегов свойственны процессы эрозии, подтопления, заболачивания, оползни; деградированы растительные покровы и естественные экосистемы [5].

Цель статьи – исследование дендрофлоры правобережья и левобережья р. Товарной с тем, чтобы обозначить участки для расширения русла реки с последующим созданием системы очистных сооружений и возможного рекреационного потенциала.

## ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ

Объектом исследования послужила р. Товарная, относящаяся к категории малых рек, протекающих в городской черте. Она берет начало в болотистых зарослях к югу от ул. Большой Окружной, течет в западном и северном направлениях по заболоченной низменности мимо товарной железнодорожной станции, пересекает ул. Транспортную и впадает в небольшую затоку судоремонтного предприятия на берегу Преголи [4, 5]. Обследовано более 10 км русла реки. В процессе работы произведено зонирование территории и выделено пять объектов. Перпендикулярно руслу реки заложены ландшафтно-экологические ряды протяженностью по 25 м. **Анализ дендрофлоры по пяти объектам выполнен в одном ключе. В статье приведены результаты и обсуждение по двум первым объектам.**

Характеристика объектов:

Объект № 1 – ул. Транспортная – ул. Суворова. Для удобства обследование производилось от гавани против течения. Протяженность 1-го объекта – 1,5 км. Ширина русла варьирует, самый широкий его участок составляет 10 м, местами наблюдаются разливы и заболоченность. Берега заросли травянистой растительностью, характерной для прибрежно-водных экосистем. Это тростниковые ценозы, рогоз, кубышка желтая, бутомус, крупнотравные и мелкотравные осоки. Доминирует тростник.

Объект № 2 – ул. Суворова – ул. Киевская (до моста и ж/д путей). Протяженность – 1,2 км. Массовые разливы, формирующие пруды (болотца). Большое количество ответвлений рукавов как правобережья, так и левобережья. Та же картина, что и на объекте №1. Вдоль правого берега имеются одиночные постройки – гаражи, склады. Через русло и вдоль него на отдельных участках проходят трубы теплотрасс. Русло заросло тростником как по береговой линии, так и в центральной части. На отдельных участках берегов преобладает древесная растительность, подступающая к руслу. Заросли ивняка. Разделительными элементами между объектами выступают мосты, железные дороги и трассы.

В работе использованы методы полевых лесотаксационных и геоботанических исследований, карта-схема размещения древесных насаждений. Для определения виталитета популяций использована методика «Оценка состояния городских зеленых насаждений (деревья, кустарники, травяной покров)» [7], а категорий жизненного состояния – «Руководство по планированию, организации и ведению лесопатологических обследований» (табл. 1) [8]. Полевые материалы представлены в виде таксационных ведомостей, где учтены следующие параметры: номер на схеме, порода, диаметр ствола, характеристика жизненного состояния, категория жизненного состояния, рекомендации (табл. 2, фрагмент). Количество обследованных экземпляров по каждому объекту от 87 до 558.

**Таблица 1. Шкала категорий состояния деревьев**

Table 1. Scale of categories of trees states

Категории деревьев	Признаки категорий состояния	
	Хвойные	Лиственные
1	2	
31 – без признаков ослабления	Крона густая, хвоя (листва) зеленая, прирост текущего года нормального размера для данной породы, возраста и условий место-произрастания	
2 – ослабленные	Крона разреженная; хвоя светло-зеленая; прирост уменьшен, но не более чем наполовину; отдельные ветви засохли	Крона разреженная; листва светло-зеленая; прирост уменьшен, но не более чем наполовину; отдельные ветви засохли; единичные водяные побеги
3 – сильно ослабленные	Крона ажурная; хвоя светло-зеленая, матовая; прирост слабый, менее половины обычного; усыхание ветвей до 2/3 кроны	Крона ажурная; листва мелкая, светло-зеленая; прирост слабый, менее половины обычного; усыхание ветвей до 2/3 кроны; обильные водяные побеги
4 – усыхающие	Крона сильно ажурная; хвоя серая, желтоватая или желто-зеленая; прирост очень слабый или отсутствует; усыхание более 2/3 ветвей	Крона сильно ажурная; листва мелкая, редкая, светло-зеленая или желтоватая; прирост очень слабый или отсутствует; усыхание более 2/3 ветвей
5 – свежий сухостой	Хвоя (листва) серая, желтая или красно-бурая; частичное опадение коры	Листва увяла или отсутствует; частичное опадение коры

Окончание табл. 1

1	2
6 – старый сухостой	Живая хвоя (листва) отсутствует; кора и мелкие веточки осыпались частично или полностью; стволовые вредители вылетели; на стволе грибница дереворазрушающих грибов

**Таблица 2. Состояние зелёных насаждений на объекте 2 (фрагмент)**

Table 2. State of green plants on site 2

№ п/п	номер на схеме	Порода дерева	Диаметр ствола, см	Характеристика жизненного состояния	Категории жизненного состояния	Рекомендации
1	1	Ольха белая <i>Alnus incana</i> L.	35	Сухие ветви (более 5 шт.), стволовые дупла, мох, корневая гниль, обдир коры >10 %, волчковые побеги	4 – отмирающее	Санитарная рубка
2	2	Ольха белая <i>Alnus incana</i> L.	34	Сухие ветви (более 5 шт.), повреждение корней, стволовые дупла, изреженность кроны более 10 %	3– сильно ослабленное	Санитарная рубка
3	3	Ольха белая <i>Alnus incana</i> L.	32	Сухие ветви более (5 шт.), повреждение корней, волчковые побеги, изреженность кроны более 10 %	3 – сильно ослабленное	Санитарная рубка
4	14	Ольха белая <i>Alnus incana</i> L.	35	Изреженность крон более 10 %, сухие ветви (до 5 шт.)	2 – ослабленное	Сохранить

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате флористического и культуртехнического обследования зеленых насаждений по первому объекту был определен видовой состав 148 деревьев, а также их категории и характеристики жизненного состояния, отмечено наличие повреждений, поражений болезнями и вредителями.

В настоящее время преобладающими видами на объектах первой группы являются ива белая и ольха серая. Доля их участия в видовом составе зеленых насаждений составляет 70,4 % и 13,5 %. Ива белая утратила свою эдификаторную роль: 75 обследованных деревьев относятся к категории 3 и 4 и подлежат санитарной рубке. Этот вид – гигрофит и выдерживает длительное подтопление, тем не менее ежегодные разливы и подтопления, продолжающиеся более 45 дней, чаще всего и приводят к необходимости вырубки.

Остальные виды представлены малочисленными ценозами и представляют собой убывающий ряд: липа сердцевидная, клен остролистный, ясень обыкновенный. Количество особей каждого вида деревьев, отнесённых к различным категориям состояния, отражено в табл. 3.

Таблица 3. Видовой состав и категория жизненного состояния зеленых насаждений объекта 1

Table 3. Species composition and category of life state of green plants on site 1

Порода, вид	Категории жизненного состояния, экз.					
	1	2	3	4	5	6
Ива белая <i>Salix alba</i> L.	-	4	50	51	5	-
Ясень обыкновенный <i>Fraxinus excelsior</i> L.	-	-	4	3	-	-
Берёза бородавчатая <i>betula pendula</i> L.	1	-	-	-	-	-
Липа сердцевидная <i>Tilia cordata</i> L.	-	5	-	-	-	-
Ольха серая <i>Alnus incana</i> L.	-	6	10	2	1	-
Яблоня домашняя <i>Malus domestica</i> Borkh.	1	-	-	-	-	-
Клен белый <i>Acer pseudoplatanus</i> L.	1	-	-	-	-	-
Клен остролистный <i>Acer platanoides</i> L.	-	-	2	1	-	-
Ива козья <i>Salix caprea</i> L.	-	-	1	-	-	-
Итого	3	15	67	57	6	

По принятой шкале жизненного состояния выявлены следующие категории:

- 1 – без признаков ослабления – 3 экз.;
- 2 – ослабленные, усыхание отдельных ветвей - 15 шт. (56,0 %);
- 3 – сильно ослабленные, усыхание ветвей до 2/3 - 67 шт. (12,5 %);
- 4 – усыхающие, усыхание более 2/3 ветвей - 57 шт. (6,7 %);
- 5 – свежий сухостой, листва отсутствует, частичное опадение коры - 6 шт. (0,1 %);
- 6 – старый сухостой, кора и мелкие веточки осыпалась – отсутствует

Градации виталитета (жизненности) доминирующих видов деревьев по объектам первой группы представлены в табл. 4.

В результате культуртехнического обследования зеленых насаждений по второму объекту были определены видовой состав 87 деревьев, категории и характеристики их жизненного состояния. Отмечено наличие повреждений, поражений болезнями и вредителями.

Таблица 4. Градации виталитета доминирующих видов деревьев по объектам первой группы, %

Table 4. Level of vitality of the dominant tree species on sites of the first group, %

Вид	Градации виталитета, %				
	Здоровые	Ослабленные	Сильно ослабленные	Усыхающие	Свежий сухостой
Ива белая <i>Salix alba</i> L.	27,5	54,5	13,0	4,6	0,2
Ольха серая L. <i>Alnus incana</i> L.	27,8	50,7	14,1	7,4	-

В настоящее время преобладающим видом на объектах второй группы является ива белая. Доля её участия в видовом составе зеленых насаждений составляет 85 %, фактически моноценозы вида заняли ключевые позиции среди древесных насаждений. Однако большая часть популяции отнесена к категориям 3 и 4, что говорит о явном ее неблагополучии. Все возрастные группы поражены вредителями и болезнями. Виргинильная группа (группа подроста) испытывает те же проблемы, что и другие возрастные категории, а это говорит о том, что у популяции в сложившихся экологических условиях нет будущего. Подобная ситуация характерна и для первого объекта.

Остальные виды представлены в следующих процентных соотношениях: осина обыкновенная – 11,5 %, прочие виды представлены единичными особями. Количество особей каждого вида деревьев, отнесённых к различным категориям состояния, отражено в табл. 5.

Таблица 5. Видовой состав и категория жизненного состояния зеленых насаждений объекта 2

Table 5. Species composition and category of life state of green plants on site 2

Порода, вид	Категории жизненного состояния, шт.					
	1	2	3	4	5	6
Ива белая <i>Salix alba</i> L.	-	4	35	31	4	-
Осина обыкновенная <i>Populus tremula</i> L.	-	5	3	-	2	-
Ольха серая <i>Alnus incana</i> L.	-	-	1	-	-	-
Дуб черешчатый <i>Quercus robur</i> L.	-	1	-	-	-	-
Ясень обыкновенный <i>Fraxinus excelsior</i> L.	-	-	1	-	-	-
Итого		10	40	31	6	

По принятой шкале жизненного состояния выявлены следующие категории:

1 – без признаков ослабления – отсутствуют;

- 2 – ослабленные, усыхание отдельных ветвей – 10 экз. (51,2 %) ;
  - 3 – сильно ослабленные, усыхание ветвей до 2/3 – 40 экз. (8,1 %);
  - 4 – усыхающие, усыхание более 2/3 ветвей – 31 экз. (9,1 %);
  - 5 – свежий сухостой, листва отсутствует, частичное опадение коры
- 6 экз. (0,3 %);

Градации виталитета доминирующих видов деревьев по объектам второй группы представлены в табл. 6.

Таблица 6. Градации виталитета доминирующих видов деревьев по объектам второй группы, %

Table 6. Level of vitality of the dominant tree species on sites of the second group, %

Вид	Градации виталитета, %				
	здоровые	ослабленные	сильно ослабленные	усыхающие	свежий сухостой
Ива белая <i>Salix alba</i> L.	29,7	56,0	6,7	7,2	0,5
Осина обыкновенная <i>Populus tremula</i> L.	44,9	42,3	3,8	9,0	-

В целом реакция растений строго индивидуальна на режимы подтопления, переувлажнения и заболачивания. Некоторые виды растений по урбанизированным градиентам сохраняют постоянство ряда основных морфометрических параметров и уровень виталитета. Это касается в основном популяций парковых экосистем [8-10].

### ВЫВОДЫ

В каждой группе объектов, независимо от уровня антропогенной нагрузки, а также степени подтопления и заболачивания, количество ослабленных деревьев преобладает над здоровыми особями. Это говорит о том, что в целом экологическая обстановка в пойме р. Товарной неблагоприятна для их произрастания.

Всего выявлено 235 видов древесной растительности, доминируют представители семейств: ивовые, березовые, кленовые. Наибольшее видовое разнообразие выявлено на объекте 1,3,5, что связано с режимом увлажнения и гетерогенностью эдафотопы.

Наименьшее количество ослабленных и усыхающих деревьев отмечено в популяциях липы сердцевидной и клена белого, а максимальное количество обнаружено в ценозах ольхи серой (*Alnus incana* L.) и ивы белой (*Salix alba* L.). Фактически здоровых экземпляров в условиях поймы не обнаружено, популяции находятся в стадии деградации.

Рекомендации:

1. На основании картографических материалов и перечетных ведомостей необходимо провести санитарные рубки и рубки ухода по выделенным объектам.

2. Провести культуртехнические работы, связанные с очищением береговой линии, прибрежной территории, расширением русла; мелиоративные работы; установку очистных сооружений.

3. Освоить в плане озеленения резервные зоны поймы, сохранить уникальную водную и прибрежно-водную травянистую растительность.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Барина, Г. М. Калининградская область. Климат / Г. М. Барина. – Калининград: ФГУИПП «Янтарный сказ», 2002. – 196 с.
2. География Янтарного края России / под ред. В. В. Орлёнка. – Калининград: Изд-во «Янтарный сказ», 2004. – 416 с.
3. Горшков, С. П. Концептуальные основы геоэкологии / С. П. Горшков. – Москва: Желдориздат, 2001. – 592 с.
4. Калининградская область: очерки природы / сост. Д. Я. Беренбейм. – Калининград: Калининградское кн. изд-во, 1969. – 208 с.
5. Майдебур, И. С. Влияние загрязнения воздушного бассейна города Калининграда на анатомо-морфологические и биохимические показатели древесных растений: автореф. дис. ... канд. биол. наук 03.00.16: защищена 19.12.2006: утв. 08.04.2007 / И. С. Майдебур. – Калининград: РГУ им. И. Канта, 2006. – 22 с.
6. Оценка состояния городских зеленых насаждений (деревья, кустарники, травяной покров): метод. указ. – Калининград: КОЭБЦУ, 1996. – 9 с.
7. Министерство природных ресурсов Российской Федерации федеральное агентство лесного хозяйства приказ от 29 декабря 2007 г. N 523 об утверждении методических документов, зарегистрировано в Минюсте РФ 29.08.2007, N 10067 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.consultant.ru/>
8. Морозова, Г. Ю. Виталитетная структура популяций древесных растений в урбанизированной среде / Г. Ю. Морозова // Отечественная геоботаника: основные вехи и перспективы: всерос. науч. конф. с междунар. участием: материалы. – Санкт-Петербург, 2011. – Т.2. – С. 159-161.
9. Мурачёва, Л. С. Мониторинг лесопарковых экосистем на урбанизированных территориях Калининградской области: монография / Л. С. Мурачёва, О. М. Бедарева, В. К. Хлюстов. – Калининград: ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2013. – 250 с.
10. Hruska R. The role of natural nitrophilous vegetation in the evolution of the quality of the environment t // Colloq. phytosocoil. 1988. V. 15. P. 107-116.

#### REFERENCES

1. Barinova G. M. *Kaliningradskaja oblast'. Klimat* [The Kaliningrad region. Climate]. Kaliningrad, FGUIPP “Jantarnyj skaz”, 2002, 196 p.
2. *Geografija Jantarnogo kraja Rossii* [Geography of the amber region of Russia]. Kaliningrad, izd-vo “Jantarnyj skaz”, 2004, 416 p.
3. Gorshkov S. P. *Konceptual'nye osnovy geojekologii* [Conceptual frameworks of environmental geology]. Moscow, Zheldorizdat, 2001, 592 p.
4. *Kaliningradskaja oblast': ocherki prirody* [The Kaliningrad region: essays on the nature]. Kaliningrad, Kaliningradskoe knizhnoe izdatel'stvo, 1969, 208 p.

5. Majdebura I. S. *Vlijanie zagrjaznenija vozdušnogo bassejna goroda Kaliningrada na anatomo-morfologičeskie i biohimicheskie pokazateli drevesnyh rastenij. Avtoref. diss. kand. biol. nauk.* – Kaliningrad, RGU im. I. Kanta, 2006, 22 p.

6. *Metodicheskie ukazanija. Ocenka sostojanija gorodskih zelenyh nasazhdenij (derev'ja, kustarniki, travjanoj pokrov)* [Methodology guidelines. Status assessment of urban plantations (trees, bushes, herbage cover)]. Kaliningrad, KOJeBCU, 1996, 9 p.

7. Ob utverzhdenii metodicheskikh dokumentov [On approval of guidance documents] (vmeste s "Rukovodstvom po proektirovaniju, organizacii i vedeniju lesopatologičeskogo monitoringa", "Rukovodstvom po provedeniju sanitarno-ozdorovitel'nyh meroprijatij", "Rukovodstvom po planirovaniju, organizacii i vedeniju lesopatologičeskikh obsledovanij", "Rukovodstvom po lokalizacii i likvidacii ochagov vrednyh organizmov"). *Prikaz Rosleshoza ot 29.12.2007, № 523* [Order of Federal Forestry Agency of 29.12.2007 N 523]; zaregistrirvano v Minjuste RF 29.08.2007, № 10067.

8. Morozova G. Ju. Vitalitetnaja struktura populacij drevesnyh rastenij v urbanizirovannoj srede [Vitality structure of populations of woody plants in urban environment]. *Materialy Vserossijskoj nauchnoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem "Otechestvennaja geobotanika: osnovnye vehi i perspektivy"* [Proceedings of All-Russian scientific conference with international engagement "National plant geography: milestones and perspectives"]. Saint-Petersburg, 2011, vol. 2, pp. 159-161.

9. Murachjova L. S., Bedareva O. M., Hljustov V. K. *Monitoring lesoparkovyh jekosistem na urbanizirovannyh territorijah Kaliningradskoj oblasti* [Monitoring of forest-park ecosystems on urban lands]. Kaliningrad, FGBOU VPO "KGTU", 2013, 250 p.

10. Hruska R. The role of natural nitrophilous vegetation in the evolution of the quality of the environment. *Colloq. phytosocoil.* 1988, vol. 15, pp. 107-116.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Калинина Екатерина Андреевна* – Калининградский государственный технический университет; кандидат биологических наук, доцент кафедры агрономии; E-mail: amelija06@mail.ru

*Kalinina Ekaterina Andreevna* – Kaliningrad State Technical University; PhD, Associate Professor of the department of agriculture; E-mail: amelija06@mail.ru

*Бедарева Ольга Михайловна* – Калининградский государственный технический университет; доктор биологических наук, зав. кафедрой агрохимии и агропочвоведения; E-mail: olgabedareva@mail.ru

*Bedareva Olga Michaylovna* – Kaliningrad State Technical University; Doctor of Biology, Head of the department of agrochemistry and agropedology; E-mail: olgabedareva@mail.ru

**СУДОСТРОЕНИЕ, МАШИНОСТРОЕНИЕ  
И ЭНЕРГЕТИКА**



УДК 639.2.081

ЦЕНТР ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЯ МОРСКИХ КАТАСТРОФ  
СУДОВ ПРОМЫСЛОВОГО ФЛОТА

В. А. Бондарев, Ю. И. Нечаев

CENTER OF OPERATIONAL MONITORING OF MARINE ACCIDENTS ON  
BOARD FISHERY VESSELS

V. A. Bondarev, Yu. I. Nechaev

Обсуждается структура и функциональные элементы центра экстренных вычислений при оперативном контроле морских катастроф судов промыслового флота на основе интеграции интеллектуальных систем новых поколений и высокопроизводительных вычислений в проблемно-ориентированной динамической среде виртуального полигона. Функционирование компьютерного центра в режиме реального времени обеспечивается системной интеграцией информационного, алгоритмического и программного обеспечения на базе данных динамических измерений и структурированной базы знаний. Основное внимание уделяется обеспечению поддержки принятия решений в сложных динамических средах с использованием современной теории катастроф.

*центр экстренных вычислений, интеллектуальная система, высокопроизводительные вычисления, режим реального времени, динамическая теория катастроф*

The article considers the structure and functionality of the emergency computing center under operational monitoring of maritime accidents on board fishery vessels based on the integration of intelligent systems, and new generations of high-performance computing in problem-oriented dynamic environment of the virtual site. Real-time operation of the computer center is provided by the system integration of information, algorithmic and software based on the measurement data of dynamic and structured knowledge base. The focus is on providing support for decision-making in complex dynamic environments with the use of the modern theory of catastrophes.

*emergency computing center, intelligent system, high-performance computing, real-time mode, dynamic theory of catastrophes*

ВВЕДЕНИЕ

Анализ современного технического состояния судов рыбопромыслового флота и его эксплуатации на промысле, проведенный Росрыболовством в 2015-2016 гг., выявил недопустимо низкий уровень безопасности мореплавания всего флота в целом. На основании решений всероссийских конференций по безопасности рыболовных судов руководством ФАР (Федеральное агентство по рыболовству) был разработан перспективный план по восстановлению региональных центров, контролирующих безопасность рыболовных судов, модернизации

всей системы управления безопасностью мореплавания, строительства морских судов и оснащения флота новейшим оборудованием.

Одним из центральных элементов системы управления безопасностью является центр экстренных вычислений (ЦЭВ), позволяющий в режиме онлайн оказывать морским рыболовным судам, находящимся в чрезвычайной ситуации (ЧС), экстренную помощь в принятии решений.

## ОБСУЖДЕНИЕ

### 1. ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЦЕНТРА ЭКСТРЕННЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Компьютерный центр экстренных вычислений (Urgent Computing) при оперативном контроле морских катастроф представляет собой сложный интегрированный программно-аппаратный комплекс, организованный на базе виртуального полигона (Virtual Testbed) моделирования и визуализации динамики взаимодействия судна с внешней средой в различных условиях эксплуатации. Поддержка принятия решений (ППР) реализуется с помощью проблемно-ориентированных интеллектуальных систем (ИС) новых поколений. Совокупность ИС образует *интеллектуальное ядро* виртуального полигона (ВП), функциональные элементы которого обеспечивают анализ и прогноз развития текущей ситуации, генерацию альтернатив и выработку оперативных решений при контроле поведения судов промыслового флота (СПФ) в чрезвычайных ситуациях (рис. 1). Исходной информацией при оперативном контроле служат данные динамических измерений, поступающие с датчиков состояния внешней среды и поведения судна в контролируемой ситуации, а также результаты физического моделирования ситуации в гидродинамической лаборатории ЦЭВ. Моделирование и визуализация динамических ситуаций в процессе эволюции аварийного судна формируют систему ППР с целью выработки управляющих воздействий по обеспечению безопасности контролируемых судов в чрезвычайных ситуациях [1] – [21].

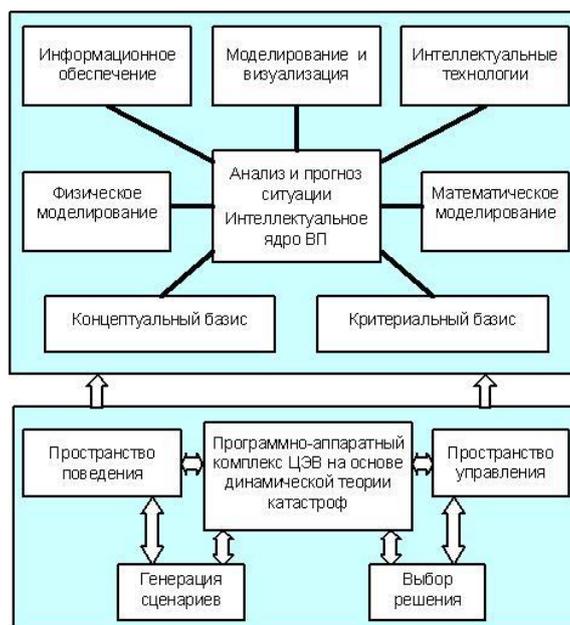


Рис. 1. Интегрированный комплекс компьютерного центра экстренных вычислений  
 Fig. 1. Integrated complex of the emergency computing center

Интегрированный комплекс ЦЭВ представляет собой активную динамическую систему (АДС) [2], предназначенную для обеспечения ППР при возникновении морских катастроф в различных районах Мирового океана. Оперативная обработка информации, генерация альтернатив, поиск стратегических решений, разработка оперативных и долгосрочных прогнозов развития чрезвычайных ситуаций осуществляются путем автоматической свертки оперативной информации в модель функционирования вычислительного комплекса ЦЭВ в режиме реального времени. Решение задач экспресс-анализа текущей ситуации и оперативного доступа к контролируемому судну ведется на основе динамической теории катастроф независимо от места нахождения судна, времени развития ситуации и состояния внешней среды. При этом обеспечивается конкурентоспособность решений и управляющих воздействий, вырабатываемых на уровне изобретений и поддержанных патентами РФ, на способы контроля мореходных качеств и прочности в различных условиях эксплуатации, особенно сложных системных сценариев взаимодействия, позволяющих подчинить обработку измерительной информации и данных моделирования долгосрочным целям и стабильности функционирования ЦЭВ.

Виртуальный инструментарий ЦЭВ представляет собой программно-аппаратный комплекс, обеспечивающий интерактивное взаимодействие оператора с компьютерной системой. Графический интерфейс выполняет роль управления и реализуется на основе имитационной модели в виде графических объектов на экране монитора. Развитие концепции управляемого дистанционного эксперимента (УДЭ) [1] в ЦЭВ связано с технологией распределенной информационной среды, обеспечивающей возможность удаленного доступа к источникам информации в виде гидродинамической лаборатории физического моделирования, береговых научно-исследовательских центров и др. Важной особенностью ЦЭВ, реализующего концепцию УДЭ, являются возможность получения первичной информации и правильная организация ее передачи между отдельными подсистемами и потребителями. Практическая реализация системы УДЭ представлена на рис. 2.

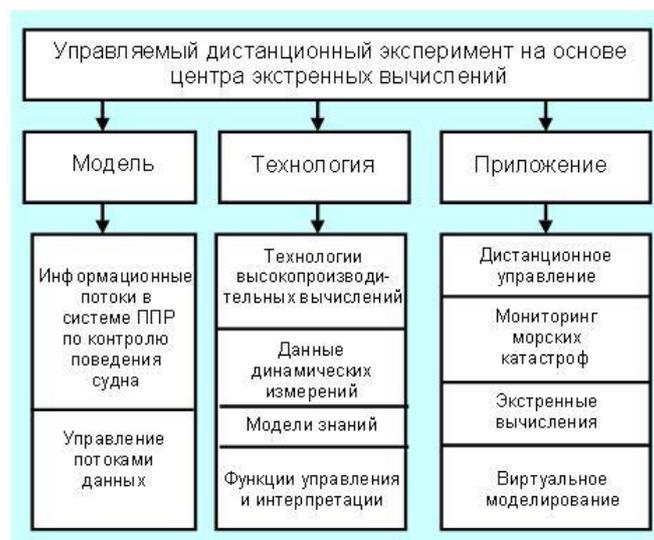


Рис. 2. Структурная схема управляемого дистанционного эксперимента

Fig. 2 Block diagram of manageable remote experiment

Программно-аппаратный комплекс ЦЭВ на основе УДЭ ориентирован на решение широкого спектра задач сбора, обработки, передачи и представления информации в условиях удаленного доступа к ее источникам. Управление распределенными элементами комплекса осуществляется управляющим сервером через среду вычислительных сетей Internet. При этом важное значение имеет *модель эксперимента*, которая рассматривается как сложный информационный процесс, представленный иерархией взаимосвязанных компонент сбора, обработки, передачи и представления информации, разнесенных во времени и пространстве.

Таким образом, *актуальность проблемы* создания интеллектуального ядра ЦЭВ определяется авариями СПФ от потери мореходных качеств и прочности, а также возникшей потребностью в развитии теоретических и концептуальных решений в системах ППР на базе интеллектуальных технологий и высокопроизводительных вычислений. Основанием для создания ЦЭВ является рост вычислительных ресурсов, а основным направлением эволюции компьютерных технологий – их интеллектуализация. Выработка *стратегических решений* при функционировании ЦЭВ позволяет формализовать сложные задачи моделирования и интерпретации поведения аварийного судна в трудноформализуемых средах. Общенаучная основа решения задач интерпретации динамики взаимодействия определяет «концептуальный мост» между фактами и механизмами взаимодействия при комплексном изучении чрезвычайных ситуаций переходом от содержательной постановки задач к их математической и научно-технической реализации.

## 2. СТРУКТУРНЫЕ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ КОМПОНЕНТЫ КОМПЛЕКСА

**Управляющая инфраструктура ЦЭВ основана на реализации динамической теории катастроф и обеспечивает решение взаимосвязанных задач экстренных вычислений при оперативной обработке информации в высокопроизводительной вычислительной среде с помощью ВП, который представляет собой интегрированный информационно-управляющий комплекс на основе многоуровневых ИС новых поколений:**

$$U(VT) = \langle (UI), (MV), (IP), (IT), (IFA) \rangle, \quad (1)$$

где  $\langle \bullet \rangle$  – функциональные блоки: (UI) – управление и интерпретация компонент ВП, включающее диалоговую систему управления, анализ состояний судна и внешней среды, выработку управляющих воздействий и практических рекомендаций по их реализации на основе проблемно-ориентированных ИС; (MV) – моделирование и визуализация, обеспечивающие представление данных с использованием элементов когнитивной графики; (IP) – информационное обеспечение функций оперативного и долгосрочного планирования сценариев развития чрезвычайных ситуаций; (IT) – интеллектуальные технологии, содержащие модели «мягких вычислений» [3] и выявления «скрытых» знаний [4]; (IFA) – модель «облачных» вычислений [5] на базе информационной, функциональной и аппаратной конфигурации.

В рамках такой интеграции сочетаются строгие формальные методы интерпретации информации при решении задач динамики аварийного судна с эвристическими методами и моделями, базирующимися на достижениях современной теории катастроф и интеллектуальных технологий. Система включает ряд взаи-

модействующих модулей в соответствии с общей стратегией функционирования (рис. 3). Помимо традиционных для систем интеллектуальной поддержки модулей она содержит модули имитации, анализа и прогноза ситуации (моделирование и визуализация), организации различных видов интерфейса.

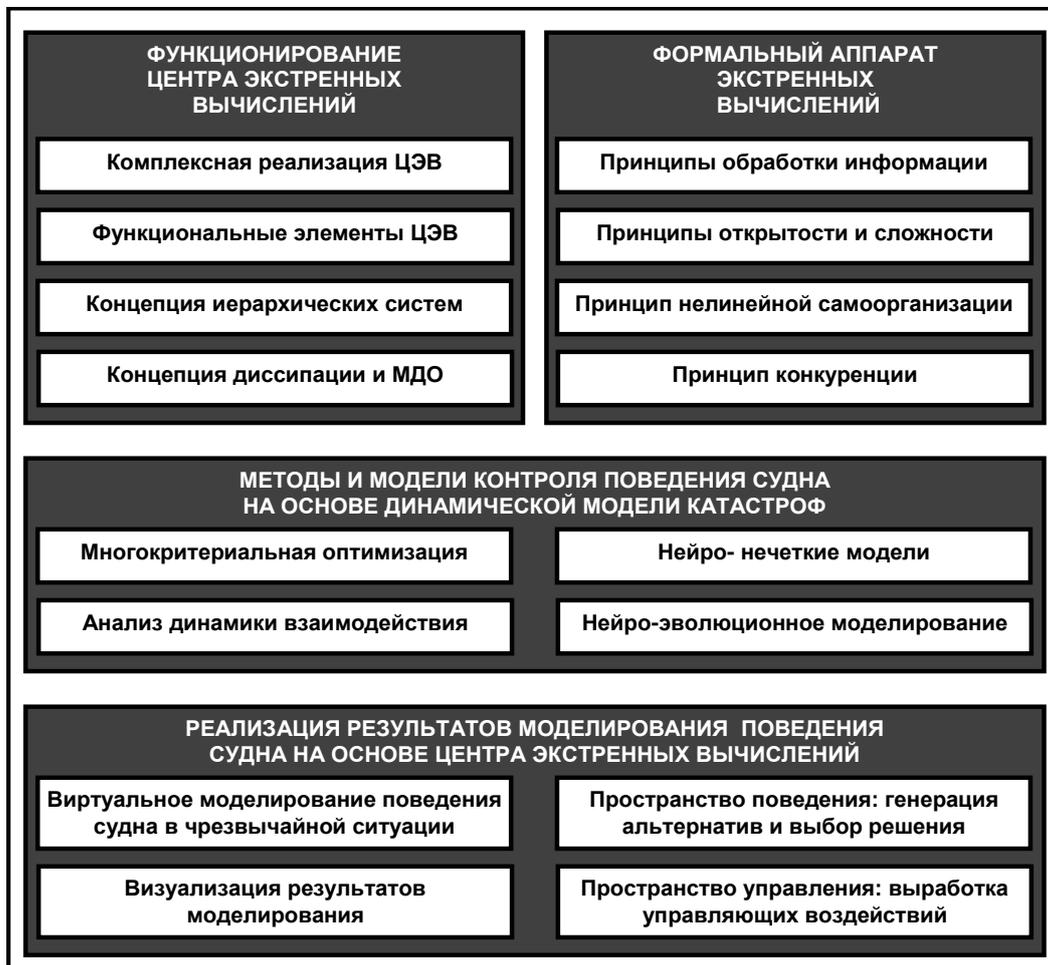


Рис. 3. Поток информации при функционировании ЦЭВ  
 Fig. 3. Information flow in the operation of emergency computing center

Концептуальная модель обработки информации при функционировании ЦЭВ имеет вид:

$$S(U) = \langle F(Com): \{T(t, \tau) \times X(KB) \times Q(V, W)\} \rightarrow Y(R) \rangle, \quad (2)$$

где  $S(U)$  определяет множество стратегий управления, а ее компоненты представляют следующие структуры:  $F(Com)$  – множество элементов, реализующих принцип конкуренции (Competition principle);  $T(t, \tau)$  – множество моментов времени, определяющих модель развития чрезвычайных ситуаций;  $X(KB)$  – множество элементов оперативной базы данных;  $Q(V, W)$  – множество значений вектора входных воздействий параметров судна и внешней среды;  $\{T(t, \tau) \times X(KB) \times Q(V, W)\}$  – множество закономерностей в данных;  $Y(R)$  – множество правил обобщения информации;  $\tau$  – интервал реализации.

Анализ задач, решаемых в рамках ЦЭВ, позволяет выделить ряд особенностей:

- сложность алгоритмов и большое количество исходных данных с существенно различной структурой;
- жесткие требования к производительности вычислительной системы, необходимость вычислений в интерактивном режиме, близком к режиму реального времени;
- операции с множеством разнообразных по своим свойствам объектов и отношений между ними.

Расширение функциональных возможностей интеллектуального ядра ВП достигается путем интеграции графической и аналитической компонент теории катастроф. Такая интеграция позволяет реализовать взаимосвязь динамической теории катастроф [6] с функциональными блоками ВП при реализации высокопроизводительных вычислений в задачах контроля чрезвычайных ситуаций.

Выработка управляющих воздействий осуществляется с учетом опасности ситуации в автоматическом и автоматизированном режимах путем обработки результатов оценки и прогноза развития ситуации. Автоматический режим обеспечивается в алгоритмическом контуре программного управления на основе результатов моделирования и формализованной системы знаний, а автоматизированный режим – в алгоритмическом контуре адаптивного управления с применением результатов моделирования и априорной информации. Формирование управления реализуется в зависимости от критичности возникающих ситуаций. В условиях неопределенности оценка ведется с использованием относительной энтропии [7].

Оперативный модуль ЦЭВ осуществляет контроль развития ситуации и анализ состояния аварийного судна при различном уровне внешних возмущений на основе концептуальной модели, построенной с заданными ограничениями, условиями функционирования и приоритетами. Принципы организации информационных потоков реализуют концепцию минимальной длины описания А. Н. Колмогорова [8], принцип бифуркационного управления Н. Н. Моисеева [9], методы решения некорректных задач А. Н. Тихонова [10] и теорию сложности [11].

Концепция динамической теории катастроф определяет исследование поведения аварийного судна в чрезвычайной ситуации в рамках пространственно-временной интерпретации [6]. Формальная модель преобразования информации имеет вид

$$\{R_1^n(t) \times R_1^r(t) \rightarrow R_1(t), \dots, R_m^n(t) \times R_m^r(t) \rightarrow R_m(t)\}, \quad (3)$$

где  $\{R_1^n(t), \dots, R_m^n(t)\}$  – пространство поведения, а  $\{R_1^r(t), \dots, R_m^r(t)\}$  – пространство управления, определяющие результат преобразования информации, на основании которого осуществляется реконструкция исходной формальной модели катастрофы;  $j = 1, \dots, m$  – последовательность событий, определяющих эволюцию системы.

Для отображения динамики аварийного судна в процессе эволюции рассматриваются участки квазистационарности [6], [7]. Физическая интерпретация особенностей динамики взаимодействия на этих участках ведется в рамках синергетической теории управления [2]. В качестве оператора нелинейного преобразования информации на участках квазистационарности используется модель

$$f_j(\bullet): R_j^n(t) \times R_j^r(t) \rightarrow R_j(t), \quad (4)$$

где  $R_j^n(t)$ ,  $R_j^r(t)$ ,  $R_j(t)$  — пространства внутренних и внешних переменных, управляемые посредством функции  $f(\bullet)$ , которая с учетом принятых допущений может быть рассмотрена как гладкая функция.

Структура ЦЭВ включает наиболее важные компоненты, обеспечивающие цепочку преобразования информации в соответствии с представлением:

$$R^n \times R^r : \langle AF \rightarrow SU \rightarrow DS \rangle \quad (5)$$

где  $R^n$  – пространство поведения;  $R^r$  – пространство управления; AF – анализ и прогноз ситуации; SU – выработка стратегий управления; DS – принятие решений и оперативное управление.

Модель функционирования интегрированного комплекса ЦЭВ на основе динамической теории катастроф содержит множество элементов на интервале реализации:

$$Set(E)t = \langle Set(Appr)t \cup Set(Ident)t \cup Set(For)t \rangle, t \in [t_0, t_k], \quad (6)$$

где кортеж  $\langle \bullet \rangle$  определяет пространства  $R^n$  и  $R^r$ , интегрирующие множества задач идентификации  $Set(Ident)$ , аппроксимации  $Set(Appr)$  и прогноза  $Set(For)$ .

Многоуровневая декомпозиция (6) позволяет представить функции ЦЭВ в виде иерархии вложенных элементов, задающих его структуру. Теория АДС объединяет общесистемные представления о методологии исследования сложных систем и управления с помощью моделей принятия решений. Управляющий модуль ЦЭВ координирует взаимодействие всех элементов иерархической структуры с помощью ориентированного ациклического графа  $G$  с множеством вершин  $V$  и множеством дуг  $E$ :

$$G = \langle V, E \rangle, V = N \cup M, E \subseteq V \times M, \quad (7)$$

где  $N$  – конечное множество программной реализации;  $M$  – множество управляющих структур.

Обработка информации в ЦЭВ опирается на набор рекуррентных правил, порождающих структуры интерпретации на данном *иерархическом* уровне и сжимающих информацию на более высоком *когнитивном* уровне в соответствии с теоретическими результатами [6, 7] и приведенными ниже определениями и утверждениями.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ 1.** ЦЭВ функционирует на основе динамической теории катастроф, определяющей конфигурацию среды систем раннего предупреждения (Early Warning System – EWS) на основании интеллектуальных технологий и высокопроизводительных вычислений [12].

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ 2.** Построение модели функционирования ЦЭВ ведется путем структурного и параметрического синтеза. Технология *гибридного моделирования* и концепция Global System Science (GSS) [12] направлена на исследование и предсказание поведения сложных систем, взаимосвязи их элементов, а также выработки стратегий ППР в чрезвычайных ситуациях.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ 3.** Технология обработки *больших объемов данных* (BigData) [13] при интерпретации динамической теории катастроф определяет поток данных (WorkFlow) в рамках сервисно-ориентированной архитектуры (Service Oriented Architecture – SOA) [14]. Реализация этой технологии ведется на базе ВП

ЦЭВ. Контроль динамики взаимодействия удаленных объектов поддерживается в режиме реального времени с помощью системы УДЭ [1].

УТВЕРЖДЕНИЕ 1. *Связи* в ЦЭВ на базе динамической теории катастроф играют существенную роль при возникновении пространственных структур взаимодействия аварийного судна с внешней средой. Функции связи реализуются через последовательность неустойчивостей (потеря мореходных качеств и прочности), которые приводят к нарушению симметрии, созданию и поддержанию аттракторных множеств, сжимающих эти структуры.

УТВЕРЖДЕНИЕ 2. *Степень симметрии* функциональных элементов ЦЭВ определяет число альтернативных описаний пространства взаимодействия аварийного судна с внешней средой. Конфигурация пространства симметрична, если после некоторого преобразования с помощью управляющих воздействий она сохраняет структуру, характерную до преобразования.

УТВЕРЖДЕНИЕ 3. Симметрия определяет *инвариантность* относительно сдвига по времени. Характерными являются инварианты, связанные с симметрией в пространстве и времени. Сильная асимметрия отмечается в сложных неустойчивых структурах взаимодействия в чрезвычайных ситуациях. Нарушение симметрии приводит к бифуркациям с ветвлением решений. *Скрытая симметрия* отмечается при значительной неопределенности и устанавливается на основе гипотез и упрощающих предположений.

### 3. СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И СИНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ПАРАДИГМА ПРИ ОБРАБОТКЕ ИНФОРМАЦИИ

Системный анализ [15] представляет собой всестороннее исследование динамики аварийного судна в рамках *междисциплинарного подхода*. Это обеспечивает многопредметность описания процесса взаимодействия в чрезвычайных ситуациях при построении базы знаний вычислительного комплекса ЦЭВ путем учета взаимосвязанных факторов, определяющих результаты развития текущей ситуации. Аргументированная оценка значения каждого из факторов и их совокупности, степени влияния на аварийное судно позволяет получить развернутую объективную картину взаимодействия. Методология системных исследований нашла отражение при формализации знаний на основе закона системной декомпозиции. Сформулированные модели знаний направлены на целостное изучение особенностей взаимодействия с использованием динамической теории катастроф и теоретических принципов, отражающих общие и наиболее существенные особенности изучаемого процесса:

ПРИНЦИП 1. *Структурно-функциональное и динамическое единство*, позволяющее описывать особенности функционирования и развития чрезвычайной ситуации в их единстве с учетом свойств взаимодействующих процессов во всем их многообразии. Это способствует более глубокому объяснению динамики взаимодействия, раскрытию характера поведения аварийного судна при различном характере внешних возмущений.

ПРИНЦИП 2. *Многоуровневость*, обеспечивающая изучение динамики аварийного судна как определенную целостность и как структуру, включенную в более сложную систему мониторинга чрезвычайных ситуаций, что позволяет исследовать общие закономерности системы и единичные черты объектов взаимодействия. При многоуровневом описании интерпретации поведения аварийного

судна каждый из уровней может быть разбит на ряд подуровней, отражающих глубину проникновения в сущность исследуемого процесса взаимодействия на каждом уровне.

**ПРИНЦИП 3.** *Причинно-следственные связи*, определяющие глубокое изучение причинно-следственного развития чрезвычайной ситуации и позволяющие восстанавливать неизвестные причины и конкретные особенности поведения аварийного судна и внешней среды в рамках динамической модели катастроф. Технология достижения целостности познания особенностей чрезвычайной ситуации требует не просто применения совокупности методов контроля, но и выработки управляющих воздействий путем обобщения полученных знаний в единую научную картину развития ситуации, практического применения полученных решений.

Парадигма обработки информации при выработке решений реализуется в мультипроцессорной вычислительной среде. Теоретические принципы, положенные в основу этой парадигмы, обеспечивают выбор предпочтительной вычислительной технологии и формализацию нечеткой информации при интерпретации поведения судна в чрезвычайной ситуации. Формальный аппарат такого подхода реализуется на основе синергетической теории управления:

**ПРОЦЕДУРА 1.** Используя гипотезу квазистационарности, представим синергетическое управление  $\pi(S)$  системой ППР в виде последовательности:

$$\pi(S) = f_j(\bullet) | \Delta t_1, \dots, f_n(\bullet) | \Delta t_n, \quad (8)$$

где  $f_j(\bullet)$  — закон управления на  $j$ -м этапе эволюции аварийного судна ( $j=1, \dots, n$ ), определяющий корректировку параметров порядка;  $\Delta t_j$  — длительность этапов эволюции.

Фазы «расширения – сжатия» при реализации синергетической парадигмы [2] иллюстрируют модель преобразования информации в виде эллиптических структур в процессе эволюции системы контроля на интервале реализации.

**ПРОЦЕДУРА 2.** *Фаза сжатия* (фаза движения системы к целевому аттрактору) на интервале

$$[t_1, t_2] \subseteq \Delta t_j \quad (j = 1, \dots, n) \quad (9)$$

характеризуется оператором перехода

$$\mathfrak{R}\{[t_1, t_2], R(S)\}: X(t_1), u([t_1, t_2]), W([t_1, t_2]) \rightarrow X(t_2), \quad (10)$$

где  $u([t_1, t_2])$  — управление на заданном интервале времени;  $W([t_1, t_2])$  — действующие возмущения;  $R(S)$  – доступные ресурсы.

Критерий качества работы оператора перехода определяет максимальное соответствие ситуации действительности (адекватность) в момент времени  $t_2$ :

$$J(S) \{X(t_2)Y(t_2) \rightarrow \min\}, u \in [t_1, t_2] \quad (11)$$

**ПРОЦЕДУРА 3.** *Фаза расширения* при отображении динамики аварийного судна определяется моделью адекватной системы знаний:

$$KB(S) = \{f(\bullet) | \mu : KB^1 \rightarrow KB^2\} \cup R(KT), \quad (12)$$

где  $f(\bullet) | \mu$  – отображения, реализующие математические модели;  $\mu$  – механизмы реализации отображений;  $KB^1$  и  $KB^2$  — входные и выходные данные задачи;  $R(KT)$  – правила композиции, описывающие способы объединения локальных задач.

Общая формальная модель знаний, интегрирующая используемые классы математических моделей динамики аварийного судна в чрезвычайной ситуации, представляется как

$$\Phi_1\{f(\bullet)|\mu\}, \dots, \Phi_5\{f(\bullet)|\mu\}, \quad (13)$$

где  $\Phi_j\{f(\bullet)|\mu\}$ , ( $j=1, \dots, 5$ ) – функции, определяющие классы используемых моделей:  $\Phi_1\{f(\bullet)|\mu\}$  и  $\Phi_2\{f(\bullet)|\mu\}$  – вычислительные и диагностические модели;  $\Phi_3\{f(\bullet)|\mu\}$  – модели, описывающие характерные точки, кривые и области, определяющие топологию катастрофы;  $\Phi_4\{f(\bullet)|\mu\}$  — модели анализа и прогноза чрезвычайной ситуации;  $\Phi_5\{f(\bullet)|\mu\}$  — модели динамической базы знаний.

Реализация синергетического управления системой ППР при использовании методов теории катастроф связана с разработкой концептуальной базы интеллектуальной поддержки высокопроизводительных вычислений в мультипроцессорной вычислительной среде. При решении этой задачи основное внимание было обращено на формулировку следующих аспектов динамики аварийного судна в чрезвычайной ситуации:

- обоснование механизмов реализации концепции динамической модели катастроф в форме структурированной и формализованной информации, определяющей среду виртуального моделирования;
- построение модели взаимодействия при реализации компонент исследуемой катастрофы на интервале реализации;
- интеграция отдельных подзадач интерпретации в единую предметную область и ее отображение в компьютерной программе.

Среди исходных положений можно выделить «динамическое ядро», задающее тенденции развития чрезвычайных ситуаций, и набор условий, в которых они действуют. Этот набор может изменяться и расширяться в зависимости от особенностей ЦЭВ. Ядро же разрабатываемой теории может быть сведено к ограниченному числу принципов, центральным из которых является *принцип оптимальности*, а скрытые механизмы его достижения весьма многочисленны и сложны. Другим фактором является энтропия системы взаимодействия аварийного судна с внешней средой, которая определяется как мера неопределенности чрезвычайной ситуации или как мера разнообразия возможных ее состояний. С энтропией тесно связано понятие *степеней свободы* аварийного судна как числа независимых переменных, которыми описывается его состояние, а также принцип *максимума энтропии*, позволяющий находить устойчивое равновесное состояние для широкого класса взаимодействующих систем.

Целью исследований при функционировании интеллектуального ядра ЦЭВ является повышение эффективности принятия решений при контроле поведения аварийного судна на основе динамической теории катастроф. Достижение цели обеспечивается путем создания ВП в виде совокупности ИС новых поколений, формирующих гибкое информационное пространство исследования поведения аварийного судна, обеспечивающее повышение эффективности ППР на базе моделирования и визуализации чрезвычайных ситуаций.

При интерпретации экстренных вычислений в задачах контроля поведения аварийного судна на основе динамической теории катастроф возникает ряд задач, требующих подходов, сформулированных в работе [5]. Среди них следует выделить задачу оценки экстремума функции на интервале реализации. Эта задача от-

носится к числу *некорректно поставленных*, широким классом которых в рассматриваемых приложениях являются *обратные задачи* определения количественных характеристик по результатам измерения их косвенных проявлений.

Применение подходов, изложенных в работе [5], связано с задачами поиска экстремальных знаний функции интерпретации на интервале реализации, а также восстановления спектра возмущений с использованием обратного преобразования спектров в нелинейных системах на основе метода итераций [6]. Многие задачи обработки измерительной информации в задачах идентификации, аппроксимации и прогноза основаны на реализации некорректно поставленных и обратных задач нахождения пространственно-временных характеристик динамических объектов.

### ВЫВОДЫ

В результате исследований предусматривается создание программного комплекса ЦЭВ и демонстрация его функциональности в различных условиях эксплуатации на базе интеллектуальных технологий для моделирования и визуализации динамических ситуаций в системах контроля поведения аварийного судна в чрезвычайных ситуациях. Для достижения поставленной цели предусматривается решение следующих основных задач:

- формирование научно-технологического задела поведения аварийного судна на основе динамической теории катастроф с использованием результатов фундаментальных и прикладных исследований;

- обеспечение решения качественно новых по объему и сложности задач контроля морских катастроф, а также повышение результативности выполняемых исследований и разработок в практических приложениях;

- обеспечение интеграции и результативности, а также координации исследований и разработок на основе развития научно-технических связей ЦЭВ с организациями-разработчиками адаптивных систем управления безопасностью мореплавания.

Решение указанных задач обеспечит достижение цели создания ЦЭВ – повышение эффективности ППР на основе моделирования и визуализации динамики взаимодействия судна с внешней средой в чрезвычайных ситуациях. Концептуальные решения, определяющие проблему связности, сложности и устойчивости ЦЭВ, направлены на обеспечение принципа адаптируемости и отражают тенденцию развития систем ППР – адекватное описание иерархической организации и выявление существенных функционально-значимых взаимодействующих элементов системы.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Андреев, С. В. Интеллектуальный WEB-сервер управления дистанционным экспериментом / С. В. Андреев, В. П. Шкодырев // Международная конференция по мягким вычислениям и измерениями SCM-2001: труды. – Санкт-Петербург, 2001. – Т.1. – С. 274-277.

2. Новиков, Д. А. Курс теории активных систем / Д. А. Новиков, С.Н. Петраков. – Москва: СИНТЕГ, 1999. – 104 с.

3. Zadeh L. Fuzzy logic, neural networks and soft computing // Commutation on the ASM-1994. Vol.37. №3, p.p.77–84.
4. Методы и модели анализа данных: OLAP и Data Mining / А. А. Барсегян [и др.]. – Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2004.
5. GTSI Cloud Computing Maturity Model [электронный ресурс] [http://www.gtsi.com/sms/documents/White-Papers/Cloud Compuing.pdf](http://www.gtsi.com/sms/documents/White-Papers/Cloud%20Compuing.pdf)
6. Нечаев, Ю. И. Теория катастроф: современный подход при принятии решений / Ю.И. Нечаев. – Санкт-Петербург: Арт-Экспресс, 2011.
7. Нечаев, Ю. И. Топология нелинейных нестационарных систем: эволюционное / Ю.И. Нечаев. – Санкт-Петербург: Арт-Экспресс, 2015.
8. Колмогоров, А. Н. Теория информации и теория алгоритмов / А. Н. Колмогоров. – Москва: Наука, 1987.
9. Моисеев, Н. Н. Избранные труды / Н. Н. Моисеев. – Москва: Тайрекс Ко, 2003.
10. Тихонов, А. Н. Методы решения некорректных задач / А. Н. Тихонов, В. Я. Арсенин. – Москва: Наука, 1986.
11. Солодовников, В. В. Теория сложности и проектирование систем управления / В. В. Солодовников, В. И. Тумаркин. – Москва: Наука, 1990.
12. Gallopoulos S., Housts E., Rice J. Problem Solving Environment // IEEE Computational Science and Engineering. Summer, 1994.
13. Szalay A. Extreme data-intensive scientific computing // Computing in Science & Engineering. – 2011. – Т. 13. – №. 6. – С. 34-41.
14. Lublinsky B. Defining SOA as an architectural style. 9 January 2007. [Электронный ресурс]: <http://www.ibm.com/developerworks/architecture/library/ar-soastyle/>
15. Месарович М., Такахара Я. Общая теория систем: математические основы. - М.: Мир, 1978.
16. Бугакова, Н. Ю. Виртуальная среда современной теории катастроф при контроле чрезвычайных ситуаций в морской индустрии / Н. Ю. Бугакова, В. А. Волкогон, Ю. И. Нечаев // Морские интеллектуальные технологии. – 2014. – №2(24). – С. 24-29.
17. Бугакова, Н. Ю. Принципы функционирования виртуального полигона контроля чрезвычайных ситуаций судов промыслового флота методами современной теории катастроф / Н. Ю. Бугакова, Ю. И. Нечаев // Морские интеллектуальные технологии. – 2014. – №2(24). – С. 30-35.
18. Касти, Дж. Большие системы: связность, сложность и катастрофы / Касти Дж. – Москва: Мир, 1982.
19. Николис, Дж. Динамика иерархических систем: эволюционное представление / Дж. Николис. – Москва: Мир, 1989.
20. Синергетическая парадигма. Многообразие поисков и подходов. – Москва: Прогресс-Традиция, 2000.
21. Urgent Computing Workshop 2007. Argonne National Lab, University of Chicago, April 25-26, 2007. [Электронный ресурс]: <http://spruce.teragrid.org/workshop/urgent07.php>

REFERENCES

1. Andreev S. V., Shkodyrev V. P. *Intellektual'nyy WEB-server upravleniya distantsionnym eksperimentom* [Intelligent WEB-server for management of distant experiment]. *Trudy Mezhdunarodnoy konferentsii po myagkim vychisleniyam i izmereniyam SCM-2001* [Proceedings of the International conference on lenient evaluations and measurements SCM-2001]. Saint-Petersburg, 2001, vol. 1, pp. 274-277.
2. Novikov D. A., Petrakov S. N. *Kurs teorii aktivnykh sistem* [Course on the theory of active systems]. Moscow, Sinteg, 1999, 104 p.
3. Zadeh L. *Fuzzy logic, neural networks and soft computing . Sommutation on the ASM-1994*. Vol. 37, no. 3, pp. 77-84.
4. Barsegyan A. A., Kupriyanov M. S., Stepanenko V. V., Kholod I. I. *Metody i modeli analiza dannykh: OLAP i Data Mining* [Methods and data analysis models: OLAP and Data Mining]. Saint-Petersburg, BKhV-Peterburg, 2004.
5. GTSI Cloud Computing Maturity Model. Available at: [http://www.gtsi.com/sms/documents/White-Papers/Cloud Compuing.pdf](http://www.gtsi.com/sms/documents/White-Papers/Cloud%20Compuing.pdf).
6. Nechaev Yu. I. *Teoriya katastrof: sovremennyy podkhod pri prinyatii resheniy* [Catastrophe theory: modern approach to decision-making]. Saint-Petersburg, Art-Ekspress, 2011.
7. Nechaev Yu. I. *Topologiya nelineynykh nestatsionarnykh sistem: evolyutsionnoe* [Typology of nonlinear time-dependent systems: evolutionary]. Saint-Petersburg, Art-Ekspress, 2015.
8. Kolmogorov A. N. *Teoriya informatsii i teoriya algoritmov* [Theory of information and theory of algorithms]. Moscow, Nauka, 1987.
9. Moiseev N. N. *Izbrannye trudy* [Selectas]. Moscow, Tayreks Ko, 2003.
10. Tikhonov A. N., Arsenin V. Ya. *Metody resheniya nekorrektnykh zadach* [Methods for solving poorly conditioned problems]. Moscow, Nauka, 1986.
11. Solodovnikov V. V., Tumarkin V. I. *Teoriya slozhnosti i proektirovanie sistem upravleniya* [Complexity theory and control systems engineering]. Moscow, Nauka, 1990.
12. Gallopoulos S., Housts E., Rice J. Problem Solving Environment. IEEE Compu-tational Science and Engineering. Summer, 1994.
13. Szalay A. Extreme data-intensive scientific computing. *Computing in Science & Engineering*. 2011, vol. 13, no. 6, pp. 34-41.
14. Lublinsky B. Defining SOA as an architectural style. 9 January 2007. Available at: <http://www.ibm.com/developerworks/architecture/library/ar-soastyle/>
15. Mesarovich M., Takakhara Ya. *Obshchaya teoriya sistem: matematicheskie osnovy* [General system theory: mathematical framework]. Moscow, Mir, 1978.
16. Bugakova N. Yu., Volkogon V. A., Nechaev Yu. I. Virtual'naya sreda sovremennoy teorii katastrof pri kontrole chrezvychaynykh situatsiy v morskoy industrii [Virtual environment of the modern theory of catastrophes under emergency control in marine industry]. *Morskie intellektual'nye tekhnologii*, 2014, no. 2(24), pp. 24-29.
17. Bugakova N. Yu., Nechaev Yu. I. Printsipy funktsionirovaniya virtual'nogo poligona kontrolya chrezvychaynykh situatsiy sudov promyslovogo flota metodami sovremennoy teorii katastrof [Operation of a virtual site for emergency control on board of fishery vessels using methods of the modern theory of catastrophes]. *Morskie intellektual'nye tekhnologii*, 2014, no. 2(24), pp. 30-35.

18. Kasti Dzh. *Bol'shie sistemy: svyaznost', slozhnost' i katastrofy* [Large systems: cohesion, complexity and catastrophes]. Moscow, Mir, 1982.
19. Nikolis Dzh. *Dinamika ierarkhicheskikh sistem: evolyutsionnoe predstavlenie* [Dynamics of hierarchical systems: evolutionary representation]. Moscow, Mir, 1989.
20. *Sinergeticheskaya paradigma. Mnogoobrazie poiskov i podkhodov* [Synergetic paradigm. Diversity of searches and approaches]. Moscow, Progress-Traditsiya, 2000.
21. Urgent Computing Workshop 2007. Argonne National Lab, University of Chi-cago, April 25-26, 2007. Available at: <http://spruce.teragrid.org/workshop/urgent07.php>

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Бондарев Виталий Александрович* – Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота; доктор технических наук, доцент, декан судоводительского факультета;  
E-mail: [dekanat\\_swf@bga.gazinter.net](mailto:dekanat_swf@bga.gazinter.net)

*Bondarev Vitaly Alexandrovich* – Baltic Fishing Fleet State Academy; Doctor of Engineering Science, Associate Professor, Dean of the Navigation faculty;  
E-mail: [dekanat\\_swf@bga.gazinter.net](mailto:dekanat_swf@bga.gazinter.net)

*Нечаев Юрий Иванович* – Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота; доктор технических наук, профессор;  
E-mail: [dekanat\\_swf@bga.gazinter.net](mailto:dekanat_swf@bga.gazinter.net)

*Nechaev Yuri Ivanovich* – Baltic Fishing Fleet State Academy; Doctor of Engineering Science, Professor; E-mail: [dekanat\\_swf@bga.gazinter.net](mailto:dekanat_swf@bga.gazinter.net)

УДК 639.2.081

ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ  
УПРАВЛЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ПЛАВАНИЯ  
РЫБОПРОМЫСЛОВЫХ СУДОВ

В. А. Бондарев, О. М. Бондарева, И. Р. Рагулина

FUNDAMENTALS OF DEVELOPING ADAPTIVE SYSTEM FOR NAVIGATION  
SAFETY MANAGEMENT OF FISHING VESSELS

V. A. Bondarev, O. M. Bondareva, I. R. Ragulina

В статье рассматривается новый подход к построению адаптивной системы управления безопасностью с использованием теории управления и безопасности функционирования структурно-сложных систем. Согласно концепции устойчивого развития, которая предусматривает экономическое развитие современного общества с учетом потребностей будущих поколений, систему управления безопасностью плавания рыболовных судов необходимо разрабатывать с учетом соотношения теории управления (экономический эффект), теории безопасности (не нарушение предельно приемлемого риска) и концепции равновесного природопользования. Рассматриваются различные модели концепций адаптивной системы управления безопасностью плавания рыболовных судов.

*управление безопасностью, безопасность мореплавания, безопасность, риск, человеческий элемент, психическая саморегуляция, целеполагание, концепция устойчивого развития, равновесное природопользование, адаптивная система управления*

The article deals with a new approach to development of adaptive safety management system on the basis of theory of control and safety of complex systems functioning. According to the concept of sustainable development, which provides for economic development of the modern society in view of the needs of future generations, the navigation safety management system must be developed taking into account the ratio of management theory (economic effect), safety theory (no breach of the maximum acceptable risk) and the concept of balanced nature management. The article deals with different models of adaptive safety management system of navigation of fishing vessels.

*safety management, navigation safety, safety, risk human element, mental self-regulation, goal setting, sustainable development concept, balanced nature management, adaptive management system*

## ВВЕДЕНИЕ

В марте 2016 г. в Мурманске прошла Всероссийская конференция по безопасности плавания судов рыбопромыслового флота. В итоговой резолюции конференции акцентировано внимание на неудовлетворительном состоянии системы управления безопасностью плавания рыболовных судов. Особенно ярко это проявилось на примере гибели БАТМ «Дальний Восток». Результаты расследования были заслушаны на заседании.

Главными причинами такого состояния безопасности обозначены: человеческий фактор и неадекватность современным требованиям сложившейся системы управления безопасностью в отечественном рыболовстве, под которой обычно понимают комплекс организационно-технических мероприятий, направленных на достижение допустимого риска потери судна и груза. Существование политического подхода к обеспечению безопасности с приоритетом у судовладельцев и руководства компаний обязательного достижения максимального экономического эффекта не позволяло ранее и не позволяет ныне, даже при значительном усовершенствовании технических средств судовождения, средств спасения человеческой жизни и автоматизации судовых энергетических систем, достичь желаемого эффекта снижения аварийности флота.

Ранее, еще во времена СССР, никто не задумывался о закономерностях, связывающих существовавшие проблемы безопасности мореплавания с определением самого процесса – обеспечения безопасности. Все понимали, что это – совокупность норм, требований, организационных и учебно-тренировочных мероприятий, а также техническое оснащение флота. Однако приоритет экономики эту пирамиду расшатал и уже в XXI в. развалил окончательно, так как не хватило государственного внимания и контроля за этим процессом.

Введение в 1995 г. в действие Международного Кодекса по управлению безопасностью (МКУБ) окончательно запутало проблему. Кроме того, и в мировом судоходстве введение МКУБ не привело к существенным результатам, индекс аварийности мирового флота так и не снизился. Причем наличие или отсутствие государственного контроля никакого влияния на этот процесс не привнесло.

Попытка уйти от глубокого анализа проблем обеспечения или управления безопасностью введением критериев риска и методов его формального учета запутала ситуацию еще больше. Во многих странах снова начали возвращаться к понятию обеспечения безопасности, поскольку управлять ею не получалось.

В теории понятие «безопасность» можно встретить в трех определениях (от стандарта до практического применения) – это способность системы функционировать, не переходя в опасное состояние (или для прикладных наук – способность системы сохранять безопасное состояние при выполнении заданных функций, т. е. функционировать без всяческих ущербов) [1, с. 22 - 24]. Здесь же упоминается и критерий безопасности, который измеряется величиной риска попадания системы в опасное состояние. Под опасным же принято считать чрезвычайное состояние (или коллапс), характеризующееся ущербом большого масштаба. Сама же опасность представляется, как способность системы переходить в это опасное состояние [1, с. 22-24]. Причем академик

И. А. Рябинин неоднократно отмечал, что классического определения понятия опасности нет.

### ОБСУЖДЕНИЕ

Следуя подобным суждениям, можно установить, что существует некое опасное пространство, в котором функционируют системы различного назначения (в том числе и человеческий элемент (ЧЭ) как сложная система) и в котором для любой из них всегда существуют свои области безопасности с присущими им критериями опасности – рисками попадания системы в опасное состояние. Внутри областей безопасности системы сохраняют безопасное состояние при выполнении заданных функций с допустимой величиной риска.

Риск всегда сопряжен с ЧЭ на всем протяжении его существования, с фактором гибели или естественной смерти человека в земных условиях. И до сих пор мы не встречаем ни в научных, ни в технических источниках однозначного определения риска. В толковом словаре русского языка понятие риска фиксируется в двух значениях, но и оно не раскрывает всех свойств и характеристик, присущих риску. Однако ИМО рискнула вместе с Регистром судоходства определять риск как сочетание вероятности и последствий наступления неблагоприятных событий. Причем и первая, и вторая величины фиксируются весьма умозрительно и субъективно.

Риск – постоянный неотъемлемый компонент любой социальной деятельности, неотъемлемая часть социальности. В управлении риск играет существенную роль, в процессе принятия решений защищает от консерватизма и конформизма. Благодаря рискованным действиям, человек побеждает соперника и обстоятельства. Нехватка решительности и смелости, осторожность в действиях мешают в достижении цели. Без риска нет развития и успеха. Еще в 2000 г. У. Бек констатировал факт, что человеческое общество от индустриального переходит к обществу риска [2, с. 7]. Из всего изложенного можно сделать однозначный вывод, что риск без ЧЭ - фантастика, а сам человек, как гласит теория безопасности, является одновременно и субъектом, и объектом безопасности. Следовательно, только для него и через него можно исполнять функции самой системы управления безопасностью.

Кибернетика (наука об управлении) трактует, что для того, чтобы управлять чем-либо или кем-либо в любой системе управления должны быть три фундаментальных составляющих: во-первых, цель управления, во-вторых, информация о системе, ограничениях и условиях функционирования и в-третьих, программа (алгоритм) управления. Исходя из этого, можно проанализировать реальность произошедшего с попыткой управлять безопасностью мореплавания без учета синтеза психологии ЧЭ и теорий информации, безопасности, риска, управления и философии.

С горечью надо констатировать тот факт, что цель управления безопасностью мореплавания так и не была определена, да она и не могла появиться, поскольку функция целеполагания ЧЭ [3] в ней была не учтена, а только задекларирована. А ее надо полагать единственным связующим элементом для создания целостной и животворящей системы управления. Поэтому управление легко разрывали на части и использовали в угоду политическим и экономическим веяниям времени.

Информацию рассматривали только через призму достоверности, своевременности и полноты, без учета закономерностей, происходящих с ней. Полностью отвергалась позиция, что человек - порождение информации и он же субъект, порождающий новую информацию и воплощающий ее в свою жизнь. Полагались лишь на технические средства и субъективный мониторинг, т. е. статистику, поэтому при решении задач управления безопасностью закладывалась далеко не объективная информация.

А можно ли создать алгоритм управления, для которого менялись цели, а информация вообще была «сама по себе», поскольку системе она была не нужна? А раз это так, то в основу алгоритма закладывалась вместо динамической информации мертвая статистика, да еще и с опозданием. И система безопасности реагировала не на причины, вызывающие сбои и аварии, а на их следствия. В результате этого она всегда опаздывала и не имела возможности что-либо изменить и предвидеть, алгоритм не позволял. Контроль со стороны государства являлся весьма своевременным и актуальным, но только на начальном пути развития системы, что и показала созданная в СССР система обеспечения безопасности мореплавания.

Рассмотренный выше подход к реализации процесса управления в самой теории носит название как управление по отклонению, которое можно условно принять как систему, поскольку ничего системного в нем нет. Да и может ли система низшего принципа управлять составными частями, функционирующими на принципах самоорганизации, самоуправления, самообучения и саморегуляции. Это возможно только декларировать. Однозначно сложно представить себе систему, интегрирующую все указанные принципы, однако такую реализацию можно наблюдать в самом ЧЭ. Например, психическая саморегуляция – это многоуровневая динамическая система, инструмент переработки информации для инициации, поддержания, контроля и коррекции активности, направленной на осознанное выдвижение и достижение целей ЧЭ [4, с. 5-18]. Применение этих процессов для оптимизации управления открывает возможность моделирования не только целеполагания, но и создания сложнейших по своей организации систем самовосстановления и генерации [5].

ЧЭ, являясь самой сложной природной субстанцией, к тому же, как мы установили, представляется субъектом и объектом безопасности и информации, присутствует во всех частях системы управления безопасностью и контролирует ее в целом. Такой системы, учитывающей этот констатирующий факт на сегодняшний день, нет, как нет и обобщающей теории проблемы, поскольку для решения задач подобного уровня от ЧЭ потребовалась генерация новых знаний и новой информации. Этот вектор научного знания сливается в построение биороботических систем управления безопасностью на принципах искусственного интеллекта, психологии риска и саморегуляции человека, с учетом целостности и самодостаточности закономерностей существования и развития компонент системы управления. Такая система управления должна не только проявлять своевременную реакцию на опасность, но и предвидеть ее и ее последствия и исходя из накопленного знания выдавать рекомендации на заблаговременные устранения условий и причин возникновения опасности, что становится совершенно необходимым, когда ситуация становится экстремальной.

Согласно концепции устойчивого развития, которая предусматривает экономическое развитие современного общества с учетом потребностей будущих поколений, систему управления безопасностью плавания рыболовных судов необходимо разрабатывать с учетом соотношения теории управления (экономический эффект), теории безопасности (ненарушение предельно приемлемого риска) и концепции равновесного природопользования.

Возможны различные модели адаптивной системы управления безопасностью плавания рыболовных судов, в которых за основу можно положить виды отношений между потреблением, охраной и воспроизводством природных ресурсов, жизненно необходимых условий окружающей среды, на примере основных концепций природопользования (рисунк).

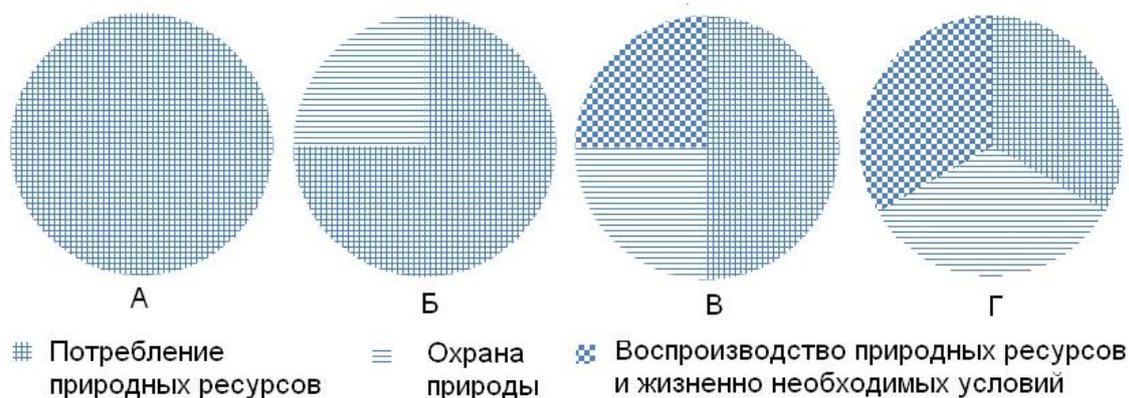


Рис. Основные концепции природопользования:

А - извлечение максимально возможной прибыли; Б - ограничение пределами допустимого вмешательства в экосистемы; В - безотходные и малоотходные технологии; Г - экологизация производства, науки, образования и воспитания [6]

Fig. Basic concepts of nature management:

А – maximization of profits; Б - limiting of permissible intervention in ecosystems; В - non-waste and low-waste technology; Г – ecologization of industry, science and education [6]

Наиболее ранней по времени возникновения является концепция извлечения максимальной прибыли в условиях капиталистических отношений (К. Марксом в «Капитале» она раскрыта достаточно полно). Эта сугубо потребительская и во многом эгоцентристская концепция крайне отрицательно сказывается на экологической безопасности человечества и катастрофична для народов многих стран (рис. 1 – А).

На рубеже XIX и XX вв. получила развитие концепция предельно допустимого вмешательства в природные процессы. Она определяет «верхний потолок» вторжения в экосистемы. На ее основе ныне вырабатываются нормативы предельно допустимого антропогенного воздействия на природные экосистемы (рис. 1 – Б).

Составные части природопользования — потребление, охрана и воспроизводство ресурсов — должны быть экологически сбалансированными в соответствии с их равновеликой значимостью для коэволюции человека и сохраненной им природы (рис. 1 – В, 1 – Г), системности и устойчивости природопользования, устойчивости экономического развития и обеспечения экологической безопасности.

П. Г. Олдак выделял два принципа природопользования:

– экстенсивное природопользование, когда рост производства и поселений осуществляется за счет возрастающей нагрузки на природные комплексы, причем эта нагрузка растет быстрее, чем увеличивается масштаб производства;

– равновесное природопользование, когда общество контролирует все стороны своего развития, добиваясь того, чтобы совокупная антропогенная нагрузка на среду не превышала самовосстановительного потенциала природных систем [7].

Переход к равновесному природопользованию представляет собой коренной сдвиг, охватывающий все плоскости общественной жизни, который меняет целевые установки, принципы управления, критерии оценки хозяйственной деятельности, критерии оценки социального прогресса, установки развития культуры и этики.

По В. Г. Марахову [6], промышленные процессы следует все более гармонично подключать к естественным процессам и включать их в естественный круговорот вещества и энергии между обществом и природой. Принцип самовосстановления природных ресурсов, присущий ранее самой природе, теперь должен стать принципом управляющего и регулирующего воздействия человека на сферу взаимоотношения природы и общества.

Реализовав идею экологизации общественного производства, человек достигнет той высшей свободы по отношению к природе, которая выразится в переходе от использования сил природы к управлению ими путем научно обоснованного регулирования взаимодействия общества с природой.

## ВЫВОДЫ

Система жизнеобеспечения и безопасности человечества может быть таковой только как система сохранения сложившегося в результате эволюции природного механизма. Переход к качественно новым технологиям предполагает большие затраты и не может быть осуществлен моментально, однако важно, чтобы при проектировании новых структурно-сложных систем, комплексов и предприятий полностью выполнялись эколого-правовые требования о безопасности, охране и научно обоснованном, рациональном использовании природных ресурсов, обеспечении воспроизводства, улучшении окружающей человека среды.

Переход к безопасному экологически обоснованному производству связывается со все более широким использованием закономерностей, характеризующих сложнейшие взаимодействия в системе «природа - ЧЭ - техника», а также с развитием новых методов и средств производства. Таковы реалии XXI в.!

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Рябинин, И. А. Надежность и безопасность структурно-сложных систем / И. А. Рябинин. – Санкт-Петербург: Политехника, 2000. – 248 с.
2. Ильин, Е. П. Психология риска / Е. П. Ильин. – Санкт-Петербург: Питер, 2012. – 288 с.
3. Сущность функции целеполагания [Электронный ресурс] // Управление [Официальный сайт]. – URL: <http://www.psylab.org /4-/86-4-1> (дата обращения: 28.10.2015).
4. Моросанова, В. И. Диагностика саморегуляции человека / В. И. Моросанова, И. Н. Бондаренко. – Москва: Когито-Центр, 2015. – 304 с.
5. Zuckerman M., Kuhlman D. M. Personality and risk-taking: common biological factors // *Journal of personality*. V. 68, Issue 6, December 2000, -p. 999–1029.
6. Краснов, Е. В. Основы природопользования / Е. В. Краснов, А. Ю. Романчук. – Калининград: Изд-во РГУ им. И. Канта, 2009. – С. 101-110.
7. Олдак, П. Г. Равновесное природопользование. Взгляд экономиста / П. Г. Олдак. – Новосибирск: Наука, 1983. – С. 3, 29.

REFERENCES

1. Ryabinin I. A. *Nadezhnost' i bezopasnost' strukturno-slozhnykh sistem* [Safety of complex systems]. Saint-Petersburg, Politekhnik, 2000, 248 p.
2. Il'in E. P. *Psikhologiya riska* [Risk psychology]. Saint-Petersburg, Piter, 2012, 288 p.
3. Sushchnost' funktsii tselepolaganiya [Nature of goal-setting function]. *Upravlenie* [Management]. Available at: <http://www.psylab.org /4-/86-4-1> (Accessed 28 October 2015).
4. Morosanova V. I., Bondarenko I. N. *Diagnostika samoregulyatsii cheloveka* [Diagnostics of human self-regulation]. Moscow, Kogito-Tsentr, 2015, 304 p.
5. Zuckerman M., Kuhlman D. M. Personality and risk-taking: common biological factors // *Journal of personality*. Vol. 68, Issue 6, December 2000, pp. 999-1029.
6. Krasnov E. V., Romanchuk A. Yu. *Osnovy prirodopol'zovaniya* [Fundamentals of environmental management]. Kaliningrad, Izd-vo RGU im. I. Kanta, 2009, pp. 101-110.
7. Oldak P. G. *Ravnovesnoe prirodopol'zovanie. Vzglyad ekonomista* [Balanced environmental management. Economist opinion]. Novosibirsk, Nauka, 1983, pp. 3-29.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Бондарев Виталий Александрович* – Балтийская государственная академия рыбо-промыслового флота; доктор технических наук, доцент, декан судоводительского факультета; E-mail: dekanat\_swf@bga.gazinter.net

*Bondarev Vitaly Alexandrovich* – Baltic Fishing Fleet State Academy; Doctor of Engineering Science, Associate Professor, dean of the Navigation department; E-mail: dekanat\_swf@bga.gazinter.net

*Бондарева Ольга Михайловна* – Балтийская государственная академия рыбо-промыслового флота; кандидат психологических наук, старший преподаватель кафедры судовождения

*Bondareva Olga Mikhailovna* – Baltic Fishing Fleet State Academy; Candidate of Psychological Sciences, senior lecturer of the Navigation department

*Рагулина Изумруд Рамазановна* – Балтийская государственная академия рыбо-промыслового флота; кандидат географических наук, доцент, зам. декана судоводительского факультета; E-mail: izragulina@mail.ru

*Ragulina Izumrud Ramazanovna* – Baltic Fishing Fleet State Academy; Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, deputy dean of the Navigation Department; E-mail: izragulina@mail.ru

УДК 629.546.6

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРЕНИЙ И ХАРАКТЕРИСТИК CNG-СУДОВ  
С ВЕРТИКАЛЬНЫМ РАСПОЛОЖЕНИЕМ ГРУЗОВЫХ КАССЕТ

Г. Ф. Демешко, М. В. Власьев

DETERMINATION OF DIMENSIONS AND PERFORMANCE OF CNG-VESSELS  
WITH VERTICALLY MOUNTED CARGO CASSETTES

G. F. Demeshko, M. V. Vlasiev

Концепция создания современных отечественных транспортных судов предусматривает разработку новых типов, способных конкурировать с известными проектами зарубежных танкеров и газозовов. В статье приведены результаты исследований главных размерений и основных характеристик CNG (сжатый природный газ) судов. Применение CNG-технологии, являющейся альтернативой LNG-технологии, предусматривает сжатие газа до давлений в диапазоне 13...28 МПа, увеличивая его плотность до 300 раз. Газ перевозится в сосудах цилиндрической формы высокого давления, изготавливаемых из стандартных труб (например, стали типа X-70, X-80, X-90, X-100) и устанавливаемых в трюмах специализированных судов. Основная доля инвестиций в CNG-проекте – в судах, которые рассматриваются как «мобильная инвестиция», перемещаемая с линии на линию без привлечения новых капиталовложений.

В статье проанализирована зависимость водоизмещения CNG-судна от его вместимости по газу, предложена методика, позволяющая определить основные элементы и характеристики CNG-судов с вертикально установленными грузовыми кассетами на ранних стадиях проектирования и учесть влияние типа и характеристик размещаемых кассет на элементы судна.

*CNG-технология, природный газ, суда-газовозы, размерения, кассеты, грузовые баллоны*

The concept of creating modern Russian transport vessels provides for the development of new types of ships able to compete with well-known foreign designs of tankers and vessels for gas transportation. The article presents research results of the main dimensions and performance of CNG (compressed natural gas) vessels. Being an alternative to LNG-technology, CNG technology allows for gas compression to the pressure ranging from 13 to 28 MPa, increasing its density to 300 times. The gas is transported in cylindrical containers made of high-pressure pipes and mounted in holds of specialized vessels. The bulk of investment in CNG-project – is in the vessels, which are considered as "mobile investment", moved from line to line without attracting new capitals.

The article shows research results of the main dimensions and performance of CNG-vessels. The authors have analyzed the relation between the meanings of CNG-vessel draught and its gas capacity. The authors suggest a methodology allowing deter-

mination of the main dimensions and performance of CNG-ships with vertically mounted cargo cassettes at the early stages of design, taking into consideration the effect of cassettes placed on the vessel elements.

*CNG-technology, natural gas, gas carrier vessel, dimensions, cassettes, tanks*

### ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Авторами статьи проанализированы специфика транспортировки груза и способы установки сосудов на CNG-судне, а также архитектурно-компоновочные схемы такого судна [1, 2]. Схема размещения цилиндрических грузовых баллонов на CNG-судне при установке их в вертикальном положении показана на рис. 1.



Рис. 1. Схема размещения цилиндрических грузовых баллонов на CNG-судне при установке их в вертикальном положении  
 Fig. 1. Arrangement of cylindrical gas tanks on a CNG-vessel with their vertical position installation

Главные размерения CNG-судов длина ( $L$ ) и ширина ( $B$ ) должны быть кратны числу располагаемых в трюмах грузовых кассет с баллонами по длине и ширине судна. Из анализа концептуальных проектов CNG-судов получена зависимость их водоизмещения ( $D$ ) от объема газа ( $V$ ), перевозимого в грузовых емкостях судна (оцененный при  $0^\circ\text{C}$ ,  $0,1$  МПа), млн.  $\text{м}^3$ :

$$D = 6048.1 \cdot V + 13055. \quad (1)$$

Для CNG-судов характерны следующие соотношения главных размерений, которые приемлемы в первом приближении:

$$\frac{L}{B} = 6D \cdot 10^{-6} + 6,282; \quad \frac{B}{T} = 4D \cdot 10^{-6} + 3,746; \quad (2)$$

$$\frac{H}{T} = D \cdot 10^{-6} + 2,114,$$

где  $H$  – высота борта;  $T$  – осадка судна.

Длина и ширина судна определяются с учётом особенностей размещения и размеров кассет (грузовых единиц). Между ними должны быть технологические зазоры. Общая расчетная длина CNG-судна определяется по формуле (3), которая учитывает сумму длин, занятых трюмами, машинным отделением (МО), коффердамами, фор- и ахтерпиком, специальным отсеком, предназначенным для размещения оборудования по обеспечению операций погрузки и разгрузки газа (если

они предусмотрены с использованием собственного соответствующего оборудования на судне):

$$L = L_{\phi} + L_{\text{тр}}^{\Sigma} + L_{\text{МО}} + L_{\text{Т}} + L_{\text{а}} + K_{\text{п}} \cdot b_{\text{кпп}}, \quad (3)$$

где  $L_{\text{тр}}^{\Sigma}$  – совокупная длина трюмов;  $L_{\phi}$ ,  $L_{\text{а}}$  – соответственно длины форпика и ахтерпика;  $L_{\text{МО}}$  – длина МО;  $L_{\text{Т}}$  – длина технологического отсека;  $b_{\text{кпп}}$  – ширина поперечной коффердамной переборки, принимаемой равной двум шпациям;  $K_{\text{п}}$  – количество поперечных переборок по длине, рассчитывается как  $K_{\text{п}} = (n_{\text{тр}} + 1)$ , где  $n_{\text{тр}}$  – количество грузовых трюмов.

Совокупная длина трюмов  $L_{\text{тр}}^{\Sigma}$  может быть определена исходя из общего количества поперечных рядов грузовых кассет, устанавливаемых на судно, с учетом технологических зазоров между ними, и телесности разделяющих все грузовое пространство поперечных коффердамных переборок. Длину грузового трюма (при условии кратности числу поперечных рядов кассет в нем) можно определить по формуле:

$$L_{\text{тр}} = m_{\text{кас}} l_{\text{кас}} + (m_{\text{кас}} - 1) X_2 + 2 X_1, \quad (4)$$

где  $l_{\text{кас}}$  – длина грузовой кассеты, м;  $m_{\text{кас}}$  – количество поперечных рядов грузовых кассет, устанавливаемых по длине одного трюма, шт.;  $X_1$  – зазор между стенкой кассеты и конструкциями судна (коффердамной переборки), м;  $X_2$  – технологический зазор между грузовыми кассетами, м.

Для определения ширины судна предложена зависимость:

$$B_1 = B_{\text{гр}} + 2 B_{\text{дв.б}} + b_{\text{кп}}, \quad (5)$$

где  $B_{\text{гр}}$  – ширина грузового трюма;  $B_{\text{дв.б}}$  – ширина двойного борта;  $b_{\text{кп}}$  – ширина продольной коффердамной переборки, равная ширине грузовой единицы (кассеты).

Устройство второго борта таких судов обусловлено как высокой опасностью перевозимого груза, так и возникающими при этом большими удобствами размещения на судне крупных грузовых единиц, какими являются кассеты. Минимальная ширина двойного борта  $B_{\text{дв.б}}$ , согласно требованиям Правил А301, Pt. 5, Chapter 15 [3], должна быть  $B/15$ , или 2 м, в зависимости от того, что больше. Установка продольной коффердамной переборки в диаметральной плоскости (ДП) трюма оказывается целесообразной, так как внутреннее пространство переборки предполагается использовать как коридор для прокладки компонентов грузовой системы, а также трубопроводов систем осушительной, противопожарной, инертного газа и вентиляции, кабелей питания и контроля устройств и систем, размещенных в носовой части судна.

Количество кассет по длине всего грузового пакета может быть определено по формуле

$$m_{\text{кас.д}} = \frac{L_{\text{тр}} - ((n_{\text{тр}} + 1) \cdot b_{\text{поп.пр}}) + n_{\text{тр}} \cdot (X_2 - 2 X_1)}{(l_{\text{к}} + X_2)}, \quad (6)$$

где  $l_{\text{к}}$  – ширина кассеты с баллонами;  $b_{\text{поп.пр}}$  – ширина поперечной переборки;  $n_{\text{тр}}$  – количество трюмов (по требованиям Российского морского регистра судоходства (РМРС) [4, 5]) –  $n_{\text{тр}} \approx L_{\text{тр}} / (l_{\text{тр}} + b_{\text{поп.пр}})$ , округленное в меньшую сторону;  $X_1$  – величина зазора между стенкой кассеты и внутренним бортом или стенками кассеты и продольной коффердамной переборкой;  $X_2$  – величина технологического зазора между кассетами.

Общее количество кассет  $n_{\text{кас.ш}}$  по ширине судна всегда четное:

$$n_{\text{кас.ш}} = \frac{(B_1 - 2B_{\text{дв.б}} - 2b_k - 4X_1 + 2X_3)}{b_k + X_3}, \quad (7)$$

где  $X_3$  – величина зазора между стенками смежных кассет.

На рис. 2 представлена схема трюма, а на рис. 3 – схема поперечного сечения CNG-судна с учетом зазоров.

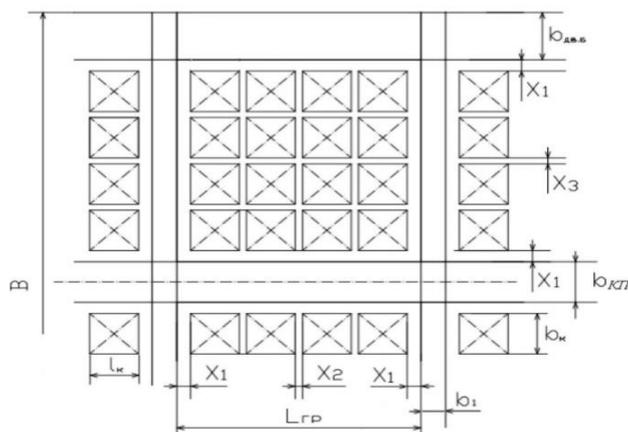


Рис. 2. Схема трюма CNG-судна с учетом зазоров  
Fig. 2. Scheme of a hold of a CNG-vessel with view of gaps

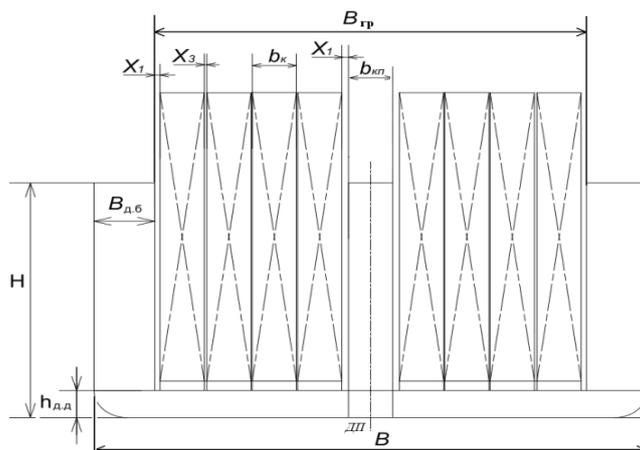


Рис. 3. Схема поперечного сечения CNG-судна  
Fig. 3. Cross section scheme of a CNG-vessel

Суммированием составляющих нагрузки определяется масса CNG-судна порожнем – в виде совокупности укрупненных разделов – и величина дедвейта судна. По этим величинам уточняются полученные в первом приближении значения водоизмещения судна и его главные размерения. Определив затем коэффициент общей полноты  $\delta$ , можно вычислить осадку судна  $T$  и отношения  $B/T$ ,  $H/T$ , удовлетворяя требованиям остойчивости судна и Правилам о грузовой марке [6]. Может потребоваться корректировка главных размерений судна.

Количество кассет с баллонами выбранного типа  $N_k$ , которые должны быть установлены на CNG-судно, исходя из заданной для него вместимости по

газу, должно сравниваться со значением, получаемым по результатам прорисовки схемы общего расположения и схемы размещения кассет в корпусе судна. При этом учитывают все зазоры, разделения грузового пространства на отсеки, а также требования по обслуживанию баллонов. Однако способ определения фактической вместимости по грузовым местам (единицам) требует наличия теоретического чертежа, чтобы располагать реальными формой и размерами палубы настила второго дна  $S_{гр.пал}$ , на который кассеты устанавливаются. На вместимость кассет со сжиженным газом на судне, таким образом, оказывают влияние форма его обводов, коэффициент общей полноты  $\delta$ , относительная ширина трюмов  $b = B_{гр}/B$ , ширина продольных и поперечных коффердамных переборок, типоразмеры кассет.

Особую сложность вызывает определение количества кассет в каждом поперечном ряду по ширине судна в той его части, где заканчивается цилиндрическая вставка, и по мере сужения обводов. В носовом грузовом трюме количество кассет в поперечном ряду уменьшается и тем значительнее, чем меньше коэффициент общей полноты, хотя надо отметить, что сначала должна уменьшаться ширина двойного борта  $B_{дв.б}$  до значения в 760 мм, что регламентировано требованиями большинства Правил [7, 8], с сохранением ширины трюма  $B_{гр}$ .

Для исследования влияния указанных факторов на вместимость кассет со сжиженным газом были прорисованы схемы их расположения в трюмной части для ряда CNG-судов, разработанных в обводах, соответствующих теоретическим чертежам шведской серии транспортных судов с систематически изменяющимся коэффициентом общей полноты,  $\delta = 0,70; 0,75; 0,80; 0,83; 0,85$  [9]. Получены значения коэффициента полноты части площади палубы  $\xi_{гр}$ , занятой грузовым пространством, состоящим из принимаемого по нормативам числа грузовых трюмов, (рис. 4), для значений  $b = B_{гр}/B = 0,80; 0,85; 0,90$  (где  $a$  – грузовые кассеты с емкостями диаметром  $d=1,067$  м;  $b$  – грузовые емкости с диаметром  $d=1,42$  м). Принято, что в каждой кассете размещается восемь емкостей.

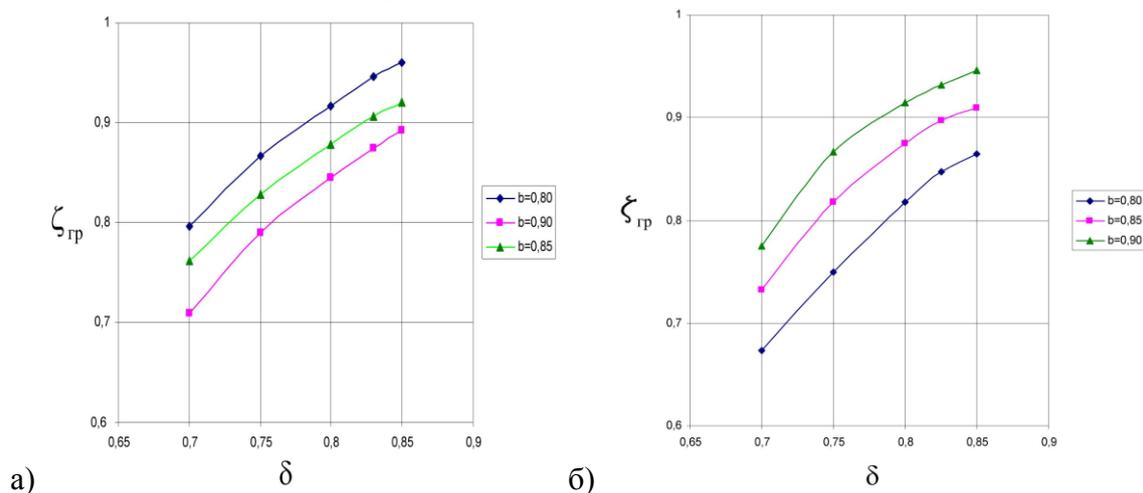


Рис. 4. Зависимость коэффициента  $\xi_{гр}$  от коэффициента общей полноты  $\delta$

Fig. 4. Variation of  $\xi_{гр}$  coefficient with block coefficient  $\delta$

Коэффициент  $\xi_{гр}$  рассматривается как отношение площади грузовой палубы в обводах судна на уровне настила второго дна, занимаемой грузовым пространством CNG-судна, к площади прямоугольника с размерами  $L_{гр}$  и  $B_{гр}$  (рис. 5).

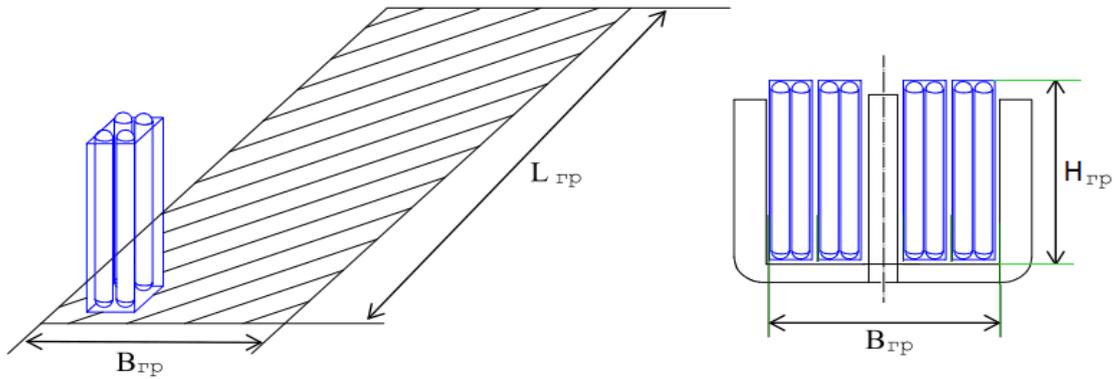


Рис. 5. Схематическое изображение грузового пространства CNG-судна  
Fig. 5. Schematic representation of cargo space of a CNG-vessel

Длина  $L_{гр}$  учитывает телесность поперечных коффердамных переборок, количество которых  $K_n = (n_{гр} + 1)$ . Соответственно,  $B_{гр}$  учитывает телесность одной продольной переборки. Грузовая палуба на судне находится между носовой переборкой машинного отделения в корме (она тоже обязательно коффердамная) и кормовой переборкой технологического отсека, если он на судне есть, и таранной переборкой в носу, если технологический отсек отсутствует.

Тогда площадь палубы, занятую грузовым пакетом, можно определить зависимостью:

$$S_{гр.пал} = L_{гр} B_{гр} \xi_{гр} \cdot \quad (8)$$

В то же время площадь, занимаемая грузовыми кассетами, может быть выражена как

$$S_k = N_k s_k, \quad (9)$$

где  $s_k = l_k b_k$  - площадь основания кассеты;  $N_k$  - количество кассет, устанавливаемых на CNG-судне с учетом зазоров между кассетами и конструкциями корпуса судна.

Приравняв выражения (8) и (9), можно, используя получаемое выражение (10), определить длину судна, занятую кассетами:

$$L_{гр} = \frac{N_k s_k}{B_{гр} \xi_{гр}}. \quad (10)$$

При этом ширина грузового пространства  $B_{гр}$  определяется выражением:

$$B_{гр} = B_1 - (2B_{дв.б} + b_k). \quad (11)$$

Таким образом, зная общее количество кассет, которое определяется на основании технического задания на судно, количество кассет, устанавливаемых на судне по ширине грузового пакета, определяется по формуле (7).

Количество кассет, устанавливаемых по длине грузового пакета, может быть определено по преобразованной формуле (4):

$$m_{кас.д} = \frac{L_{гр} - ((n_{гр} + 1)b_{поп.п}) + n_{гр}(X_2 - 2X_1)}{(l_k + X_2)}, \quad (12)$$

где  $l_k$  - ширина кассеты с баллонами;  $b_{\text{поп.п}}$  - ширина поперечной переборки;  $n_{\text{тр}}$  - количество трюмов (определяют в соответствии с требованиями РМРС),  $n_{\text{тр}} \approx L_{\text{тр}} / (l_{\text{тр}} + b_{\text{поп.п}})$ , округленное в меньшую сторону.

Вместимость по количеству размещаемых на CNG-судне кассет определяется при соблюдении неравенства:

$$m_{\text{кас.д}} n_{\text{кас.ш}} \geq N_{\text{к}}. \quad (13)$$

Разработан алгоритм определения проектных характеристик CNG-судна, укрупненная блок-схема которого представлена на рис. 6.

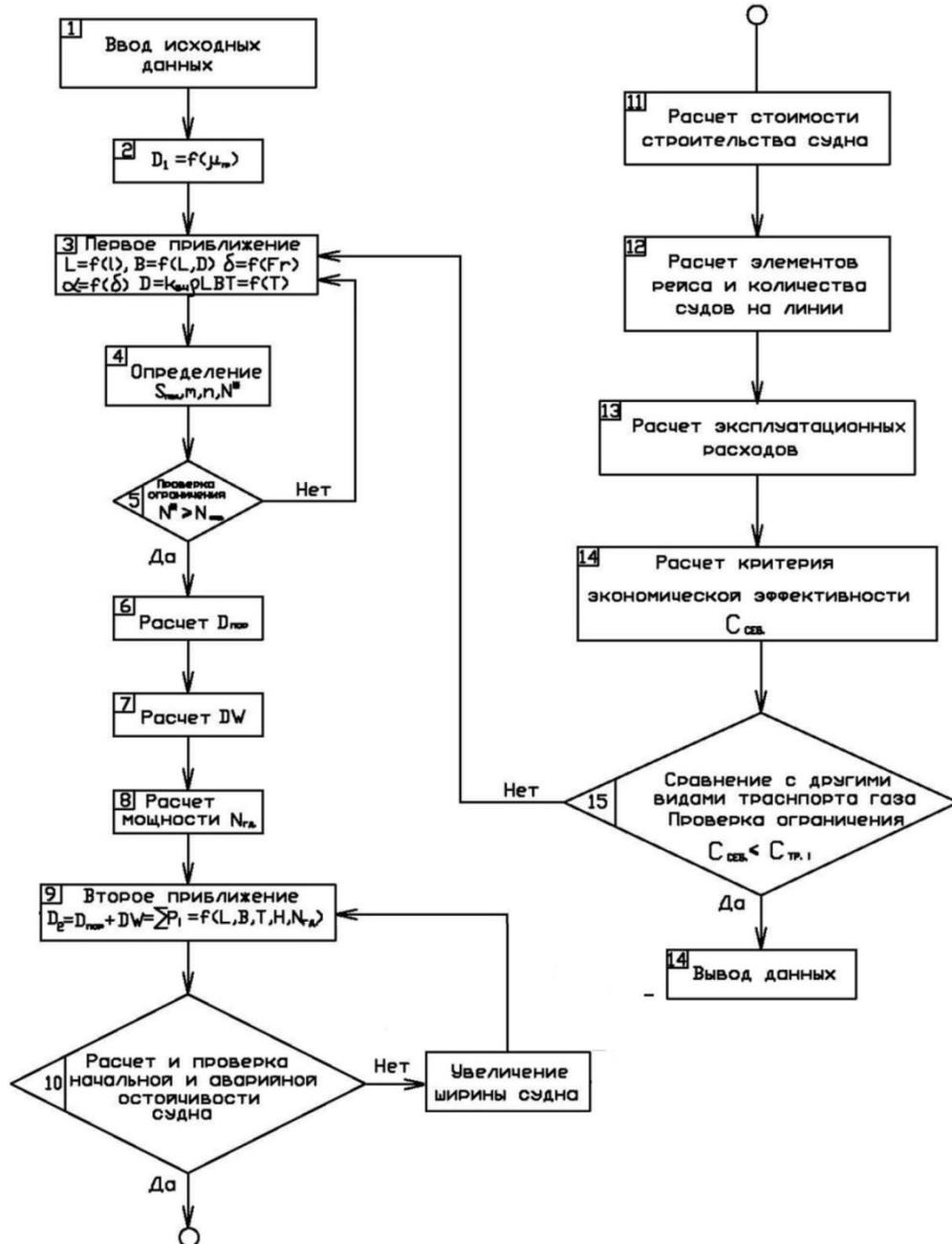


Рис. 6. Блок-схема определения проектных характеристик CNG-судов  
Fig. 6. Block-scheme of determination of characteristics of CNG vessels

При построении алгоритма определения основных проектных характеристик в качестве исходных данных приняты: объем транспортируемого природного газа (при нормальных условиях); расчетное давление в баллонах; тип применяемых грузовых кассет с емкостями; скорость хода судна; дальность плавания; автономность по запасам продовольствия и воды. Помимо перечисленных исходных данных дополнительно могут быть заданы также:

- ледовый класс и знак автоматизации и т. д.;
- тип энергетической установки;
- число гребных винтов (вальность).

Деление алгоритма на блоки принято по функциональному признаку при условии их физичности. Принцип построения алгоритма основывается на последовательном использовании результатов расчетов в предыдущих блоках последующими. На определение проектных характеристик и выбор главных размерений корпуса судна значительное влияние оказывает величина грузового места (грузовой единицы), каковым является грузовая кассета с емкостями в виде цилиндрических баллонов, изготавливаемых из стандартных труб, выпускаемых отечественными специализированными заводами для газотранспортных магистралей, что приводит к дискретности при изменении размерений судна.

Таким образом, область приемлемых решений ограничивается условиями транспортировки газа как перевозимого груза, требованиями заказчика, классификационных обществ и стремлением получить удовлетворительные мореходные качества – остойчивость, ходкость, качку и т. п.

## ВЫВОДЫ

Предлагаемая методика позволяет определить основные элементы и характеристики CNG-судов с вертикальной установкой грузовых кассет на ранних стадиях проектирования и учесть влияние типоразмеров размещаемых кассет на элементы судна. Принимаемые размерения CNG-судна, как показано, выбираются с учетом размеров крупногабаритных грузовых единиц, какими являются кассеты, и условий их размещения в грузовых трюмах. Это дает возможность рационально и без потерь использовать внутреннее пространство судна.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Перспективы морской транспортировки природного газа в сжатом виде в арктических районах России / Е. М. Апполонов [и др.] // Труды 10-й Международной конференции и выставки по освоению ресурсов нефти и газа Российской Арктики и континентального шельфа стран СНГ (RAO/CIS Offshore. 2011), 13-16 сентября 2011 года, Санкт-Петербург. – Санкт-Петербург: Химиздат, 2011. – С. 440-445.

2. Власьев, М. В. Технико-экономическое исследование целесообразности создания судов для транспортировки природного газа в сжатом состоянии: дис. ... канд. техн. наук: 05.08.03 / Власьев Максим Валерьевич. – Санкт-Петербург, 2015. – 231 с.

3. DetNorsk Veritas (DNV) Class CNG Rules (for Compressed Natural Gas Carriers PART 5 CHAPTER 15 – 2009, Veritasveien 1, NO-1322 Høvik, Norway. p. 30

4. Правила классификации и постройки морских судов: в 3 т. Введен. 01.01.2015. – Санкт-Петербург: Российский морской регистр судоходства, 2015. – 1 т. – 355 с.
5. Правила Классификации и Постройки судов для перевозки сжатого природного газа Регистра Судоходства (Правила CNG). Введен 01.06.2012. – Санкт-Петербург: Российский морской регистр судоходства, 2012. – 93 с.
6. Бюллетень № 1 к Правилам классификации и постройки морских судов. Правилам по оборудованию. Правилам по грузоподъемным устройствам морских судов. Правилам о грузовой марке морских судов. Введен 01.10.2006. – Санкт-Петербург: Российский морской регистр судоходства, 2006. – 250 с.
7. Bureau Veritas (BV) - Unified Criteria for CNG Ships Containment System Design, Classification of Compressed Natural Gas Carriers / Rule Note NR 517 DR R00 E 17, April 2007.
8. American Bureau of Shipping (ABS) – Guide for Vessels Intended to Carry Compressed Natural Gases in Bulk. Houston, April. 2005.
9. Williams A. What can new hull forms to do minimize fuel costs. // Publications of SSPA, Stockholm, 1980, - № 87.

#### REFERENCES

1. Appolonov E. M., Demeshko G. F., Vlas'ev M. V., Krest'yantsev A. B., Ryumin S. N. Perspektivy morskoy transportirovki prirodnogo gaza v szhatom vide v arkticheskikh rayonakh Rossii [Prospects for overseas transportation of natural gas in a condensed form in the polar regions of Russia]. *Trudy 10-y Mezhdunarodnoy konferentsii i vystavki po osvoeniyu resursov nefti i gaza Rossiyskoy Arktiki i kontinental'nogo shel'fa stran SNG (RAO/CIS Offshore. 2011), 13-16 sentyabrya 2011 goda, Sankt-Peterburg* [Proceedings of the 10th International conference and exhibition on oil and gas resources development of Russian Arctic and the continental shelf of CIS states (RAO/CIS Offshore 2011), 13-16 September, St.Petersburg]. Saint-Petersburg, Khimizdat, 2011, pp. 440-445.
2. Vlas'ev M. V. *Tekhniko-ekonomicheskoe issledovanie tselesoobraznosti sozdaniya sudov dlya transportirovki prirodnogo gaza v szhatom sostoyanii. Diss. kand. tekhn. nauk* [Study of feasibility of building ships for transportation of natural gas in a condensed form. Dis. cand. technic. sci.]. Saint-Petersburg, 2015, 231 p.
3. DetNorsk Veritas (DNV) Class CNG Rules (for Compressed Natural Gas Carriers PART 5 CHAPTER 15 – 2009, Veritasveien 1, NO-1322 Høvik, Norway, 30 p.
4. *Pravila klassifikatsii i postroyki morskikh sudov* [Rules for classification and construction of sea-going ships]. Saint-Petersburg, Rossiyskiy morskoy registr sudokhodstva, 2015, vol. 1, 355 p.
5. *Pravila Klassifikatsii i Postroyki sudov dlya perevozki szhatogo prirodnogo gaza Registra Sudokhodstva* [Rules for classification and construction of ships for transportation of condensed natural gas of the Shipping Registry] (Pravila CNG). Vведен 01.06.2012. Saint-Petersburg, Rossiyskiy morskoy registr sudokhodstva, 2012, 93 p.
6. *Byulleten' № 1 k Pravilam klassifikatsii i postroyki morskikh sudov. Pravilam po oborudovaniyu. Pravilam po gruzopod'emnym ustroystvam morskikh sudov. Pravilam o gruzovoy marke morskikh sudov* [Newsletter № 1 to the Rules for classifica-

tion and construction of sea-going ships. Rules for cargo handling gear of sea-going ships]. Vveden 01.10.2006. Saint-Petersburg, Rossiyskiy morskoy registr sudokhodstva, 2006, 250 p.

7. Bureau Veritas (BV) – Unified Criteria for CNG Ships Containment System Design, Classification of Compressed Natural Gas Carriers. Rule Note NR 517 DR R00 E 17, April 2007.

8. American Bureau of Shipping (ABS) – Guide for Vessels Intended to Carry Compressed Natural Gases in Bulk. Houston, April. 2005.

9. Williams A. What can new hull forms to do minimize fuel costs. Publications of SSPA, Stockholm, 1980, no. 87.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Демешко Геннадий Федорович* – Санкт-Петербургский государственный морской технический университет; доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой проектирования судов; E-mail: morcenter@mail.ru

*Demeshko Gennadiy Fedorovich* – St.Petersburg State Marine Technical university; Doctor of Engineering, Professor, Head of the department of ship design; E-mail: morcenter@mail.ru

*Власьев Максим Владимирович* – ФГУП «Крыловский государственный научный центр», Санкт-Петербург; кандидат технических наук, ст. научный сотрудник; E-mail: morcenter@mail.ru

*Vlasiev Maksim Vladimirovich* – FSUE “Krylov state research center”, St. Petersburg; PhD, senior researcher; E-mail: morcenter@mail.ru

УДК 658.382.3

О СУЩЕСТВУЮЩИХ И НОВЫХ ПОДХОДАХ К КОЛИЧЕСТВЕННОЙ  
ОЦЕНКЕ УСЛОВИЙ ТРУДА В МАШИНОСТРОЕНИИ

В. М. Минько, Н. А. Евдокимова

ON EXISTING AND NEW APPROACHES TO QUANTITATIVE  
ASSESSMENT OF LABOUR CONDITIONS IN MECHANICAL ENGINEERING

V. M. Minko, N. A. Evdokimova

Проведен общий анализ факторов условий труда, характерных для машиностроительных производств. Изложены существующие и новые подходы в отношении количественной оценки состояния условий труда. Новые основаны на учете влияния каждого неблагоприятного производственного фактора, если имеются одновременно несколько таких факторов различной физико-химической природы. Вместе с тем не учитывается возможное взаимовлияние факторов как в сторону усиления результирующего действия (потенцирование), так и в сторону уменьшения общего неблагоприятного действия.

Один из предложенных подходов основан на гипотезе о нелинейности связи между уровнем безопасности условий труда и значениями баллов риска, характеризующими состояние условий труда по отдельным факторам. Предложена соответствующая математическая модель проведения расчетов.

*условия труда, коэффициенты безопасности, существующие и новые подходы, порядок расчетов*

The article presents an overall analysis of labour conditions factors characteristic for mechanical facilities. Already existing and new approaches in relation to the quantitative assessment of labour conditions are outlined. New approaches are based on the influence of each unfavorable factor of production if there are several factors of different physicochemical nature at the same time. However, possible interrelation of factors both in the direction of amplification of the resulting action (expotentialiation) and decrease of total adverse effect is disregarded.

One of the suggested approaches is based on the hypothesis of the nonlinearity of the relationship between the level of safety of labour conditions and the values of the risk score that characterizes the state of working environment according to individual factors. Appropriate mathematical model for calculation is proposed.

*labour conditions, safety factors, existing and new approaches, procedure for calculations*

ВВЕДЕНИЕ

Машиностроение – важная отрасль экономики России. Для машиностроительного производства характерен ряд опасных и вредных производственных факторов (ОВПФ). Чаще всего по своей природе они относятся к группам физических, химических и психофизиологических неблагоприятных факторов [1-3].

Многие физические опасные факторы возникают по причине движущихся машин и механизмов, наличия подвижных частей производственного оборудования, перемещаемых изделий и заготовок. Возможны повышенные уровни шума, вибрации, пониженная освещенность. В сборочных цехах большегрузных автомобилей на отдельных участках главного конвейера уровень шума может составлять 85-90 дБА, что существенно превышает предельно допустимый уровень для производственных рабочих мест. В литейных и кузнечно-прессовых цехах возможны высокая температура воздуха, интенсивное инфракрасное излучение, вредные химические вещества, повышенная запыленность. Ряд ОВПФ возникает при подготовке поверхностей изделий и нанесении различных металлических покрытий. Из изложенного уже ясна актуальность работ по оценке условий труда.

### ИСТОЧНИКИ ОПАСНЫХ И ВРЕДНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ФАКТОРОВ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Источниками ОВПФ могут являться различные недостатки в конструкциях отдельных станков, машин, механизмов, отсутствие или недостаточная надежность устройств безопасности, блокировок, отсутствие предупредительной сигнализации о возникновении опасных режимов работы с последующей автоматической остановкой работы оборудования, недостаточный уровень механизации и автоматизации технологических процессов, применение технологий, включающих опасные производственные операции, неудачное размещение используемого оборудования и рабочих мест. При некоторых видах металлообработки в рабочей зоне возникает повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны. Особую опасность представляет мелкая стружка и пыль титановых и магневых сплавов.

Некоторые ОВПФ возникают при использовании смазочно-охлаждающих жидкостей, применяемых при обработке металлов резанием. Контакты с такими жидкостями могут вызвать поражения кожного покрова кистей рук.

Источниками интенсивной локальной вибрации являются пневматические рубильные молотки, трамбовки, ручной механизированный инструмент, широко используемый на сборочных операциях.

При отсутствии или недостаточной надежности ограждений, блокировок, тормозных устройств опасность могут представлять движущийся (вращающийся) инструмент или рабочие органы производственного оборудования – пилы, ножи, фрезы.

Источниками ОВПФ, как показывает практика, являются также процессы нанесения металлических покрытий (пары органических растворителей, кислот, щелочей, аммония, соединений цинка, свинца, олова, меди, никеля, цианистых соединений), сварочные и окрасочные работы. В частности, при электросварочных работах яркость электрической дуги более чем в 1000 раз превышает допустимую норму для глаз.

Машиностроительное производство предъявляет достаточно высокие требования к условиям зрительных работ. На отдельных рабочих местах машиностроительных организаций освещенность должна составлять 2000 лк – работа на токарных, резьботокарных, фрезерных и других станках, слесарные и лекальные работы, разметочные плиты, отделы технического контроля. В рабочей зоне обрабатываемых центров (ОЦ), гибких производственных модулей (ГПМ) требуется

освещенность 1500 лк, а при наладке, ремонте, устранении сбоев на станках с ЧПУ, ОЦ, ГПМ – 2500 лк [2]. В ходе ранее проводившейся аттестации рабочих мест, а с 2014 г. – специальной оценки условий труда достаточно часто фиксируется, что указанные нормы освещенности длительное время не выполняются.

### ОСОБЕННОСТИ УСЛОВИЙ ТРУДА В МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Машиностроительное производство реализуется, как правило, на достаточно крупных предприятиях. На них имеются службы охраны труда, ведется учет несчастных случаев и профессиональных заболеваний работников. Поэтому показатели производственного травматизма и профессиональной заболеваемости оказываются выше средних по стране и выше, чем даже в такой травмоопасной отрасли, как строительство, где работает очень много малых предприятий с практически отсутствующим учетом несчастных случаев и заболеваемости работников. Из изложенного следует, что повышенные показатели травматизма и заболеваемости в машиностроении не означают, что в этой отрасли сложились крайне неблагоприятные условия труда. Проблемы, конечно, имеются, опасные и вредные производственные факторы на рабочих местах присутствуют, однако, что важно подчеркнуть, большинство факторов условий труда в машиностроительном производстве являются управляемыми, т.е. с помощью специально осуществляемых мероприятий они могут быть приведены к нормативным уровням.

Особенностью условий труда на машиностроительных предприятиях является также то, что на типичных рабочих местах в этой отрасли они находятся под влиянием не одного, а нескольких одновременно действующих факторов и могут быть различными по своей материальной сущности, по величине отклонений от действующих нормативных требований. Поэтому возникает актуальная задача количественной оценки складывающегося при этом общего (интегрального) состояния условий труда, насколько оно соответствует нормативному уровню, требуется или не требуется проведение необходимых профилактических мероприятий.

Еще одна проблема связана с тем, что для принятия различных организационно-управленческих решений необходимо знать общее состояние условий труда на предприятии, которое может включать много рабочих мест. На этих рабочих местах могут быть и различные оценки текущего состояния условий труда, и различное число занятых работников.

Современное машиностроение – достаточно сложная отрасль экономики, в которую входит целый ряд предприятий с различными группами цехов. Часть этих цехов может быть отнесена к подготовительным (литейные, термические, литейные), другая – к металлообрабатывающим (механические, механосборочные). Иногда в них включаются лакокрасочные цехи и цехи металлопокрытий. Профессии рабочих, наименования рабочих мест, факторы условий труда на этих рабочих местах могут быть совершенно различными. Таким образом, изучение условий труда в машиностроительном производстве – достаточно трудоемкая задача. Однако без результатов этого изучения нельзя прийти к планированию мероприятий по оздоровлению и улучшению условий труда.

В ряде выполненных исследований подтверждается, что некоторые факторы условий труда в машиностроении могут отклоняться в худшую для здоровья

работников сторону. Это связано с широким использованием смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ), ингибиторов коррозии, состоящих из различных нефтяных масел и специальных добавок, характеризующихся в терминах охраны труда как вредные производственные факторы. Кроме того, развиваются новые химико-механические способы обработки деталей, которые состоят в использовании электролита с включением в него различных кислот, перекиси водорода и других вредных химических веществ. Применяются электрохимические способы обработки металлов, электроэрозионные методы, плазменное напыление. При этом температура может достигать 10000°С.

Большинство способов обработки металлов неизбежно связано с выделением в воздух рабочей зоны различных аэрозолей, продуктов термодеструкции, многочисленных вредных примесей. Как показывают результаты измерений, фактическая концентрация некоторых вредных веществ при электрохимической обработке металлоизделий может превышать предельно допустимую концентрацию в 2-3 и более раз. При плазменной обработке в рабочую зону часто поступают как аэрозоли, так и токсичные газы. Процесс напыления металлов может сопровождаться образованием повышенных концентраций окислов различных веществ (цинка, вольфрама, меди и др.)

При некоторых видах металлообработки, а также в процессе изготовления различных деталей возникают различные физические опасные и вредные производственные факторы – шум, вибрация, ультразвук, ультрафиолетовое излучение. В процессе работы некоторых металлообрабатывающих станков генерируется высокочастотный шум, наиболее неприятный для восприятия, и при этом его уровень может существенно превышать допустимый для соответствующих частотных полос (1000; 2000 и 4000 Гц).

Для многих машиностроительных производств характерно применение сборочных конвейеров. В таком случае не проводится полная эргономическая проработка всех необходимых рабочих движений, включая обоснования темпа, ритма, обеспечения точности движений, удобства рабочей позы, исключения высокого уровня монотонности труда. Это приводит к тому, что работники подвергаются воздействию повышенной напряженности труда и стремятся перейти в другие цехи.

Таким образом, задачи исследования, количественной оценки состояния условий труда в организациях машиностроения, управления их улучшением остаются актуальными и важными.

#### СУЩЕСТВУЮЩИЕ ОЦЕНКИ УСЛОВИЙ ТРУДА

Для количественной оценки состояния условий труда на рабочем месте еще в конце прошлого столетия были предложены формулы [4, 5]

$$K_{\sigma} = 1,2 - \left( \sqrt{\sum_{i=1}^n x^2_i} / 5\sqrt{n} \right),$$

(1)

$$K_6 = \frac{x_{max}}{x_{max} - 1} \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n \left[ \frac{(x_{max} + 1) - x_i}{x_{max}} \right]} - \frac{1}{x_{max} - 1}, \quad (2)$$

где  $K_6$  – коэффициент безопасности условий труда, который может изменяться от 0 (полное несоответствие) до 1 (полное соответствие нормативным требованиям);  $n$  – число значимых факторов условий труда;  $x_i$  – оценка риска в баллах по  $i$ -му фактору по 6-балльной шкале,  $x_{max}=6$ .

Если принять, что на рабочем месте условия труда складываются под влиянием значимых факторов, получивших оценки  $x_1=4$ ;  $x_2=4$ ;  $x_3=4$ , то по формуле (1) имеем  $K_6=0,58$ ; по формуле (2) – 0,62.

Таким образом, формулы (1) и (2) дают практически одинаковые результаты.

Приведенные формулы были одной из первых попыток получить некоторые обобщенные безразмерные оценки состояния условий труда на интервале (0;1). Однако эти формулы имеют весьма существенный недостаток: коэффициент безопасности условий труда определяется как среднее значение тех- условий, которые возникают под влиянием каждого значимого фактора. При этом экстремальные условия, складывающиеся под воздействием какого-то одного фактора, могут выравняться при учете других факторов, имеющих более благоприятные значения. Подобное выравнивание, т.е. определение среднего значения, допустимо только тогда, когда механизм сочетанного действия факторов подчиняется принципу антагонизма. Однако допустимость этого принципа подвергается большим сомнениям в гигиенических исследованиях.

#### НОВЫЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ УСЛОВИЙ ТРУДА

Более адекватным реальным профессиональным рискам является принятие механизма независимого действия факторов, однако при учете влияния каждого значимого неблагоприятного фактора. Исходя из этого механизма совместного действия авторами получено следующее выражение для определения уровня безопасности условий труда:

$$K_6 = \prod_{i=1}^n 0,2(x_{max} - x_i). \quad (3)$$

Сравнение фактических значений частоты профессионально обусловленных заболеваний работников с расчетными значениями риска  $R=1-K_6$ , вытекающими из модели (3), приводит к выводу о том, что указанная модель характеризует уровень безопасности, относящийся ко всему трудовому стажу работников. Это следует еще и из того, что оценки в баллах определяются через соотношение фактических значений факторов с их нормативными значениями. Нормативные же, или предельно допустимые, значения обосновываются в гигиенических исследованиях исходя из предположения о продолжительности воздействия факторов, равной трудовому стажу.

При переходе к расчетам, относящимся к одному году, следует исходить из того, что частота заболеваний работников предприятия в  $i$ -м году, при отсутствии изменений в значениях  $x_i$ , практически не зависит от частоты в предыдущем пе-

риоде. Изменения возможны в основном в связи с изменениями условий труда. С учетом этого можно записать [5]

$$K_{\sigma} = (1 - r_{\Gamma})^T, \quad (4)$$

где  $r_{\Gamma}$  – годовой риск;  $T=25$  лет – трудовой стаж.

Из этого выражения получаем

$$r_{\Gamma} = 1 - \sqrt[T]{K_{\sigma}} \quad (5)$$

или с учетом модели (3)

$$r_{\Gamma} = 1 - \left[ \prod_{i=1}^n 0,2(x_{\max} - x_i) \right]^{1/T}. \quad (6)$$

Коэффициент безопасности условий труда, относящийся к одному году, исходя из формулы (6) и соотношения  $K_{\sigma}=1-r_{\Gamma}$  будет

$$K_{\sigma} = \left[ \prod_{i=1}^n 0,2(x_{\max} - x_i) \right]^{1/T}. \quad (7)$$

Для продолжительности воздействия  $t$  имеем:

$$K_{\sigma} = \left[ \prod_{i=1}^n 0,2(x_{\max} - x_i) \right]^{t/T}. \quad (8)$$

Предположим, условия труда на рабочем месте формируются под влиянием трех факторов, которые получили следующие оценки в баллах:  $x_1=2$ ;  $x_2=4$ ;  $x_3=2$ . Подставляя эти значения в формулу (7), получаем

$K_{\sigma} = (0,8 \cdot 0,4 \cdot 0,8)^{1/25} = 0,95$ . Уровень профессионального риска, относящегося к одному году, согласно формуле (6) составит  $r_{\Gamma}=1-0,95=0,05$ . По отношению к трудовому стажу ( $t=25$  лет) из (8) получаем  $K_{\sigma} = 0,8 \cdot 0,4 \cdot 0,8 = 0,26$ . То есть уровень безопасности существенно ниже в сравнении с  $t=1$  год.

Важно отметить, что полученные модели (6-8) позволяют сделать важные прогнозы относительно уровня безопасности условий труда, а также риска в зависимости от числа формирующих факторов  $n$ , значений балльных оценок  $x_i$ , времени работы  $t$  и наметить соответствующие профилактические мероприятия.

Система баллов, применяемая для оценки состояния условий труда, по существу, оценивает уровень профессионального риска. Понятно в связи с этим, что чем выше значение балла по какому-то фактору, тем выше реальный риск и ниже должны быть значения коэффициента безопасности  $K_{\sigma}$  условий труда. С учетом этого можно предложить следующую зависимость между коэффициентом  $K_{\sigma}$  и баллом риска  $X_i$ :

$$K_{\sigma} = a + b \cdot \frac{1}{x_i}, \quad (9)$$

где  $a$  и  $b$  – коэффициенты регрессии, которые могут быть определены исходя из следующих соображений:

если  $x_i$  равно единице – оптимальные условия труда, то коэффициент  $K_6$  по учитываемому фактору равен единице;

если  $x_i$  равно шести – максимально неблагоприятные условия труда, то  $K_6=0$ .

Таким образом, получаем два уравнения из (9):

$$1 = a + b \cdot \frac{1}{1}, \quad (10)$$

$$0 = a + b \cdot \frac{1}{x_{max}}. \quad (11)$$

Из этих двух уравнений следует

$$a = 1 - \left( \frac{1}{1-x_{max}^{-1}} \right), \quad (12)$$

$$b = \frac{1}{1-x_{max}^{-1}}. \quad (13)$$

Подставляя выражения (12) и (13) в формулу (9), после преобразований получим

$$K_6 = \frac{x_{max} - x_i}{x_i \cdot (x_{max} - 1)}. \quad (14)$$

Значения  $K_6$  при различных  $x_i$  и при  $x_{max}=6$  приведены в табл.1.

Из нее следует, что при расчете по формуле (14) коэффициент безопасности условий труда быстро снижается при увеличении балла риска  $x_i$ .

При одновременном действии  $n$  факторов из (14) имеем

$$K_6 = \prod_{i=1}^n \frac{x_{max} - x_i}{x_i \cdot (x_{max} - 1)}. \quad (15)$$

Таблица 1. Результаты расчетов коэффициента  $K_6$  по различным формулам

Table 1. Calculation results of  $K_s$  coefficients by various formulas

Балл $x_i$	1	2	3	4	5	6
По формуле (14)	1	0,4	0,2	0,1	0,04	0
По формуле (21)	1	0,8	0,6	0,4	0,2	0
По формуле (22)	1	$\frac{5}{6} \approx 0,83$	$\frac{2}{3} \approx 0,67$	$\frac{1}{2} = 0,5$	$\frac{1}{3} \approx 0,33$	$\frac{1}{6} \approx 0,17$

Для получения связи коэффициента безопасности условий труда с баллами риска можно предложить также зависимость

$$K_6 = a + b \cdot \frac{(x_{max}+1) - x_i}{x_{max}}. \quad (16)$$

Коэффициенты регрессии  $a$  и  $b$  в этой зависимости находятся из уравнений

$$1 = a + b \cdot \frac{(x_{max}+1) - 1}{x_{max}}, \quad (17)$$

$$0 = a + b \cdot \frac{(x_{max}+1) - 6}{x_{max}}. \quad (18)$$

Уравнения (17) и (18) позволяют найти выражения

$$a = 1 - \frac{X_{max}}{5}, \quad (19)$$

$$b = \frac{X_{max}}{5}. \quad (20)$$

Подставив полученные выражения в (16), имеем после упрощений

$$K_6 = 0.2 \cdot (X_{max} - X_i). \quad (21)$$

По формуле (21) выполнены расчеты коэффициента  $K_6$ .

Коэффициент безопасности условий труда  $K_6$  при действии одного фактора может быть получен с использованием модели (22)

$$K_6 = \frac{(x_{max+1}) - x_i}{x_{max}}. \quad (22)$$

Результаты расчетов коэффициента  $K_6$  представлены в табл. 1. Из этих результатов следует, что модель (22) дает наиболее высокие оценки безопасности условий труда. Даже при максимальном балле риска ( $x_i=6$ ) коэффициент безопасности не получает нулевого значения.

При действии одновременно  $n$  факторов из (22) имеем

$$K_6 = \prod_{i=1}^n \frac{(x_{max+1}) - x_i}{x_{max}}. \quad (23)$$

По данным табл.1 построены графики, представленные на рисунке.

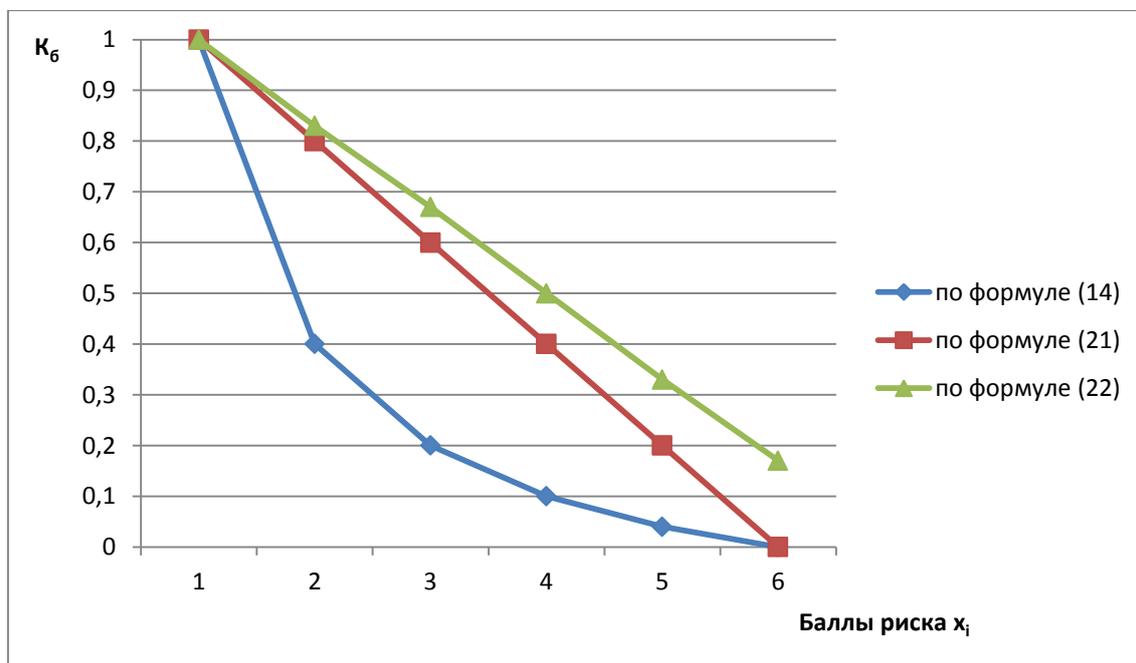


Рис. Зависимость коэффициентов безопасности  $K_6$  от баллов риска  $x_i$  при действии одного формирующего фактора

Fig. Variation of safety coefficients  $K_s$  with risk scores  $x_i$  under the action of one formative factor

Графики построены в предположении о том, что на рабочем месте имеется только один формирующий фактор. В реальности условия труда на рабочих местах в организациях машиностроения обычно формируются под влиянием одновременно трех и более факторов. Они могут иметь различные оценки в баллах

риска  $x_i$ . Важно учесть также следующее. Если на рабочем месте сумма баллов риска получит значение  $\sum_{i=1}^n x_i$ , то составляющие слагаемые этой суммы могут быть различными. Например,  $\sum_{i=1}^n x_i = 8$ ,  $n=3$ . В этом случае возможны следующие варианты из значимых факторов: 1)  $x_1=2$ ,  $x_2=2$ ,  $x_3=4$ ; 2)  $x_1=3$ ,  $x_2=3$ ,  $x_3=2$ ; 3)  $x_1=x_2=4$ . Для всех вариантов были выполнены соответствующие расчеты, представленные в табл. 2. Из нее следует, что при одной и той же сумме баллов риска, но при разных значениях баллов по отдельным факторам коэффициенты безопасности условий труда существенно различаются. Следует обратить внимание также на то, что расчеты по модели (15) приводят к минимальным значениям коэффициента безопасности. На нынешнем этапе исследований указать наиболее объективную модель пока не представляется возможным в связи с отсутствием достаточных статистических данных о реальных связях между суммой баллов риска на рабочих местах и частотой профессионально обусловленной заболеваемости работников. Требуется дальнейшие исследования.

Таблица 2. Результаты расчетов коэффициента безопасности условий труда при одновременном влиянии нескольких факторов

Table 2. Calculation results of safety coefficient of labour conditions at simultaneous influence of several factors

Варианты значений факторов	$x_1=2, x_2=2, x_3=4$	$x_1=3, x_2=3, x_3=2$	$x_1=x_2=4$
Коэффициенты безопасности $K_6$ при расчетах по разным формулам			
По формуле (1)	0,63	0,66	0,40
По формуле (2)	0,65	0,66	0,40
По формуле (3)	0,26	0,29	0,16
По формуле (15)	0,016	0,016	0,01
По формуле (22)	0,35	0,37	0,25

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Межотраслевые правила по охране труда при холодной обработке металлов. ПОТ РМ 006-97.
2. ГОСТ 12.3.025. Система стандартов безопасности труда. Обработка металлов резанием. Требования безопасности.
3. Минько, В. М. Охрана труда в машиностроении / В. М. Минько. – Москва: Издательский центр «Академия», 2016. – 256 с.
4. Минько, В. М. Развитие управления охраной труда в России: монография / В. М. Минько. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2015. – 191 с.

5. Минько, В. М. Математическое моделирование в техносферной безопасности / В. М. Минько. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2015. – 130 с.

#### REFERENCES

1. Mezhotraslevye pravila po ohrane truda pri holodnoj obrabotke metallov [Cross-sectoral rules on labour safety in cold treatment of metals]. POT RM 006-97.
2. GOST 12.3.025. Sistema standartov bezopasnosti truda. Obrabotka metallov rezaniem. Trebovaniya bezopasnosti [Occupational safety standards system. Processing of metals by cutting. Safety requirements].
3. Min'ko V. M. *Ohrana truda v mashinostroenii* [Labor protection in mechanical engineering]. Moscow, izdatel'skij centr "Akademija", 2016, 256 p.
4. Min'ko V. M. *Razvitie upravleniya ohranoj truda v Rossii* [Management development of labor protection in Russia]. Kaliningrad, izd-vo FGBOU VPO "KGTU", 2015, 191 p.
5. Min'ko V. M. *Matematicheskoe modelirovanie v tehnosfernoj bezopasnosti* [Mathematical modeling in technosphere safety]. Kaliningrad, izd-vo FGBOU VPO "KGTU", 2015, 130 p.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Минько Виктор Михайлович* – Калининградский государственный технический университет; д. т. н., профессор, зав. кафедрой безопасности жизнедеятельности; E-mail: mcotminco@mail.ru

*Minko Victor Mikhailovich* – Kaliningrad State Technical University; Doctor of Engineering; Professor, Head of the Department of safety; E-mail: mcotminco@mail.ru

*Евдокимова Наталья Анатольевна* – Калининградский государственный технический университет; к. т. н., доцент кафедры безопасности жизнедеятельности; E-mail: mcotminco@mail.ru

*Evdokimova Natalya Anatolyevna* – Kaliningrad State Technical University; PhD in Engineering; Associate Professor of the Department of safety; E-mail: mcotminco@mail.ru

УДК 624.072.014.2

## ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ПЕРФОРИРОВАННЫХ БАЛОК МКЭ

А. И. Притыкин, А. В. Мисник, А. С. Лаврова

## PECULARITIES OF CASTELLATED I-BEAMS CALCULATION BY FEM

A.I. Pritykin, A. V. Misnik, A. S. Lavrova

Рассмотрены особенности расчета деформаций и напряженного состояния двутавровых перфорированных балок с шестиугольными и круглыми вырезами методом конечных элементов (МКЭ) с применением программного комплекса ANSYS. Показаны тонкости расчета, связанные с заданием граничных условий, выбором сетки конечных элементов в зависимости от поставленной задачи расчета – рассчитывается ли напряженное состояние балки, ее прогибы или производится расчет на устойчивость. Обращено внимание на нюансы адекватного выбора конструктивных размеров конечно-элементной модели, связанных с назначением высоты стенки двутавровой балки при использовании конечных элементов оболочечного типа SHELL 63. Указаны разные подходы к созданию расчетной модели при использовании программного комплекса ANSYS: метод GUI, метод командных файлов на языке ADPL и метод Workbench. Изложение материала сопровождается числовыми примерами расчета перфорированной балки при разных вариантах разбивки на конечные элементы, позволяющими легко понять излагаемые принципы. Отмечается, что достичь требуемой точности в оценке напряженного состояния можно, создавая мелкую сетку не по всему контуру выреза, а лишь на его части, там, где ожидается максимальный уровень напряжений. Показано влияние схемы разбивки и сетки КЭ на оценку уровня напряжений в перфорированной балке. Приведены оптимальные размеры КЭ в зависимости от радиуса скругления углов шестиугольных вырезов или размера круглого выреза. Работа, основанная на многолетнем опыте авторов, позволит начинающим исследователям избежать нежелательных ошибок при моделировании конструкций для расчетов на прочность, жесткость и устойчивость с применением конечных элементов оболочечного типа.

*перфорированная двутавровая балка, прогиб, напряжения, устойчивость, сетка КЭ, МКЭ*

The article considers peculiarities of deformation and stress calculation of perforated I-beams calculations by the finite elements method using program complex ANSYS. Beams with hexagonal and circular openings were investigated. Different peculiarities connected with setting of boundary conditions, choice of the mesh size depending on the task – whether calculation of the stress state, deflections of beam or stability is carried out. Adequate choice of design dimensions of the finite element model was also considered. Attention is paid to the choice of constructive dimensions of the finite element model connected with setting of web height of I-beam when using finite elements of SHELL 63 type. We specified three different approaches to creation of calcu-

lation model using program complex ANSYS: GUI method, method of command files in ADPL language and Workbench method. Representation of the material is accompanied with the numerical examples of calculation of perforated beams under different variants of mesh sizes, enabling to easy understand basic principles. It is noted that to achieve the desired accuracy in estimation of stress state, it is possible to create refined mesh of elements not for all contour of the opening but only on a part of it where maximum stress level is expected.

The article shows the influence of the mesh scheme and sizes of finite elements for the fixed level of stresses in the perforated beam. Optimal sizes of finite elements depending on corners circularization of hexagonal openings or dimensions of circular cutoffs are represented. The work based on the author's long-term experience will allow young researches to avoid undesired mistakes in structure modeling for calculation of rigidity, strength and stability with application of finite shell elements.

*perforated I-beams, hexagonal and circular openings, deflection, stress, stability, mesh of FE, FEM*

## ВВЕДЕНИЕ

ANSYS – это мощный конечно-элементный программный комплекс, предназначенный для решения задач в различных областях инженерной деятельности, в том числе и в строительной отрасли при оценке прочности, жесткости и устойчивости. Однако его применение требует умения, так как часто незначительные отклонения в описании модели, задании граничных условий или разбивке на КЭ могут привести к существенным искажениям результатов. Работ, посвященных исследованию напряженно-деформированного состояния и устойчивости перфорированных балок, довольно много как за рубежом [1-7], так и в России [8-9]. Однако мало где детально излагаются вопросы выбора размеров КЭ, особенности задания граничных условий и т.п. Даже в книге «ANSYS в руках инженера» [10] нет в достаточном объеме необходимой информации.

Данная статья направлена на описание основных особенностей программирования расчетов конструкций МКЭ, позволяющих начинающим исследователям, с одной стороны, избежать ошибок при расчетах, а с другой – оптимизировать процесс расчета по времени и затратам труда. Ниже излагаются основные приемы программирования при расчетах МКЭ на персональных компьютерах.

## ТРИ ПОДХОДА К СОСТАВЛЕНИЮ РАСЧЕТНЫХ МОДЕЛЕЙ

В настоящее время существуют три разных подхода к составлению расчетных моделей МКЭ при использовании программного комплекса ANSYS: метод GUI (Graphical User Interface) – метод графического интерфейса; метод командных файлов на языке ADPL (ANSYS Design Programming Language); метод Workbench – самое эффективное средство для составления расчетных моделей, требующее специальных знаний для его использования, относящееся к новому поколению средств инженерного анализа.

Метод GUI был первой разработкой для ввода исходных данных при расчете конструкций с помощью ANSYS, он достаточно трудоемкий и малоэффективный и сейчас практически не используется.

Метод командных файлов на языке ADPL является одним из простых и удобных способов описания моделей для последующего расчета в среде ANSYS. Пользователям ANSYS, знакомым с простейшими языками программирования Basic или Fortran, относительно несложно овладеть и языком ADPL.

Метод Workbench – это программная платформа ANSYS, обеспечивающая:

- графический интерфейс, построенный на основе объектно-ориентированного принципа управления процессом работы с модулями, содержащими соответствующие объекты расчетной модели. Для каждого объекта возможен ввод и редактирование свойств;
- двунаправленную ассоциативную связь с геометрическими моделями в CAD-системах;
- общее информационное пространство управления проектом инженерного анализа. Возможность использования нескольких альтернативных способов препроцессинга и расчета для одной и той же исходной геометрической модели;
- возможность передачи КЭ-модели для дальнейшего расчета в стандартную среду ANSYS. Среда ANSYS Workbench активно развивается и уже в ближайшее время будет поддерживать все возможности стандартной среды ANSYS.

В данной работе речь будет идти о методе командных файлов. Впрочем, излагаемые принципы остаются справедливыми для любого метода ввода исходной информации, так как они относятся к основам расчетов МКЭ.

#### ОПТИМАЛЬНЫЙ ВЫБОР СЕТКИ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Вполне понятно, что оптимальный выбор размеров сетки в МКЭ может существенно сократить время вычислений при заданной точности расчетов. Это обусловлено тем, что число КЭ связано с числом уравнений МКЭ решаемой задачи. Общий подход к решению, основанный на принципе «чем больше элементов, тем точнее расчет», не всегда верен, так как при слишком большом числе уравнений NEQ сходимость решения может ухудшаться из-за накопления ошибок округления. С другой стороны, слишком малое число КЭ в ряде случаев приводит к недостаточно точным результатам. Выбор оптимального числа КЭ – одна из важных задач пользователя программой ANSYS. Надо отметить, что подход к выбору размеров сетки КЭ не является универсальным, а зависит от типа решаемой задачи: будь то расчет напряженного состояния, оценка критической нагрузки при потере устойчивости или прогибов перфорированной балки. Рассмотрим последовательно каждый из указанных вариантов.

При оценке напряженного состояния перфорированной балки наиболее важным является определение уровня напряжений в зонах их концентрации вблизи контуров отверстий. При расчете конструкции на прочность можно использовать КЭ разных типов – простые треугольные с постоянной величиной напряжений в пределах одного КЭ, четырехугольные с линейным распределением напряжений по полю элемента, изопараметрические квадратичные элементы и др. В работах авторов в основном использовались элементы SHELL 63, имеющие по три линейных и три угловых перемещения в каждом узле. Приводимые ниже рекомендации относятся именно к элементам этого типа.

При расчете напряженного состояния балок МКЭ для сокращения размеров системы уравнений NEQ применяется, как правило, неравномерная сетка КЭ: в зонах, где оценивается концентрация напряжений, генерируется мелкая сетка, а в остальной части балки – более крупная. Для дополнительного снижения размеров NEQ целесообразно учитывать симметрию балки, рассматривая только ее половину по длине, а в отдельных случаях еще и по ширине.

Если балка имеет большую протяженность, т.е. относительную длину  $l/H > 30$ , то можно применять мелкую сетку КЭ не у каждого выреза, а через два - три и не по всему контуру, а лишь на части его в районе ожидаемых уровней высоких напряжений. Тем самым существенно сокращается время счета. Оптимальные размеры сетки для балки с разной конфигурацией вырезов различных и определяются величиной радиуса скругления углов выреза.

Так, для балок с круглыми вырезами оптимальные размеры КЭ могут быть таковы: вблизи контуров вырезов  $\Delta_{КЭ} \approx r/80$ , а в остальной части балки  $\Delta = H/35$ , для балок с шестиугольными вырезами размеры КЭ вблизи контуров вырезов можно принимать равными  $\Delta_{КЭ} = r/10$ , а в остальной части балки  $\Delta = H/35$ . Заметим, что размерность системы уравнений у перфорированной балки при равномерной сетке КЭ значительно меньше, чем у балки со сплошной стенкой из-за меньшей ее площади.

Покажем на примерах расчет уровня напряжений в перфорированных балках с круглыми и шестиугольными вырезами. При выполнении расчетов важно убедиться в надежности полученных результатов, для чего можно использовать проверочные расчеты с другой сеткой КЭ, варьируя ее параметрами.

Рассмотрим балку размерами 1125-75-1-17-1.52 см-1-0.667 с шестиугольными скругленными вырезами радиусом  $r=0.04h$ , где  $h$  – высота вырезов. Для обозначения размеров балки в работе использована следующая сокращенная форма записи:  $l-H-t_w-b_f-t_fcm-\beta-\xi$ , полностью определяющая ее геометрию (рис. 1). Входящие сюда величины интерпретируются как:  $l$  – длина балки;  $H$  – полная высота ее;  $t_w$  – толщина стенки;  $b_f$  – ширина полков;  $t_f$  – толщина полков;  $\beta = d/H$  – относительная высота вырезов;  $\xi = c/d$  – относительная ширина перемычек. Размеры балки указываются в сантиметрах.

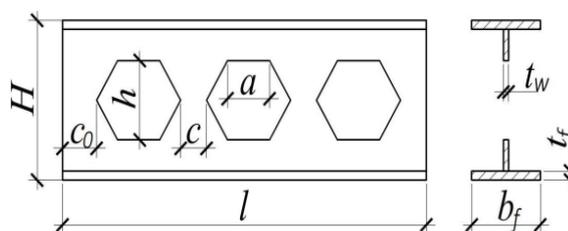


Рис. 1. Параметры балки с шестиугольной перфорацией  
Fig. 1. Parameters of beam with hexagonal perforation

Покажем влияние разной схемы разбивки и размеров КЭ на результаты расчета данной балки при  $r=20$ мм. Напряжения вблизи кромки среднего выреза при  $\Delta_{КЭ} = 1$ мм и мелкой сетке вокруг всего выреза  $\sigma_{max}^{ЭКЭ} \approx 420$ МПа (рис. 2, а), а при

мелкой сетке в районе только двух кромок (рис. 2, б)  $\sigma_{max}^{ЭКВ} = 410.47 МПа$ , что приводит к расхождению в 2.4 %. На этом же рис. 2, с показана зона скругления выреза в большем масштабе.

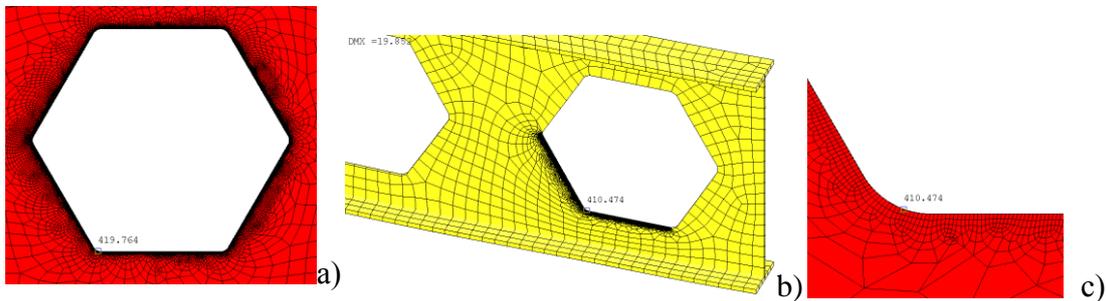


Рис. 2. Уровень  $\sigma_{max}^{ЭКВ}$ : а)  $\Delta_{КЭ} - \Delta = 1мм - 20мм$ ; б)  $\Delta_{КЭ} - \Delta = 1мм - 20мм$ ; в) крупный вид  
 Fig. 2. Level of  $\sigma_{max}^{ЭКВ}$ : а)  $\Delta_{КЭ} - \Delta = 1mm - 20mm$ ; б)  $\Delta_{КЭ} - \Delta = 1mm - 20mm$ ; в) increased view

Увеличение сетки КЭ до  $\Delta_{КЭ} = 2мм$  приводит к снижению значения напряжений до  $\sigma_{max}^{ЭКВ} = 407.6 МПа$  (рис.3, а) и расхождению по сравнению с сеткой  $\Delta_{КЭ} = 1мм$  (см. рис.2, а) в 3 %.

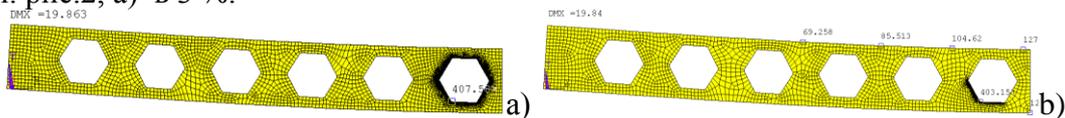


Рис. 3. Уровень  $\sigma_{max}^{ЭКВ}$ : а) сетка по всему контуру; б) сетка только на двух кромках  
 Fig. 3 Level of  $\sigma_{max}^{ЭКВ}$ : а) mesh on the whole contour; б) mesh on two sides

Разбивка мелкой сетки вокруг только двух кромок выреза (рис. 3, б) при  $\Delta_{КЭ} = 2мм$  дает  $\sigma_{max}^{ЭКВ} = 403.1 МПа$ , что приводит к расхождению в 1 %.

Результаты показывают, что значения напряжений в зоне выреза точнее всего оцениваются при мелкой сетке, опоясывающей контур выреза. При мелкой сетке всего у двух кромок оценка напряжений оказывается заниженной примерно на 3 %. Отметим, однако, что в инженерных расчетах это вполне допустимо.

При большом числе вырезов расположение мелкой сетки у каждого выреза (рис. 4, а) может привести к большой размерности системы уравнений NEQ, для уменьшения которой мелкую сетку можно выполнять не у каждого выреза, а через один или несколько вырезов (рис. 4, б).

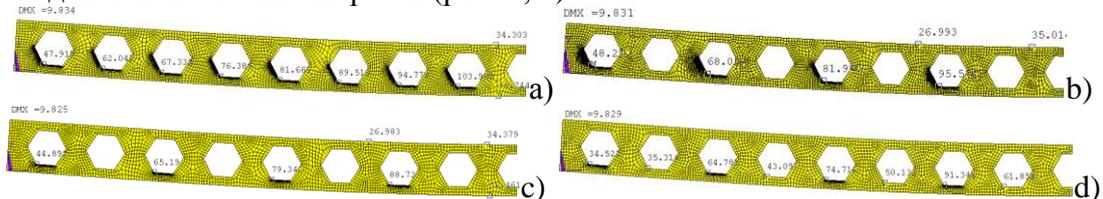


Рис. 4. Уровень  $\sigma_{max}^{ЭКВ}$ : а)  $\Delta_{КЭ} = 2мм$ ; б) через вырез; в) у кромки; д)  $\Delta_{КЭ} = 3мм$   
 Fig. 4 Level of  $\sigma_{max}^{ЭКВ}$ : а/  $\Delta_{КЭ} = 2mm$ ; б/one in two; в/only low side; д/mesh  $\Delta_{FE} = 3mm$

Напряжения при этом практически не изменяются: расхождение в величинах  $\sigma_{max}^{ЭКВ}$  составляет 0.8 %. Применение еще более ограниченной сетки (всего лишь

на одной нижней кромке) при одинаковых размерах КЭ приводит к заниженной оценке уровня напряжений примерно на 3-3.1 % (см. третий и пятый вырезы на рис. 4, а и с). Правда, для седьмого выреза это расхождение возросло до 6% (например, 94.77 МПа и 88.72 МПа), но это скорее всего случайный выброс, так как приращение напряжений между третьим и первым вырезами составляет 20МПа, между пятым и третьим вырезами – 14МПа, а вот между седьмым и пятым вырезами по рис. 4, а имеем  $\Delta_{\sigma} = 13.1 \text{ МПа}$ , а по рис. 4, с – всего лишь  $\Delta_{\sigma} = 9.4 \text{ МПа}$ , что явно не соответствует реальной картине распределения напряжений при линейном законе изменения изгибающего момента.

Увеличение размера сетки до  $\Delta_{КЭ} = 3 \text{ мм}$  (рис. 4, d), т. е. в 1.5 раза по сравнению с рис. 4, с, ведет к заниженной оценке примерно на 0.6 % для третьего выреза и на 6 % для пятого выреза.

Посмотрим теперь, как влияет разбивка на КЭ на оценку напряжений в балке с *круглыми вырезами*. На рис. 5 показано влияние разной разбивки стенки балки на КЭ на точность оценки напряжений в ней. Так, на рис. 5, а показана сетка  $\Delta_{КЭ} - \Delta = 3 \text{ мм} - 40 \text{ мм}$ , а на рис. 5, б приведена та же балка, но с сеткой  $\Delta_{КЭ} - \Delta = 3 \text{ мм} - 20 \text{ мм}$ . Из сопоставления полученных результатов видно, что с определенным допущением можно считать, что определяющую роль в оценке напряжений на контуре выреза играет размер сетки именно вблизи контура: при  $\Delta_{КЭ} = 3 \text{ мм}$  напряжения в районе как пятого, так и седьмого вырезов остались почти неизменными (569 МПа и 625 МПа соответственно).

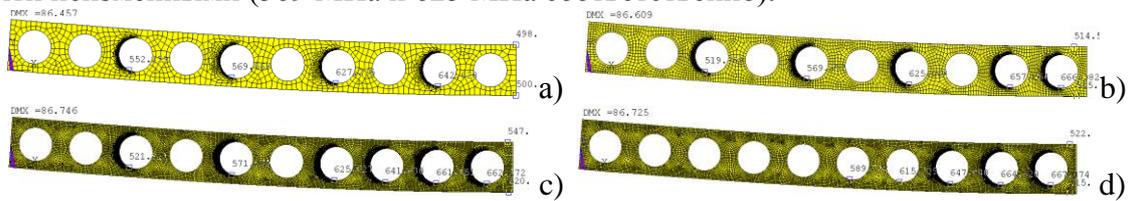


Рис. 5. Уровень  $\sigma_{max}^{ЭКВ}$  при КЭ: а) 3мм-40мм; б) 3мм-20мм; в) 3мм-10мм; д) 2мм-10мм

Fig. 5. Level of  $\sigma_{max}^{ЭКВ}$  when FE: а) (3-40)mm; б) (3-20)mm; в) (3-10)mm; д) (2-10)mm

Дальнейшее уменьшение сетки вне контура выреза до  $\Delta = 10 \text{ мм}$  практически не оказало влияния на фиксируемую величину напряжений (сравните вырезы третий, пятый, седьмой и девятый на рис. 5, б и 5, в), расхождение в величинах всего 0.4-0.8 %. Уменьшение же мелкой сетки до  $\Delta_{КЭ} = 2 \text{ мм}$  приводит к изменению оценки в 0.5-1 % (сравните седьмой, десятый вырезы на рис. 5, в и 5, д). Основным выводом заключается в том, что нет особого смысла чрезмерно уменьшать сетку КЭ, поскольку точность расчетов от этого возрастает незначительно. Оптимальной, на наш взгляд, является мелкая сетка с  $\Delta_{КЭ} = r/80$ , а вне зоны вырезов -  $\Delta = (1/35 \div 1/20)H$ .

На рис. 6 продемонстрированы три разных варианта разбивки на КЭ одной

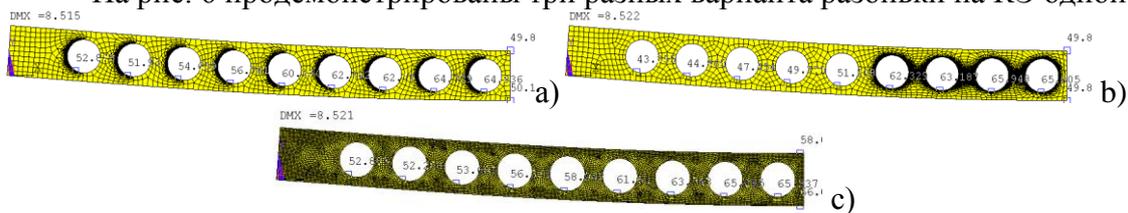


Рис. 6. Уровень  $\sigma_{max}^{ЭКВ}$  при сетке: а) 3мм-40мм; б) 3мм-40мм; в) Δ=10мм

Fig. 6. Level of  $\sigma_{max}^{эКЭ}$  under mesh: a) 3mm-40mm; b) 3mm-40mm; c) uniform  $\Delta=10mm$

и той же балки: в первом варианте (рис. 6, а) КЭ 3-40мм с мелкой сеткой на половине каждого выреза; во втором - те же размеры сетки, но на полном контуре вырезов (рис. 6, b); в третьем - равномерная сетка с КЭ  $\Delta=10mm$  на всей длине балки (рис. 6, с). Из сопоставления рис. 6, а и рис. 6, b видно, что при одной и той же сетке погрешность в оценке напряжений составляет примерно 2 %.

Конечно, повышение точности оценки всего на 1.5-2 % путем значительно-го увеличения времени счета далеко не всегда оправдано. Данные о напряжениях, представленные на рис. 6, с, показывают, что при круглых вырезах даже относительно крупная равномерная сетка ( $\Delta=10mm$ ) может дать удовлетворительные результаты. Расхождение с результатами, показанными на рис. 6, b, составляет 1%.

При оценке прогибов перфорированных балок не нужна разбивка стенки на столь малые КЭ, как при определении уровня напряжений и даже не требуется скрупулезное отображение скруглений шестиугольных вырезов. Проанализируем точность расчетов прогибов при разных сетках КЭ. На рис. 7 представлены деформированные состояния балки с шестиугольными вырезами при разных сетках КЭ. Как видно из рис. 7, при варьировании размерами сетки КЭ в диапазоне  $\Delta=H/30 - \Delta=H/10$  оценка прогибов изменяется всего на 0.5 % (для сетки с  $\Delta=H/10$  прогиб равен 7.334 мм, а с сеткой  $\Delta=H/30$  имеем прогиб 7.375 мм), на основании чего можно заключить, что уменьшение сетки КЭ приводит лишь к незначительному повышению точности при оценке прогибов перфорированной балки.

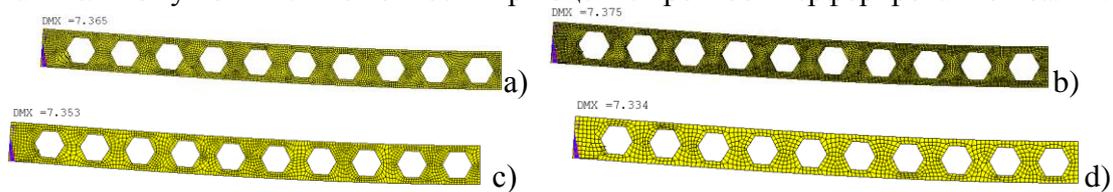


Рис. 7. Величина прогибов при: а)  $\Delta=H/20$ ; б)  $\Delta=H/30$ ; в)  $\Delta=H/15$ ; д)  $\Delta=H/10$   
 Fig. 7. Deflections under mesh: а)  $\Delta=H/20$ ; б)  $\Delta=H/30$ ; в)  $\Delta=H/15$ ; д)  $\Delta=H/10$

Вполне достаточной с позиций инженерного расчета является сетка с КЭ величиной  $\Delta=H/10$ .

При оценке критической нагрузки, соответствующей местной потере устойчивости, как и при оценке прогибов, не требуется разбивка балки на мелкие элементы. Убедимся в этом на примере той же балки, что показана на рис. 7, только результаты расчета ее критической нагрузки представим на рис. 8.

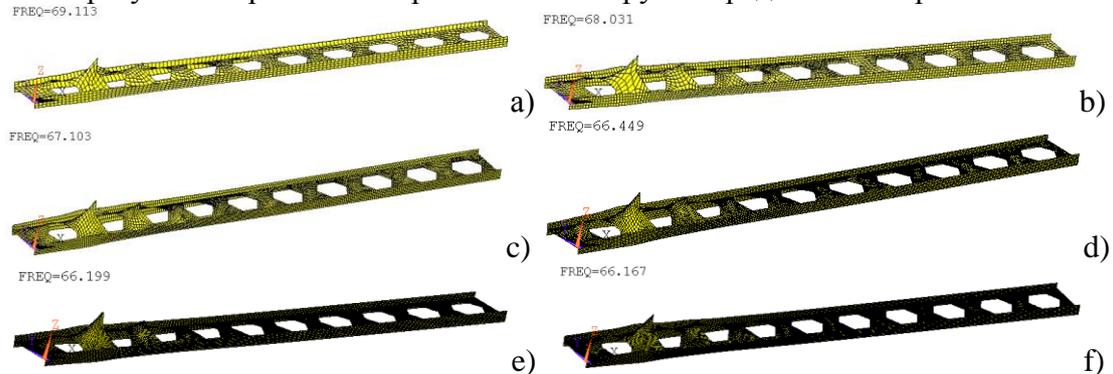


Рис. 8. Критическая нагрузка балки: а)  $\Delta=H/10$ ; б)  $\Delta=H/15$ ; в)  $\Delta=H/20$ ; д)  $\Delta=H/30$ ;

$$d/\Delta=N/40; f/\Delta=N.45$$

Fig. 8. Critical load of beam when: a)  $\Delta=N/10$ ; b)  $\Delta=N/15$ ; c)  $\Delta=N/20$ ; d)  $\Delta=N/30$ ;  $d/\Delta=N/40$ ;  $f/\Delta=N.45$

Из полученных результатов можно сделать вывод, что для достоверной оценки критической нагрузки сетка КЭ должна быть более мелкой, чем при оценке прогибов. Если при расчете прогибов достаточной была сетка КЭ размером  $\Delta=N/10$ , то при оценке устойчивости, как видно из сопоставления рис. 8, d и рис. 8, e, только при КЭ, равных  $\Delta=N/30$ , можно получить результат с точностью до 0.4 %. Дальнейшее уменьшение КЭ до  $\Delta=N/45$  не дает ощутимого уточнения результата (см. рис. 8, d-f).

### ОСОБЕННОСТИ ЗАДАНИЯ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ

При описании конечно-элементных моделей с помощью языка ADPL следует обращать внимание на корректность задания граничных условий. Если ставится задача рассчитать шарнирно опертую перфорированную балку, нагруженную поперечной произвольной нагрузкой, то граничные условия записываются для обеих опор. В случае симметричной нагрузки граничные условия записываются проще, поскольку в случае учета симметрии по длине, т. е. рассмотрения половины балки, граничные условия записываются всего лишь для одной левой опоры.

Здесь следует обратить внимание, что условия опирания на левой опоре при рассмотрении полноразмерной балки и балки половинной длины будут несколько отличаться, поскольку в последнем случае опорное сечение имеет возможность горизонтального смещения.

Проверить правильность задания граничных условий довольно легко, определив величины нормальных напряжений в верхней и нижней полках балки. При корректном задании условий величины нормальных напряжений должны быть практически одинаковы (рис. 9).



Рис. 9. Распределение напряжение по высоте в шарнирно-опертой балке  
Fig. 9. Stress distribution through height in simply supported beam

Незначительное расхождение в величинах напряжений в верхних и нижних волокнах балки (рис. 9) в районе перемычки (155.99 МПа и 156.02 МПа) указывает на корректное задание граничных условий.

### ОСОБЕННОСТИ ЗАДАНИЯ ВЫСОТЫ БАЛКИ

При задании размеров двутавровой балки при использовании оболочечных элементов типа SHELL63, SHELL43 и других важно иметь в виду, что в программном комплексе ANSYS расчетная схема учитывает толщину КЭ, которая в программе задается атрибутом, т. е. одним из чисел, характеризующим его размер. В обычной изображаемой на дисплее расчетной схеме полки и стенка балки изображаются в виде линий, не имеющих толщины (рис. 10, а).

Такое изображение затрудняет понимание реальных размеров высоты балки, поскольку неясно, как учитывается толщина полок. Для реального отображения размеров конструкции в программе ANSYS имеются инструкции: PlotCtrls–Style – Size and Shape – Display of element shapes based on real constant descriptions, позволяющие представить истинную форму поперечного сечения балки с учетом реальных толщин (рис. 10,б). Понимание этого позволяет правильно задать расчетную толщину стенки: при фактической высоте балки НВМ надо вводить высоту стенки  $HW = НВМ - TFL$  (TFL – толщина полки). Только в этом случае полная высота балки будет соответствовать ее расчетному значению. Например, если высота балки равна  $НВМ = 75$  см, а толщина каждой из полок  $TFL = 1.5$  см, то толщину стенки следует принимать равной  $HW = 75 - 1.5 = 73.5$  см. В этом случае полная высота балки будет равна  $НВМ = 75$  см (рис. 10, б).

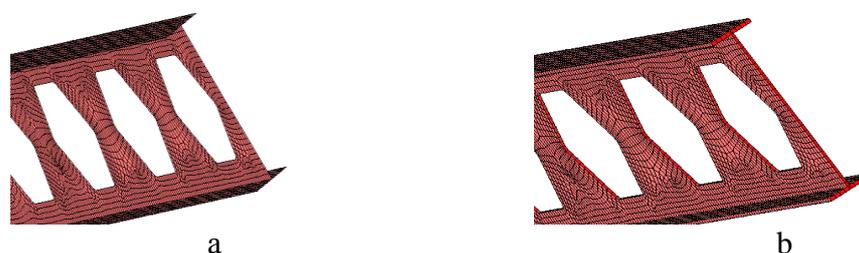


Рис. 10. Параметры балки: а) расчетная схема; б) реальная форма с толщинами  
 Fig. 10. Beam parameters: a) calculation model; b) real form with thicknesses

### ВЫВОДЫ

1. Полученные результаты показали, что даже для одной и той же балки оптимальная сетка КЭ будет разной в зависимости от типа решаемой задачи.
2. Чтобы полная высота модели равнялась высоте балки  $H$ , надо высоту стенки модели НВМ принимать равной  $НВМ = H - TFL$ , где TFL – толщина полки.
3. Одной из форм проверки правильности задания граничных условий может быть равенство по абсолютной величине уровня напряжений в полках одного и того же сечения балки.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Vesraghavachary, K. Stress distribution in castellated beam // Proc of ASCE, Struct Div. -1972- 95(2)- p. 78-82.
2. Cheng, W.K.; Hosain, M.U.; Neis, V.V. Analysis of castellated steel beams by the finite elements method // Proc. of Special Conf on FEM in Civil Eng, Moutrede, Can-ada - 1972.- p. 58-64.
3. Devinis, B.; Kvedaras A. K. Investigation of rational depth of castellated steel I-beam // J of Civil Eng. and Management. -2008.-v.149(3).-p. 163-168.
4. Chhapkhane, N.K.; Sashikant, R. K. Analysis of stress distribution in castellated beam using finite element method and experimental techniques // Int. J. of Mech Eng Appl Res -2012.-v. 3(3). –p.190-197.

5. Wakchaure, M.R.; Sagade, A.V. Finite element analysis of castellated steel beam // *Int. J. of Eng. and Innovative Technology (IJEIT)*.– 2012.–v. 2(1). –p. 365-372.
6. Wang, P.; Wang, X.; Ma, N. Vertical shear buckling capacity of web-posts in castellated steel beams with fillet corner hexagonal web openings // *Engineering Structures*. -2014. –v.75.- p.315-326.
7. Durif, S.; Bouchair, A.; Vassart, O. Experimental and numerical investigation on web-post member from cellular beams with sinusoidal openings // *Eng. Struct.*-2014.-v. 59. -P. 587-598.
8. Добрачев, В. М. Аналитическое определение напряженно-деформированного состояния стенки-перемычки перфорированной балки / В. М. Добрачев, Е. В. Литвинов // *Известия вузов. Сер. Строительство*. – 2003. – №5. – С.128-133.
9. Притыкин, А. И. Концентрация напряжений в балках с одним рядом шестиугольных вырезов / А. И. Притыкин // *Вестник Московского государственного строительного университета*. – 2009. – № 1. – С. 118–121.
10. Каплун, А. Б. ANSYS в руках инженера: практическое руководство / А. Б. Каплун, Е. М. Морозов, М. А. Олферьева. – Москва, 2004. – 272 с.

#### REFERENCES

1. Vesraghavachary K. Stress distribution in castellated beam. *Proc of ASCE, Struct Div.* 1972, no. 95(2). pp. 78-82.
2. Cheng W. K., Hosain M. U., Neis V. V. Analysis of castellated steel beams by the finite elements method. *Proc. of Special Conf. on FEM in Civil Eng., Moutrede.* Canada, 1972, pp. 58-64.
3. Devinis B., Kvedaras A. K. Investigation of rational depth of castellated steel I-beam. *J. of Civil Eng. and Management*. 2008, vol. 149(3), pp. 163-168.
4. Shhapkhane N. K., Sashikant R. K. Analysis of stress distribution in castellated beam using finite element method and experimental techniques. *Int. J. of Mech. Eng. Appl. Res.* 2012, vol. 3, pp. 190-197.
5. Wakchaure M. R., Sagade A. V. Finite element analysis of castellated steel beam. *Int. J. of Eng. and Innovative Technology (IJEIT)*. 2012, vol. 2(1), pp. 365-372.
6. Wang P., Wang X., Ma N. Vertical shear buckling capacity of web-posts in castellated steel beams with fillet corner hexagonal web openings. *Engineering Structures*, 2014, vol. 75, pp. 315-326.
7. Durif S., Bouchair A., Vassart O. Experimental and numerical investigation on web-post member from cellular beams with sinusoidal openings. *Engineering Structures*, 2014, vol. 59, pp. 587-598.
8. Dobrachev V. M., Litvinov E. V. Analiticheskoe opredelenie naprjazhenno-deformirovannogo sostojanija stenki-peremychki perforirovannoj balki [Analytical definition of stressed and strained state of the bridge of the perforated beam]. *Izvestija vuzov. Ser. Stroitel'stvo*. 2003, no. 5, pp. 128-133.
9. Pritykin A. I. Koncentracija naprjazhenij v balkah s odnim rjadom shestiuhol'nyh vyrezov [Stress concentration in beams with one row of hexagonal openings]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo stroitel'nogo universiteta*, 2009, no. 1, pp. 118-121.

10. Kaplun A. B., Morozov E. M., Olfer'eva M. A. *ANSYS v rukah inzhenera: Prakticheskoe rukovodstvo* [ANSYS in an engineer's hands: practical guidance]. Moscow, Editorial URSS, 2004, 272 p.

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

*Притыкин Алексей Игоревич* – Калининградский государственный технический университет; доктор технических наук, профессор кафедры кораблестроения, декан факультета судостроения и энергетики; E-mail: prit\_alex@mail.ru

*Pritykin Alexej Igorevich* – Kaliningrad State Technical University; Dr. Sci.(Tech), professor of the shipbuilding department, dean of the faculty of shipbuilding and power engineering; E-mail: prit\_alex@mail.ru

*Мисник Александр Владиславович* – Балтийский федеральный университет им. И. Канта; аспирант кафедры градостроительства, землеустройства и дизайна; E-mail: a.misnik@inbox.ru

*Misnik Alexandr Vladislavovich* – Im. Kant Baltic Federal University; post-graduate student of the department of urban development, land management and design; E-mail: a.misnik@inbox.ru

*Лаврова Анна Сергеевна* – Калининградский государственный технический университет; аспирант кафедры промышленного и гражданского строительства; E-mail: anna-gaide@bk.ru

*Lavrova Anna Sergeevna* – Kaliningrad State Technical University; postgraduate student of the department of industrial and civil construction; E-mail: anna-gaide@bk.ru

## ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ ЖУРНАЛА «ИЗВЕСТИЯ КГТУ»

### Общие требования

Журнал 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. Все присланные статьи проходят проверку системой «Антиплагиат».

### В редакцию журнала авторы представляют:

- распечатку рукописи, подписанную всеми авторами, и ее электронную версию – два экземпляра. Текст рукописи должен полностью соответствовать тексту электронного варианта;
- заверенную внешнюю или внутреннюю рецензию доктора наук;
- сведения об авторах на русском и английском языках (распечатку и электронный вариант) – один экземпляр.

### Объем статьи

Объем статьи составляет от пяти до восьми страниц текста, включая рисунки, таблицы и список литературы.

### Структура статьи

- **Введение** (состояние проблемы, задачи исследования);
- **Основная часть** (постановка задачи, методы и результаты исследования, их обсуждение). Основную часть рекомендуется разбивать на разделы с названиями, отражающими их содержание;
- **Заключение** (выводы).

### Составные части статьи и порядок их следования

1. Индекс по универсальной десятичной классификации (УДК) размещается в левом верхнем углу без отступа.
2. Через один интервал по центру – **название статьи** (прописными буквами, кегль 12, обычный).
3. Через один интервал по центру – **инициалы и фамилия(и) автора(ов)** (кегель 12, обычный).
4. Через один интервал по центру – **название статьи на английском языке** (прописными буквами, кегль 12, обычный).
5. Через один интервал по центру – **инициалы и фамилия(и) автора(ов) на английском языке** (кегель 12, обычный).
6. Через два интервала с отступом Tab. 1,27 – **аннотация не более 250 слов** (кегель 12, обычный).
7. С новой строки с отступом Tab. 1,27 – **ключевые слова** (кегель 12, курсив).
8. Через два интервала с отступом 1,27 – **аннотация 200-250 слов на английском языке** (кегель 12). Аннотация должна быть выполнена без использования программ для перевода.
9. С новой строки с отступом Tab. 1,27 – **ключевые слова на английском языке** (кегель 12, курсив).

10. Через два интервала с отступом – **текст статьи** (кегель 12), включающий в себя обязательные структурные элементы (см. Структура статьи).

11. Через два интервала после текста статьи по центру – список литературы (должен быть озаглавлен – **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ**). Список литературы в научных публикациях обязателен (оформляется по **ГОСТ 7.1-2003** «Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления», **ГОСТ Р 7.0.5-2008** «Библиографическая ссылка. Правила составления»). Список литературы должен содержать все цитируемые и упоминаемые в тексте работы. В список включаются только те работы, на которые автор ссылается в тексте. Источники в списке литературы нумеруются и располагаются в порядке их упоминания в тексте (в порядке цитирования).

### **Образцы оформления списка использованных литературных источников: Монография**

1. Агеев, В. В. Грузопассажиры суда в военных конфликтах: моногр. / В. В. Агеев. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2013. – 106 с.

2. Бухановский, А. В. Моделирование нелинейных систем в сложных динамических средах: моногр. / А. В. Бухановский, С. В. Иванов, Ю. И. Нечаев. – Санкт-Петербург: Издательский центр НИУ ИТМО, 2013. – 263 с.

#### **Книга**

##### **Книги одного - трех авторов**

1. Розенштейн, М. М. Методы оптимизации проектных характеристик орудий рыболовства: моногр. / М. М. Розенштейн. – Калининград: ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2013. – 185 с.

2. Новикова, А. М. Универсальный экономический словарь / А. М. Новикова, Н. Е. Новиков, К. А. Погосов. – Москва: Экономика, 1995. – 135 с.

##### **Книги более трех авторов**

Религии мира: пособие для преподавателей / Я. Н. Шапов [и др]. – Санкт-Петербург: Питер, 1996. – 496 с.

##### **Книги, не имеющие индивидуальных авторов (под редакцией)**

Сборник задач по физике: учеб. пособие для вузов / под ред. С. М. Павлова. – 2-е изд., доп. – Москва: Высшая школа, 1995. – 347 с.

##### **Статья в журнале**

1. Толкачева, О. В. Влияние барьерных факторов на стойкость пресервов / О. В. Толкачева, Б. Л. Нехамкин, В. И. Шендерюк // Рыбная промышленность. – 2006. – №2. – С. 14-16.

2. Байдалинова, Л. С. Перспективы использования растительных антиоксидантов для стабилизации гидролитических и окислительных процессов в препаратах полиненасыщенных жирных кислот / Л. С. Байдалинова, С. В. Андропова // Известия Калининградского государственного технического университета. – 2013. – № 29. – С. 74-80.

##### **Статья в электронном журнале**

1. Белоус, Н. А. Прагматическая реализация коммуникативных стратегий в конфликтном дискурсе / Н. А. Белоус // Мир лингвистики и коммуникации: электронный научный журнал. – 2006. – № 4 [Электронный ресурс]. URL: [http://www.tverlingua.by.ru/archive/005/5\\_3\\_1.htm](http://www.tverlingua.by.ru/archive/005/5_3_1.htm) (дата обращения: 15.12.2007).

2. Орехов, С. И. Гипертекстовый способ организации виртуальной реальности / С.И. Орехов // Вестник Омского государственного педагогического университета: электронный научный журнал. – 2006 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.omsk.edu/article/vestnik-omgpu-21.pdf> (дата обращения: 10.01.2007).

**Статья, опубликованная в сборниках научных трудов вузов, материалах конференций и семинаров**

1. Авдеева, Е. В. Биоразнообразие паразитов рыб и ее особенности в бассейне Вислинского залива (Балтийское море) / Е. В. Авдеева, Е. Б. Евдокимова, С. К. Заостровцева // I Всерос. науч. интернет-конф. (12 февр. 2013): материалы. – Казань, 2013. – С. 52-56.

2. Александров, Ю. П. Измерение динамической твердости титановых сплавов / Ю. П. Александров // 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.

**Диссертация или автореферат диссертации**

1. Данилов, Г. В. Как же быть?: дис. ... канд. экон. наук: 05.13.10 / Данилов Геннадий Петрович; МАИ. – Москва, 1999. – 138 с.

2. Манилов А. В. Кто виноват?: автореф. дис. ... канд. юрид. наук: 05.13.10 / Манилов Алексей Владимирович; МЮИ. – Москва, 1999. – 16 с.

**Переводная книга**

1. Себехей, В. Теория орбит: ограниченная задача трех тел / В. Себехей: пер. с англ. / под ред. Г. Н. Дубошина. – Москва: 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 / К. Дж. Дейт: пер. с англ. – Москва: Вильямс, 2006. – 1328 с. [Date C. J. An Introduction to Database Systems. 8th ed. Addison-Wesley, 2003. – 1024 p.].

Ссылки на все приведенные в списке литературы источники в тексте заключаются в квадратные скобки, например: [2], [4–7], [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.**

12. Через один интервал по центру – список литературы на латинице (должен быть озаглавлен – **REFERENCES**). Транслитерировать список литературы можно автоматически, зайдя на сайт <http://translit.ru> и выбрав режим BGN.

**Монография, книга**

1. Shorygin A. A. *Pitanie i pishchevye vzaimootnosheniia ryb Kaspiiskogo moria* [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 rezanie metallov* [Tribology of Cutting, Vol. 1: Frictional Processes in Metal Cutting], Ivanovo, Ivanovskii Gos. Univ., 2009.

#### Статья в журнале

1. Zagurenko A.G., Korotovskikh V.A., Kolesnikov A.A., Timonov A.V., Kardymon D.V. Techno-economic Optimization of the Design of Hydraulic Fracturing [Tekhniko-ekonomicheskaya optimizatsiya dizaina gidrorazryva plasta]. *Neftyanoe khozyaistvo*, 2008, no.11, pp. 54-57.

2. Sokolov L. I. Pitaniye 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 smernosti 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://vestnik.mednet.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. Osobnosti 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 resursoberegayushchie 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.]. Saratov, 2000. 360 p.

2. Dolganova N.V. *Razrabotka ekologicheskoi 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.]. Moscow, 1997. 54 p.

#### Переводная книга

1. Timoshenko S.P., Yound D.H., Weaver W. Vibration problems in engineering. 4<sup>th</sup> ed. New York, Wiley, 1974. 521 p. (Russ. Ed.: Timoshenko S.P., Iang D.Kh., Uiver U. *Kolebaniia v inzhenernom dele*. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1985. 472 p.).

13. Через два интервала по центру – **ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ(АХ)**. Через интервал по центру дается следующая информация: *ФИО автора (курсивом)*, место работы, научная степень, ученое звание, должность, e-mail (для всех данных кегль 12). Через интервал по центру информация дублируется на английском языке (*ФИО автора курсивом*, для всех данных кегль 12) и т. д. для всех авторов.

Пример:

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

*Петров Иван Иванович* – Калининградский государственный технический университет; аспирант кафедры «Технология продуктов питания»;  
E-mail: petrov@mail.ru.

*Petrov Ivan Ivanovich* – Kaliningrad State Technical University; Postgraduate student of the Department "Technology of food"; E-mail: petrov@mail.ru.

### Правила оформления рукописей

- формат бумаги: А4;
- ориентация: книжная;
- поля сверху, слева, справа – 3 см, снизу – 3,5 см;
- гарнитура шрифта: Times New Roman;
- кегль – 12;
- абзац с отступом Tab. 1,27;
- межстрочный интервал – одинарный;
- 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 (путь: меню СЕРВИС → подменю ЯЗЫК → пункт РАССТАНОВКА ПЕРЕНОСОВ → поставить галочку в открывшемся окне «автоматическая расстановка 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 над первой частью таблицы, следом идет название таблицы; над другими частями пишут: «Продолжение таблицы», с указанием номера таблицы. Таблица должна быть вставлена автоматически (через «Таблица: Добавить таблицу»).

**Рисунки**. Допускаются только черно-белые четкие рисунки, выполненные средствами компьютерной графики или сканированные (сканированные необходимо распечатывать на лазерном или струйном принтере). 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, рис. 2 и т. д. Все рисунки должны быть пронумерованы (Рис. 1, Рис. 2 и т. д.) и иметь подрисуночные подписи. Номер рисунка и подрисуночная подпись располагаются под рисунком. 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. Точка в конце подрисуночной подписи не ставится.

**Если в статье один рисунок или одна таблица, они не нумеруются.**

**Не допускается заканчивать статью рисунком или таблицей.**

**Все рисунки и таблицы должны быть расположены по центру полосы набора.**

**Подпись под рисунком и название таблицы печатаются на двух языках – русском и английском.**

**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 Таб. 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:  $e$  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 крестика ( $\times$ ). 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  $\frac{a}{b}$  рекомендуется писать 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.

### **Подготовка аннотации**

Аннотация должна содержать от 200 до 250 слов, ключевые слова – не более 7 слов или словосочетаний. Аннотация должна быть полноценной и информативной, не содержать общих слов, отражать содержание статьи и результаты исследований, строго следовать структуре статьи. Таким образом, аннотация позволяет решить, следует ли обращаться к полному тексту статьи. Сведения, содержащиеся в заглавии статьи, не должны повторяться в тексте аннотации. Следует избегать лишних вводных фраз, например, «автор статьи рассматривает...». 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, употреблять синтаксические конструкции, свойственные языку научных и технических документов, избегать сложных грамматических конструкций.

### **Электронный вариант материалов**

Текст статьи, рефераты, ключевые слова и сведения об авторе(ах) размещаются в одном файле. Материалы должны быть оформлены с применением средств Microsoft Office 2003 (расширение текстового файла \*.doc). Для передачи информации подойдет любые электронные носители.

**Редакция журнала оставляет за собой право производить сокращения и редакционные изменения рукописи.**

**Статьи, не соответствующие вышеперечисленным требованиям, могут быть возвращены автору(ам) для доработки.**

**Рукописи статей, принятых к публикации, авторам не возвращаются.**

Публикации статей бесплатные. Рукописи статей сотрудников ФГБОУ ВПО «КГТУ» направляются в редакционную коллегию журнала по рекомендациям научно-методических семинаров кафедр. Все статьи проходят обязательное внешнее или внутреннее рецензирование. Автор самостоятельно или в соавторстве может представить в номер не более одной статьи. Статьи публикуются на русском или английском языке.

Адрес редакции:

236022, г. Калининград, Советский проспект, 1,  
Калининградский государственный технический университет

Тел. (4012) 99-59-74

E-mail: [svetlana.suprunova@klgtu.ru](mailto:svetlana.suprunova@klgtu.ru)

<http://klgtu.ru/science/magazine/index.php>

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.

*Директор издательства Г. А. Смирнова*

*Редакторы: Е. В. Билко, И. В. Голубева, Г. Е. Смирнова*

---

Издательство ФГБОУ ВО «КГТУ»  
236022, г. Калининград, Советский проспект, 1  
Лицензия № 05609 от 14.08.2001

Подписано в печать 31.10.2016 г. Выход в свет 01.11.2016. Формат 60 x 88 (1/8)  
Печ. л. 33,5. Уч.-изд. л. 21,4. Тираж 1000 экз. Заказ № 76