

ИЗВЕСТИЯ

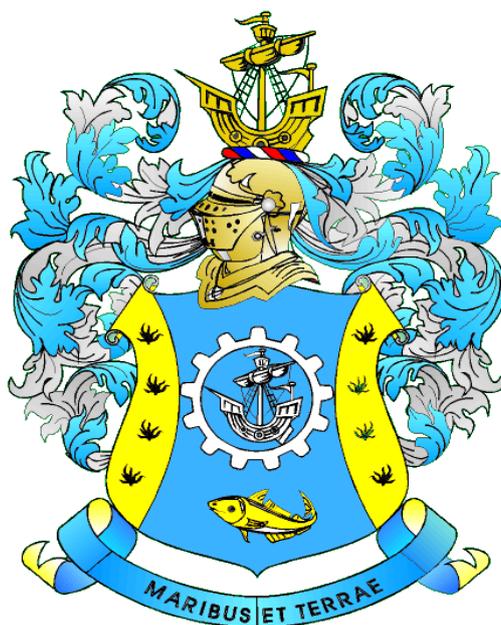
КГТУ

2016

№ 42

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ 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. Еришов, 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. Лапшин, 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. кафедрой 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 мат. 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. Сердобиццев*, 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; E-mail: svetlana.suprunova@klgtu.ru

© ФГБОУ ВПО «Калининградский государственный технический университет», 2016

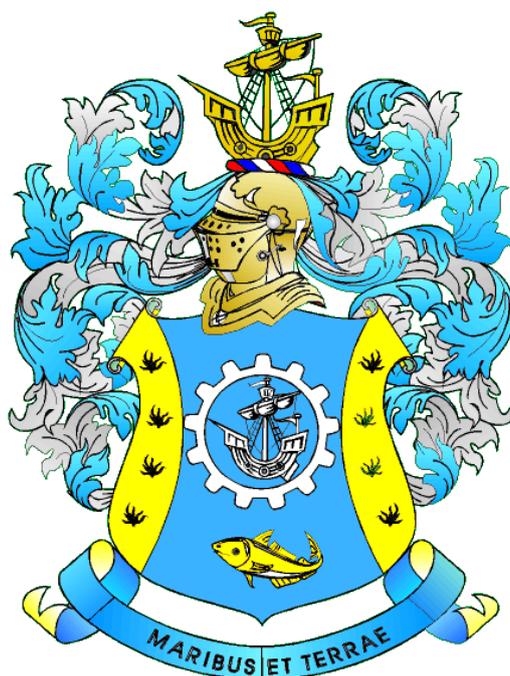
KSTU NEWS

2016

№ 42

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

SCIENTIFIC JOURNAL



Kaliningrad

СОДЕРЖАНИЕ

Биология, экология и рыбное хозяйство

<i>Анохина В. С., Кравец П. П., Малавенда С. С., Приймак П. Г., Тюкина О. С.</i> Оценка экологического состояния губы Молочная озера Имандра в зоне аквахозяйства.....	11
<i>Ансари З., Махсюдлю А.</i> Репродуктивная биология креветки <i>Alpheus cf. Burukovskyi</i> (Crustacea, Alpheidae) с иранского побережья Оманского моря.....	21
<i>Бондарчук О. Л., Герасимов Ю. В.</i> Особенности пищевого и поискового поведения молоди стерляди при прудовом и бассейновом подрачивании	30
<i>Пак Р. А., Коломейко Ф. В., Архипов А. Г.</i> Использование современных геоинформационных технологий в исследованиях ранних стадий развития промысловых рыб северной части Центрально-Восточной тлантики.....	39
<i>Ткаченко Г. М., Грудневская Й.</i> Влияние хлорамина-Т на содержание биомаркеров окислительного стресса в мышечной ткани хариуса (<i>Thymallus thymallus</i>).....	49
<i>Шибает С. В., Соколов А. В., Шибаета М. Н., Лунева Е. В., Новожилов О. А., Масюткина Е. А., Макушенко М. Е., Ланге Е. К.</i> Характеристика фонового состояния биоты реки Неман в зоне возможного воздействия Балтийской АЭС (Калининградская область).....	59

Техника и технология пищевых производств

<i>Агеев О. В., Ерыванов А. Е., Медянский И. А., Самойлова Н. В.</i> Способ и алгоритм ориентирования рыбы на основе мехатроники.....	89
<i>Зинина О. В., Ребезов М. Б., Мирошникова Е. П., Прохасько Л. С.</i> Инновации в производстве продуктов животного происхождения.....	104
<i>Кошелев С. В., Ейдеус А. И., Никишин М. Ю.</i> Влияние условий внутритрубного кипения хладагентов на внешнюю необратимость в испарителях.....	117
<i>Перцева А. Д., Позднякова Ю. М., Ковалев Н. Н., Ким Г. Н., Гаркавец М. Е.</i> Обоснование и разработка технологии получения гидролизатов и недоиспользуемых тканей трепанга.....	126
<i>Степаненко Е. И., Андреев М. П., Нехамкин Б. Л.</i> Применение пищевых добавок в технологии формованной рыбной продукции с промежуточной влажностью.....	138

Сельское хозяйство и природопользование

<i>Анциферова О. А.</i> Сравнительная оценка почв и урожайности ячменя при минимальной и нулевой обработке в холмисто-моренных агроландшафтах	149
---	-----

<i>Анциферова О. А., Колестро Е. В.</i> Почвенно-геоморфологический подход к оценке засоренности пахотного поля.....	162
<i>Наумов В. А., Ахмедова Н. Р.</i> Изменение продолжительности периода вегетации и суммы активных температур в Калининградской области за последние десять лет.....	175
<i>Недоступ А. А., Ражев А. О.</i> Расчет сил гидродинамического сопротивления сетных орудий рыболовства в задачах имитационного их моделирования.....	185

Судостроение, машиностроение и энергетика

<i>Ковальчук Л. И., Исаева М. В.</i> Оценка влияния погрешностей исходных данных на параметры инвариантных диагностических эталонов.....	195
<i>Ковальчук Л. И., Мишачков И. В.</i> Экспериментально-теоретические модели выбросов диоксида углерода с отработавшими газами двигателем с принудительным зажиганием при работе на бензине и топливном газе.....	205
<i>Шабалин Л. Д., Чушанков Д. Ю.</i> Обоснование модернизации судовых электроприводов грузоподъемных устройств на системы с использованием преобразователя частоты.....	213

Естественные и математические науки

<i>Сорокин И. А., Акопян В. Б., Бамбура М. В., Бекеш С. Г.</i> Защитный лак от поверхностных обрастаний подводных объектов.....	225
---	-----

Экономика и управление АПК

<i>Ботева Н. К., Гейбо Л. А.</i> Теория и практика учета затрат на производство и продажу продукции береговых рыбообрабатывающих предприятий.....	235
---	-----

CONTENT

Biology, Ecology and Fishing Industry

<i>Anokhina V. S., Kravetz P. P., Malavenda S. S., Priymak P. G., Tiukina O. S.</i> Estimation of the ecological state of Molochnaya bay of lake Imandra near fish farms.....	11
<i>Ansari Z., Maghsoodlou A.</i> Reproductive biology of the snapping shrimp <i>Alpheus cf. burukovskyi</i> (Crustacea, Alpheidae) from the Iranian coast of the Arabian sea.....	21
<i>Bondarchuk O. L., Gerasimov Yu. V.</i> Specific features of foraging and searching behavior of juvenile sterlet raised in ponds and tanks	30
<i>Pak R. A., Kolomeyko F. V., Arkhipov A. G.</i> Use of modern geoinformational technologies in the course of research of early stages of commercial fish development in the Northern part of the Eastern Central Atlantic	39
<i>Tkachenko H., Grudniewska J.</i> Influence of chloramine-T on oxidative stress biomarkers in the muscle tissue of grayling (<i>Thymallus Thymallus</i>)	49
<i>Shibaev S. V., Sokolov A. V., Shibaeva M. N., Luneva E. V., Novozhilov O. A., Masyutkina E. A., Makushenko M. E., Lange E. K.</i> Background conditions of the biota of the river Neman in the area of potential impact of the Baltic NPP (the Kaliningrad region)	59

Food Production Techniques and Technology

<i>Ageev O. V., Eryvanov A. E., Medjansky I. A., Samojlova N. V.</i> Method and algorithm for orientation of fish based on mechatronics	89
<i>Zinina O. V., Rebezov M. B., Miroshnikova E. P., Prokhasko L. S.</i> Innovations in production of foods of animal origin	104
<i>Koshelev S. V., Eideyus A. I., Nikishin M. Yu.</i> Influence of in-tube boiling conditions of refrigerants on external irreversibility in evaporators	117
<i>Pertseva A. D., Pozdnyakova Yu. M., Kovalev N. N., Kim G. N., Garkavets M.E.</i> Justification and development of technology for obtaining hydrolysates from unused tissues of sea cucumber	126
<i>Stepanenko E. I., Andreev M. P., Nekhamkin B. L.</i> Practice of food additives in the technology of shaped fish products with intermediate moisture	138

Agriculture and Nature Management

<i>Antsiferova O. A.</i> Comparative assessment of soils and yield of barley at minimum and zero tillage in hilly moraine agrolandscapes	149
<i>Antsiferova O. A., Kolestro E. V.</i> Soil and geomorphological approach to the assessment of the weediness of the arable field	162
<i>Naumov V. A., Akhmedova N. R.</i> Changes in the growing season duration and the sum of active temperatures in the Kaliningrad region over the past decade	175
<i>Nedostup A. A., Razhev A. O.</i> Calculation of drag forces of netting fishing gears in the tasks of their simulation	185

Ship Building, Machinery and Power-Engineering

<i>Kovalchuk L. I., Isaeva M. V.</i> Assessment of the impact of initial errors on the parameters of invariant diagnostic standards	195
<i>Kovalchuk L. I., Mishachkov I. A.</i> Experimental and theoretical models of carbon dioxide emissions with exhaust gases by a spark-ignition engine when operating on petrol and fuel gas	205
<i>Shabalin L. D., Chushankov D. Yu.</i> Rationale for modernization of ship electrical cargo handling gear on the systems using frequency converter	213

Earth and Mathematical Sciences

<i>Sorokin I. A., Akopyan V. B., Bambura M. V., Bekesh S. G.</i> Protective varnish for underwater objects from fouling	225
---	-----

Economy and Management of agribusiness industry

<i>Boteva N. K., Geybo L. A.</i> Theory and practice of accounting costs for production and sales of coastal fish-processing plants	235
---	-----

БИОЛОГИЯ, ЭКОЛОГИЯ И РЫБНОЕ ХОЗЯЙСТВО

УДК 57.013/639.312

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГУБЫ МОЛОЧНОЙ
ОЗЕРА ИМАНДРА В ЗОНЕ АКВАХОЗЯЙСТВА

В. С. Анохина, П. П. Кравец, С. С. Малавенда, П. Г. Приймак,
О. С. Тюкина

ESTIMATION OF THE ECOLOGICAL STATE OF MOLOCHNAYA BAY OF
LAKE IMANDRA NEAR FISH FARMS

V. S. Anokhina, P. P. Kravetz, S. S. Malavenda, P. G. Priymak, O. S. Tiukina

Озеро Имандра – уникальный северный водоём. Губа Молочная значительно удалена от источников промышленного загрязнения, однако по сбросному каналу Кольской атомной электростанции в губу поступают подогретые воды, содержащие тяжёлые металлы из географически удалённых районов озера. Отопленные воды атомной станции давно используются рыбоводами для круглогодичного выращивания осетров и форели. В 2014 г. на акватории губы создано новое хозяйство небольшой мощности по выращиванию молоди форели в зимний период. Расширение хозяйственной деятельности на локальном участке акватории усилило экологическое давление на экосистему губы Молочной.

Цель исследования – оценка экологического состояния локального участка акватории губы Молочной оз. Имандра по химическому составу вод и донных отложений в зоне влияния Кольской атомной станции и функционирования форелевых хозяйств.

Пробы воды и донных осадков отбирали в январе 2015 г. Наличие и интенсивность органического загрязнения вод оценивали по биологическому потреблению кислорода (БПК₅), концентрации фосфатов и аммонийного азота (ионы аммония) и определяли кислотность среды (рН). В пробах воды и грунта определяли содержание тяжёлых металлов (ртуть, железо, кадмий, свинец) и нефтепродуктов. Установлено, что качество вод и донных осадков в исследуемом районе подвержено влиянию множества факторов, в числе которых и деятельность рыбоводных хозяйств. Показано, что направление течений создаёт повышенную экологическую нагрузку на грунты в зоне размещения рыбоводных садков, однако типы грунтов в точках отбора проб свидетельствуют об удовлетворительной способности самоочищения дна при непродолжительном сезонном выращивании форели. Для снижения уровня потенциального загрязнения акватории губы Молочной рекомендовано ориентироваться на сезонное культивирование рыбы без существенного увеличения мощности хозяйств.

озеро Имандра, аквакультура, форель, органическое загрязнение, донные отложения, тяжёлые металлы

Imandra Lake is unique northern reservoir. The Molochnaya Bay is located on the territory of Ples Imandra Babinski. It is removed from sources of industrial pollution considerably. However, the channel of Kolskaya nuclear power plant comes to the Bay warmed water. There are heavy metals in warm waters from geographically remote areas of the Lake. On the Kola peninsula have long been used warm water for year-round growing of sturgeon fish and trout. In 2014, new the fish farm for growing of trout's fingerlings on the Molochnaya Bay was established. The expansion of fish industry activity on the local stretch of water area enhanced environmental pressures on the ecosystem, so it was important the response of ecosystems to additional exposure to determine. The purpose of the study is the starting estimation of environmental conditions of the local sector aquatorium the Molochnaya Bay by the chemical composition of the waters and bottom sediments. The importance for the fish industry of water quality in the wider environment is also considered. Water and bottom sediments were studied in January-February of the year 2015. The presence and intensity of organic pollution of waters assessed by biological oxygen consumption, concentrations of phosphate and ammonium nitrogen (ammonium ions), the acidity (pH) was determined.

The samples of water and bottom sediment from the Molochnaya Bay had of heavy metals (mercury, iron, cadmium, lead) and petroleum products. It was defined that the State of ecosystems in the study area is subject to summation the influence of many factors, including the activities of fish farms. It is shown that the direction of the currents creates increased environmental burden on the bottom sediments in the area of fish farms. However, the types of bottom sediments has indicated satisfactory self-cleaning ability when short-term seasonal trout on-growing. To reduce or minimise potential negative ecological impacts of aquaculture on the Molochnaya Bay was recommended to rely on seasonal cultivation of fish without significantly increasing the capacity fish farms.

Imandra Lake, aquaculture, trout, chemical composition, pollution, bottom sediment

ВВЕДЕНИЕ

Озеро Имандра – уникальный северный водоём высшей рыбохозяйственной категории, включающий ценнейших представителей арктической биоты. Он десятки лет подвергается мощнейшему антропогенному воздействию со стороны промышленных предприятий региона, что приводит к заметным негативным изменениям состава вод и донных отложений в местах повышенной экологической нагрузки [1-6]. Губа Молочная значительно удалена от источников промышленного загрязнения. Однако сюда по сбросному каналу Кольской атомной электростанции (КАЭС) поступают подогретые воды, содержащие загрязняющие вещества, в том числе тяжёлые металлы [5, 6].

С 2014 г. на акватории губы появилось ещё одно хозяйство небольшой мощности по выращиванию молоди форели в зимний период. Любое масштабное промышленное культивирование гидробионтов сопровождается внесением в водную среду значительного количества кормов, поступлением продуктов метаболизма и биологических отходов [7-9]. Итоги многочисленных исследований свидетельствуют о преобладании негативных экологических

изменений в зоне функционирования открытых аквахозяйств [10]. Расширение хозяйственной деятельности на локальном участке акватории, несомненно, усилило экологическое давление на экосистему губы Молочной, поэтому было важно определить реакцию экосистемы на дополнительное воздействие.

В процессе эксплуатации рыбоводных ферм на открытой акватории органические загрязнители поступают в окружающую среду в количестве, пропорциональном мощности хозяйства, а удаляются из зоны загрязнения биологическим путём и течениями, при этом скорость процессов самоочищения водного объекта определяется его термальным режимом и интенсивностью течений [11]. Проблемы локального воздействия аквахозяйств на окружающую среду ясно осознаются мировым сообществом, поэтому при планировании и осуществлении работ по культивированию гидробионтов, а также при разработке комплекса мероприятий по минимизации антропогенных воздействий до рационального уровня необходимо учитывать все возможные факторы влияния на экосистему [12].

Цель настоящего исследования – оценка экологического состояния локального участка акватории губы Молочной озера Имандра по химическому составу вод и донных отложений в зоне функционирования форелевых хозяйств.

МЕТОДЫ

Оценку состояния водной среды и донных отложений выполняли в январе-феврале 2015 г. на локальном участке акватории губы Молочной в районе размещения форелевых ферм, функционирующих в зоне влияния отеплённых вод КАЭС. Пробы воды и грунта на гидрохимический анализ отбирали на пяти станциях, воду брали с горизонта 2,5 м (рисунок).

Для оценки фоновых параметров среды пробы воды и грунта отбирали на удалённой от акваполигона станции 5, на расстоянии более 200 м от условной границы вхождения чистых вод в зону расположения рыбоводных садков с рыбой. Станции 1 и 2 находились непосредственно в зоне эксплуатации форелевой фермы, станция 4 – на расстоянии 170 м от входа водного потока в рыбоводный участок по направлению основного течения, станция 3 – на расстоянии 80 м от границы акваполигона, в водах, вытекающих из рыбоводной зоны.

Наличие и интенсивность органического загрязнения и его легкоокисляемых компонентов оценивали в пробах воды по биологическому потреблению кислорода (БПК₅), концентрации фосфатов и аммонийного азота (ионы аммония) и определяли кислотность среды (рН). Пробы воды и грунта исследовали на содержание тяжёлых металлов (ртуть, железо, кадмий, свинец) и нефтепродуктов. Определение всех параметров выполнено по стандартным методикам в условиях сертифицированной лаборатории. Учитывая, что для донных осадков пресноводных гидрологических объектов экологические нормативы не разработаны, результаты анализа химического состава грунта в губе Молочной соотносили с показателями «условного фона» и сведениями из литературы [1-3,10, 12].

РЕЗУЛЬТАТЫ

Изучение направления поверхностных течений выявило циклический характер движения воды, что, вероятно, обусловлено притоком тёплых водных масс канала КАЭС с постоянным направлением (рисунок).

Типы грунта в районе исследования. Аккумулирующая способность поверхностных донных слоёв определяется составом грунтов, которые в районе акваполигона были представлены илистым песком, песчаным илом и крупными каменистыми включениями (табл. 1).

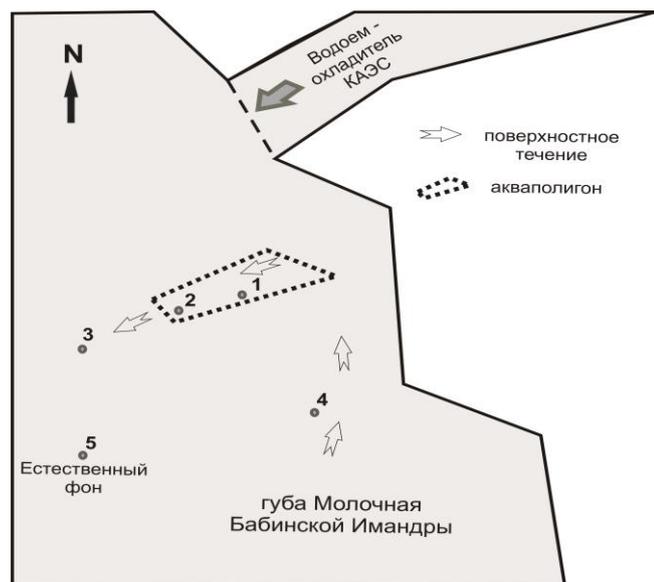


Рис. Карта-схема локального участка губы Молочной с точками отбора проб 1-5
 Fig. Schematic map of a local sector of the Molochnaya Bay with sampling points 1-5

Таблица 1. Тип грунта в местах отбора проб
 Table 1. The type of bottom sediment at the sampling sites

Станция	Тип грунта
1	Песчанистый ил, однородная масса черно-коричневого цвета со специфическим запахом рыбы
2	Песчанистый ил, однородная масса черно-коричневого цвета со специфическим запахом рыбы
3	Песчанистый ил, однородная масса черно-коричневого цвета со специфическим запахом рыбы
4	Песчаная однородная масса светло-серого цвета с включениями мелких камней размером до 3 мм, обладает специфическим запахом рыбы
5	Илистый песок, однородная масса бежево-серого цвета с включениями растительных остатков и мелких камней размером до 3 мм, обладает специфическим запахом рыбы

Результаты химического анализа донных осадков. Результаты химического анализа донных отложений в точках отбора проб представлены в табл. 2. В пробах грунта на станциях 1-3 концентрация тяжёлых металлов выше, чем на станциях 4-5, расположенных за пределами акваполигона. Высокое содержание ртути, на порядок превышающее известные литературные данные [1-4] (табл. 2), характерно для всего исследованного участка губы.

Таблица 2. Содержание химических элементов и соединений в донных отложениях (мг/кг)

Table 2. Chemical analysis of bottom sediment (mg/kg)

Показатель	Станция					По данным литературы (минимальные и средние значения)
	1	2	3	4	5 (фон)	
Нефтепродукты	64	34	20	6	11	-
Ртуть (Hg)	39	24	20	6	11	0,2 - 3
Железо (Fe)	15000	13000	11100	5900	6300	23500
Кадмий (Cd)	0.11	0,08	0,08	0,05	0,05	2,17
Свинец (Pb)	6.10	4,60	2,70	1,05	2,50	39,8
Фосфор валовый (P)	430	340	370	180	260	< 1000
Нитрит-ион (NO ₂ ⁻)	<1	<1	1,2	<1	<1	-
Ион аммония (NH ₄ ⁺)	20,5	11,3	13,0	14,9	8,0	-

В зоне расположения рыбоводного хозяйства и по направлению течения в донных отложениях отмечено повышенное по сравнению с условным фоном (станция 5) содержание ионов аммония и нефтепродуктов.

Результаты химического анализа воды. Концентрация органических веществ и тяжёлых металлов в пробах воды в зоне расположения рыбоводных садков (станции 1 и 2) и в зоне их влияния (станция 3) соответствовала фоновым показателям (станция 5) и гидрохимической характеристике втекающих вод (станция 4) (табл. 3). В зоне влияния рыбоводного хозяйства (станции 1-4) отмечено повышенное по сравнению с условным фоном (станция 5) содержание ионов аммония, что свидетельствует о текущих процессах органического разложения в донных осадках. Концентрация химических элементов во всех точках не выходит за пределы допустимых значений для воды рыбохозяйственных водных объектов и по большинству показателей находится ниже рекомендуемых [14].

ОБСУЖДЕНИЕ

Акватория губы Молочной является частью Бабинской Имандры, в водах которой, как установлено разными авторами, содержание биогенных элементов имеет хорошо выраженный колебательный характер с межгодовой и сезонной изменчивостью, достигая своих наибольших значений в зимний период [1-3].

Исследования показали, что в феврале 2015 г. концентрация биогенов и тяжёлых металлов в воде губы Молочная во всех точках отбора проб была ниже рекомендуемых для водоёмов рыбохозяйственного значения (табл. 3).

Хорошо известно, что низкая комплексообразующая способность северных вод способствует их загрязнению подвижными формами тяжёлых металлов, тогда как аккумуляционная способность поверхностных донных слоёв зависит от состава грунтов и отложений [1-4].

Таблица 3. Результаты анализа воды в губе Молочной
Table 3. The results of analysis of Molochnaya Bay water quality

№ П/П	Определяемый показатель	Единицы измерения	Станция 1		Станция 2		Станция 3		Станция 4		Станция 5		ПДК ¹
			концентрация	погрешность (при P=0,95)									
1	Водородный показатель	ед. pH	7,10	±0,20	7,12	±0,20	7,12	±0,20	7,13	±0,20	7,11	±0,20	6,5-8,5
2	БПК ₅	мг/дм ³	0,40	±0,10	0,48	±0,12	0,41	±0,11	0,48	±0,12	0,40	±0,10	3
3	Аммоний-ион	мг/дм ³	<0,05	-	<0,05	-	<0,05	-	<0,05	-	<0,05	-	0,05
4	Нитрит-ион	мг/дм ³	<0,02	-	<0,02	-	<0,02	-	<0,02	-	<0,02	-	0,08
5	Фосфат-ион	мг/дм ³	<0,05	-	<0,05	-	<0,05	-	<0,05	-	<0,05	-	0,05
6	Нефтепродукты	мг/дм ³	<0,005	-	<0,005	-	<0,005	-	<0,005	-	<0,005	-	0,05
7	Железо	мг/дм ³	<0,01	-	<0,01	-	<0,01	-	<0,01	-	<0,01	-	0,1
8	Кадмий	мг/дм ³	<0,0001	-	<0,0001	-	<0,0001	-	<0,0001	-	<0,0001	-	0,05
9	Ртуть	мг/дм ³	<0,00001	-	<0,00001	-	<0,00001	-	<0,00001	-	<0,00001	-	0,00001
10	Свинец	мг/дм ³	<0,002	-	<0,002	-	<0,002	-	<0,002	-	<0,002	-	0,006

¹ Перечень рыбохозяйственных нормативов предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение, утв. приказом Росрыболовства N 96 от 28 апреля 1999 г.

На исследуемом участке губы Молочной (на станциях отбора проб) грунты были представлены в основном песчаным илом с крупными каменными включениями, следовательно, самоочищающую способность этой части озера можно считать удовлетворительной. Вместе с тем тип и характерный рыбный запах грунта в районе акваполигона (станции 1-3) свидетельствуют о незначительном накоплении и аккумуляции взвешенных веществ и органики непосредственно в зоне аквахозяйства.

В губу Молочную загрязняющие вещества поступают за счет техногенного переноса. Некоторая доля техногенных загрязнений из Йокостровской Имандры через канал КАЭС выносится в кут губы со скоростью 2-5 м/с локальными круговыми течениями. Здесь загрязнения депонируются донными отложениями в относительно мелководной зоне акваполигона (глубина от 4 м на станции 4 до 5,6 м на станции 5), что может создавать дополнительные экологические риски. Действительно, в грунте на станциях 1-3 выявлена аккумуляция тяжёлых металлов. К сожалению, для донных осадков пресных водоёмов экологических нормативов не имеется. По нашим данным кадмий и свинец содержатся в районе исследования в концентрациях, меньших ранее установленных другими авторами для плёса Бабинская Имандра (табл. 2).

Вероятной причиной усиленного накопления ртути и нефтепродуктов в зоне функционирования аквахозяйств может являться не только поступление тяжёлых металлов по сбросовому каналу АЭС, но и геофизические особенности, и географическое положение этого участка губы Молочной. Так, вблизи береговой черты кута губы пролегает федеральная автотрасса, загрязняющая воды в зоне размещения акваполигонов через атмосферные выпадения и поверхностные стоки дождевых и талых вод. Это объясняет высокое содержание ртути на станции 5, за пределами рыбоводных участков. Форелевые хозяйства, несомненно, привносят в донные осадки свою долю загрязнений, но, учитывая гидрохимические показатели воды в точках отбора проб (табл. 2), их вклад в загрязнение грунта тяжёлыми металлами и нефтепродуктами можно считать ничтожным. Повышенное содержание ионов аммония в зоне влияния рыбоводного хозяйства свидетельствует об активных процессах первичного разложения органики в донных осадках под рыбоводными садками. Крайне низкое содержание нитрит-ионов – промежуточных продуктов окисления азота – на фоне стабильных, нормативных показателей БПК (табл. 3) позволяет предположить ослабление интенсивности процессов на завершающих этапах органического окисления. Создаётся потенциально рискованная ситуация, которая может привести к накоплению продуктов неполного разложения при условии длительной и круглогодичной эксплуатации аквафермы. Поэтому в качестве оптимального режима выращивания форели в куту губы Молочной можно рекомендовать сезонное культивирование рыбы в летне-осенний период. Такой режим эксплуатации рыбоводного участка позволит в значительной мере минимизировать потенциальное загрязнение акватории губы Молочной: как за счёт естественных процессов окисления в отепленных водах с КАЭС, так и за счёт выноса накопившейся органики течениями в открытую часть озера.

ВЫВОДЫ

1. В зоне расположения аквахозяйства выявлено повышенное содержание аммония, что свидетельствует о накоплении и текущем первичном разложении органики в донных осадках под рыбоводными садками.
2. Повышенное содержание ртути и нефтепродуктов в донных осадках связано, вероятно, с близким расположением автомобильной трассы и выносом охладительным каналом загрязненных вод.
3. Для снижения уровня потенциального загрязнения акватории губы Молочной рекомендовано ориентироваться на сезонное культивирование рыбы без существенного увеличения мощности хозяйств.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Накопление тяжелых металлов в оз. Имандра в условиях его промышленного загрязнения / В. А. Даувальтер [и др.] // Водные ресурсы. – 2000. – Т. 27, № 3. – С. 313-321.
2. Антропогенные модификации экосистем озера Имандра / Т. И. Моисеенко [и др.]. – Москва: Наука, 2002. – 476 с.
3. Моисеенко, Т. И. Антропогенные преобразования водных экосистем Кольского Севера / Т. И. Моисеенко, В. А. Яковлев. – Ленинград: Наука, 1999. – 220 с.
4. Антропогенная трансформация арктической экосистемы озера Имандра: тенденции к восстановлению после длительного периода загрязнения / Т.И. Моисеенко [и др.] // Водные ресурсы. – 2009. – Т. 26, № 3. – С. 312-325.
5. Вандыш, О. И. Влияние теплового потока крупных энергетических объектов на зоопланктонное сообщество в условиях субарктики / О. И. Вандыш // Водные ресурсы. – 2009. – Т. 36, № 3. – С. 326-334.
6. Крючков, В. В. Экология водоемов-охладителей в условиях Заполярья / В. В. Крючков, Т. И. Моисеенко, В. А. Яковлев. – Апатиты: Изд-во Кольск. фил. АН СССР, 1985. – 132 с.
7. Anon. 2003. Disposal and re-utilisation of fish and processing waste (including aquaculture wastes) // Nautilus Consultants (Ireland) Ltd DK/01/03
8. Baker, R.T., Smith-Lemmon, L.L., and Cousins, B. 2001. Phytase Unlocks Plant Potential in Aquafeeds. // Global Aquaculture Advocate: Vol. 4, Issue 2, April 2001
9. Steven E. Yeo & Frederick P. Binkowski Joseph E. Morris 2004. Aquaculture Effluents and Waste By-Products: Characteristics, Potential Recovery, and Beneficial Reuse // North Central Regional Aquaculture Center (NCRAC). 61 p. <http://aqua.wisc.edu/publications/PDFs/AquacultureEffluents.pdf>
10. Biology of farmed fish / edited by Kenneth D. Black, Alan D. Pickering // Sheffield Academic Press Ltd. - 1998.-P. 284-326. ISBN 1-85075-877-8
11. Анохина, В. С. Инновационный потенциал в аквакультуре Европейского Севера России / В. С. Анохина, Е. В. Шошина, П. П. Кравец // Рыбное хозяйство. – 2011. – № 5. – С. 55-59.

12. Алехин, О. А. Основы гидрохимии / О. А. Алехин. – Ленинград: Гидрометеиздат. – 1953. – 296 с.

13. ГОСТ 155 372-87 Охрана природы, гидросфера, вода для рыбоводных хозяйств, общие требования и нормы.

REFERENCES

1. Dauval'ter, V. A. Nakoplenie tyazhelykh metallov v oz. Imandra v usloviyakh ego promyshlennogo zagryazneniya / V. A. Dauval'ter [i dr.] // Vodnye resursy. - 2000. T. 27, № 3.- S. 313-321.

2. Antropogennye modifikatsii ekosistem ozera Imandra / T. I. Moiseenko, A. A.Lukin, L. P. Kudryavtseva i dr. // M.: Nauka, 2002. - 476 s.

3. Moiseenko, T. I. Antropogennye preobrazovaniya vodnykh ekosistem Kol'skogo Severa/ T. I. Moiseenko, V. A. Yakovlev. // L.: Nauka, 1999. - 220 s.

4. Moiseenko, T. I. Antropogennaya transformatsiya arkticheskoy ekosistemy ozera Imandra: tendentsii k vosstanovleniyu posle dlitel'nogo perioda zagryazneniya / T. I. Moiseenko, N. A. Gashkina, A. N. Sharov, O. I. Vandysh, L. P. Kudryavtseva // Vodnye resursy.- 2009. T.26. №3. - S. 312-325.

5. Vandysh, O. I. Vliyanie teplovogo potoka krupnykh energeticheskikh ob"ektov na zooplanktonnoe soobshchestvo v usloviyakh subarktiki // Vod. resursy. 2009. T. 36. № 3. - S. 326-334.

6. Anon. 2003. Disposal and re-utilisation of fish and processing waste (including aquaculture wastes) // Nautilus Consultants (Ireland) Ltd DK/01/03/

7. Baker, R.T., Smith-Lemmon, L.L., and Cousins, B. 2001. Phytase Unlocks Plant Potential in Aquafeeds. // Global Aquaculture Advocate: Vol. 4, Issue 2, April 2001

8. Steven E. Yeo & Frederick P. Binkowski Joseph E. Morris 2004. Aquaculture Effluents and Waste By-Products:Characteristics, Potential Recovery, and Beneficial Reuse // North Central Regional Aquaculture Center (NCRAC). 61 p. <http://aqua.wisc.edu/publications/PDFs/AquacultureEffluents.pdf>

9. Biology of farmed fish / edited by Kenneth D. Black, Alan D.Pickering // Sheffield Academic Press Ltd. - 1998. - P. 284-326. ISBN 1-85075-877-8

10. Kryuchkov, V. V. Ekologiya vodoemov-okhladiteley v usloviyakh Zapolyar'ya / V. V. Kryuchkov, T. I. Moiseenko, V. A. Yakovlev // Apatity: Izd-vo Kol'sk. fil. AN SSSR. - 1985. -132 s.

11. Anokhina, V. S. Innovatsionnyy potentsial v akvakul'ture Evropeyskogo Severa Rossii / V. S. Anokhina, E. V. Shoshina, P. P. Kravets // Rybnoe khozyaystvo. – 2011. № 5. - S.55-59.

12. Alekhin, O. A. Osnovy gidrokhimii//L.:Gidrometeizdat.-1953.- 296 s.

13. GOST 155 372-87 Okhrana prirody, gidrosfera, voda dlya rybovodnykh khozyaystv, obshchie trebovaniya i normy.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Анохина Валентина Сергеевна – Мурманский государственный технический университет; кандидат биологических наук, доцент; профессор кафедры биологии; E-mail: *anohinavs@mstu.edu.ru*

Anokhina Valentina Sergeevna – Murmansk state technical university; PhD, Associate Professor; Professor biology department; E-mail: *anohinavs@mstu.edu.ru*

Кравец Петр Петрович – Мурманский государственный технический университет; кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, доцент кафедры биологии; E-mail: *ppkravec@mail.ru*

Kravets Peter Petrovich – Murmansk state technical university; PhD, Senior researcher; Associate Professor biology department; E-mail: *ppkravec@mail.ru*

Малавенда Сергей Сергеевич – Мурманский государственный технический университет; кандидат биологических наук, доцент кафедры биологии; E-mail: *msergmstu@yandex.ru*

Malavenda Sergey Sergeevich – Murmansk state technical university; PhD, Associate Professor; Associate Professor biology department; E-mail: *msergmstu@yandex.ru*

Приймак Павел Георгиевич – Мурманский государственный технический университет; кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, доцент кафедры биологии; E-mail: *priymakpg@mstu.edu.ru*

Priymak Pavel Georgievich – Murmansk state technical university; PhD; Associate Professor biology department; E-mail: *priymakpg@mstu.edu.ru*

Тюкина Ольга Сергеевна – Мурманский государственный технический университет; младший научный сотрудник; E-mail: *tyukinaos@mstu.edu.ru*

Tyukina Olga Sergeevna – Murmansk state technical university; Junior researcher biology department; E-mail: *tyukinaos@mstu.edu.ru*

УДК 595.384.12

РЕПРОДУКТИВНАЯ БИОЛОГИЯ КРЕВЕТКИ *Alpheus cf. burukovskyi*
(CRUSTACEA, ALPHEIDAE) С ИРАНСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ ОМАНСКОГО МОРЯ

З. Ансари, А. Махсюдлю

REPRODUCTIVE BIOLOGY OF THE SNAPPING SHRIMP *Alpheus cf. burukovskyi*
(CRUSTACEA, ALPHEIDAE) FROM THE IRANIAN COAST OF THE ARABIAN SEA

Z. Ansari, A. Maghsoodlou

Описаны основы репродуктивной биологии креветки *Alpheus cf. burukovskyi* по материалам, собранным в августе 2014 г. под камнями и валунами приливно-отливной зоны в районе г. Чабахара (Оманское море, Иран). Исследованы 94 самки, 75 из которых были яйценосными. Средняя абсолютная реализованная плодовитость (количество яиц на плеоподах) на стадии 1 эмбрионального развития составила 529 ± 120 яиц. Объем недавно отложенных яиц был в среднем $0,113 \text{ мм}^3$. В течение инкубационного периода он увеличился на 87%. Средняя смертность эмбрионов во время эмбриогенеза составила 7,7%. У самок, несущих яйца с эмбрионами, близкими к вылуплению, были яичники, готовые к следующему нересту. Абсолютная индивидуальная плодовитость (количество ооцитов в гонаде V стадии зрелости) 149-1011, в среднем 373 ± 202 ооцитов. Абсолютная индивидуальная и реализованная плодовитости тем больше, чем больше размеры тела креветки.

креветка, Alpheus cf. burukovskyi, объем яиц, количество эмбрионов, Оманское море

The paper presents basics of the reproductive biology of the shrimp *Alpheus cf. burukovskyi* according to data collected in August 2014 under the rocks and boulders in an intertidal area of the Arabian Sea near the city of Chabahar (Sea of Oman, Iran). 94 females have been studied, of whom 75 were ovigerous females. The mean absolute realized fecundity (number of eggs per pleopod) at stage 1 of embryonic development was 529 ± 120 eggs. The volume of recently-produced embryos was on average 0.113 mm^3 . The volume of embryos increased by 87% during the incubation period. The average embryo mortality during embryogenesis was 7.7%. Females carrying embryos close to hatching showed fully developed ovaries, suggesting consecutive spawning. The absolute individual fecundity of *Alpheus cf. burukovskyi* (ranged from 149 to 1011, with a mean value of 373 ± 202 oocytes per individual in stage 5 ovary. The absolute individual and realized fecundity was significantly related to shrimp size.

shrimp, Alpheus cf. burukovskyi, volume of eggs, number of embryos, the Arabian Sea

ВВЕДЕНИЕ

Семейство Alpheidae Rafinesque, 1815 – одна из самых многочисленных и экологически разнообразных групп среди десятиногих раков [1, 2]. Род *Alpheus* Fabricius, 1798 – самый богатый видами род этого семейства и один из крупнейших среди креветок вообще. В настоящее время он содержит более 280 видов [2]. У иранского побережья были известны десять видов, восемь из которых из Персидского залива [3] и два из Оманского моря [4]. Наш объект исследования оказался новым для Оманского моря, поэтому мы назвали его условно *A. cf. burukovskyi* из-за того, что по строению клешней 1-й пары переопод он сходен с видом *A. burukovskyi* [5].

Несмотря на видовое богатство и широкое географическое распространение Alpheidae, экология креветок этой группы плохо изучена, а по обитающим в иранских водах Персидского залива и Оманского моря видам данные отсутствуют. Поэтому цель нашей работы – описание некоторых аспектов репродуктивной биологии *A. cf. burukovskyi*.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Креветки собраны в августе 2014 г. в приливно-отливной зоне Оманского моря вблизи г. Чабахара (Иран) (рис. 1). Температура поверхности моря и соленость составляли 30°C и 38‰. Субстрат – илисто-песчаный грунт с галькой и валунами. Креветки были собраны вручную во время отлива под валунами и зафиксированы в 4%-ном нейтрализованном растворе формалина.

За размеры тела принята длина карапакса (ДК) от конца рострума до заднего края карапакса вдоль спинной стороны. Она была измерена с помощью стереоскопического микроскопа МБС-10. Взвешивание креветок производилось на электронных весах "Professional digital table top scale" с точностью до 0,1 г. Массу гонад преднерестовых самок и яйцекладки определяли на торсионных весах ТУ 64-1-990-72 с точностью до 0,005 г.

Для установления абсолютной индивидуальной плодовитости (АИП – количество ооцитов в гонадах преднерестовой самки) и абсолютной реализованной плодовитости (АРП – количество эмбрионов в яйцекладках, вынашиваемых самками на плеоподах) полностью подсчитывали количество ооцитов в гонаде и количество эмбрионов в яйцекладке.

Длина и ширина десяти эмбрионов из каждой кладки и десяти ооцитов из каждой преднерестовой гонады были измерены окуляром-микрометром. Объем эмбриона рассчитан по формуле

$$V = 1/6 \times \pi \times d_1 \times (d_2)^2,$$

где d_1 – больший диаметр, d_2 – меньший диаметр [6]. Для определения связи между длиной самки и количеством эмбрионов использовали нелинейный регрессионный анализ.

Стадии эмбрионального развития и стадии зрелости яичников определяли по методике Буруковского [7]. Во избежание воздействия на результаты потери яиц во время инкубации и изменения объема яиц в процессе эмбрионального развития для

подсчета абсолютной индивидуальной реализованной плодовитости брали только самок в I стадии эмбрионального развития. У самок, недавно отложивших яйца на

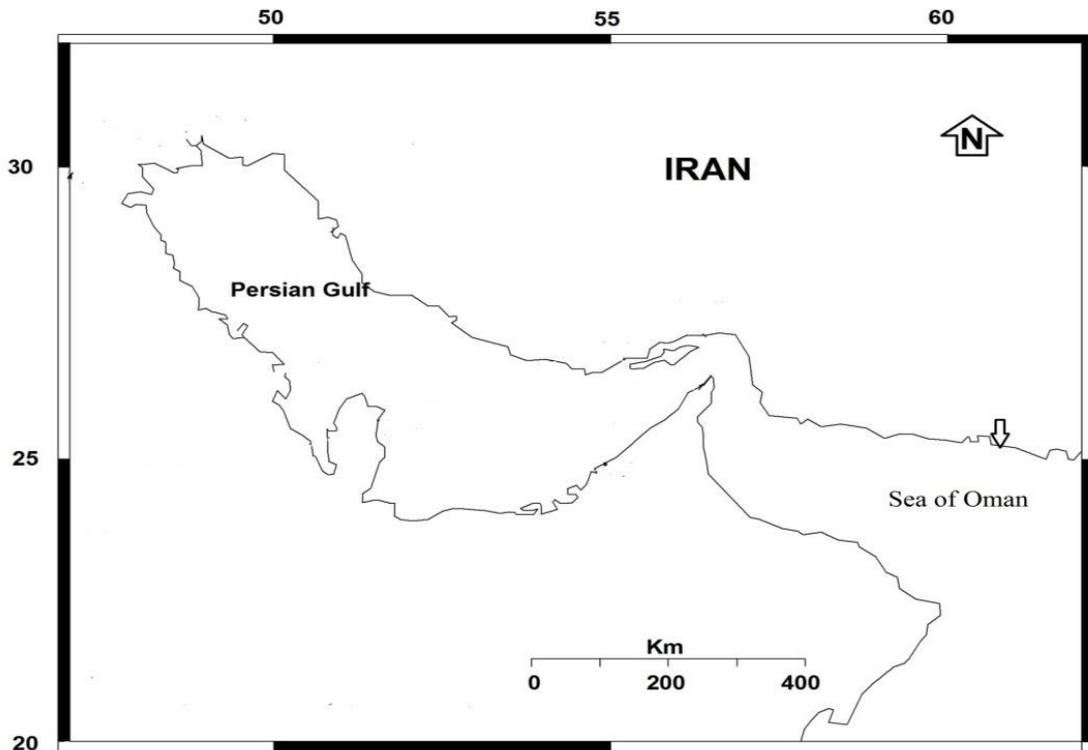


Рис. 1. Место сбора проб на иранском побережье Оманского моря
Fig. 1. Sampling location along the Iranian coast of the Arabian Sea

плеоподы (стадии эмбрионального развития 1-2), преобладали яичники на II стадии зрелости, в то время как яичники, наполненные вителлогенными ооцитами (V стадия зрелости гонады), были у самок с эмбрионами, близкими к вылуплению (стадии 4-5).

Для оценки изменений количества и объема эмбрионов в процессе инкубации применен односторонний дисперсионный анализ.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Для изучения репродуктивных характеристик использованы 94 самки. Их ДК колебалась от 6 до 16 мм (в среднем 12.1 ± 2.3 мм). Большинство особей (75,3%) имели ДК 11,0-15,0 мм (рис. 2). У 19 самок не было яиц на плеоподах (20,2%), а 75 были яйценосными (79,8%). Яйценосные особи имели эмбрионы на разных стадиях развития. У самок, недавно отложивших яйца на плеоподы (стадии эмбрионального развития 1-2), преобладали яичники на II стадии зрелости, в то время как яичники, наполненные вителлогенными ооцитами (V стадия зрелости гонады), наблюдались у самок с эмбрионами, близкими к вылуплению (стадии 4-5) (рис. 3). 38,7% эмбрионов находились на стадии 1; 24,0 - на 2; 17,3 - на 3; 13,3 - на 4 и 6,7% - на стадии 5.

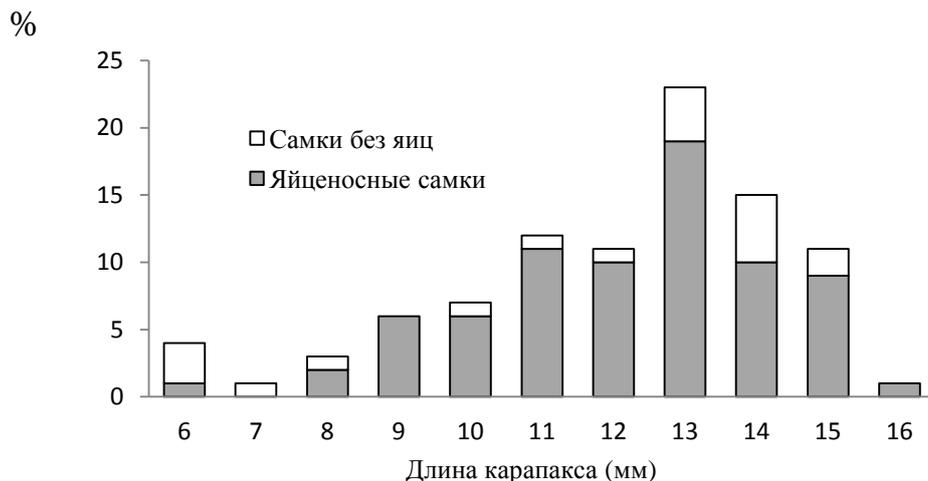


Рис. 2. Размерный состав самок *A. cf. burukovskyi* (N = 94) Оманского моря Ирана
 Fig. 2. Frequency distribution of carapace length of females of *A. cf. burukovskyi* (N = 94), the Arabian Sea, Iran

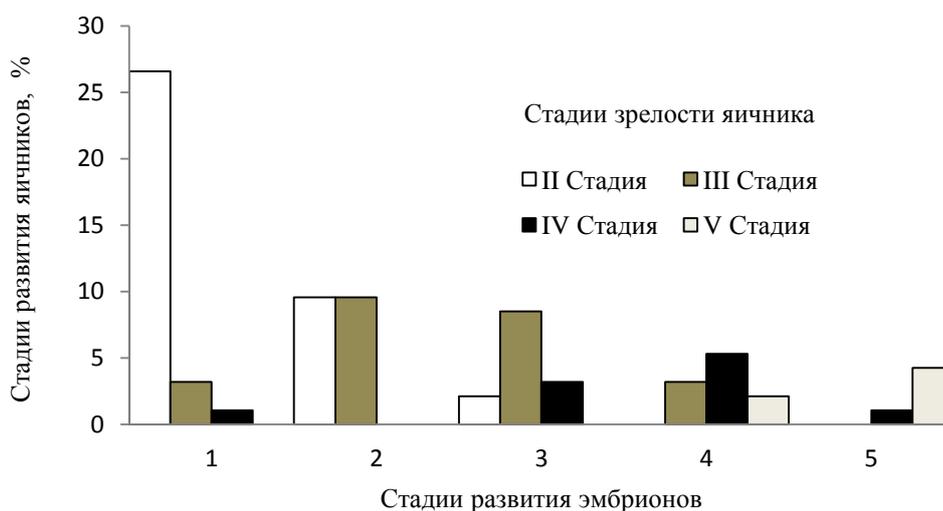


Рис. 3. Стадия зрелости яичников по отношению к стадии развития эмбрионов самок *A. cf. burukovskyi* берегов Оманского моря Ирана
 Fig. 3. Stage of ovarian maturity in relation to the stage of embryo development of females of *A. cf. burukovskyi* from the coasts of the Arabian Sea, Iran

Среднее количество ооцитов у самок со зрелыми яичниками (стадия зрелости V) находилось в диапазоне от 149 до 1011 и составляло в среднем 373 (SD = 220),

ДК этих креветок была прямо пропорциональна количеству ооцитов в гонаде V стадии зрелости (рис. 4).

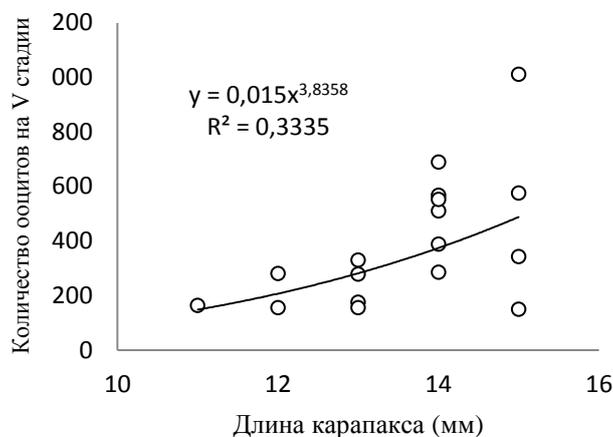


Рис. 4. Отношение между количеством ооцитов в гонаде V стадии зрелости и длиной карапакса *A. cf. burukovskyi* самки берегов Оманского моря Ирана
 Fig. 4. Relationship between the number of oocytes in stage V and carapace length of *A. cf. burukovskyi* females from the coast of the Arabian Sea, Iran

Среднее количество эмбрионов в кладке на стадии 1 варьировало от 20 до 1843, в среднем составив 529 ± 405 эмбрионов. Число недавно отложенных яиц (стадии эмбрионального развития 1-2) значительно возрастает с увеличением размеров самки (рис. 5). Количество эмбрионов за время их инкубации существенно не менялось от стадии к стадии ($F = 0.998$; $DF = 74$; $P = 0.441$).

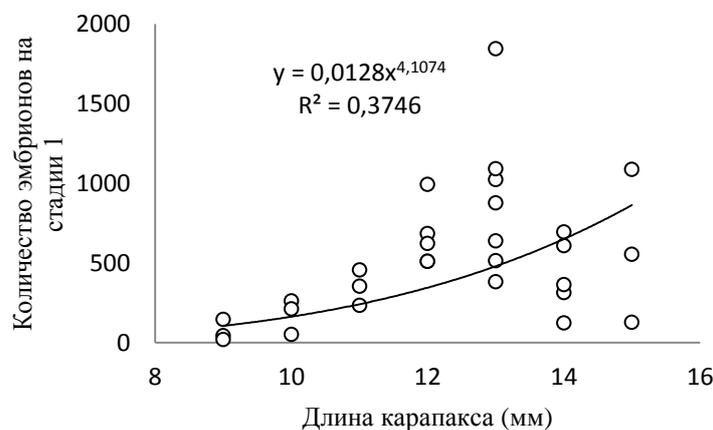


Рис. 5. Отношение между количеством эмбрионов на стадии 1 и длиной карапакса *A. cf. burukovskyi* самки берегов Оманского моря Ирана
 Fig. 5. Relationship between the number of embryos at stage 1 and carapace length of *A. cf. burukovskyi* females from the coast of the Arabian Sea, Iran

Эмбрионы на стадии 1 развития имели средний объем 0,113 мм³, а близкие к вылуплению (стадия 5) – 0,212 мм³. Следовательно, их объем в течение инкубационного периода увеличился почти вдвое (87,6%).

ОБСУЖДЕНИЕ

Наши данные позволяют сделать вывод, что мы имели дело лишь с половозрелой частью населения вида. Даже среди самых мелких особей были самки с яйцами на плеоподах. У более 60% самок с яйцами на плеоподах эмбрионы находились на стадиях 1 и 2 эмбрионального развития. Следовательно, яйца были отложены недавно. У самок с яйцами на плеоподах на стадиях 3-5 эмбрионального развития гонады имели вителлогенные ооциты. Значит, для *A. cf. burukovskyi* характерен так называемый непрерывный цикл размножения, благодаря которому самка за репродуктивный сезон может несколько раз отложить яйца на плеоподы [8].

АРП на стадии 1 эмбрионального развития варьировала от 20 до 1843 яиц (в среднем 529 ± 120 яиц). Максимальное количество яиц на плеоподах возрастает с увеличением ДК в 6-10 раз. Объем недавно отложенных яиц был в среднем 0,113 мм³, но в течение инкубационного периода он возрос почти вдвое (на 87%). Средняя смертность эмбрионов 7,7%, что говорит о наличии у данного вида высокого уровня заботы о потомстве. АИП варьирует в пределах 149-1011 ооцитов, возрастая с увеличением размеров самки, и в среднем составляет 373 ± 202 ооцитов.

Эти параметры репродуктивной биологии довольно близки таковым некоторых других видов рода, у которых они изучены (таблица).

Таблица. Репродуктивные параметры некоторых видов креветок из рода *Alpheus*
Table. Reproductive parameters of some species of *Alpheus shrimps*

Вид	Количество изученных креветок	Длина карапакса, мм	Максимальная АРП	Объем яйца, мм ³	Место обитания	Источник информации
<i>A. normanni</i>	7	4,1-7,4	584	0.09	Florida, USA	[9]
<i>A. armillatus</i>	31	7,7-14,1	1979	0.1	Florida, USA	[10]
<i>A. cf. burukovskyi</i>	75	6-16	1843	0.11	Оманское море	Наши данные
<i>A. nuttingi</i>	27	11,2-18,6	Летние ~ 2000, зимние 4222	0.09	São Paulo, Brazil	[11]
<i>A. saxidomus</i>	5	10,1-17,4	–	0.25	Восточная Пацифика	[12]
<i>A. heterochaelis</i>	5	10,2-13,4	336	0,91	Florida, USA	[9]

Все виды креветок в таблице располагаются в порядке увеличения максимальной ДК, известной для каждого из них, поэтому и в колонке, где указано количество яиц на плеоподах, тоже помещены максимальные величины АРП. Все виды, приведенные в таблице, можно разделить на три группы в зависимости от величины объема яиц. В первую входят те, у которых объем только что отложенных на плеоподы яиц варьирует от 0,09 до 0,11 мм³, т. е. примерно равен 0,1 мм³ (у *A. nuttingi*, у которого имеются летние и зимние яйца, это наблюдается для летних яиц). Как следствие, у видов с максимальной ДК максимальная АРП тоже больше (у *A. normanni* АРП в три раза меньше, чем у *A. armillatus*, *A. cf. burukovskiy* и АРП летних яиц *A. nuttingi*, имеющих сравнимые максимальные ДК).

От этих четырех видов отличаются *A. saxidomus* и *A. heterochaelis*, которые при примерно той же максимальной ДК имеют максимальную АРП в 2,5 (у первого) и даже в 9 раз большую (у второго). Это объясняется отличиями их экологии.

A. saxidomus обитает в глубоких норах, которые роет видоизмененными крупными клешнями в скалах из базальта. *A. heterochaelis* морфологически близок к первым четырем видам, но у него наблюдается так называемая "социальная моногамия". Разнополые особи данного вида образуют постоянные "супружеские" пары, в которых самец защищает самку во время линек и вынашивания яиц [13]. Это, вероятно, обеспечивает самку достаточно эффективной защитой.

Итак, можно констатировать, что на данном этапе изученности у креветок рода *Alpheus* можно наблюдать три разновидности репродуктивной биологии, демонстрирующие разную степень развития заботы о потомстве. Следовательно, они представляют собой разные формы К-стратегии.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Anker A., Dworschak P. C. *Jengalpheops rufus* gen. nov., sp. nov., a new commensal alpheid shrimp from the Philippines (Crustacea: Decapoda). *Zoology Study*, 2007, no. 46, pp. 290–302.
2. De Grave S., Fransen C. H. J. M. Carideorum catalogus the recent species of the dendrobranchiate, stenopodidean, procarididean and caridean shrimps (Crustacea, Decapoda) // *Zool. Meded. Leiden* V, 2011, no 9, pp. 195-588.
3. Naderloo R., Turkay M., Sari A. Intertidal habitats and decapod (Crustacea) diversity Of Qeshm Island, a biodiversity hot spot within the Persian Gulf. *Marine biodiversity*, 2003, ISSN 1867-1616. DOI 10. 1007/s 12526-013-0174-3.
4. Sheibani R. *Zoogeography and taxonomy of littoral Caridean shrimps of the Persian Gulf and Gulf of Oman*. PHD Thesis. Shahid Beheshti University, Faculty of Biological Sciences. Tehran, 2007. 144 p.
5. Anker A., Pachelle P. P. G. Two snapping shrimps (Decapoda: Caridea: Alpheidae) from the tropical eastern Pacific // *Arthropoda Selecta*, 2015, no. 3, pp. 247-258.
6. Turner R. L., Lawrence J. M. Volume and composition of echinoderm eggs: implications for the use of egg size in life-history models. In: Stancyk SE (Ed.) *Reproductive Ecology of Marine Invertebrates*. University of South Carolina Press, Columbia, USA, 1979. pp. 25–40.

7. Буруковский, Р. Н. Методика биологического анализа некоторых тропических и субтропических креветок. Промышленно-биологические исследования морских беспозвоночных / Р. Н. Буруковский. – Москва: ВНИРО, 1992. - С. 74-84.
8. Буруковский, Р. Н. О географическом распространении, батиметрическом распределении и биологии креветки *Acanthephyra pelagica* (Risso 1816) (Decapoda, Oplophoridae) / Р. Н. Буруковский, В. М. Андреева // Journ. of Siberian Federal University. *Biology*. - 2010. - № 3. - С. 303-321.
9. Corey S., Reid D. M. Comparative fecundity of decapod crustaceans. I. The fecundity of thirty-three species of nine families of caridean shrimp. *Crustaceana*, 1991, no. 60, pp. 270–294.
10. Pavanelli C. A. M., Emerson C. Mossolin., Fernando L. Mantelatto. Reproductive strategy of the snapping shrimp *A. armillatus* H. Milne-Edwards, 1837 in the South Atlantic: fecundity, egg features, and reproductive output. *Invertebrate Reproduction and Development*, 2008, no. 52 (3), pp. 123–130.
11. Pavanelli C. A. M., Mossolin E. C., Mantelatto F. L. Maternal investment in egg production: environmental and population-specific effects on offspring performance in the snapping shrimp *Alpheus nuttingi* (Schmitt, 1924) (Decapoda, Alpheidae). *Animal Biology*, 2010, no. 60, pp. 237–247.
12. Wehrtmann I. S., Graeve M. Lipid composition and utilization in developing eggs of two tropical marine caridean shrimps (Decapoda: Caridea: Alpheidae, Palaemonidae). *Comp. Biochem. Physiol.*, 1998, no. 121, pp. 457–463.
13. Masterson J. Smithsonian Marine Station Submit additional information, photos or comments to: irl_webmaster@si.edu Page last updated: September 1, 2008.

REFERENCES

1. Anker A., Dworschak P. C. *Jengalpheops rufus* gen. nov., sp. nov., a new commensal alpheid shrimp from the Philippines (Crustacea: Decapoda). *Zoology Study*, 2007, no. 46, pp. 290–302.
2. De Grave S., Fransen C. H. J. M. Carideorum catalogus the recent species of the dendrobranchiate, stenopodidean, procarididean and caridean shrimps (Crustacea, Decapoda). *Zool. Meded. Leiden V*, 2011, no. 9, pp. 195-588.
3. Naderloo R., Turkay M., Sari A. Intertidal habitats and decapod (Crustacea) diversity Of Qeshm Island, a biodiversity hot spot within the Persian Gulf. *Marine biodiversity*, 2003, ISSN 1867-1616. DOI 10. 1007/s 12526-013-0174-3.
4. Sheibani R. *Zoogeography and taxonomy of littoral Caridean shrimps of the Persian Gulf and Gulf of Oman*. PHD Thesis. Shahid Beheshti University, Faculty of Biological Sciences. Tehran, 2007. 144 p.
5. Anker A., Pachelle P. P. G. Two snapping shrimps (Decapoda: Caridea: Alpheidae) from the tropical eastern Pacific. *Arthropoda Selecta*, 2015, no. 3, pp. 247-258.
6. Turner R. L., Lawrence J. M. Volume and composition of echinoderm eggs: implications for the use of egg size in life-history models. In: Stancyk SE (Ed.) *Reproductive Ecology of Marine Invertebrates*. University of South Carolina Press, Columbia, USA, 1979. pp. 25–40.

7. Burukovskij R. N. *Metodika biologicheskogo analiza nekotoryh tropicheskikh i subtropicheskikh krevetok. Promyslovo-biologicheskie issledovaniya morskikh bespozvonochnyh* [Procedure for biological analysis of some tropical and subtropical shrimps. Field- biological research of marine invertebrates]. Moscow, VNIRO, 1992, pp. 74-84.

8. Burukovskij R. N., Andreeva V. M. O geograficheskom rasprostranении, batimetricheskom raspredelenii i biologii krevetki *Acantheephyra pelagica* (Risso 1816) (Decapoda, Oplophoridae) [On geographical range, bathymetric distribution and biology of the shimp *Acantheephyra pelagica* (Risso 1816) (Decapoda, Oplophoridae)]. *Journ. of Siberian Federal University. Biology*. 2010, no. 3, pp. 303-321.

9. Corey S., Reid D. M. Comparative fecundity of decapod crustaceans. I. The fecundity of thirty-three species of nine families of caridean shrimp. *Crustaceana*, 1991, no. 60, pp. 270–294.

10. Pavanelli C.A.M., Emerson C. Mossolin., Fernando L. Mantelatto. Reproductive strategy of the snapping shrimp *A. armillatus* H. Milne-Edwards, 1837 in the South Atlantic: fecundity, egg features, and reproductive output. *Invertebrate Reproduction and Development*, 2008, no. 52 (3), pp. 123–130.

11. Pavanelli C. A. M., Mossolin E. C., Mantelatto F. L. Maternal investment in egg production: environmental and population-specific effects on offspring performance in the snapping shrimp *Alpheus nuttingi* (Schmitt, 1924) (Decapoda, Alpheidae). *Animal Biology*, 2010, no. 60, pp. 237–247.

12. Wehrtmann I. S., Graeve M. Lipid composition and utilization in developing eggs of two tropical marine caridean shrimps (Decapoda: Caridea: Alpheidae, Palaemonidae). *Comp. Biochem. Physiol.*, 1998, no. 121, pp. 457–463.

13. Masterson J. Smithsonian Marine Station Submit additional information, photos or comments to: irl_webmaster@si.edu Page last updated: September 1, 2008.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Ансари Зейнаб – Калининградский государственный технический университет; аспирантка кафедры «Ихтиопатология и гидробиология»;
E-mail zeinab6228@gmail.com

Ansari Zeinab – Kaliningrad State Technical University; Postgraduate student of the Department «Ichthyopathology and Hydrobiology»;
E-mail zeinab6228@gmail.com

Махсюдлю Аболвахаб – Иранский национальный институт океанографии и атмосферных наук; руководитель океанических наук, Научно-исследовательский центр; E-mail: Wahab@inio.ac.ir

Maghsoodlou Abdolvahab – Iranian National Institute for Oceanography and Atmospheric Sciences; Head of Ocean Science Research Center;
E-mail: Wahab@inio.ac.ir

УДК 597.442–113.4+597.442–153

ОСОБЕННОСТИ ПИЩЕВОГО И ПОИСКОВОГО ПОВЕДЕНИЯ МОЛОДИ
СТЕРЛЯДИ ПРИ ПРУДОВОМ И БАСЕЙНОВОМ ПОДРАЩИВАНИИ

О. Л. Бондарчук, Ю. В. Герасимов

SPECIFIC FEATURES OF FORAGING AND SEARCHING BEHAVIORS IN
JUVENILE STERLET RAISED IN THE PONDS AND CONTAINERS

O. L. Bondarchuk, Yu. V. Gerasimov

Длительное развитие молоди осетровых в условиях сенсорной депривации (в заводских бассейнах) приводит к закреплению у нее неадекватных поведенческих навыков. Обоняние и электрорецепция, основные дистантные органы чувств стерляди при поиске корма в естественных условиях, при питании искусственными кормами в бассейнах практически бесполезны. Особенно электрорецепция, которая предназначена для восприятия чрезвычайно слабых электрических полей, генерируемых кормовыми беспозвоночными. Все это не способствует развитию у рыб важнейших адаптивных форм поискового поведения. Интенсивность питания в экспериментальных условиях закопанными в песок личинками хирономид у молоди стерляди, выращенной в прудах, по сравнению с бассейновой оказалась достоверно более высокой (соответственно, 52 ± 9 и 34 ± 6 экз. личинок хирономид за 15 мин). Питаясь на песчаном субстрате зарытыми в него личинками хирономид, молодь стерляди оставляла «воронки» – нарушения поверхности субстрата, распределение которых указывает на то, какую тактику поиска она использует. Прудовая молодь, выедавая обнаруженное кормовое пятно, практически не делала «холостых клевков» субстрата, о чем свидетельствует количество воронок, равное количеству кормовых частиц в кормовом пятне, и отсутствие воронок на участках без пищи, на что указывают сходные значения агрегированности воронок и корма (12,5 и 13,1 соответственно). Бассейновая молодь осуществляла случайный поиск корма, проводя постоянное механическое тестирование субстрата на содержание пищевых частиц, оставляя воронки как в пределах кормовых пятен, так и на участках без корма (агрегированность воронок – 3,88). Прудовые особи характеризовались более высокой корреляцией рациона с уровнем двигательной активности ($r = 0,71$; $p < 0,01$), чем бассейновые ($r = 0,17$; $p = 0,46$). Следовательно, прудовые особи, адаптированные к добыче инфауны, использовали пространство селективно, а бассейновые – случайным образом, что значительно снижало эффективность их питания.

искусственное воспроизводство, стерлядь, бассейновая молодь, прудовая молодь, интенсивность питания, двигательная активность

Prolonged cultivation of the young sterlet sturgeons under sensory deprivation conditions (in the hatchery tanks) builds inadequate behavioural skills in fish. Olfaction and electroreception being the major distant sense organs in sterlets when searching for

their feed in the wild are almost useless when feeding on artificial diets in the tanks. This applies particularly for the electric sense which serves for detection of extremely weak electric fields generated by the invertebrate food sources. All the above factors hamper the development of some essential adaptive behaviours in sterlet. Thus, in the test environment, when feeding on chironomid larvae buried in the sand, the young sterlets reared in ponds consumed their food more intensively as compared to the fish reared in tanks (52 ± 9 and 34 ± 6 larvae for 15 minutes). Besides, when taking chironomid larvae hidden in the sand, the young fish created conical depressions (“craters”) on the sandy substrate, and the distribution of these “craters” clearly indicates their searching tactics. The pond-reared fish feeding on each found food patch made not idle bites on the substrate which is evidenced by the equal numbers of “craters” and food items in the patch. Another evidence is the absence of the “craters” in the foodless areas (12,5 and 13,1 respectively). The tank-reared young fish performed a random search continuously testing the presence of food items in the substrate physically and creating the “craters” both within the food patches and empty areas (aggregation index of “craters” totaled 3,88). Pond-reared young fish displayed higher correlation of the diet level with their locomotor activity ($r = 0,71$; $p < 0,01$) than the tank-reared fish ($r = 0,17$; $p = 0,46$). Hence, the pond-reared young fish adapted to infaunal feeding used their environment selectively, while the tank-reared fish performed a random search, which markedly lowered their feed efficiency.

artificial reproduction, sterlet, tank-reared fish, pond-reared fish, feeding rate, locomotor activity

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время большинство популяций стерляди находятся в крайне депрессивном состоянии, во многих водоемах она на грани исчезновения или уже исчезла. Для того чтобы восстановить и поддержать естественные запасы, используется методика искусственного разведения [1]. Биотехника разведения и выращивания молоди осетровых рыб для целей воспроизводства в заводских условиях разработана еще в первой половине прошлого века, но ряд положений требуют уточнения.

Ежегодно осетровые заводы выпускают в реки десятки миллионов подросшей молоди, но выживаемость рыбы в естественной среде остается на очень низком уровне. Получение искусственно выращенной молоди, которая могла бы с минимальными потерями адаптироваться к условиям жизни в естественном водоеме, является на сегодняшний день наиболее важной и сложной задачей.

Цель работы – изучение особенностей формирования пищевого и поискового поведения у молоди стерляди (*Acipenser ruthenus* L.) при заводском выращивании в зависимости от длительности её содержания в заводских бассейнах.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Сравнительные исследования поведения прудовой и бассейновой молоди стерляди проводили в лаборатории экологии рыб ИБВВ им. И. Д. Папанина РАН в октябре 2012 г. Объект исследования – стерлядь, выращенная разными

способами: тип 1 – прудовая молодь, высаженная в пруд при навеске 1,5 г с 10 июля по 8 октября 2012 г. (В1), тип 2 – бассейновая молодь, постоянно содержащаяся в бассейнах завода (В4).

В два аквариума площадью дна 0,8 м², на которое насыпали слой песка, помещали по 5 шт. молоди стерляди разных групп отдельно в каждый аквариум. Трижды в сутки (утром, днем, вечером) в течение 15 мин осуществляли кормление молоди стерляди живыми подвижными личинками хирономид (*Chironomus plumosus* L.) в количестве 60 экз. со средней навеской 7,5 ± 0,11 мг, которые нами закапывались в песок группами по 10 экз. (кормовые пятна) по всей площади аквариумов. После каждого кормления подсчитывали количество съеденных личинок хирономид для оценки интенсивности питания. Поведение рыб во время кормления записывали с использованием видеокамеры на компьютер и затем обрабатывали по специальной программе, позволяющей определить следующие показатели: расстояние, пройденное за время наблюдения, время активного плавания, время нахождения на кормовом пятне и количество посещений кормового пятна.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Эксперименты показали значительные различия в поисковом поведении прудовой и бассейновой молоди (рис. 1). Прудовая молодь проходила большее расстояние за меньшее время, меньше времени она находилась на участках дна с кормом и реже совершала их повторные посещения.

Рыбы передвигаются по случайно выбранной траектории (с длинными прямолинейными перемещениями и редкой сменой направления). При нахождении пищевой частицы они останавливаются и после ее поедания начинают перемещаться, часто меняя направление и обследуя ограниченный участок в районе обнаружения корма. Если новые объекты не обнаруживаются, то частота смены направления снижается и рыба покидает участок, возобновляя прямолинейные перемещения до следующего обнаружения корма.

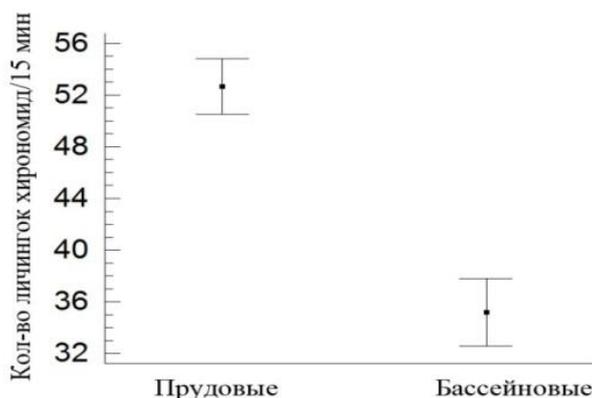


Рис. 1. Интенсивность питания и двигательная активность прудовой и бассейновой молоди стерляди в эксперименте

Fig. 1. Intensity of feeding and locomotor activity in the experiments with juvenile sterlet raised in the ponds and containers

В экспериментальных условиях наибольшее соответствие данной тактической схеме было отмечено у прудовой молоди. При обитании в пруду на естественных кормах ей, в отличие от бассейновой молоди, для насыщения приходится исследовать значительные участки дна. В эксперименте после обнаружения и поедания кормового объекта она сразу начинала обследование прилегающих участков дна и при отсутствии на них корма тут же переходила к дальнейшему поиску, используя длинные прямолинейные перемещения с редкой сменой направления, последовательно изучая всю площадь аквариума.

Бассейновая молодь в течение всего периода содержания в бассейнах подбирала корм со дна бассейна примерно в одних и тех же местах, где этот корм на протяжении всего времени содержания ей задавался (эффект кормушки). Сходное поведение наблюдалось и в экспериментальном аквариуме. После обнаружения и поедания кормового объекта бассейновая молодь стерляди долго оставалась в непосредственной близости от этого места, перемещаясь, часто меняя направление и отказываясь от попыток дальнейшего поиска корма в другой части аквариума (рис. 2).

Это хорошо иллюстрирует следующий эксперимент. При питании на песчаном субстрате зарытыми в него личинками хирономид молодь стерляди оставляла “воронки” – нарушения поверхности субстрата (рис. 2), распределение которых указывает на то, какую тактику поиска она использует.

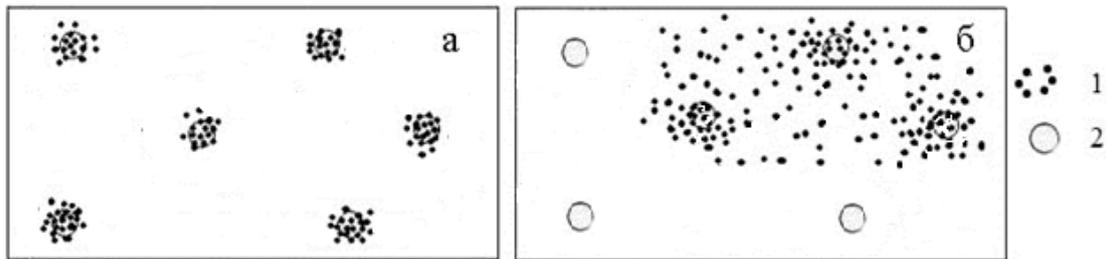


Рис. 2. Распределение нарушений поверхности песчаного субстрата (1) на участках без пищи и с пищей (2) в экспериментах с прудовой (а) и бассейновой (б) молодью стерляди

Fig. 2. Distribution of disturbances of sand substratum surface (1) at the sites without food and with food (2) in the experiments with juvenile sterlet raised in the ponds (a) and containers (b)

Прудовая молодь, выедавая обнаруженное кормовое пятно, практически не делала «холостых клевков» субстрата, о чем свидетельствует количество воронок, равное количеству кормовых частиц в кормовом пятне, и отсутствие воронок на участках без пищи, на что указывают сходные значения агрегированности воронок и корма (11,3 и 10,4 соответственно) (рис. 2, а). Бассейновая молодь осуществляла случайный поиск корма, проводя постоянное механическое тестирование субстрата на содержание пищевых частиц, оставляя воронки как в пределах кормовых пятен, так и на участках без корма (агрегированность воронок – 5,21) (рис. 2, б). Следовательно, прудовые особи, адаптированные к добыче инфауны, использовали пространство более селективно, а бассейновые – случайным образом.

Прудовые особи характеризовались более высокой корреляцией рациона с уровнем двигательной активности ($r = 0,83$; $p < 0,01$), чем бассейновые ($r = 0,24$; $p = 0,57$).

При визуальном наблюдении за кормлением молоди стерляди было отмечено, что бассейновая молодь стерляди, проплывая около кормового организма (личинки хирономид) даже в нескольких миллиметрах, не хватала его до тех пор, пока не касалась своими усиками. При захвате корма бассейновая особь долгое время держала личинку хирономиды во рту до того, как её проглотить.

Прудовая молодь стерляди на расстоянии обнаруживала кормовой организм, целенаправленно двигалась к нему и при захвате пищи сразу проглатывала ее, а затем приступала к систематическому поеданию корма на обнаруженном кормовом пятне. После выедания всех личинок хирономид в пределах кормового пятна прудовая особь продолжала поиск до обнаружения следующего скопления кормовых организмов.

ОБСУЖДЕНИЕ

Как обитатели донных биотопов, осетровые рыбы полагаются главным образом на тактильное чувство и на другие незрительные сенсорные системы (обонятельную, наружную вкусовую рецепцию, электрорецепцию). Установлено, что у осетровых рыб обоняние играет роль ведущего дистантного органа чувств, с помощью которого они получают информацию о присутствии кормовых объектов и мест их локализации в водоеме [2-4]. Обонятельная чувствительность к пищевым химическим сигналам возникает в онтогенезе осетровых рыб сразу же после перехода молоди к полному экзогенному питанию, а дефинитивный уровень обонятельной чувствительности к пищевым запахам достигается в течение второго месяца жизни [3,5]. Проведенные на молоди осетровых рыб исследования пищедобывательной и оборонительной условно-рефлекторной деятельности показали, что в раннем возрасте (12-20 сут) скорость выработки тех и других условных рефлексов у дикой и заводской молоди севрюги практически одинакова, тогда как в более старшем возрасте (35-50 и 50-70 сут) дикая молодь обучается лучше, и условные рефлексы вырабатываются у нее быстрее, чем у выращенной бассейновым способом [6].

Из всех перечисленных рецепторов в заводских условиях эффективно участвуют в поиске пищи только тактильные и вкусовые. Роль обоняния как дистантного органа чувств при поиске корма в условиях постоянной циркуляции воды в бассейнах, когда запах корма быстро распространяется по всему бассейну, невелика. Практически бесполезны и органы электрорецепции, предназначенные для восприятия чрезвычайно слабых электрических полей природного происхождения [7]. В естественных условиях они позволяют осетровым находить добычу – беспозвоночных, которые эти поля генерируют, но только в живом виде. Кроме того, в условиях завода на эти высокочувствительные рецепторы, вероятно, могут воздействовать сильные электрические поля многочисленных электроприборов (освещение, электромоторы и т.д.), что, очевидно, также не способствует выработке полезных в естественных водоемах условных рефлексов на слабые электрические раздражители.

Отсутствие или недоразвитие поведенческих навыков поиска пищи с использованием обоняния и электрорецепции у бассейновой молоди обуславливает особенности её пищевого поведения в экспериментальных условиях. У прудовой молоди, которая активно использует обоняние и электрорецепцию, при обнаружении кормового пятна сразу несколько кормовых частиц или все это пятно попадали в зону, контролируемую этими органами обоняния рыбы (рис. 3, а). В результате они за одно посещение выедали все кормовое пятно, целенаправленно переплывая от одной кормовой частицы к другой, не прибегая к поиску.

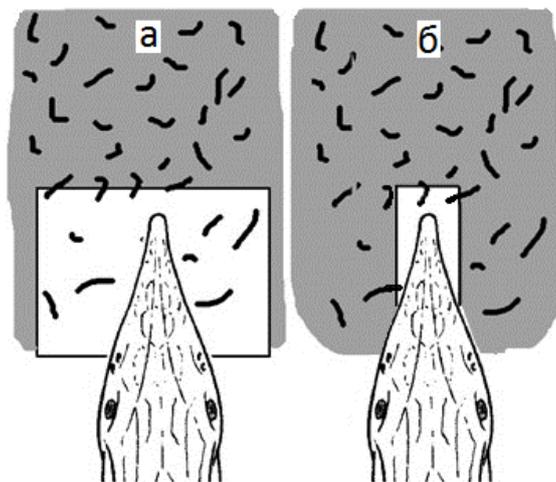


Рис. 3. Соотношение зон (белые прямоугольники), контролируемых органами обоняния у прудовой (слева) и бассейновой особей (схема)

Fig. 3. Proportion of the zones (white rectangles) checked by olfactory organs in the juvenile sterlet raised in the ponds (left) and containers (scheme)

Бассейновые особи, которые в основном использовали тактильные и вкусовые органы чувств, позволяющие обнаруживать корм только при непосредственном контакте с ним (рис. 3, б), после нахождения и схватывания первой кормовой частицы, поиск следующей продолжали, тестируя субстрат случайным образом.

Следовательно, отсутствие или недоразвитие поведенческих навыков поиска пищи с использованием обоняния и электрорецепции значительно снижают эффективность поискового поведения бассейновой молоди стерляди, и особенно негативно это должно отразиться на поиске организмов инфауны, которые, находясь в толще субстрата, плохо регистрируются вкусовыми, и тем более, тактильными рецепторами.

Это объясняет то, что в питании в естественной среде у молоди, три месяца до выпуска содержавшейся в бассейнах, преобладали организмы эпибентоса, их рыбы могли обнаружить с помощью вкусовых и тактильных рецепторов, в то время как доля беспозвоночных инфауны, для поиска которых необходимы обоняние и электрорецепция, была минимальной. В результате спектр питания для этой молоди в наибольшей степени отличался от спектра питания дикой молоди. Вместе с тем у нее были отмечены минимальные индексы наполнения

желудка и, как следствие, отсутствие весового и линейного прироста к концу периода прудового содержания.

Кроме того, после подачи искусственного корма в бассейн часть его в виде мелких частиц остается на поверхностной пленке воды, в результате у бассейновой молоди закрепляется поведение, не свойственное для дикой молоди. Для добывания корма с поверхностной пленки бассейновая молодь часто перемещается под ней кверху брюшком. Подобное поведение в течение всего эксперимента ни разу не было отмечено у прудовой молоди. В естественных условиях перемещение молоди под поверхностью воды кверху светлым брюшком резко повышает ее доступность для рыбацких птиц.

Трудности с обнаружением закопанных в субстрат личинок хирономид у бассейновой молоди усугублялись тем, что в условиях бассейнов в отсутствие донного субстрата у нее закрепилось поведение, при котором она плавала над дном в среднем на расстоянии 11 мм. Прудовая молодь стерляди опускалась ко дну намного ниже (3 мм), касаясь усиками донного субстрата.

Таким образом, уровень информационной обогащенности среды, в которой выращивается молодь рыб на ранних стадиях онтогенеза, является одним из определяющих факторов, способствующих развитию у нее важнейших адаптивных форм поведения. Длительное развитие молоди в условиях сенсорной депривации приводит к закреплению у нее неадекватных поведенческих навыков, что затрудняет процесс условно-рефлекторного переключения при попадании такой молоди в естественную среду.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Burtsev, I.A. Problems of conserving the sturgeon phylogenetic adaptations at their industrial reproduction while changing the natural selection spectrum // 6th International Symposium on Sturgeon. Book of Abstracts. Posters. October 25-31. Wuhan, China, 2009. P. 103-105.
2. Касумян, А. О. Поведенческая реакция молоди осетровых рыб на естественные химические пищевые сигналы / А. О. Касумян, А. А. Кажлаев // Хемочувствительность и хемокоммуникация рыб. – Москва: Наука, 1989. – С. 167-174.
3. Касумян, А. О. Поведенческие ответы ранней молоди Сибирского осетра и севрюги на вещества, вызывающие основные типы вкусовых ощущений / А. О. Касумян, А. А. Кажлаев // Вопросы ихтиологии. – 1993. – № 3. – Т. 33. – С. 427-435.
4. Павлов, Д. С. Роль органов чувств при питании молоди осетровых рыб / Д. С. Павлов, Ю. И. Сбикин, И. К. Попова // Зоологический журнал. – Москва: Наука. – 1970. – Вып. 6. – С. 872 – 880.
5. Касумян, А. О. Формирование поисковой поведенческой реакции и обонятельной чувствительности к пищевым химическим сигналам в онтогенезе осетровых рыб (Acipenseridae) / А. О. Касумян, А. А. Кажлаев // Вопросы ихтиологии. – 1993. – №2, Т33. – С. 271-280.

6. Касимов, Р. Ю. Сравнительная характеристика поведения заводской и дикой молоди осетровых в раннем онтогенезе / Р. Ю. Касимов. – Баку: Элм, 1980. – 135 с.

7. Протасов, В. Р. Введение в электроэкологию / В. Р. Протасов, А. И. Бондарчук, В. М. Ольшанский. – Москва: Наука, 1982. – 336 с.

REFERENCES

1. Burtsev I. A. Problems of conserving the sturgeon phylogenetic adaptations at their industrial reproduction while changing the natural selection spectrum. 6th International Symposium on Sturgeon. Book of Abstracts. Posters. October 25-31. Wuhan, China, 2009, pp. 103-105.

2. Kasumjan A. O., Kazhlaev A. A. Povedencheskaja reakcija molodi osetrovyh ryb na estestvennye himicheskie pishhevye signaly [Behavioural reaction of young sturgeon on natural chemical food signals]. *Hemochuvstvitel'nost' i hemokommunikacija ryb* [Chemosensing and chemocommunication of fishes]. Moscow, Nauka, 1989, pp. 167-174.

3. Kasumjan A. O., Kazhlaev A. A. Povedencheskie otvety rannej molodi Sibirskogo osetra i sevrjugi na veshhestva, vyzyvajushhie osnovnye tipy vkusovyh oshhushhenij [Behavioural responses of young Siberian sturgeon and stellate sturgeon on the substances exciting main types of taste senses]. *Voprosy ihtiologii*, 1993, vol. 33, no. 3, pp. 427-435.

4. Pavlov D. S., Sbikin Ju. I., Popova I. K. Rol' organov chuvstv pri pitanii molodi osetrovyh ryb [The role of sensory organs in feeding of young sturgeon]. *Zoologicheskij zhurnal*, 1970, no. 6, pp. 872-880.

5. Kasumjan A. O., Kazhlaev A. A. Formirovanie poiskovoj povedencheskoj reakcii i obonjatel'noj chuvstvitel'nosti k pishhevym himicheskim signalam v ontogeneze osetrovyh ryb (Acipenseridae) [Formation of searching behavioural reaction and olfactory sensitivity to food chemical signals in the ontogenesis of sturgeon (Acipenseridae)]. *Voprosy ihtiologii*, 1993, vol. 33, no. 2, pp. 271-280.

6. Kasimov R. Ju. *Sravnitel'naja harakteristika povedenija zavodskoj i dikoj molodi osetrovyh v rannem ontogeneze* [Comparative analysis of behaviour of hatchery-raised and wild young sturgeon in the early ontogenesis]. Baku, Jelm, 1980, 135 p.

7. Protasov V. R., Bondarchuk A. I., Ol'shanskij V. M. *Vvedenie v jelektrojekologiju* [Introduction to electroecology]. Moscow, Nauka, 1982, 336 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Бондарчук Ольга Леонидовна – Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина Российской академии наук, Ярославская обл., пос. Борок; аспирант лаборатории экологии рыб; E-mail: vasura08@mail.ru

Bondarchuk Olga Leonidovna – I. D. Papanin Institute for biology of inland waters Russian Academy of Sciences, Yaroslavl region, Borok; post-doctoral student of laboratory of fish ecology; E-mail: vasura08@mail.ru

Герасимов Юрий Викторович – Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина Российской академии наук, Ярославская обл., пос. Борок; доктор биологических наук, профессор; заместитель директора по науке, заведующий лабораторией экологии рыб; E-mail: gu@ibiw.yaroslavl.ru

Gerasimov Yuriy Viktorovich – I. D. Papanin Institute for biology of inland waters Russian Academy of Sciences, Yaroslavl region, Borok; doctor of biological sciences, professor; deputy director on science, head of laboratory of fish ecology; E-mail: gu@ibiw.yaroslavl.ru

УДК: 597-152.412(261.74):681.3

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ В ИССЛЕДОВАНИЯХ РАННИХ СТАДИЙ РАЗВИТИЯ
ПРОМЫСЛОВЫХ РЫБ СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ЦЕНТРАЛЬНО-ВОСТОЧНОЙ
АТЛАНТИКИ

Р. А. Пак, Ф. В. Коломейко, А. Г. Архипов

USE OF MODERN GEOINFORMATIONAL TECHNOLOGIES IN THE COURSE
OF RESEARCH OF EARLY STAGES OF COMMERCIAL FISH DEVELOPMENT
IN THE NORTHERN PART OF THE EASTERN CENTRAL ATLANTIC

R. A. Pak, F. V. Kolomeyko, A. G. Arkhipov

Проведён анализ распределения и оценена численность массовых видов рыб на ранних стадиях их развития в акватории южной части Марокко (северная часть Центрально-Восточной Атлантики – ЦВА). Для этого использовались геоинформационные технологии и база данных «Ихтиопланктон океанических районов». Массовыми представителями ихтиоценоза ЦВА являются: европейская сардина *Sardina pilchardus*, европейская ставрида *Trachurus trachurus*, круглая сардинелла *Sardinella aurita* и западноафриканская ставрида *Trachurus trecae*, икринки и личинки которых составляют основу ихтиопланктона. Для картирования и пространственного анализа данных по ихтиопланктону использовалась корпоративная геоинформационная система АтлантНИРО, которая функционирует на основе информационных web-технологий с открытым исходным кодом. Икринки и личинки видов тропической и субтропической фауны были зафиксированы на большей части рассматриваемой акватории, причём ранние стадии развития круглой сардинеллы и европейской сардины встречались значительно чаще, чем западноафриканской и европейской ставриды. В целом районы основных нерестилищ и нагула молоди массовых неритических рыб часто совпадали или располагались близко друг от друга. Был произведен расчет общей численности икринок и личинок массовых видов рыб двумя способами. Первым, традиционным, способом подсчитывалась суммарная численность икринок и личинок под 1 м² на ихтиопланктонных станциях и определялись относительные индексы численности рассматриваемых видов; вторым – абсолютная численность икринок и личинок этих же видов для всей исследуемой акватории (от побережья до изобаты 1000 м) с использованием ГИС-технологий. Абсолютные значения численности икринок и личинок были более показательны для характеристики нерестовой активности рыб и точнее отражают динамику численности промысловых видов на ранних стадиях их развития, так как рассчитаны для всей исследуемой акватории.

ихтиопланктон, геоинформационные технологии, базы данных, икринки и личинки рыб, ранний онтогенез

The paper deals with the analysis of distribution and estimation of the abundance of common fish species at the early stages of their development in the waters of the southern part of Morocco (the northern part of the Eastern Central Atlantic - ECA). In order to do this, geoinformational technologies and database "Ichthyoplankton of the oceanic areas" were used. The mass representatives of ichthyocenosis in the ECA are: pilchard *Sardina pilchardus*, horse mackerel *Trachurus trachurus*, round sardinella *Sardinella aurita* and cunene horse mackerel *Trachurus trecae*, which eggs and larvae form the basis of ichthyoplankton. For mapping and carrying out the spatial analysis of the data on ichthyoplankton the corporate geoinformational system of AtlantNIRO was used. It runs on the information web-technologies with the open source code. Eggs and larvae of tropical and subtropical fauna species were recorded in most parts of the considered water area, with the early stages of development of round sardinella and sardine that occurred more frequently than the ones of cunene and horse mackerel. In general, major areas of spawning and nursery grounds of mass neritic fish often coincided or were located close to each other. Calculation of the total abundance of fish species eggs and larvae was performed using two methods. By means of the first traditional method the total abundance of eggs and larvae by m² at ichthyoplankton stations was calculated. The relative indices of considered species abundance were determined. The second method, with the help of GIS technology, was used to determine the absolute abundance of eggs and larvae of the same species for the entire survey area (from the coast to 1000 m isobath). The absolute values of eggs and larvae abundance were more indicative for characteristics of fish spawning activity, they reflect the abundance dynamics of the target species in the early stages of their development more accurately as they are calculated for the entire survey area.

ichthyoplankton, geoinformational technologies, data bases, eggs and larvae, early ontogenesis

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что основные параметры численности поколений рыб закладываются в течение ранних периодов жизни (эмбриональном, личиночном и мальковом), поэтому исследование динамики численности рыб невозможно без выяснения закономерностей их развития в раннем онтогенезе. Способность вида расширять свой ареал, приспосабливаться к новым условиям среды также в определённой степени зависит от состояния популяции в раннем онтогенезе [1-3].

Изучение ранних стадий развития промысловых рыб в АтлантНИРО проводится многие годы. Один из основных районов исследований института – Центрально-Восточная Атлантика. В водах северной части ЦВА по данным разных авторов обитает от 800 до 1000 видов рыб, в основном представители тропической и субтропической фауны [4, 5]. В верхнем 100-метровом слое над шельфом отмечается более 100 видов пелагических икринок и личинок рыб [6]. Здесь проходит нерест неритических рыб и нагул их молоди. Массовыми представителями ихтиоценоза ЦВА являются: европейская сардина *Sardina pilchardus*, европейская ставрида *Trachurus trachurus*, круглая сардинелла *Sardinella aurita* и западноафриканская ставрида *Trachurus trecae*, икринки и личинки которых составляют основу ихтиопланктона [4, 6].

Цель предлагаемой статьи – провести анализ распределения и оценить численность массовых видов ихтиопланктона акватории южной части Марокко (северная часть ЦВА) с использованием геоинформационных технологий и базы данных «Ихтиопланктон океанических районов», сформированной на сервере баз данных АтлантНИРО.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

В АтлантНИРО собран большой объём промыслово-биологической, гидробиологической и гидрологической информации по многим районам Мирового океана, которая сформирована в постоянно пополняемые электронные базы данных (БД). Для картирования и пространственного анализа данных по ихтиопланктону использовалась корпоративная геоинформационная система (ГИС) АтлантНИРО, которая функционирует на основе информационных web-технологий и частично – облачных вычислений (cloud computing). Облачные вычисления в настоящее время активно развиваются и представляют собой технологию обработки данных, в которой компьютерные ресурсы и мощности предоставляются пользователю как сетевой сервис. ГИС обеспечивает хранение, обработку, визуализацию и распространение пространственных данных и включает в себя систему управления базами данных (СУБД), редакторы растровой и векторной графики и разнообразные аналитические расчеты [7, 8].

При создании ГИС АтлантНИРО использовано программное обеспечение с открытым исходным кодом (open-source software) Существующие коммерческие (проприетарные) ГИС имеют высокую стоимость с обязательными ограничениями на копирование, модификацию, коммерческую тайну, авторское право и патенты. Поэтому использование коммерческого программного обеспечения (ПО) оказывается далеко не всегда целесообразным, удобным, материально доступным и эффективным.

С учетом специфики исследований водных биоресурсов в ГИС АтлантНИРО использован корпоративный подход, который выражается в следующем:

- система позволяет решать масштабные задачи, в которых задействовано несколько БД;
- работа системы может осуществляться одновременно в различных структурных подразделениях АтлантНИРО, при этом используется централизованная и унифицированная рабочая среда.

В статье рассматриваются результаты четырех типичных ихтиопланктонных съёмок (июль-август 2008 г.; декабрь 2008 – январь 2009 г.; ноябрь-декабрь 2013 г. и август-сентябрь 2014 г.) в южной (28-21°с.ш.) части Марокко (Западная Сахара). Материалы собирались в разные (тёплый, холодный) сезоны года на 30-40 комплексных станциях над глубинами от 20 до 1000 м. Использовались планктоносборщики «Бонго-20» с газом №17-21. Осуществлялся ступенчато-косой лов на горизонтах 100, 50, 35, 25, 10 и 0 м по 1,5-3 мин на каждом при скорости судна 2,0-3,0 узл. [9]. Дальнейшая обработка материалов велась в лабораторных условиях под бинокулярными микроскопами МБС-10 (увеличение 8 x 2, 8 x 4). В ходе камеральной обработки определялся видовой и количественный состав икринок и личинок рыб. Расчёт их численности проводили методом площадей [10].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Состав ихтиопланктона в районе южной части Марокко отражает фаунистическую принадлежность района. Здесь смешиваются субтропическая фауна, типичными представителями которой являются икринки и личинки европейской сардины и европейской ставриды, и тропическая фауна, её типичные представители – икринки и личинки круглой сардинеллы и западноафриканской ставриды. Эти виды в ихтиопланктоне, как правило, являются наиболее массовыми в зависимости от периода года [3].

Для визуализации, интерполяции и оценки численности ихтиопланктона применялся метод обратно взвешенных расстояний. Расчёт велся по каждому пикселю карты с учётом его геодезического размера в метрах на рассматриваемой акватории. Полученные результаты представлены на рис. 1-8.

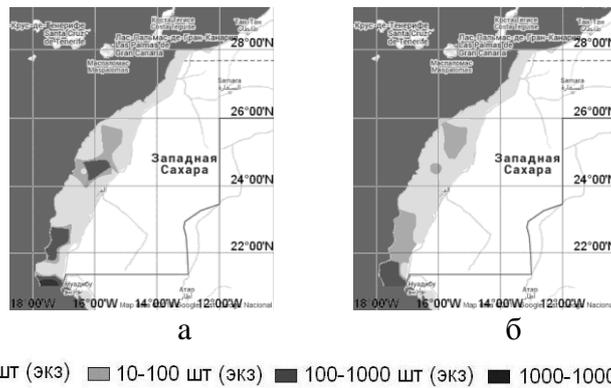


Рис. 1. Распределение икринок (а) и личинок (б) круглой сардинеллы в тёплый период 2008 г.

Fig. 1. Eggs (a) and larvae (б) distribution of round sardinella in the warm period of 2008

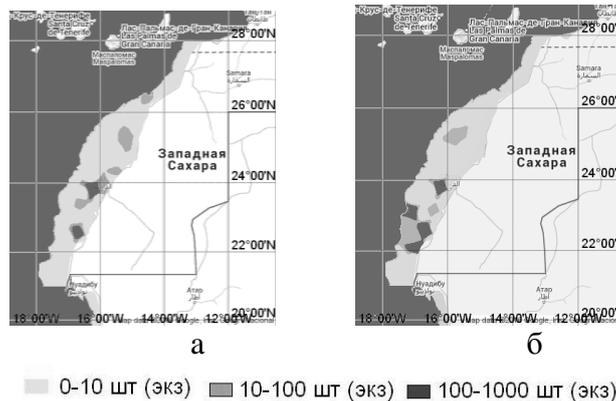


Рис. 2. Распределение икринок (а) и личинок (б) круглой сардинеллы в тёплый период 2014 г.

Fig. 2. Eggs (a) and larvae (б) distribution of round sardinella in the warm period of 2014

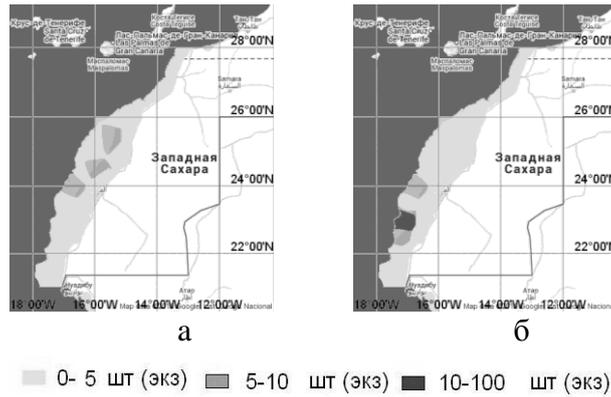


Рис. 3. Распределение икринок (а) и личинок (б) западноафриканской ставриды в тёплый период 2008 г.

Fig. 3. Eggs (a) and larvae (б) distribution of *cunene* horse mackerel in the warm period of 2008

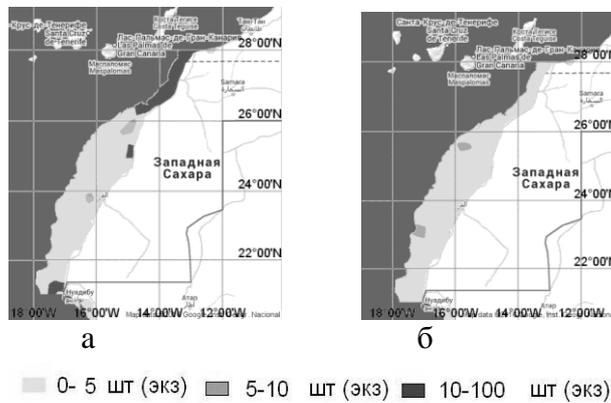


Рис. 4. Распределение икринок (а) и личинок (б) западноафриканской ставриды в тёплый период 2014 г.

Fig. 4. Eggs (a) and larvae (б) distribution of *cunene* horse mackerel in the warm period of 2014

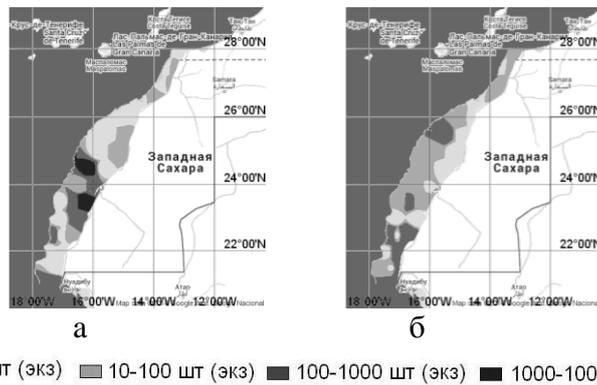


Рис. 5. Распределение икринок (а) и личинок (б) европейской сардины в холодный период 2008, 2009 гг.

Fig. 5. Eggs (a) and larvae (б) distribution of pilchard in the cold period of 2008/09

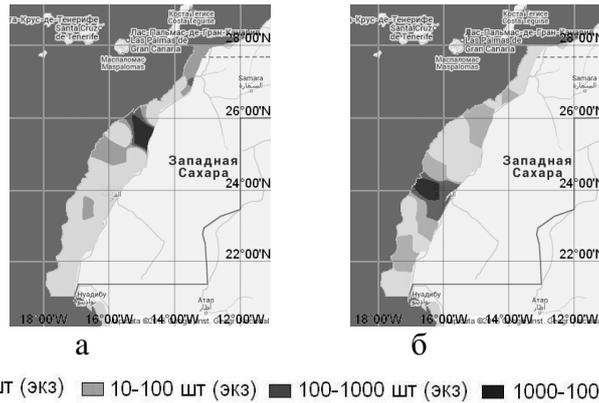


Рис. 6. Распределение икринок (а) и личинок (б) европейской сардины в холодный период 2013 г.

Fig. 6. Eggs (a) and larvae (б) distribution of pilchard in the cold period of 2013

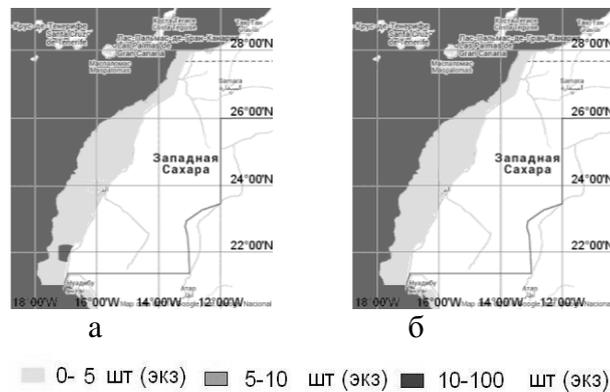


Рис. 7. Распределение икринок (а) и личинок (б) европейской ставриды в холодный период 2008, 2009 гг.

Fig. 7. Eggs (a) and larvae (б) distribution of horse mackerel in the cold period of 2008/09

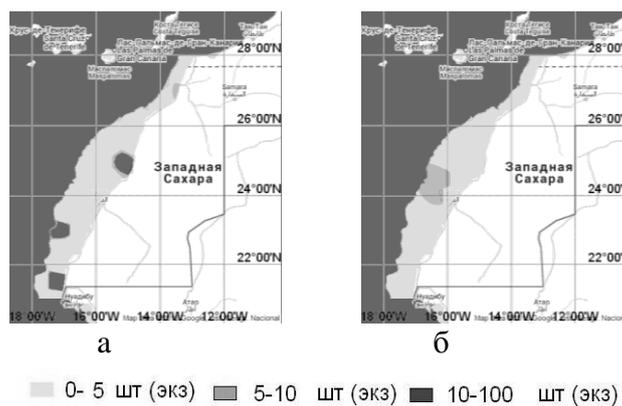


Рис. 8. Распределение икринок (а) и личинок (б) европейской ставриды в холодный период 2013 г.

Fig. 8 Eggs (a) and larvae (б) distribution of horse mackerel in the cold period of 2013

Икринки и личинки летненерестующих видов тропической фауны (круглой сардинеллы и западноафриканской ставриды) были отмечены на большей части рассматриваемой акватории, причём ранние стадии развития круглой сардинеллы встречались значительно чаще, чем западноафриканской ставриды (рис. 1-4).

Икринки и личинки зимненерестующих видов субтропической фауны (европейская сардина и европейская ставрида) также распределялись практически на всей исследуемой акватории со значительным преобладанием в ихтиопланктоне европейской сардины (рис. 5-8).

Следует отметить, что икринки и личинки сельдевых рыб (круглая сардинелла и европейская сардина) отмечались ближе к берегу, а ставридовых (западноафриканская и европейская ставриды) – в более мористых районах.

В целом, как видно из рис. 1-8, районы основных нерестилищ и нагула молоди массовых неритических рыб часто совпадают или расположены близко друг от друга. Обычно они находятся южнее крупных мысов, в зоне подводных каньонов. Это районы, где происходят подъём глубинных вод, интенсивные процессы перемешивания, образуются разномасштабные круговороты и градиентные зоны, обусловленные системой потоков постоянных поверхностных течений, ветров и орографическими особенностями континентальной отмели [4, 6].

Далее был произведен расчет общей численности икринок и личинок массовых видов рыб двумя способами. Первым, традиционным, способом [10] подсчитывалась суммарная численность икринок и личинок под 1 м² на ихтиопланктонных станциях и определялись относительные индексы численности европейской сардины, круглой сардинеллы, европейской ставриды и западноафриканской ставриды, используемые нами для качественного и количественного анализов интенсивности нереста промысловых видов рыб и изучения динамики их численности в раннем онтогенезе. Вторым способом определялась абсолютная численность икринок и личинок этих же видов для всей исследуемой акватории (от побережья до изобаты 1000 м) с использованием ГИС-технологий. Результаты расчёта представлены в таблице.

Таблица. Численность икринок и личинок (экз. x 10⁹) массовых видов рыб в районе южной части Марокко (28-21°с. ш.)

Table. Eggs and larvae abundance (spec.x10⁹) of the mass fish species in southern Morocco (28-21°N)

Период съёмки	Численность	<i>Sardinella aurita</i>		<i>Trachurus trecae</i>	
		икринки	личинки	икринки	личинки
2008, VII-VIII	Относительная	2337,3	2242,7	55,0	70,0
	Абсолютная	5840,3	4859	204,5	219,3
2014, VIII-IX	Относительная	1794,4	2495,0	284,8	47,0
	Абсолютная	2700,0	3800,0	428,0	61,0
Период съёмки	Численность	<i>Sardina pilchardus</i>		<i>Trachurus trachurus</i>	
		икринки	личинки	икринки	личинки
2008, XII-2009, I	Относительная	6838,3	3943,8	39,0	5,4
	Абсолютная	21629,4	9673,0	78,6	19,9
2013, XI-XII	Относительная	7355,9	3924,4	72,7	22,0
	Абсолютная	36000,0	18000,0	221,3	87,4

Анализируя полученные результаты, отметим, что численность сельдевых рыб на ранних стадиях их развития значительно превышала таковую ставридовых. Значения относительной численности икринок колебались от 39,0 до 7355,9 шт. $\times 10^9$, личинок – от 5,4 до 3943,8 экз. $\times 10^9$. Абсолютная численность икринок изменялись от 78,6 до 36000,0 шт. $\times 10^9$, личинок от 19,9 до 18000,0 экз. $\times 10^9$. Из таблицы видно, что абсолютная численность ихтиопланктона превышает относительную в 1,3-4,9 раз. Тенденции колебаний относительной и абсолютной численности рассматриваемых рыб в раннем онтогенезе по годам одинаковы. Однако абсолютные значения численности икринок и личинок более показательны для характеристики нерестовой активности рыб и более точно отражают динамику численности промысловых видов на ранних стадиях их развития, так как рассчитаны для всей исследуемой акватории.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, применение современных геоинформационных технологий в исследованиях массовых видов ихтиопланктона позволяет не только наглядно визуализировать имеющуюся в базе данных информацию, но и более точно рассчитать численность икринок и личинок промысловых видов рыб с учётом плотности распределения на всей рассматриваемой акватории, а также – корректнее анализировать динамику их численности в раннем онтогенезе. Дальнейшее развитие и совершенствование ГИС АтлантНИРО, добавление новых функций для пространственного и математического анализа позволят значительно повысить автоматизацию обработки данных по ихтиопланктону тех акваторий, в которых институт проводит исследования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Дехник, Т. В. Значение ранних стадий развития в формировании численности поколений / Т. В. Дехник, В. П. Серебряков, С. Г. Соин // Теория формирования численности и рационального использования стад промысловых рыб. – Москва: Наука, 1958. – С. 56-72.
2. Архипов, А. Г. Применение результатов изучения раннего онтогенеза морских промысловых рыб в рыбохозяйственной деятельности / А. Г. Архипов // Труды ВНИРО. – 2015. – Т. 156. - С. 14-35.
3. Ahlstrom, E. N. Eggs and Larvae of Fishes and Their Roles in Systematic Investigations and in Fisheries / E. N. Ahlstrom, H. G. Moser // Rev. Trav. Inst. Peches Mar. Vol. 40. № 3- 4. 1976. P. 379- 398.
4. Доманевский, Л. Н. Рыбы и рыболовство в неритической зоне Центрально-Восточной Атлантики / Л. Н. Доманевский. – Калининград: АтлантНИРО, 1998. – 195 с.
5. Blache, J. Faune tropicale / J. Blache, J. Cadenat, A. Stauch // XVIII Cles de determination des poissons de mer signales dans l'Atlantique oriental. - Paris: ORSTOM, 1970. - 479 p.
6. Архипов, А. Г. Динамика численности икринок и личинок массовых видов рыб северной части Центрально-Восточной Атлантики / А. Г. Архипов // Вопросы ихтиологии. – 2015. – Т. 55, № 2. – С. 173-179.

7. Станек, У. Р. Microsoft SQL Server 2005. Справочник администратора / У. Р. Станек. – Москва: Русская Редакция, 2008. – 544 с.

8. Коломейко, Ф. В. Географические информационные системы на основе программного обеспечения с открытым исходным кодом (open source) и базы данных в научных исследованиях водных биоресурсов / Ф. В. Коломейко // Водные биоресурсы, аквакультура и экология водоёмов: труды науч. конф. / КГТУ. – Калининград, 2013. – С. 69-72.

9. Методические указания по сбору проб зоо- и ихтиопланктона планктонсборщиком «Бонго» и их обработке. – Калининград: АтлантНИРО, 1983. – 36 с.

10. Аксютин, З. М. Элементы математической оценки результатов наблюдений в биологических и рыбохозяйственных исследованиях / З. М. Аксютин. – Москва: Пищ. пром-сть, 1968. – 289 с.

REFERENCES

1. Dehnik T. V., Serebrjakov V. P., Soin S. G. Znachenie rannih stadij razvitiya v formirovanii chislennosti pokolenij [Importance of early stages of development in formation of number of generations]. *Teorija formirovanija chislennosti i racional'nogo ispol'zovaniya stad promyslovyh ryb*. Moscow, Nauka, 1958, pp. 56-72.

2. Arhipov A. G. Primenenie rezul'tatov izuchenija rannego ontogeneza morskikh promyslovyh ryb v rybohozajstvennoj dejatel'nosti. *Trudy VNIRO*. 2015, vol. 156, pp. 14-35.

3. Ahlstrom E. N., Moser H. G. Eggs and Larvae of Fishes and Their Roles in Systematic Investigations and in Fisheries. *Rev. Trav. Inst. Peches Mar*. 1976, vol. 40, no. 3-4, pp. 379- 398.

4. Domanevskij L. N. *Ryby i rybolovstvo v neriticheskoj zone Central'no-Vostochnoj Atlantiki* [Fish and fishery in the neritic zone of the Eastern Central Atlantic]. Kaliningrad, AtlantNIRO, 1998, 195 p.

5. Blache J., Cadenat J., Stauch A. *Faune tropicale XVIII Cles de determination des poissons de mer signales dans l'Atlantique oriental*. Paris, ORSTOM, 1970, 479 p.

6. Arhipov A. G. Dinamika chislennosti ikrinok i lichinok massovyh vidov ryb severnoj chasti Central'no-Vostochnoj Atlantiki [Population dynamics of berries and larvae of mass fish species of northern part of the Eastern Central Atlantic]. *Voprosy ihtiologii*. 2015, vol. 55, no. 2, pp. 173-179.

7. Stanek U.R. *Microsoft SQL Server 2005. Spravochnik administratora* [Microsoft SQL Server 2005. Reference book for administrators]. Moscow, Russkaja Redakcija, 2008, 544 p.

8. Kolomejko F. V. Geograficheskie informacionnye sistemy na osnove programmnogo obespechenija s otkryтым ishodnym kodom (open source) i bazy dannyh v nauchnyh issledovanijah vodnyh bioresursov [Geographical information systems on the basis of the software with an open source code (open source) and databases in scientific researches of water bioresources]. *Trudy nauchnoj konferencii «Vodnye bioresursy, akvakul'tura i jekologija vodoemov»*. KGTU [Proceedings of the scientific conference "Water Bioresources, aquaculture and ecology of Reservoirs". KSTU]. Kaliningrad, 2013, pp. 69-72.

9. *Metodicheskie ukazaniya po sboru prob zoo- i ihtioplanktona planktonosborshhikom «Bongo» i ih obrabotke* [Study guide on samples collecting of zoo - and

ichthyoplankton by the plankton collector "Bongo" and their processing]. Kaliningrad, AtlantNIRO, 1983, 36 p.

10. Aksjutina 3. M. *Jelementy matematicheskoy ocenki rezul'tatov nabljudenij v biologicheskijh i rybohozjajstvennyh issledovanijah* [Elements of mathematical assessment of observation results in biological and fishery researches]. Moscow, Pishhevaja promyshlennost', 1968, 289 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Пак Регина Анатольевна – Калининградский государственный технический университет; аспирант кафедры ихтиологии и экологии; E-mail: pak.regina@bk.ru

Pak Regina Anatol'evna – Kaliningrad State Technical University, Postgraduate student of the Department "Ichtiology and Ecology"; E-mail: pak.regina@bk.ru

Коломейко Фёдор Викторович – Атлантический научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии; заведующий отделом «Региональный центр данных»; E-mail: fed@atlantniro.ru

Kolomeyko Fedor Viktorovich – Atlantic Research Institute of Fishery and Oceanography; Head of Department «Regional Data Center»; E-mail: fed@atlantniro.ru

Архипов Александр Геральдович – Атлантический научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии; доктор биологических наук, заместитель директора; E-mail: arhipov@atlantniro.ru

Arhipov Aleksandr GERAL'dovich – Atlantic Research Institute of Fishery and Oceanography; Deputy Director; E-mail: arhipov@atlantniro.ru

UDC 57.044:577.3:639.3:612.062

INFLUENCE OF CHLORAMINE-T ON OXIDATIVE STRESS BIOMARKERS
IN THE MUSCLE TISSUE OF GRAYLING (*THYMALLUS THYMALLUS*)

H. Tkachenko, J. Grudniewska

ВЛИЯНИЕ ХЛОРАМИНА-Т НА СОДЕРЖАНИЕ БИОМАРКЕРОВ
ОКИСЛИТЕЛЬНОГО СТРЕССА В МЫШЕЧНОЙ ТКАНИ ХАРИУСА
(*THYMALLUS THYMALLUS*)

Г. М. Ткаченко, Й. Грудневская

Chloramine-T is a widely used disinfectant for the treatment of gill diseases of fish in freshwater, and more recently attention has turned to its use in seawater. However, despite the wide use of chloramine-T, few studies have examined its toxicity to fish. Therefore, the aim of the present study was to examine the effects of exposure to chloramine-T on the muscle tissue of grayling (*Thymallus thymallus* Linck) using oxidative stress biomarkers (levels of 2-thiobarbituric acid reactive substances and oxidatively modified protein products) and total antioxidant capacity to observe its toxic effects. Our results showed that chloramine-T bathing markedly decrease lipid peroxidation with non-significant decrease of aldehydic and ketonic derivatives of oxidative proteins. However, reduced lipid peroxidation results in decrease of total antioxidant capacity. Moreover, decreased lipid peroxidation level causes decrease of aldehydic and ketonic derivatives of oxidatively modified proteins. These parameters could be effectively used as potential biomarkers of chloramine-T toxicity to the fish in the warning signal for pharmaceutical exposure to aquatic organisms. Our studies indicated that chloramine-T in dose 9 mg per L could at least partly attenuate oxidative stress and can be used for prophylactic treatment of grayling. However, more detailed studies on using these specific biomarkers to monitor the disinfectant treatment in aquaculture are needed.

chloramine-T, disinfection, grayling Thymallus thymallus, muscle tissue, lipid peroxidation, oxidatively modified proteins, total antioxidant capacity

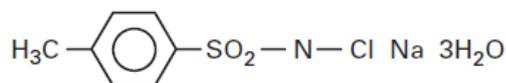
Хлорамин-Т широко используется как дезинфицирующее средство для лечения жаберных заболеваний пресноводных рыб, а в последнее время стали обращать внимание также на его использование и в морской воде. Тем не менее, несмотря на широкое использование хлорамина-Т, существует мало исследований его токсичности для рыб. Поэтому цель нашего исследования состояла в изучении последствий воздействия хлорамина-Т на мышечную ткань хариуса (*Thymallus thymallus*) с использованием биомаркеров окислительного стресса (содержание реактивных соединений, реагирующих с 2-тиобарбитуровой кислотой, альдегидные и кетоновые производные окислительно модифицированных белков) и общую антиоксидантную активность. Наши результаты показали, что

дезинфекция хлорамином-Т существенно снижает перекисное окисление липидов с незначительным снижением содержания альдегидных и кетонных производных окислительно модифицированных белков. Однако снижение перекисного окисления липидов сопровождается уменьшением общей антиоксидантной активности мышечной ткани. Эти параметры могут быть эффективно использованы в качестве потенциальных биомаркеров токсичности хлорамина-Т в аквакультуре. Наши исследования показали, что хлорамин-Т в дозе 9 мг на литр может, по крайней мере, частично ослабить окислительный стресс и быть использован для профилактической дезинфекции хариуса. Тем не менее нужны более подробные исследования по использованию этих конкретных биомаркеров для мониторинга дезинфицирующих мероприятий в аквакультуре.

*хлорамин-Т, дезинфекция, хариус *Thymallus thymallus*, мышечная ткань, перекисное окисление липидов, окислительно модифицированные белки, общая антиоксидантная активность*

INTRODUCTION

Organic chlorine compounds (N-chloro compounds), which contain the =N-Cl group, show microbicidal activity. Examples of such compounds, are chloramine-T, dichloramine-T, halazone, halane, dichloroisocyanuric acid, sodium and potassium dichloroisocyanurates and trichloroisocyanuric acid. All appear to hydrolyze in water to produce an imino (=NH) group [1, 2].



Chloramine T
(sodium-*p*-toluene-sulphonchloramide)

Their action is claimed to be slower than that of the hypochlorites, although this can be increased under acidic conditions [3]. Experiments where equal weights of disinfectants were used suggested that the greater penetrating power of monochloramine compensated for its limited disinfection activity. Studies of LeChevallier et al. (1988) showed that monochloramine was as effective as free chlorine for inactivation of biofilm bacteria [3].

Chloramine-T, as an anti-microbial agent, has had widespread use in a broad range of practices, including medical, dental, veterinary, food processing, and agricultural. As a disinfectant, it is used to disinfect surfaces and instruments. Chloramine-T has a low degree of cytotoxicity and has been used in direct contact with tissues. It is easy to use and effective against many bacteria (both Gram-negative and -positive), viruses (enveloped and naked), fungi, algae, yeast, and parasites [4].

The mode of action of chloramine-T is thought to be through oxidative processes, quickly destroying cell material or disrupting essential cellular processes. Microorganisms do not develop resistances to chloramine-T as often happens with antibiotics. In addition, the chloramine-T ion is highly stable and remains active over an extended period of time. Because chloramine-T is effective at low concentrations (200

to 300 ppm [710 to 1070 μM]), it is an effective disinfectant without causing tissue cytotoxicity [4]. It may be used as a disinfectant for both skin and for wounds [4].

Chloramine-T is effective for the control of proliferative gill disease and bacterial gill disease, and flexibacteriosis. Bacterial gill disease is caused by a variety of Gram-negative bacteria (myxobacteria, aeromonads, and pseudomonads [4]. The disease is highly contagious among cultured salmonids and can lead to substantial fish losses. An approved therapeutant to control bacterial gill disease is needed to enable the production of salmonids for restoration of fish stocks and for sport and commercial fisheries [4]. As a therapeutic agent, it is used as an effective treatment of bacterial gill disease in freshwater or marine aquaria, garden ponds, or other aquatic systems at concentrations ranging from 6.5 to 10.0 mg/L [23.1 to 35.5 μM] [5, 6] and as a preventative, prophylactic, and disinfectant treatment in many fresh water hatcheries [4, 6, 7].

Chloramine-T is a widely used disinfectant for the treatment of gill diseases of fish in freshwater, and more recently attention has turned to its use in seawater. However, despite the wide use of chloramine-T, few studies have examined its toxicity to fish [1]. Therefore, the aim of the present study was to examine the effects of exposure to chloramine-T on the muscle tissue of grayling (*Thymallus thymallus* Linck) using oxidative stress biomarkers (levels of 2-thiobarbituric acid reactive substances and oxidatively modified protein products) and total antioxidant capacity to observe the its toxic effects. The endpoints obtained from this study will be useful to monitor the effects of disinfectant bathing with chloramine-T for this species of fish.

MATERIALS AND METHODS

Fish. Twenty clinically healthy grayling (*Thymallus thymallus*) were used in the experiments. The study was carried out in a Department of Salmonid Research, Inland Fisheries Institute near the village of Żukowo, Poland. Experiments were performed at a water temperature of $16\pm 2^\circ\text{C}$ and the pH was 7.5. The dissolved oxygen level was about 12 ppm with additional oxygen supply. All biochemical assays were carried out at Department of Zoology and Animal Physiology, Institute of Biology and Environmental Protection, Pomeranian University (Slupsk, Poland).

The fish were divided into two groups and held in 250-L square tanks (70 fish per tank) supplied with the same water as during the acclimation period (2 days). On alternate days, the water supply to each tank was stopped. In the disinfectant exposure, grayling (n=10) were exposed to chloramine-T in final concentration 9 mg per L. Control group of grayling (n=10) were handled in the same way as chloramine-T exposed groups. Fish were bathed for 20 min and repeated three times every 3 days. Two days after the last bathing fish were sampled. Fish were not anesthetized before tissue sampling.

Muscle tissue isolation. Muscle tissue was removed from grayling after decapitation. One grayling was used for each homogenate preparation. Briefly, muscle tissue were excised, weighted and washed in ice-cold buffer. The minced tissue was rinsed clear of blood with cold isolation buffer and homogenized in a glass Potter-Elvehjem homogenising vessel with a motor-driven Teflon pestle on ice. The isolation buffer contained 100 mM tris-HCl; pH of 7.2 was adjusted with HCl.

Analytical methods. All enzymatic assays were carried out at $25\pm 0.5^\circ\text{C}$ using a Specol 11 spectrophotometer (Carl Zeiss Jena, Germany). The enzymatic reactions were started by adding the homogenate suspension. The specific assay conditions are presented subsequently. Each sample was analyzed in triplicate. The protein concentration in each sample was determined according to Bradford (1976) using bovine serum albumin as a standard [8].

TBARS assay for lipid peroxidation. Lipid peroxidation level was determined by quantifying the concentration of 2-thiobarbituric acid reactive substances (TBARS), expressed as μmol of malondialdehyde (MDA) per mg of protein, according to Kamyshnikov (2004) [9]. The TBARS level was expressed in nmol MDA per mg protein by using $1.56 \cdot 10^5 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ as molar extinction coefficient.

Carbonyl derivatives of oxidatively modified protein (OMP) assay. The rate of protein oxidative destruction was estimated from the reaction of the resultant carbonyl derivatives of amino acid reaction with DNPH as described by Levine et al. (1990) [10] and as modified by Dubinina et al. (1995) [11]. The carbonyl content was calculated from the absorbance measurement at 370 nm and 430 nm and an absorption coefficient $22,000 \text{ M}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$. Carbonyl groups were determined spectrophotometrically from the difference in absorbance at 370 nm (aldehydic derivatives, OMP_{370}) and 430 nm (ketonic derivatives, OMP_{430}) and expressed in nmol per mg of tissue protein.

Total antioxidant capacity (TAC) assay. The TAC level in the sample was estimated spectrophotometrically at 532 nm following the method with Tween 80 oxidation [12]. TAC was expressed in %.

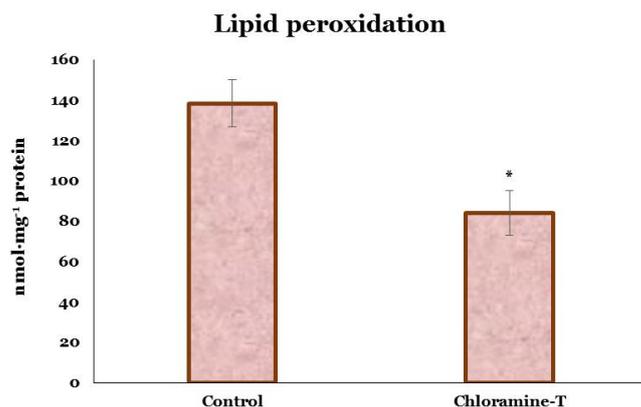
Statistical analysis. The mean \pm S.E.M. values was calculated for each group to determine the significance of inter group difference. All variables were tested for normal distribution using the Kolmogorov-Smirnov and Lilliefors test ($p > 0.05$). Significance of differences between the oxidative stress biomarkers level (significance level, $p < 0.05$) was examined using Kruskal-Wallis one-way analysis of variance by ranks test. Correlations between parameters at the set significance level were evaluated using Spearman's correlation analysis [13]. All statistical calculation was performed on separate data from each individual with STATISTICA 10.0.

RESULTS

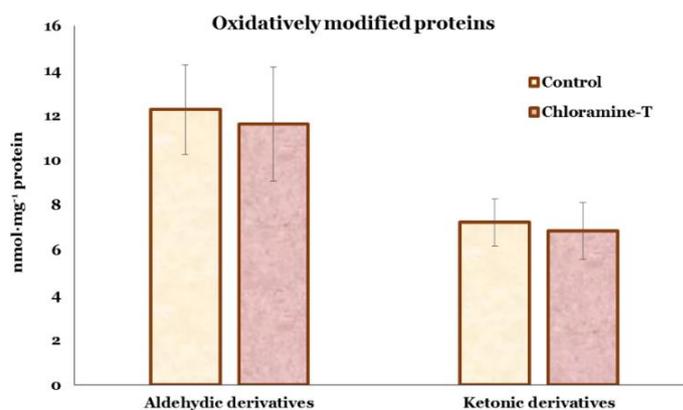
Influence of chloramine-T on lipid peroxidation biomarker, measured as 2-thiobarbituric acid reactive substances in the muscle tissue of grayling are presented in Fig. 1A. Significantly lower TBARS level (by 39%, $p = 0.004$) in grayling disinfected by chloramine-T compared to control group was observed (Fig. 1A).

Aldehydic and ketonic derivatives of oxidatively modified proteins in the muscle tissue of grayling disinfected by chloramine-T were non-significantly lower compared to controls (Fig. 1B). Significant decrease of TAC level (by 13%, $p = 0.026$) in the muscle tissue of grayling as a consequence of bathing with chloramine-T were found (Fig. 1C).

A



B



C

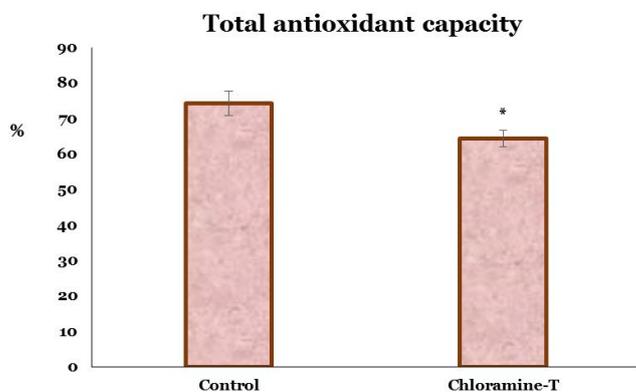


Fig. 1. Influence of chloramine-T on lipid peroxidation biomarker, measured as 2-thiobarbituric acid reactive substances (A), as well as aldehydic and ketonic derivatives of oxidatively modified proteins (B) and total antioxidant capacity (C) in the muscle tissue of grayling (*Thymallus thymallus*).

Data are represented as mean \pm S.E.M.
* the significant difference was shown as $p < 0.05$ when compared control and chloramine-T exposed groups

Рис. 1. Влияние хлорамина-Т на содержание биомаркера перекисного окисления липидов (реактивные соединения, которые реагируют с 2-тиобарбитуровой кислотой) (А), содержание альдегидных и кетонных производных окислительно модифицированных белков (В), общую антиоксидантную активность (С) в мышечной ткани хариуса (*Thymallus thymallus*)

Данные представлены как среднее \pm S.E.M. (стандартная ошибка среднего).
* статистически достоверные изменения ($p < 0,05$) между средними в контрольной группе рыб и группе после дезинфекции хлорамином-Т

Several correlations between checked parameters were found. Muscle TBARS level correlated positively with aldehydic ($r=0.854$, $p=0.002$) and ketonic derivatives of oxidatively modified proteins ($r=0.852$, $p=0.002$) (Fig. 2).

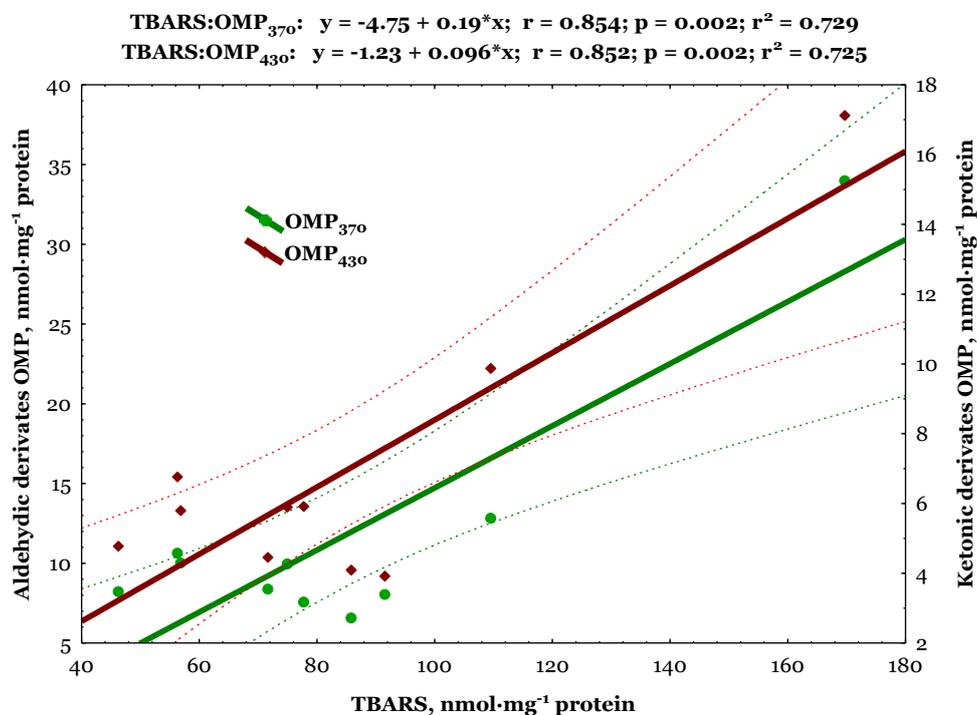


Fig. 2. Correlations between TBARS, aldehydic and ketonic derivatives of oxidatively modified proteins content in the muscle tissue of grayling disinfected by chloramine-T

Рис. 2. Корреляционные зависимости между биомаркерами перекисного окисления липидов, альдегидными и кетоновыми производными окислительно модифицированных белков в мышечной ткани хариуса обработанного хлорамин-Т

DISCUSSION

Our results showed that chloramine-T bathing markedly decrease lipid peroxidation with non-significant decrease of aldehydic and ketonic derivatives of oxidative proteins (Figs 1A and 1B). However, reduced lipid peroxidation results in decrease of total antioxidant capacity (Fig. 1C). Moreover, decreased lipid peroxidation level causes decrease of aldehydic ($r=0.854$, $p=0.002$) and ketonic derivatives of oxidatively modified proteins ($r=0.852$, $p=0.002$) (Fig. 2).

Chloramine T was found to increase freshwater bathing efficacy and reduced amoeba survival [14]. Recent studies also suggest that chloramine-T in seawater is as effective in seawater as in fresh water [15, 16]. Concentrations of between 8.5 and 12 mg per L have been demonstrated to be successful for the control of bacterial gill diseases in hatcheries [5]. However, Powell et al. (1994) suggest that juvenile rainbow trout exposed to 10 and 20 mg chloramine-T per L showed significant predisposition to an erosive dermatitis of the caudal fin which appeared to be caused by opportunistic pathogens of the genus *Pseudomonas* spp. and *Flavobacter* spp. [17]. They recommend

that a prophylactic dose of chloramine-T must be less than 10 mg per L. Also repeated exposures of rainbow trout to chloramine T resulted in decreased growth rates [17].

In our previous study [18], chloramine-T bathing markedly decrease aldehydic and ketonic derivatives of oxidative protein, and aminotransferases activity only in rainbow trout liver, and their elevation is a compensatory mechanism to impaired metabolism. No significant changes were found in oxidative stress biomarkers between control and chloramine-treated brown trout. For grayling, chloramine-T exposure caused significantly elevation in the levels of severe oxidative stress biomarkers. Increased aldehydic and ketonic derivatives of oxidative protein could modify lactate and pyruvate levels, aminotransferases and lactate dehydrogenase activities, principally causing increased enzymes activity due to oxidative stress in the liver of chloramine-exposed fish [18].

Accumulating evidence has shown that chloramine-T causes oxidative stress by inducing the generation of reactive oxygen species (ROS) [19-21]. The data suggest that HOCl and monochloramine can increase endothelial permeability by causing very rapid cytoskeletal shortening and cell retraction, possibly as a result of the oxidation of intracellular sulfhydryls [19]. Sakuma et al. (2009) assessed the influence of monochloramine on the conversion of xanthine dehydrogenase into xanthine oxidase in rat liver *in vitro*. When incubated with the partially purified cytosolic fraction from rat liver, monochloramine (2.5-20 microM) dose-dependently enhanced xanthine oxidase activity concomitant with a decrease in xanthine dehydrogenase activity, implying that monochloramine can convert xanthine dehydrogenase into the ROS producing form xanthine oxidase. It was found that monochloramine could increase ROS generation in the cytoplasm of rat primary hepatocyte cultures, and that this increase might be reversed by an xanthine oxidase inhibitor, allopurinol. These results suggest that monochloramine has the potential to convert xanthine dehydrogenase into xanthine oxidase in the liver, which in turn may induce the ROS generation in this region [21].

There is a strong link between chronic inflammation and the incidence of many cancers, which may be associated with the ability of HOCl and related oxidants such as N-chloramines to damage DNA [20]. Stanley et al. (2010) examined the ability of HOCl and various N-chloramines to form chlorinated base products on nucleosides, nucleotides, DNA, and in cellular systems. Experiments were performed with N-chloramines formed on N α -acetyl-histidine (His-C), N α -acetyl-lysine (Lys-C), glycine (Gly-C), taurine (Tau-C), and ammonia (Mono-C). Treatment of DNA and related materials with HOCl and N α -acetyl-histidine resulted in the formation of 5-chloro-2'-deoxycytidine, 8-chloro-2'-deoxyadenosine and 8-chloro-2'-deoxyguanosine. Cellular RNA was also a target for HOCl and His-C, with evidence for the formation of 5-chloro-cytidine. HOCl and the model N-chloramine, His-C, are able to chlorinate cellular genetic material, which may play a role in the development of various inflammatory cancers [20].

To estimate a Chloramine-T margin of safety, defined as the highest dosing regimen above the proposed maximum therapeutic regimen at which no adverse effects are observed, Bowker et al. (2011) conducted seven experiments with fry, fingerling, and juvenile rainbow trout that examined mortality and an eighth experiment that examined mortality, gross pathology, and histopathology after Chloramine-T exposure at different concentration [22]. Across experiments, 92% of all mortalities occurred within 20 h of the first exposure to Chloramine-T. The histopathological changes of

most concern were associated with gill tissues, but these were evident only in moribund fish exposed to doses of 60 mg/L or higher. Based on analysis of the survival data, the margin-of-safety estimates were approximately 100 mg/L for rainbow trout fry, at least 60 mg/L for fingerlings, and 50–60 mg/L for juveniles. Tissue responses to Chloramine-T at these concentrations were minor and did not warrant decreasing these estimates [22].

Powell and Harris (2004) examined the acute (within 12 h) toxicity of freshwater- and seawater-acclimated Atlantic salmon *Salmo salar* smolts under aerated (100% air saturation with O₂) and oxygen supersaturation conditions (200% air saturation with O₂) [1]. Chloramine-T was more acutely toxic to salmon in seawater than to those in freshwater, and oxygen supersaturation enhanced the toxicity in both sea- and freshwater. Freshwater Atlantic salmon appear to be as sensitive as rainbow trout and more sensitive than channel catfish *Ictalurus punctatus* to chloramine-T toxicity. Seawater-acclimated salmon, however, appear to be more sensitive to chloramine-T than are trout and catfish. The primary mechanism of toxicity in both seawater and freshwater appears to be extensive oxidative necrosis of the gill filament and lamellar epithelium, causing acute osmoregulatory dysfunction [1].

In summary, chloramine-T has a profound influence on the levels of oxidative stress biomarkers in the muscle tissue of grayling. Chloramine-T markedly affects lipid peroxidation and total antioxidant capacity. These parameters could be effectively used as potential biomarkers of chloramine-T toxicity to the fish in the warning signal for pharmaceutical exposure to aquatic organisms. Our studies indicated that chloramine-T in dose 9 mg per L could at least partly attenuate oxidative stress and can be used for prophylactic treatment of grayling. However, more detailed studies on using of these specific biomarkers to monitor the disinfectant treatment in aquaculture are needed.

This work was supported by grant of the Pomeranian University for Young Scientists.

REFERENCES

1. Powell, M., Harris, J. 2004. Influence of oxygen on the toxicity of Chloramine-T to Atlantic salmon smolts in freshwater and seawater. *Journal of Aquatic Animal Health*, 16(2): 83–92.
2. Principles and practice of disinfection, preservation, and sterilization. – 5th ed. / edited by Adam P. Fraiese, Jean-Yves Maillard, Syed A. Sattar. Rev. ed. of Russell, Hugo & Ayiliffe's principles and practice of disinfection, preservation & sterilization, 2004.
3. LeChevallier, M.W., Cawthon, C.D., Lee, R.G. 1988. Inactivation of biofilm bacteria. *Appl. Environ. Microbiol.*, 54(10): 2492–2499.
4. Toxicological Summary for Chloramine-T [127-65-1] and p-Toluenesulfonamide [70-55-3]. Prepared for Scott Masten, Ph.D. National Institute of Environmental Health Sciences, North Carolina. Submitted by Karen E. Haneke, M.S. North Carolina, February 2002.
5. Bullock, G.L., Herman, R.L., Waggy, C. 1991. Hatchery trials with chloramine T for control of bacterial gill disease. *J. Aquat, Anim, Healthm* 3: 48–50.

6. Powell, M.D., Perry, S.F. 1996. Respiratory and acid-base disturbances in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) blood during exposure to chloramine T, paratoluenesulfonamide, and hypochlorite. *Can. J. Fish Aquat. Sci.*, 53: 701–708.
7. Thorburn, M.A., Moccia, R.D. 1993. Use of chemotherapeutics on trout farms in Ontario. *J. Aquat. Anim. Health*, 5: 85–91.
8. Bradford, M.M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal. Biochem.*, 72: 248–254.
9. Kamyshnikov, V.S. 2004. Reference book on clinic and biochemical researches and laboratory diagnostics, MEDpress-inform, Moscow (In Russian).
10. Levine, R. L., Garland, D., Oliver, C. N., Amici, A., Climent, I., Lenz, A.-G., Ahn, B.-W., Shaltiel, S., Stadtman, E. R. 1990. Determination of carbonyl content in oxidatively modified proteins. *Methods Enzymol.*, 186: 465–478.
11. Dubinina, E.E., Burmistrov, S.O., Khodov, D.A., Porotov, I.G. 1995. Oxidative modification of human serum proteins. A method of determining it. *Vopr. Med. Khim.*, 41: 24–26 (In Russian).
12. Halaktionova L.P., Molchanov A.V., Elchaninova S.A., Varshavskiy B.Y. 1998. The lipid peroxidation processes in patients with ulcerous illness of stomach and duodenum. *Clin. Lab. Diagnostics*, 6: 10–14 (In Russian).
13. Zar, J. H. 1999. *Biostatistical Analysis*. 4th ed., Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.
14. Powell, M.D., Clark, G.A. 2003. *In vitro* survival and the effect of water chemistry and oxidative chemical treatments on isolated gill amoebae from AGD affected Atlantic salmon. *Aquaculture*, 220: 135–144.
15. Harris, J.O., Powell, M.D., Attard, M., Green, T.J. 2004. Efficacy of chloramine-T as a treatment for amoebic gill disease (AGD) in marine Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquac. Res.*, 35: 1448–1456.
16. Harris, J.O., Powell, M.D., Attard, M.G., DeHayr, L. 2005. Clinical assessment of chloramine-T and freshwater as treatments for the control of gill amoebae in Atlantic salmon, *Salmo salar* L. *Aquac. Res.*, 36: 776–784.
17. Powell, M.D., Speare, D.J., MacNair, N. 1994. Effects of intermittent chloramine-T exposure on growth, serum biochemistry, and fin condition of juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 51(8): 1728–1736.
18. Tkachenko, H., Kurhaluk, N., Grudniewska, J. 2012. Effects of chloramine-T exposure on oxidative stress biomarkers and liver biochemistry of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum), brown trout, *Salmo trutta* (L.), and grayling, *Thymallus thymallus*. *Arch. Pol. Fish.*, 21: 41–51.
19. Tatsumi, T., Fliss, H. 1994. Hypochlorous acid and chloramines increase endothelial permeability: possible involvement of cellular zinc. *Am. J. Physiol.*, 267(4 Pt 2): H1597–1607.
20. Stanley, N.R., Pattison, D.I., Hawkins, C.L. 2010. Ability of hypochlorous acid and N-chloramines to chlorinate DNA and its constituents. *Chem. Res. Toxicol.*, 23(7): 1293–1302.
21. Sakuma, S., Miyoshi, E., Sadatoku, N., Fujita, J., Negoro, M., Arakawa, Y., Fujimoto Y. 2009. Monochloramine produces reactive oxygen species in liver by converting xanthine dehydrogenase into xanthine oxidase. *Toxicol. Appl. Pharmacol.*, 239(3): 268–272.

22. Bowker, J.D., Carty, D., Smith, C.E., Bergen, S.R. 2010. Chloramine-T margin-of-safety estimates for fry, fingerling, and juvenile rainbow trout. North American Journal of Aquaculture, 73(3): 259–269.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

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 Mikhailovna – 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

Грудневская Йоанна – Институт пресноводного рыбного хозяйства, Жуково, Польша; отдел исследований лососевых рыб; кандидат биологических наук, докторант; E-mail: jgrudniewska@infish.com.pl

Grudniewska Joanna – Inland Fisheries Institute, Żukowo, Poland; Department of Salmonid Research; Candidate of Biological Sciences, Assistant Professor; E-mail: jgrudniewska@infish.com.pl

УДК 621.311.25:621.039:504.064.36(470.26)

ХАРАКТЕРИСТИКА ФОНОВОГО СОСТОЯНИЯ БИОТЫ РЕКИ НЕМАН
В ЗОНЕ ВОЗМОЖНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ БАЛТИЙСКОЙ АЭС
(КАЛИНИНГРАДСКАЯ ОБЛАСТЬ)

С. В. Шибает, А. В. Соколов, М. Н. Шибаета, Е. В. Лунева, О. А. Новожилов,
Е. А. Масюткина, М. Е. Макушенко, Е. К. Ланге

BACKGROUND CONDITIONS OF THE BIOTA OF THE RIVER NEMAN
IN THE AREA OF POTENTIAL IMPACT OF THE BALTIC NPP
(THE KALININGRAD REGION)

S. V. Shibaev, A. V. Sokolov, M. N. Shibaeva, E. V. Luneva, O. A. Novozhilov,
E. A. Masyutkina, M. E. Makushenko, E. K. Lange

Представлены результаты мониторинга биоты р. Неман в период с 2011 по 2015 г., которые имеют особую актуальность для строящейся в Калининградской области Балтийской АЭС. Учитывая, что в проекте последней предусмотрена система технического водоснабжения с забором подпиточной воды и сбросом ее в р. Неман, определение состояния гидробионтов в зоне воздействия Балтийской АЭС позволит использовать их характеристики в последующем как фоновые для оценки возможных изменений в Немане, а в дальнейшем и для разработки мероприятий по снижению и компенсации ущерба водным биоресурсам. Для гидробионтов всех таксономических групп на анализируемой акватории характерны следующие особенности:

– высокое биоразнообразие и наличие уникальных видов, не встречающихся или крайне редко встречающихся в других водных объектах области. В составе фитопланктона идентифицировано 172 таксона, зоопланктона – 110, зообентоса – 260, ихтиофауны – 33;

– многие виды не являются постоянными обитателями данного участка акватории, так как их приносит течением с вышерасположенных участков реки и притоками (в особенности фито- и зоопланктон, в меньшей степени – зообентос, личинки рыб), либо они сами временно заходят в результате естественных миграций (лосось, кумжа, рыбец, корюшка, речная минога);

– высокая изменчивость видового состава и количественных показателей сообществ гидробионтов как в межгодовом, так и внутригодовом аспектах. Основу весеннего фитопланктона составляли диатомовые водоросли, а в середине лета возрастала роль зеленых водорослей. В годовом развитии зоопланктона выделялось два пика: первый – в конце весны, связан с интенсивным развитием коловраток, второй – в конце лета, вызван массовым развитием ветвистоусых ракообразных и коловраток. В отношении организмов зообентоса сезонные колебания выражены в меньшей степени за счет круглогодичного преобладания моллюсков. В отношении рыб сезонная изменчивость проявляется прежде всего у весенне- и осеннерестующих видов.

Балтийская АЭС, река Неман, фитопланктон, зоопланктон, зообентос, ихтиофауна

The paper presents monitoring results of the biota of the Neman river between 2011 and 2015 that are of great relevance for the Baltic NPP being built in the Kaliningrad region. Considering that the project of the Baltic NPP provides for the service water system with feed water intake and its discharge to the Neman river, evaluation of the status of hydrobionts in the impact area of the Baltic NPP will allow us to use their characteristics as background for measurement of possible changes in the Neman river, and for further elaboration of measures on mitigation of damage to aquatic bioresources.

Hydrobionts of all taxonomic groups in the analyzed waters are characterized by – high biological diversity and presence of unique species which do not or rarely occur in other water bodies of the region. Phytoplankton includes 172 taxons, zooplankton includes 110 taxons, zoobenthos – 260, ichthyofauna-33;

-many species do not permanently live in this part of the waters, because they are brought by the river flow from the upper parts of the river and confluents (especially phyto- and zooplankton, in a lesser degree- zoobenthos, fish larvae) or they enter themselves as a result of natural migrations (salmon, bulltrout, vimba, smelt, river lamprey);

– high versatility of species composition and quantitative characteristics of hydrobionts coenosis both in terms of year-to-year and within-year aspects. The basis of spring phytoplankton was diatoms, and in the middle of summer – green algae. The annual development of zooplankton included two peaks: first- in the end of spring, related to intensive development of rotifers; second- in the end of summer, caused by massive development of cladocerans and rotifers. As far as zoobenthos organisms are concerned, seasonal fluctuations are less evident due to perennial predomination of mollusks. When it comes to fish, seasonal variations appear mostly among species growing in spring and in autumn.

the Baltic NPP, the Neman river, phytoplankton, zooplankton, zoobenthos, ichthyofauna, biodiversity

ВВЕДЕНИЕ

Строящаяся Балтийская АЭС расположена в северной части Калининградской области в 80 км от устья р. Неман, впадающей в Куршский залив Балтийского моря. Согласно проекту Неман будет использоваться в системе технического водоснабжения АЭС для ее подпитки и отвода остаточных сточных вод, что может оказать определенное воздействие на состояние организмов водной среды. С целью оценки характера этого воздействия с 2011 г. по заданию филиала ОАО «Концерн Росэнергоатом» «Дирекция строящейся Балтийской АЭС» Калининградский государственный технический университет совместно с Институтом геоэкологии РАН проводит комплексный экологический мониторинг водоема в зоне возможного влияния Балтийской АЭС. Под этой зоной в данной статье принимается участок реки, расположенный между населенными пунктами Неман (55 км от устья) и Неманское (95 км).

Собранные в процессе пятилетних исследований материалы в целом позволили получить представление о состоянии биоты, дать предварительную оценку возможных последствий и разработать рекомендации к ведению мониторинга водных биоресурсов в зоне возможного воздействия Балтийской АЭС [1, 2]. При этом отмечено, что сообщества гидробионтов р. Неман в анализируемом районе отличаются очень высокой динамичностью. Это касается как сезонных, так и межгодовых изменений состава, структуры и уровня развития фитопланктона, зоопланктона и зообентоса, а также видового состава, пространственного распределения и плотности рыбного сообщества данного участка реки. В зависимости от погодных условий конкретного года, температурного и уровня режимов реки видовой состав гидробионтов, их численность и биомасса могут изменяться в широких пределах [2], внося значительную долю неопределенности в количественную характеристику состояния флоры и фауны и возможность использования этих данных для оценки экологического состояния водоема. Проблема осложняется тем, что большое значение в оценке воздействия АЭС на биоту могут иметь нерезидентные компоненты, которые временно присутствуют в водоеме и, как правило, не учитываются при проведении стандартных экологических исследований. В крайней степени это выражено у мигрирующих в нерестовый период рыб и скатывающейся молоди.

В данных условиях получить объективную информацию о реально происходящих изменениях в биоте на участке р. Неман при последующей работе Балтийской АЭС можно только используя фоновые показатели, полученные до начала ее деятельности.

Цель настоящей работы – на основе проведенных мониторинговых работ 2011-2015 гг. получить информацию о современном состоянии биоразнообразия гидробионтов и дать общую характеристику фоновых показателей отдельных составляющих биоты Немана, а именно: фитопланктона, зоопланктона, зообентоса и рыбного сообщества в зоне предполагаемого воздействия АЭС. Данная информация в последующем послужит отправной точкой для оценки экологических последствий функционирования Балтийской АЭС.

ФИТОПЛАНКТОН

Сбор материалов по фитопланктону в районе предполагаемого воздействия Балтийской АЭС в пределах Российской Федерации проведен в пяти точках наблюдения: ниже г. Неман, 4 км ниже проектируемого сброса, контрольный створ, выпуск сбросных вод, пос. Неманское.

За период наблюдений 2014-2015 гг. в фитопланктоне р. Неман обнаружено 172 таксона микроводорослей из 8 систематических групп (табл. 1). Наиболее представительными были зеленые (82), далее в порядке убывания расположились: диатомовые (49), цианобактерии (22), криптофитовые (8), эвгленовые (5), динофитовые и золотистые (по 3 таксона). Кроме того, в планктоне обнаружены неидентифицированные жгутиковые и коккоидные формы, отнесенные к группе Flagellata.

Таблица 1. Видовой состав фитопланктона р. Неман в зоне возможного воздействия Балтийской АЭС в период 2014-2015 гг.

Table 1. Phytoplankton species diversity of the river Neman in the area of potential impact of the Baltic NPP in 2014-2015

№ п/п	Название вида	№ п/п	Название вида
CYANOPHYTA - Cyanophyceae			
1	<i>Dolichospermum flosaquae</i> (Bréb. ex Born. et Flah.) Wack., Hoff. et Kom.	12	<i>Cyanodictyon</i> spp.
2	<i>Dolichospermum lemmermannii</i> (Richter) Wack., Hoff. et Kom.	13	<i>Limnothrix planctonica</i> (Wolosz.) Meff.
3	<i>Anabaena planctonica</i> Brunth.	14	<i>Lyngbya</i> spp.
4	<i>Anabaena</i> spp.	15	<i>Merismopedia tenuissima</i> Lemm.
5	<i>Aphanizomenon flosaquae</i> Ralfs ex Born. et Flaha.	16	<i>Microcystis aeruginosa</i> (Kütz.) Kütz.
6	<i>Aphanizomenon gracile</i> Lemm.	17	<i>Microcystis wesenbergii</i> (Kom.) Kom.
7	<i>Aphanizomenon</i> spp.	18	<i>Oscillatoria limosa</i> C.Ag. ex Gom.
8	<i>Aphanocapsa</i> spp.	19	<i>Oscillatoria</i> spp.
9	<i>Aphanothece</i> spp.	20	<i>Planktothrix agardhii</i> (Gom.) Anagn. et Kom.
10	<i>Chroococcus limneticus</i> Lemm.	21	<i>Pseudanabaena</i> spp.
11	<i>Chroococcus dispersus</i> (Keiss.) Lemm.	22	<i>Woronichinia compacta</i> (Lemm.) Kom. et Hind.
CRYPTOPHYTA - Cryptophyceae			
23	<i>Cryptomonas reflexa</i> (Mars.) Skuja	27	<i>Chroomonas</i> spp.
24	<i>Cryptomonas marssonii</i> Skuja	28	<i>Cryptomonas</i> spp.
25	<i>Cryptomonas ovata</i> Ehr.	29	<i>Komma caudata</i> (Geitler) Hill
26	<i>Cryptomonas rostrata</i> Troit.	30	<i>Rhodomonas lacustris</i> Pasch. et Rutt.
DINOPHYTA - Dinophyceae			
31	<i>Gymnodinium</i> spp.	33	<i>Peridinium goslaviense</i> Wolsz.
32	<i>Ceratium hirundinella</i> (O.F.Muller) Dujardin		
CHRYSOPHYTA			
Chrysophyceae			
34	<i>Dinobryon divergens</i> Imhof	36	<i>Synura uvella</i> Ehr.
35	<i>Dinobryon</i> spp.		
Diatomophyceae			
37	<i>Achnanthes</i> spp.	62	<i>Fragilaria heidenii</i> Østrup
38	<i>Amphora ovalis</i> (Kütz.) Kütz.	63	<i>Fragilaria pinnata</i> Ehr.
39	<i>Asterionella formosa</i> Hass.	64	<i>Fragilaria virescens</i> Ralfs
40	<i>Aulacoseira ambigua</i> (Grun.) Sim.	65	<i>Fragilaria</i> spp.
41	<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehr.) Sim.	66	<i>Gomphonema</i> spp.
42	<i>Aulacoseira granulata</i> v. <i>angustissima</i> (O. Müll.) Sim.	67	<i>Gyrosigma acuminatum</i> (Kütz.) Rabenh.
43	<i>Aulacoseira islandica</i> (O. Müll.) Sim.	68	<i>Gyrosigma attenuatum</i> (Kütz.) Rabenh.

Продолжение табл. 1

№ п/п	Название вида	№ п/п	Название вида
44	<i>Aulacoseira italica</i> (Ehr.) Sim.	69	<i>Melosira varians</i> Ag.
45	<i>Aulacoseira</i> spp.	70	<i>Navicula cryptocephala</i> Kütz.
46	<i>Cocconeis placentula</i> Ehr.	71	<i>Navicula</i> spp.
47	<i>Ctenophora pulchella</i> (Ralfs ex Kütz.) D.M.Will. et Round	72	<i>Nitzschia acicularis</i> (Kütz.) W.Sm.
48	<i>Cyclotella</i> cf. <i>bodanica</i>	73	<i>Nitzschia linearis</i> W.Sm.
49	<i>Cyclotella kuetzingiana</i> A. S.	74	<i>Nitzschia palea</i> W.Sm.
50	<i>Cyclotella meneghiniana</i> Kütz.	75	<i>Nitzschia sigmoidea</i> (Nitzsch) W.Sm.
51	<i>Cyclotella</i> spp.	76	<i>Nitzschia</i> spp.
52	<i>Cyclotella stelligera</i> (Cl. et Grun.) V. H.	77	<i>Nitzschia vermicularis</i> (Kütz.) Hantzsch
53	<i>Cymatopleura solea</i> (Bréb.) W. Sm.	78	<i>Pennales</i> spp.
54	<i>Cymbella lanceolata</i> (Ehr.) Kirchn.	79	<i>Skeletonema subsalsum</i> (A. Cl.) Bethge
55	<i>Cymbella</i> spp.	80	<i>Stephanodiscus binderanus</i> (Kütz.) Krieg.
56	<i>Diatoma tenuis</i> Ag.	81	<i>Stephanodiscus</i> spp.
57	<i>Diatoma vulgare</i> Bory	82	<i>Stephanodiscus hantzschii</i> Grun.
58	<i>Fragilaria acus</i> (Kütz.) Lange-Bert.	83	<i>Stephanodiscus minutulus</i> (Kütz.) Cl. et Möll.
59	<i>Fragilaria berolinensis</i> (L.)	84	<i>Stephanodiscus rotula</i>
60	<i>Fragilaria capucina</i> Desm.	85	<i>Ulnaria ulna</i> (Nitzsch) Comp.
61	<i>Fragilaria crotonensis</i> Kitt.		
EUGLENOPHYTA - Euglenophyceae			
86	<i>Euglena</i> sp.	89	<i>Trachelomonas volvocina</i> (Ehr.) Ehr.
87	<i>Phacus pleuronectes</i> (O.F.Müller) Nitzsch ex Dujar.	90	<i>Trachelomonas</i> sp.
88	<i>Trachelomonas hispida</i> (Perty) Stein		
CHLOROPHYTA			
Charophyceae			
91	<i>Closterium acutum</i> (Lyngb.) Bréb.	95	<i>Elakatothrix genevensis</i> (Rev.) Hind.
92	<i>Closterium acutum</i> var. <i>variabile</i> (Lemm.) Kreig.	96	<i>Koliella longiseta</i> (Visch.) Hind.
93	<i>Closterium strigosum</i> Bréb.	97	<i>Mougeotia</i> sp., ster.
94	<i>Elakatothrix gelatinosa</i> Wille	98	<i>Staurastrum gracile</i> Ralfs
Chlorophyceae			
99	<i>Actinastrum hantzschii</i> Lagerh.	135	<i>Lagerheimia wratislaviensis</i> Schröder
100	<i>Acutodesmus acuminatus</i> (Lagerh.) P. Tsarenko	136	<i>Micractinium pusillum</i> Fres.
101	<i>Acutodesmus obliquus</i> (Turp.) Hegew. et Hanag.	137	<i>Monoraphidium contortum</i> (Thuret) Kom.-Legner.
102	<i>Ankistrodesmus fusiformis</i> Corda	138	<i>Monoraphidium griffithii</i> (Berk.) Kom.-Legner.
103	<i>Carteria</i> spp.	139	<i>Monoraphidium komarkovae</i> Nyg.

Окончание табл. 1

№ п/п	Название вида	№ п/п	Название вида
104	<i>Chlorella vulgaris</i> Beij.	140	<i>Monoraphidium minutum</i> (Näg.) Kom.-Legner.
105	<i>Chlamydomonas</i> spp.	141	<i>Monoraphidium mirabile</i> (W. et G.S. West) Pank.
106	<i>Chlorotetraedron incus</i> (Teil.) Kom. et Kov.	142	<i>Oocystis borgei</i> Snow
107	<i>Coelastrum astroideum</i> De Not.	143	<i>Oocystis lacustris</i> Chod.
108	<i>Coelastrum microporum</i> Näg.	144	<i>Oocystis marssonii</i> Lemm.
109	<i>Coelastrum sphaericum</i> Näg.	145	<i>Oocystis rhomboidea</i> Fott
110	<i>Coelastrum</i> spp.	146	<i>Oocystis solitaria</i> Østr.
111	<i>Crucigenia quadrata</i> Morr.	147	<i>Oocystis submarina</i> Lagerh.
112	<i>Crucigenia tetrapedia</i> (Kirchn.) W. et G. S. West	149	<i>Oocystis</i> spp.
113	<i>Crucigeniella crucifera</i> (Wolle) Kom.	150	<i>Pandorina morum</i> Bory
114	<i>Crucigeniella rectangularis</i> (Näg.) Kom.	151	<i>Pediastrum biradiatum</i> Meyen
115	<i>Desmodesmus abundans</i> (Kirchn.) Hegew.	152	<i>Pediastrum boryanum</i> (Turp.) Menegh.
116	<i>Desmodesmus armatus</i> v. <i>bicaudatus</i> (Gugl.) Hegew.	153	<i>Pediastrum duplex</i> Meyen
117	<i>Desmodesmus communis</i> (Hegew.) Hegew.	154	<i>Pediastrum duplex</i> var. <i>gracillimum</i> W. et G.S. West
118	<i>Desmodesmus denticulatus</i> (Lag.) An, Friedl et Hegew.	155	<i>Pediastrum kawraiskyi</i> Schmidle
119	<i>Desmodesmus intermedius</i> (Chod.) Hegew.	156	<i>Pediastrum tetras</i> (Ehr.) Ralfs
120	<i>Desmodesmus opoliensis</i> (P.G.Richter) Hegew.	157	<i>Planktonema lauterbornii</i> Schmidle
121	<i>Dictyosphaerium ehrenbergianum</i> Näg.	158	<i>Pseudosphaerocystis lacustris</i> (Lemm.) Novák.
122	<i>Desmodesmus spinosus</i> (Chod.) Hegew.	159	<i>Scenedesmus ellipticus</i> Corda
123	<i>Dictyosphaerium pulchellum</i> Wood	160	<i>Scenedesmus</i> spp.
124	<i>Dictyosphaerium subsolitarium</i> Van Goor	161	<i>Schroederia setigera</i> (Schrank) Lemm.
125	<i>Eudorina elegans</i> Ehr.	162	<i>Selenastrum gracile</i> Reinsch
126	<i>Fernandinella alpina</i> Chod.	163	<i>Selenastrum</i> spp.
127	<i>Franceia droescheri</i> (Lemm.) G.S.Sm.	164	<i>Sphaerocystis planctonica</i> (Korsch.) Bourr.
128	<i>Geminella</i> spp.	165	<i>Sphaerocystis schroeteri</i> Chod.
129	<i>Gloeotila</i> spp.	166	<i>Tetrachlorella alternans</i> (G.M.Sm.) Korsh.
130	<i>Golenkinia radiata</i> Chod.	167	<i>Tetraëdron caudatum</i> (Corda) Hansg.
131	<i>Kirchneriella lunaris</i> (Kirchn.) Moeb.	168	<i>Tetraëdron minimum</i> (A.Braun) Hansg.
132	<i>Kirchneriella obesa</i> (West) Schmidle.	169	<i>Tetrastrum staurogeniaeforme</i> (Schröder) Lemm.
133	<i>Lagerheimia genevensis</i> Chod.	170	<i>Treubaria triappendiculata</i> Bern.
134	<i>Lagerheimia longiseta</i> (Lemm.) Printz	171	<i>Westella botryoides</i> (West) De Wild.

Примечание. Названия видов фитопланктона приведены согласно <http://algaebase.org>

В целом таксономическое разнообразие фитопланктона р. Неман на всем исследованном отрезке было сравнительно высоким: май – 35 ± 3 , июль – 41 ± 5 таксонов/проба. Преобладали диатомовые и, особенно в летнем сезоне, зеленые. Практически на всем протяжении исследуемого отрезка реки доминировали диатомовые водоросли. В мае их доля составила более 70% общей численности фитопланктона и 90% общей биомассы на всем протяжении исследованного участка р. Неман. В июле эти показатели снизились и составили в среднем 29 и 62%. Высокий уровень вегетации фитопланктона (в мае в среднем 11617 ± 5065 мг/м³, в июле – 3182 ± 1877 мг/м³) в основном обеспечивали при массовом развитии (более 1000 тыс. кл./л) центрические диатомеи из рода *Stephanodiscus*. Доминирование в раннелетнем и осеннем сезонах центрических диатомей рода *Stephanodiscus* характерно для планктона р. Неман и некоторых ее притоков [3, 4]. В июле велика была роль и зеленых, которые определяли в среднем 44% численности и 27% биомассы микроводорослей. Кроме этого в структуре численности фитопланктона р. Неман в июле заметную роль играли криптозооиды (20%).

В целом общая численность микроводорослей в мае в среднем составила 22730 ± 7712 , в июле – 13699 ± 4453 тыс. кл./л. Продуктивность фитопланктона сокращалась в июле по сравнению с маем.

ЗООПЛАНКТОН

В ходе исследований р. Неман с 2011 по 2015 г. были собраны и обработаны 132 пробы зоопланктона. Их отбор и обработку осуществляли по общепринятым методикам [5 – 10 и др.].

В составе зоопланктона данной реки за время исследования найдено большое число видов и форм – 110. Наиболее разнообразны ветвистоусые ракообразные (отр. Cladocera), включающие 42 вида [11]. Несколько ниже количество видов веслоногих ракообразных (п/кл. Copepoda) – 38 видов и форм. Фауна коловраток (тип Rotifera) состоит из 29 видов и форм. Кроме того, периодически встречались представители подотряда Конхостраки (п/отр. Conchostraca), отнесенные к группе «Прочие» (табл. 2, рис. 1).

Таблица 2. Видовой состав зоопланктона р. Неман в зоне возможного воздействия Балтийской АЭС в 2011-2015 гг.

Table 2. Zooplankton species diversity of the river Neman in the area of potential impact of the Baltic NPP in 2011-2015

№ п/п	Название вида	№ п/п	Название вида
Cladocera			
1	<i>Acroperus angustatus</i> (Sars)	22	<i>Diaphanosoma brachyurum</i> (Liévin)
2	<i>Alona affinis</i> (Leydig)	23	<i>Disparalona rostrata</i> (Koch)
3	<i>Alona guttata</i> (Sars)	24	<i>Eubosmina coregoni</i> (Baird)
4	<i>Alona quadrangularis</i> (O.F. Müller)	25	<i>Graptoleberis testudinaria</i> (Fischer)
5	<i>Alona rectangula</i> (G.O. Sars)	26	<i>Ilyocryptus acutifrons</i> (Sars)
6	<i>Alona</i> sp. (Baird)	27	<i>Ilyocryptus agilis</i> (Kurz)
7	<i>Alonella nana</i> (Baird)	28	<i>Ilyocryptus sordidus</i> (Liévin)

Продолжение табл. 2

№ п/п	Название вида	№ п/п	Название вида
8	<i>Alonopsis ambigua</i> (Lilljeborg)	29	<i>Plyocryptus</i> sp. (G. O. Sars)
9	<i>Bosmina longirostris</i> (O.F. Müller)	30	<i>Latona setifera</i> (O.F. Müller)
10	<i>Ceriodaphnia affinis</i> (Lilljeborg)	31	<i>Leydigia acanthocercoides</i> (Fischer)
11	<i>Ceriodaphnia laticaudata</i> (P.E. Müller)	32	<i>Leydigia leydigi</i> (Schoedler)
12	<i>Ceriodaphnia pulchella</i> (G.O. Sars)	33	<i>Macrothrix laticornis</i> (Jurine)
13	<i>Ceriodaphnia quadrangula</i> (O.F. Müller)	34	<i>Moina macrocopa</i> (Straus)
14	<i>Ceriodaphnia reticulata</i> (Jurine)	35	<i>Monospilus dispar</i> (G.O. Sars)
15	<i>Ceriodaphnia rotunda</i> (G.O. Sars)	36	<i>Pleuroxus aduncus</i> (Jurine)
16	<i>Ceriodaphnia</i> sp. (Dana)	37	<i>Pleuroxus</i> sp. (Baird)
17	<i>Chydorus ovalis</i> (Kurz)	38	<i>Pleuroxus striatus</i> (Schoedler)
18	<i>Chydorus sphaericus</i> (O.F. Müller)	39	<i>Polyphemus pediculus</i> (L.)
19	<i>Daphnia cucullata</i> (G.O. Sars)	40	<i>Scapholeberis mucronata</i> (O.F. Müller)
20	<i>Daphnia longispina</i> (O.F. Müller)	41	<i>Simocephalus serrulatus</i> (Koch)
21	<i>Daphnia pulex</i> (Leydig)	42	<i>Simocephalus</i> sp. (Schoedler)
Copepoda			
1	<i>Acanthocyclops americanus</i> (Marsh)	21	<i>Eucyclops</i> sp. (Claus)
2	<i>Acanthocyclops gigas</i> (Claus)	22	<i>Eudiaptomus gracilis</i> (Sars)
3	<i>Acanthocyclops languidoides</i> (Lilljeborg)	23	<i>Eudiaptomus graciloides</i> (Lilljeborg)
4	<i>Acanthocyclops</i> sp. (Kiefer)	24	<i>Eurytemora affinis</i> (Poppe)
5	<i>Acanthocyclops venustus</i> (Norman & Scott)	25	<i>Harpacticoida</i> sp. (G.O. Sars)
6	<i>Acanthocyclops vernalis</i> (Fischer)	26	<i>Macrocyclops albidus</i> (Jurine)
7	<i>Acanthocyclops viridis</i> (Jurine)	27	<i>Mesocyclops leuckarti</i> (Claus)
8	<i>Cyclops abyssorum</i> (G.O. Sars)	28	<i>Mesocyclops</i> sp. (G.O. Sars)
9	<i>Cyclops insignis</i> (Claus)	29	<i>Microcyclops</i> sp. (Claus)
10	<i>Cyclops kolensis</i> (Lilljeborg)	30	<i>Paracyclops affinis</i> (G.O. Sars)
11	<i>Cyclops scutifer</i> (Sars)	31	<i>Paracyclops fimbriatus</i> (Fischer)
12	<i>Cyclops</i> sp. (O.F. Müller)	32	<i>Paracyclops</i> sp. (Claus)
13	<i>Cyclops strenuus</i> (Fischer)	33	<i>Thermocyclops crassus</i> (Fischer)
14	<i>Diacyclops bicuspidatus</i> (Claus)	34	<i>Thermocyclops oithonoides</i> (G.O. Sars)
15	<i>Diacyclops</i> sp. (Kieff.)	35	Копеподит Calanoida
16	<i>Diaptomus castor</i> (Jurine)	36	Копеподит Cyclopoida
17	<i>Ectocyclops phaleratus</i> (Koch)	37	Науплиус Calanoida
18	<i>Eucyclops macruroides</i> (Lilljeborg)	38	Науплиус Cyclopoida
19	<i>Eucyclops macrurus</i> (G.O. Sars)		
20	<i>Eucyclops serrulatus</i> (Fischer)		
Rotifera			
1	<i>Asplanchna herrickii</i> (De Guerne)	15	<i>Filinia longiseta</i> (Ehrenberg)
2	<i>Asplanchna priodonta</i> (Gosse)	16	<i>Filinia major</i> (Colditz)
3	<i>Asplanchna</i> sp. (Gosse)	17	<i>Kellicottia longispina</i> (Kellicott)
4	<i>Bipalpus hudsoni</i> (Imhof)	18	<i>Keratella cochlearis</i> (Gosse)
5	<i>Brachionus angularis</i> (Gosse)	19	<i>Keratella quadrata</i> (O.F. Müller)

Окончание табл. 2

№ п/п	Название вида	№ п/п	Название вида
6	<i>Brachionus calyciflorus</i> (Pallas)	20	<i>Lepadella cyrtopus</i> (Harring)
7	<i>Brachionus calyciflorus spinosus</i> (Wierz)	21	<i>Lepadella</i> sp. (Bory De Saint Vincent)
8	<i>Brachionus diversicornis</i> (Daday)	22	<i>Notholca acuminata</i> (Ehrenberg)
9	<i>Brachionus diversicornis homoceros</i> (Wierz)	23	<i>Platylabus quadricornis</i> (Ehrenberg)
10	<i>Brachionus leydigi</i> (Cohn)	24	<i>Polyarthra dolichoptera</i> (Jdelson)
11	<i>Brachionus quadridentatus</i> (Hermann)	25	<i>Polyarthra</i> sp. (Carlin)
12	<i>Cephalodella</i> sp. (Bory de St. Vincent)	26	<i>Polyarthra vulgaris</i> (Carlin)
13	<i>Euchlanis dilatata</i> (Ehrenberg)	27	Rotifera (Scopoli)
14	<i>Euchlanis</i> sp. (Ehrenberg)	28	<i>Synchaeta pectinata</i> (Ehrenberg)
		29	<i>Synchaeta</i> sp. (Wierzejski)
Прочие			
1	Conchostraca (L.)		

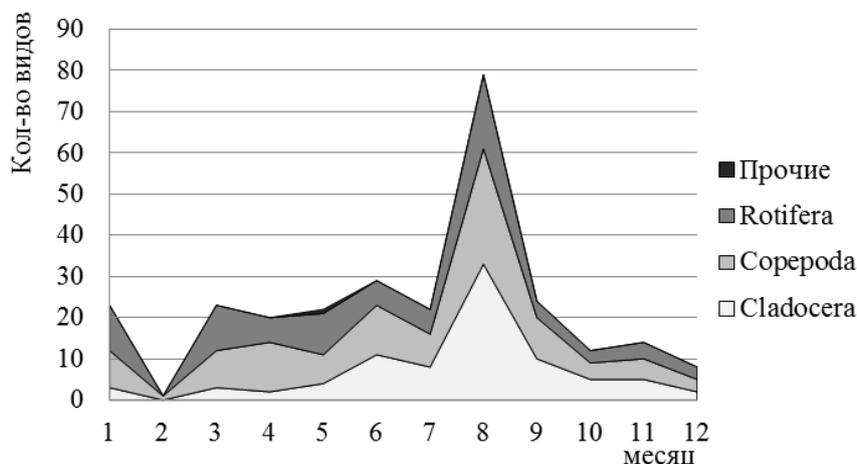


Рис. 1. Видовое разнообразие зоопланктона р. Неман
 Fig. 1. Zooplankton species diversity in the river Neman

Обнаружение многих видов носит случайный характер, так как их приносит течением из других водоемов и водотоков бассейна р. Неман. Регулярно встречались ветвистоусые ракообразные *Bosmina longirostris*, *Chydorus sphaericus*, коловратки *Brachionus calyciflorus* и другие виды, интенсивное развитие которых приурочено к определенным сезонам.

Наименьшее видовое разнообразие зоопланктона характерно для зимнего периода, особенно для февраля. Как правило, именно в этом месяце большая часть реки покрыта льдом. Зимний зоопланктон формируют эвритермные виды, преимущественно из коловраток и веслоногих ракообразных. Образуются зимние популяции коловраток *Keratella quadrata*, ветвистоусых *Bosmina longirostris*, а также веслоногих *Eudiaptomus gracilis*, среди которых встречаются и неполовозрелые особи.

Весной, по мере прогревания воды, зоопланктон становится разнообразнее. В период половодья, кроме того, появляется множество дрейфовых видов. Разнообразие особенно возрастает среди веслоногих ракообразных и коловраток.

В начале весны так же часто, как и зимой, встречаются коловратки *Keratella quadrata*, которые к концу весны почти исчезают из зоопланктона. В это время года среди коловраток также обычен эвритермный вид *Brachionus calyciflorus*. Ветвистоусые в основном все еще представлены видом *B. longirostris*. В конце весны начинают появляться другие ветвистоусые *Daphnia cucullata* и *Chydorus sphaericus*. Среди веслоногих ракообразных чаще всего встречаются *Acanthocyclops venustus*, представители отряда Harpacticoida и неполовозрелые особи.

Во второй половине лета температура воды, как правило, превышает 20⁰С, течение реки замедляется, развивается прибрежно-водная растительность, что способствует интенсивному формированию теплолюбивых и фитофильных видов. Максимального видового разнообразия зоопланктон достигает в августе (около 80 видов). Летом широко представлены ветвистоусые ракообразные. Часто можно встретить такие виды, как *Bosmina longirostris*, *Ceriodaphnia affinis*, *Chydorus sphaericus*, *Diaphanosoma brachyurum*. Среди коловраток также есть более характерные для лета виды, несмотря на то, что их общее разнообразие относительно невелико: *Brachionus quadridentatus*, *Brachionus calyciflorus* и *Euchlanis dilatata*. В летние месяцы в р. Неман встречается около 30 видов веслоногих ракообразных, но большинство из них – нерегулярно. Наиболее обычен вид *Mesocyclops leuckarti*, интенсивное размножение которого в реках наступает при температуре около 20⁰.

Сезонная динамика прослеживается как на видовом составе, так и на количественных показателях зоопланктона (численности и биомассе). Численность зоопланктона в Немане невысокая (менее 1 тыс. экз./м³). В годовом развитии выделяются два пика (рис. 2). Первый наблюдается в конце весны, и вызван он интенсивным развитием коловраток, среди которых особое значение имеют два вида – *Keratella quadrata* и *Brachionus calyciflorus*. Пика предшествует значительный рост численности веслоногих ракообразных. Начало лета характеризуется значительным спадом в развитии зоопланктона (летняя депрессия). В это время начинают размножаться ветвистоусые, и их численность постепенно растет. В конце лета наблюдается второй пик развития зоопланктона. В это время в массе встречаются коловратки (*B. calyciflorus* и *B. quadridentatus*) и ветвистоусые (*B. longirostris*, *C. affinis*, *D. cucullata*). Веслоногие ракообразные не столь многочисленны и представлены в основном неполовозрелыми особями и видом *M. leuckarti*. Осенью развитие зоопланктона замедляется, и зимой его численность редко превышает 100 экз./м³.

Средняя биомасса зоопланктона на протяжении года низкая – сотые доли грамма, поскольку в его составе преобладают мелкие формы. Во время весенней вспышки развития коловраток этот показатель несколько выше. Наибольших значений биомасса достигает в конце лета (около 0,16 г/м³), когда интенсивно размножаются более крупные организмы и в первую очередь – ветвистоусые ракообразные. К началу августа несколько увеличивается биомасса веслоногих, в основном за счет роста *M. leuckarti* (рис. 2).

Зоопланктон р. Неман представлен достаточно большим числом видов. В то же время, как численность, так и биомасса зоопланктона в реке не достигают высоких значений в течение всего года. В целом в его развитии прослеживается сезонная цикличность, характерная для многих водоемов Европы и России.

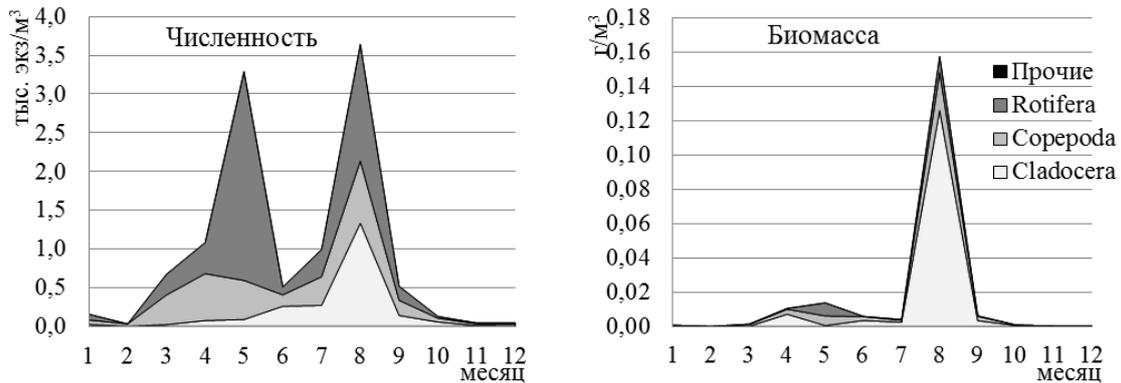


Рис. 2. Динамика численности и биомассы зоопланктона р. Неман
 Fig. 2. Abundance dynamics of zooplankton in the river Neman

ЗООБЕНТОС

За период исследований с 2011 по 2015 гг. на изучаемом участке р. Неман было собрано и обработано 188 проб зообентоса. Отбор и обработка проб осуществлялись по общепринятым методикам [5-10 и др.].

Зообентос этой реки отличается большим разнообразием видов. На исследованном участке идентифицировано 260 видов, относящихся к 9 систематическим группам, среди которых: моллюски (тип Mollusca), олигохеты (п/кл. Oligochaeta), пиявки (п/кл. Hirudinea), ракообразные (кл. Crustacea), личинки комаров-звонцов (сем. Chironomidae), поденок (отр. Ephemeroptera), стрекоз (отр. Odonata), ручейников (отр. Trichoptera) и группа «Прочие» [12]. В последнюю вошли немногочисленные и редко встречающиеся виды водяных клещей (сем. Hydrachnidae), жуков (отр. Coleoptera), клопов (отр. Hemiptera), личинок двукрылых (отр. Diptera), веснянок (отр. Plecoptera), вислокрылок (сем. Sialidae) и др. Больше всего видов насчитывается в группе комаров-звонцов (90 видов), что в целом характерно для водотоков Европы и России (табл. 3, рис. 3). Достаточно широко представлены моллюски, олигохеты и группа «Прочие», значительно меньше – ручейники. Разнообразие остальных групп ограничивается 10-13 видами.

Таблица 3. Видовой состав зообентоса р. Неман в зоне предполагаемого воздействия Балтийской АЭС в 2011-2015 гг.

Table 3. Zoobenthos species diversity of the river Neman in the area of potential impact of the Baltic NPP in 2011-2015

№ п/п	Название вида	№ п/п	Название вида
Mollusca			
1	Anodonta cygnea (L.)	17	Pisidium amnicum (Mull.)
2	Anodonta piscinalis (Nilsson)	18	Planorbis planorbis (L.)
3	Anodonta stagnalis (Gmel)	19	Pseudanodonta complanata (Rossmuessler)
4	Anodonta subcircularis (Clessin)	20	Pseudanodonta kletti (Rossmuessler)
5	Bithynia leachii (Shepp.)	21	Sphaerium corneum (L.)
6	Bithynia tentaculata (L.)	22	Sphaerium nitidum (Clessin)

Продолжение табл. 3

№ п/п	Название вида	№ п/п	Название вида
7	<i>Borysthenia naticina</i> (Menke)	23	<i>Sphaerium rivicola</i> (Lamarck)
8	<i>Choanomphalus rossmaessleri</i> (Schmidt)	24	<i>Sphaerium</i> sp. (Scopoli)
9	<i>Dreissena polymorpha</i> (Pall.)	25	<i>Theodoxus fluviatilis</i> (L.)
10	Euglesidae	26	<i>Unio ovalis</i> (Montagu)
11	<i>Lithoglyphus naticoides</i> (C.Pfeiffer)	27	<i>Unio pictorum</i> (L.)
12	<i>Lymnaea auricularia</i> (L.)	28	<i>Valvata ambigua</i> (West.)
13	<i>Lymnaea corvus</i> (Gmelin)	29	Valvatidae
14	<i>Lymnaea ovata</i> (Drap.)	30	<i>Viviparus contectus</i> (Millet)
15	<i>Lymnaea</i> sp. (Lamarck)	31	<i>Viviparus viviparus</i> (L.)
16	<i>Lymnaea stagnalis</i> (L.)		
Chironomidae			
1	<i>Ablabesmyia lentiginosa</i> (Fries)	46	<i>Orthocladius saxicola</i> (Kief.)
2	<i>Ablabesmyia monilis</i> (L.)	47	<i>Parachironomus pararostratus</i> (Lenz)
3	<i>Chernovskiiia ra</i> (Ulomsky)	48	<i>Parachironomus vitiosus</i> (Goetghebuer)
4	<i>Chironomus cingulatus</i> (Meig.)	49	<i>Paracladopelma camptolabis</i> (Kief.)
5	<i>Chironomus dorsalis</i> (Meig.)	50	<i>Paralauterborniella nigrohalteralis</i> (Malloch)
6	<i>Chironomus heterodentatus</i> (Konstantinov)	51	<i>Paratanytarsus confusus</i> (Palmen)
7	<i>Chironomus nigrifrons</i> (Linevich)	52	<i>Paratanytarsus lauterborni</i> (Kief.)
8	<i>Chironomus plumosus</i> (L.)	53	<i>Paratanytarsus</i> sp. (Thienemann & Bause)
9	<i>Chironomus</i> sp. (Meig.)	54	<i>Paratendipes albimanus</i> (Meig.)
10	<i>Chironomus tentans</i> (Fabr.)	55	<i>Paratendipes intermedius</i> (Tshernovskij)
11	<i>Cladopelma viridula</i> (L.)	56	<i>Pentapedilum exectum</i> (Kief.)
12	<i>Cladotanytarsus mancus</i> (Walk.)	57	<i>Polypedilum bicrenatum</i> (Kieff.)
13	<i>Cladotanytarsus</i> sp. (Walk.)	58	<i>Polypedilum convictum</i> (Walk.)
14	<i>Cladotanytarsus vanderwulpi</i> (Edwards)	59	<i>Polypedilum nubeculosum</i> (Meig.)
15	<i>Clinotanypus nervosus</i> (Meig.)	60	<i>Polypedilum pedestre</i> (Meig.)
16	<i>Cricotopus algarum</i> (Kief.)	61	<i>Polypedilum scalaenum</i> (Schränk)
17	<i>Cricotopus bicinctus</i> (Meig.)	62	<i>Polypedilum</i> sp. (Kief.)
18	<i>Cricotopus latidentatus</i> (Tshern.)	63	<i>Polypedilum tetracrenatum</i> (Hirvenoja)
19	<i>Cricotopus silvestris</i> (Fabr.)	64	<i>Potthastia gaedii</i> (Meig.)
20	<i>Cryptochironomus defectus</i> (Kief.)	65	<i>Potthastia longimanus</i> (Kieff.)
21	<i>Cryptochironomus</i> sp. (Kieffer)	66	<i>Procladius choreus</i> (Meig.)
22	<i>Cryptotendipes nigronitens</i> (Edwards)	67	<i>Procladius ferrugineus</i> (Kief.)
23	<i>Demeijerea rufipes</i> (L.)	68	<i>Psectrocladius dilatatus</i> (Kief.)
24	<i>Demicryptochironomus vulneratus</i> (Zett.)	69	<i>Psectrocladius ishimicus</i> (Tshernovskij)
25	<i>Diamesa</i> sp. (Meigen)	70	<i>Psectrocladius psilopterus</i> (Kief.)
26	<i>Dicrotendipes nervosus</i> (Staeger)	71	<i>Psectrotanypus varius</i> (Fabricius)
27	<i>Dicrotendipes tritonus</i> (Kief.)	72	<i>Rheotanytarsus exiguus</i> (Johannsen)
28	<i>Einfeldia</i> sp. (Keiffer)	73	<i>Rheotanytarsus</i> sp. (Thienemann & Bause)

Продолжение табл. 3

№ п/п	Название вида	№ п/п	Название вида
29	<i>Endochironomus albipennis</i> (Meig.)	74	<i>Robackia demeijerei</i> (Kruseman)
30	<i>Endochironomus tendens</i> (Fabr.)	75	<i>Stenochironomus</i> sp. (Kief.)
31	<i>Eukiefferiella bavarica</i> (Goetgh.)	76	<i>Stictochironomus "connectens №2"</i> (Lipina)
32	<i>Eukiefferiella coerulescens</i> (Kieff.)	77	<i>Stictochironomus crassiforceps</i> (Kief.)
33	<i>Eukiefferiella</i> sp. (Thienemann)	78	<i>Stictochironomus</i> sp. (Kief.)
34	<i>Eukiefferiella tschernovskii</i> (Pankratova)	79	<i>Synorthocladius semivirens</i> (Keiffer)
35	<i>Glyptotendipes barbipes</i> (Staeg.)	80	<i>Tanytarsus excavatus</i> (Edwards)
36	<i>Glyptotendipes glaucus</i> (Meig.)	81	<i>Tanytarsus gregarius</i> (Kief.)
37	<i>Glyptotendipes gripekoveni</i> (Kief.)	82	<i>Tanytarsus lestagei</i> (Goetghebuer)
38	<i>Harnischia curtilamellata</i> (Malloch)	83	<i>Tanytarsus lobatifrons</i> (Kief.)
39	<i>Kloosia</i> sp. (Kruseman)	84	<i>Tanytarsus pallidicornis</i> (Walker)
40	<i>Limnophyes pusillus</i> (Eaton)	85	<i>Tanytarsus</i> sp. (Van Der Wulp)
41	<i>Lipiniella arenicola</i> (Shilova)	86	<i>Tanytarsus verralli</i> (Goetghebuer)
42	<i>Microchironomus tener</i> (Kieff.)	87	<i>Thienemanniella fusca</i> (Kief.)
43	<i>Micropsectra praecox</i> (Meig.)	88	<i>Trichocladius inaequalis</i> (Kief.)
44	<i>Microtendipes pedellus</i> (De Geer)	89	<i>Trissocladius potamophilus</i> (Tshernovskij)
45	<i>Orthoclaadiinae acuticauda</i> (Pagast)	90	<i>Virgatanytarsus anduennensis</i> (Goetghebuer)
Crustacea			
1	<i>Asellus aquaticus</i> (L.)	6	<i>Gammarus locusta</i> (L.)
2	<i>Corophium curvispinum</i> (Sars)	7	<i>Gammarus pulex</i> (L.)
3	<i>Corophium</i> sp. (Latreille)	8	<i>Gammarus</i> sp. (Fabricius)
4	<i>Gammarus duebeni</i> (Lilljeborg)	9	<i>Mysis relicta</i> (Lovén)
5	<i>Gammarus lacustris</i> (G. O. Sars)		
Ephemeroptera			
1	<i>Ametropus fragilis</i> (Albarda)	8	<i>Ephemera vulgata</i> (L.)
2	<i>Baetis rhodani</i> (Pict.)	9	<i>Ephemerella ignita</i> (Poda)
3	<i>Caenis horaria</i> (L.)	10	<i>Heptagenia fuscogrisea</i> (Retzius)
4	<i>Caenis macrura</i> (Stephens)	11	<i>Heptagenia</i> sp. (Walsh)
5	<i>Centroptilum luteolum</i> (Mull.)	12	<i>Heptagenia sulphurea</i> (Mull.)
6	<i>Cloeon dipterum</i> (L.)	13	<i>Paraleptophlebia submarginata</i> (Stheph.)
7	<i>Ephemera lineata</i> (Eaton)		
Hirudinea			
1	<i>Erpobdella lineata</i> (O.F.Müller)	7	<i>Helobdella stagnalis</i> (L.)
2	<i>Erpobdella nigricollis</i> (Brand.)	8	<i>Hemiclepsis marginata</i> (O.F.Müller)
3	<i>Erpobdella octoculata</i> (L.)	9	<i>Piscicola fasciata</i> (Koll.)
4	<i>Glossiphonia complanata</i> (L.)	10	<i>Piscicola geometra</i> (L.)
5	<i>Glossiphonia heteroclita</i> (L.)	11	<i>Protoclepsis maculosa</i> (Rathke)
6	<i>Haementeria costata</i> (Fr. Müller)		
Odonata			
1	<i>Aeshna affinis</i> (Van der Linden)	8	<i>Ischnura elegans</i> (Vander Linden)

Продолжение табл. 3

№ п/п	Название вида	№ п/п	Название вида
2	<i>Aeshna grandis</i> (L.)	9	<i>Ischnura pumilio</i> (Charpentier)
3	<i>Aeshna viridis</i> (Eversmann)	10	<i>Leucorrhinia pectoralis</i> (Charpentier)
4	<i>Calopteryx splendens</i> (Harris)	11	<i>Ophiogomphus cecilia</i> (Fourcroy)
5	<i>Calopteryx virgo</i> (L.)	12	<i>Platycnemis pennipes</i> (Pall.)
6	<i>Coenagrion pulchellum</i> (Vander Linden)	13	<i>Stylurus flavipes</i> (Charpentier)
7	<i>Gomphus vulgatissimus</i> (L.)		
Oligochaeta			
1	<i>Aulodrilus pigueti</i> (Kowalewski)	16	<i>Nais variabilis</i> (Piquet)
2	<i>Aulodrilus</i> sp. (Bretscher)	17	<i>Ophidonais serpentina</i> (O. F. Müller)
3	<i>Chaetogaster limnaei</i> (Baer)	18	<i>Pelosclex ferox</i> (Eisen)
4	Enchytraeidae (Vejdovský)	19	<i>Potamothenis hammoniensis</i> (Mich.)
5	<i>Fridericia</i> sp. (Michaelsen)	20	<i>Potamothenis moldaviensis</i> (Vejdovsky)
6	<i>Isochaetides michaelseni</i> (Lastock)	21	<i>Potamothenis</i> sp. (Vejdovský & Mrazek)
7	<i>Isochaetides newaensis</i> (Mich.)	22	<i>Pristina bilobata</i> (Bretscher)
8	<i>Limnodrilus claparedeanus</i> (Ratzel)	23	<i>Psammoryctides albicola</i> (Mich.)
9	<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i> (Clap.)	24	<i>Psammoryctides barbatus</i> (Grube)
10	<i>Limnodrilus</i> sp. (Claparede)	25	<i>Psammoryctides</i> sp. (Hrabe)
11	<i>Limnodrilus udekemianus</i> (Clap.)	26	<i>Rhyacodrilus</i> sp. (Bretscher)
12	<i>Lumbriculus variegatus</i> (Mull.)	27	<i>Stylaria lacustris</i> (L.)
13	Naididae	28	<i>Stylodrilus</i> sp. (Claparede)
14	<i>Nais barbata</i> (Mull.)	29	<i>Tubifex tubifex</i> (Mull.)
15	<i>Nais</i> sp. (O.F. Müller)	30	<i>Uncinaxis uncinata</i> (Orsted)
Trichoptera			
1	<i>Agrypnia pagetana</i> (Curtis)	12	Limnephilidae
2	<i>Anabolia soror</i> (MacLachlan)	13	<i>Limnephilus borealis</i> (Zetterstedt)
3	<i>Athripsodes cinereus</i> (Curt.)	14	<i>Limnephilus flavicornis</i> (Fabr.)
4	<i>Brachycentrus subnubilis</i> (Curtis)	15	<i>Limnephilus politus</i> (MacLachlan)
5	<i>Cheumatopsyche lepida</i> (Pictet)	16	<i>Limnephilus</i> sp. (Leach)
6	<i>Cyrnus flavidus</i> (MacLachlan)	17	<i>Molanna angustata</i> (Curtis)
7	<i>Ecnomus tenellus</i> (Rambur)	18	<i>Neureclipsis bimaculata</i> (L.)
8	<i>Hydropsyche ornatula</i> (MacLachlan)	19	<i>Phryganea bipunctata</i> (Retzius)
9	<i>Hydropsyche pellucidula</i> (Curtis)	20	<i>Polycentropus flavomaculatus</i> (Pict.)
10	<i>Hydroptila tineoides</i> (Dalman)	21	<i>Semblis</i> sp. (Fabricius)
11	<i>Leptocerus tineiformis</i> (Curtis)	22	<i>Tinoidea waeneri</i> (L.)
Прочие			
1	<i>Agabus</i> sp. (Leach)	21	<i>Hygrobates</i> sp. (Koch)
2	<i>Agabus undulatus</i> (Schrank)	22	Limoniidae (Rondani)
3	<i>Aphelocheirus aestivalis</i> (Fabr.)	23	Limoniidae sp. (Rondani)
4	<i>Aphelocheirus</i> sp. (Westwood)	24	<i>Naucoris</i> sp. (Geoffroy)
5	<i>Astacus astacus</i> (L.)	25	<i>Nebrioporus depressus</i> (Fabr.)
6	<i>Atherix</i> sp. (Meigen)	26	<i>Nematoda</i> sp. (Rudolphi)

Окончание табл. 3

№ п/п	Название вида	№ п/п	Название вида
7	Ceratopogonidae (Grassi)	27	Nemoura sp. (Latreille)
8	Chaoborus sp. (Lichtenstein)	28	Noterus clavicornis (De Geer)
9	Coleoptera	29	Notonecta glauca (L.)
10	Colymbetes sp. (Clairville)	30	Notonecta sp. (L.)
11	Corixa dentipes (Thomson)	31	Platambus sp. (C.G. Thomson)
12	Corixa sp. (Geoffroy)	32	Plea minutissima (Leach)
13	Corixidae (Leach)	33	Sialis lutaria (L.)
14	Elmidae sp. (Curtis)	34	Sigara falleni (Fieber)
15	Eriocera sp. (Macquart)	35	Sigara sp. (Fabricius)
16	Haliphus sp. (Latreille)	36	Simulium sp. (Latreille)
17	Helophorus sp. (Fabricius)	37	Symplecta sp. (Meigen)
18	Hoplolabis vicina (Tonnoir)	38	Tabanidae (Latreille)
19	Hydrachna sp. (Fabricius)	39	Tabanus sp. (L.)
20	Hydroporus sp. (Clairville)	40	Tipula sp. (L.)

Среди донных беспозвоночных р. Неман найдены виды, которые не встречаются в других водоемах области. Например, только в Немане обнаружены следующие виды личинок комаров-звонцов: *Kloosia sp.*, *Robackia demeijerei*, *Cricotopus bicinctus*, *Orthocladiinae acuticauda*, *Paratendipes intermedius*, *Virgatanytarsus anduennensis*, *Eukiefferiella tchernovskii*, *Lipiniella arenicola*. Еще один вид хирономид *Chernovskiiara* встречается в этой реке и в устьевой части ее притока – р. Шешупе. Большинство из этих видов населяют песчаные грунты, где быстрое течение, что свойственно русловой части Немана.

Моллюск *Lithoglyphus naticoides* – постоянный представитель зообентоса р. Неман. Этот вид ранее встречался только в ней, но в последние годы он расселился также в реках Шешупе и Преголя.

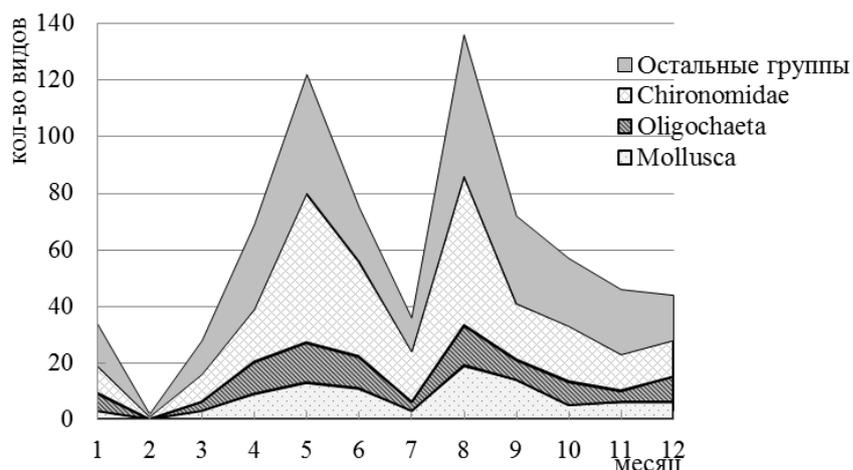


Рис. 3. Видовое разнообразие зообентоса р. Неман
Fig. 3. Zoobenthos species diversity in the river Neman

Независимо от времени года в Немане встречаются моллюски *Lithoglyphus naticoides*, *Dreissena polymorpha*, ракообразные *Corophium curvispinum*, *Mysis relicta*, а также олигохеты *Limnodrilus hoffmeisteri*. Однако в основном зообентос реки сформирован амфибиотическими видами, пики развития которых приходятся на соответствующие месяцы. Менее всего видов зообентоса найдено зимой, особенно в подледный период, в частности, как и в зоопланктоне, в феврале. С наступлением весны вода в реке постепенно прогревается, что приводит к росту активности зообентоса, в особенности амфибиотов. В мае в составе донных беспозвоночных можно насчитать более 120 видов, в большинстве своем это комары-звонцы. В это же время увеличивается разнообразие стрекоз, поденок и ручейников. Весной чаще встречаются следующие виды хирономид: *Paratendipes albimanus*, *Cladotanytarsus mancus*, *Polypedilum scalaenum*, *Rheotanytarsus sp.*, *Tanytarsus gregarius*, ручейников *Hydropsyche ornatula*, личинок мошек *Simulium sp.*, мокрецов *Ceratopogonidae*.

В конце весны – начале лета наблюдается вылет весенней генерации комаров-звонцов. В результате общее количество видов зообентоса к середине лета значительно сокращается. Снижение видового разнообразия характерно и для других групп амфибиотических беспозвоночных.

В конце лета развивается вторая генерация гетеротопных организмов – в составе зообентоса насчитывается более 130 видов, с повторным преобладанием хирономид. К этому времени в воде накапливается достаточное количество органических веществ, река зарастает водной и прибрежно-водной растительностью, что приводит к развитию детритофагов и зарослевых видов. Достаточно часто встречаются комары-звонцы *Dicrotendipes nervosus*, *Cladotanytarsus mancus*, *Glyptotendipes gripekoveni*, *Polypedilum convictum*, *Chironomus*, увеличивается частота встречаемости ракообразных из рода *Gammarus*, пиявок, водяных жуков и личинок двукрылых. В конце августа – начале сентября происходит повторный вылет амфибиотических насекомых и снова сокращается общее разнообразие зообентоса.

Интенсивность развития зообентоса закономерно зависит от сезона. Однако численность моллюсков на протяжении года редко опускается ниже 80% от суммарной численности организмов. В большинстве своем это вид *Lithoglyphus naticoides*. Только в июне показатель численности моллюсков (около 45%) соизмерим с таковым в других группах зообентоса. По биомассе моллюски доминируют в течение всего года, на их долю приходится около 98% биомассы всего бентоса.

Изменение численности и биомассы организмов, в сезонном аспекте, в иных группах зообентоса заключается в следующем (рис. 4).

Зимой в сравнительно большем количестве встречаются олигохеты.

В начале весны возрастает концентрация комаров-звонцов, которая к концу мая – началу июня достигает своего первого максимума. Крупные весенние генерации хирономид образуют подсемейства Orthoclaadiinae (*Cricotopus algarum*) и Chironominae (трибы Tanytarsini: *Cladotanytarsus mancus*, *Rheotanytarsus sp.*, *Tanytarsus gregarius*; трибы Chironomini: *Paratendipes albimanus*, *Polypedilum scalaenum*).

В конце весны – начале лета несколько увеличивается численность ракообразных (*Gammarus lacustris*) и олигохет (*Potamothrix hammoniensis*,

Limnodrilus hoffmeisteri). В это время года максимальна численность поденок, ручейников и мошек.

В середине лета происходит закономерный резкий спад численности зообентоса, вызванный первым массовым вылетом комаров-звонцов и иных гетеротопов. В конце лета, перед вылетом второй генерации комаров-звонцов, численность зообентоса снова возрастает. Хируномиды в это время составляют до 70% численности. Преобладают виды *Polypedilum nubeculosum*, *Polypedilum convictum*, *Dicrotendipes nervosus*, *Chernovskii* ra.

В середине осени численность зообентоса все еще достаточно высокая за счет ракообразных и фитофильных олигохет (*Nais barbata*, *Aulodrilus pigueti*).

Сезонная динамика биомассы зообентоса в целом повторяет изменение его численности. Выделяются два ее максимума – в начале лета и осени. Основу биомассы формируют не обильно представленные мелкие хируномиды и олигохеты, а более крупные виды пиявок и стрекоз, главным образом *Erpobdella octoculata* и *Stylurus flavipes* (рис. 4).

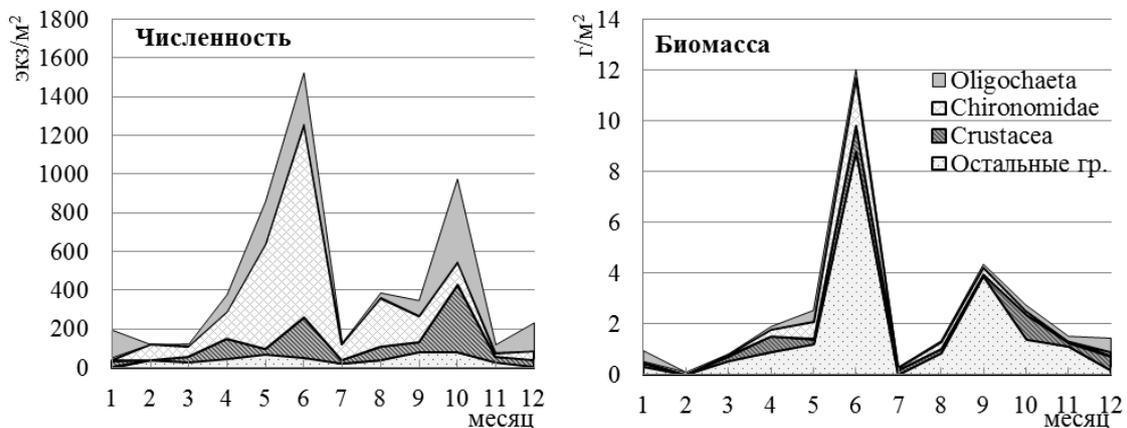


Рис. 4. Сезонная динамика численности и биомассы зообентоса р. Неман
Fig. 4. Seasonal dynamics of abundance of zoobenthos in the river Neman

Основу зообентоса р. Неман формируют моллюски. Численность и биомасса этой группы достаточно высоки и стабильны в сезонном аспекте. Моллюски играют важную роль в самоочищении реки в течение всего года. В то же время крупные моллюски не являются основным кормовым объектом бентосоядных рыб. Основу их пищевого рациона составляют личинки комаров-звонцов, олигохеты, ракообразные, более высокие показатели развития которых наблюдаются в конце весны и начале лета, а также в начале осени. От сезонной динамики именно этих групп зообентоса зависит обеспеченность кормом многих видов рыб и их молоди.

РЫБЫ

Материалы по современному состоянию рыбного сообщества анализируемого участка р. Неман (2011-2015 гг.) получены в результате контрольных обловов с использованием широкого набора орудий лова, применение которых определялось морфологическими и гидрологическими особенностями конкретных станций, структурными и биологическими характеристиками рыб. Все орудия лова разделены на три типа: личиночные (сеть

Матода), мальковые (мальковая волокуша с шагом ячеи 5 мм, портативная электроловильная установка для лова в прибрежной части на небольших глубинах), разноячейные (набор плавных и ставных сетей с шагом ячеи от 10 до 60 мм, закидной невод, лодочный близнецовый трал с шагом ячеи в мотне – 5 мм).

Всего проведено более 550 обловов, в которых отловлено около 20 тыс. экз. рыб. Обработка материалов проводилась общепринятыми методами [13-16]. Методика интерпретации результатов контрольных обловов основана на анализе плотности рыбного населения, выраженной в уловах на усилие [17], и общей характеристики биологических показателей рыб.

Обширная акватория и географическое положение р. Неман способствуют обитанию здесь широкого и сложного комплекса ихтиофауны, обусловленного преимущественно двумя факторами. Во-первых, это среда обитания ряда ценных проходных и полупроходных видов рыб, с местами их нереста, нагула и зимовки. Во-вторых, от условий нереста ряда видов рыб в Немане во многом зависит воспроизводство рыб Куршского залива.

По литературным данным, за последние полвека [18-22] список видов рыб, отмеченных в р. Неман, включал более четырех десятков наименований. В последнее десятилетие [23, наши данные] список отмеченных видов рыб и круглоротых сократился до 36 видов, относящихся к 13 семействам. В зоне возможного воздействия Балтийской АЭС в 2011-2015 гг. отмечено 33 вида. Наиболее широко представлено семейство карповых – 18 видов (табл. 4), остальные 10 семейств – 1-3 видами. В Красную книгу России (2001 г.) внесены кумжа (категория 2), рыбец, речная минога.

Таблица 4. Видовой состав рыб р. Неман в зоне возможного воздействия Балтийской АЭС в 2011-2015 гг.

Table 4. Fish species diversity of the river Neman in the area of potential impact of the Baltic NPP in 2011-2015

№ п/п	Семейство	Вид	
1	Миноговые – Petromyzontidae	Lampetra fluviatilis (L.)	Речная минога
2	Лососевые –Salmonidae	Salmo salar (L.)	Атлантический лосось
3		S. trutta trutta (L.)	Кумжа обыкновенная
4	Корюшковые – Osmeridae	Osmerus eperlanus (L.)	Европейская корюшка
5	Щуковые – Esocidae	Esox lucius (L.)	Щука обыкновенная
6	Карповые – Cyprinidae	Abramis brama (L.)	Лещ
7		Alburnus alburnus (L.)	Уклейка
8		Alburnoides bipunctatus (Bloch)	Быстрянка
9		Aspius aspius (L.)	Жерех
10		Barbus barbus (L.)	Усач
11		Blicca bjkna (L.)	Густера
12		Carassius auratus gibelio	Серебряный карась
13		Gobio gobio (L.)	Пескарь
14		Leuciscus leuciscus (L.)	Елец
15		L. cephalus (L.)	Голавль
16		L. idus (L.)	Язь
17		Pelecus cultratus (L.)	Чехонь
18		Rutilus rutilus (L.)	Плотва

Окончание табл. 4

№ п/п	Семейство	Вид	
19		Scardinius erythrophthalmus (L.)	Красноперка
20		Vimba vimba vimba (L.)	Рыбец, сырть
21		Rhodeus sericeus amarus (Bloch)	Горчак
22		Tinca tinca (L.)	Линь
23		Leucaspis delineatus (Heck.)	Верховка
24	Вьюновые – Cobitidae	Misgurnus fossilis (L.)	Вьюн
25		Cobitis taenia(L.)	Щиповка
26	Тресковые – Lotidae	Lota lota (L.)	Налим
27	Окуновые – Percidae	Gymnocephalus cernua (L.)	Ёрш обыкновенный
28		Perca fluviatilis (L.)	Окунь речной
29		Stizostedion (Sander) lucioperca (L.)	Судак обыкновенный
30	Сомовые – Siluridae	Silurus glanis (L.)	Сом европейский
31	Колошковые – Gasterosteidae	Gasterosteus aculeatus (L.)	Трехиглая колюшка
32			Девятииглая колюшка
33	Балиторовые – Balitoridae	Barbatula barbatula (L.)	Голец

По частоте встречаемости к доминирующим видам (более 70 %) в анализируемой части р. Неман можно отнести только уклею в уловах мальковыми орудиями лова – 73,1% (рис. 5).

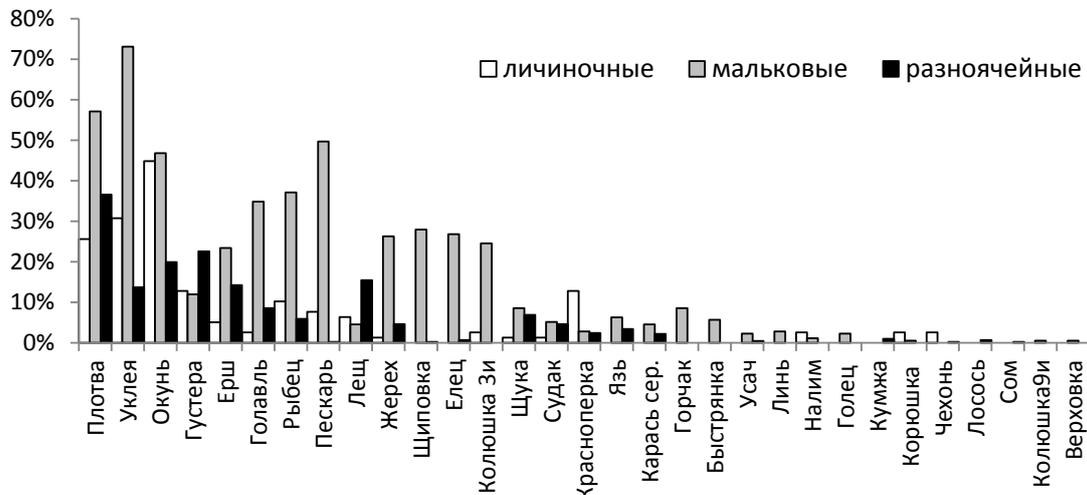


Рис. 5. Структура ихтиоценоза р. Неман по частоте встречаемости в разных орудиях лова

Fig. 5. Frequency of occurrence of fish species in the river Neman in different types of fishing gears

Обычные виды в составе ихтиофауны (с частотой встречаемости 30–70 %) более представительны также в мальковых орудиях лова – всего 5 видов. В порядке снижения их значимости – это плотва (частота встречаемости – 57,1%), пескарь (49,7), окунь (46,9), рыбец (37,1), голавль (34,9). В личиночных орудиях лова к данной группе рыб можно отнести окуня (44,8%) и уклею (30,8), а в разноячейных орудиях лова – только плотву (36,6%).

Группа малочисленных видов рыб (частота встречаемости – 10-30%) в целом более разнообразна для всех типов орудий лова. В личиночных орудиях лова – это плотва, густера, красноперка, рыбец, в мальковых – щиповка, елец, жерех, колюшка трехиглая, ерш, густера, в разноячейных – густера, окунь, лещ, ерш, уклея.

Остальные виды могут быть отнесены к группе случайных (частота встречаемости менее 10%). Их количество для личиночных орудий лова составило – 11 видов, мальковых – 15, разноячейных – 16.

Соответственно структуру ихтиоценоза анализируемого участка р. Неман по показателю частоты встречаемости можно отнести к сложной с преобладанием группы случайно встречаемых видов рыб.

Линейные размеры рыб соответствовали селективным характеристикам применяемых орудий лова. Так, в личиночных размеры рыб в основном не превышали 4 см, средние были в пределах 0,5-2,4 см. В мальковых орудиях лова размеры рыб (за исключением щуки) ограничены длиной 20 см, средние размеры отдельных видов колебались от 3 см (усач) до 19 (налим). Низкую изменчивость по длине имели пескарь (5-11 см) и уклея (6-16 см).

Наиболее разнообразными размерные характеристики рыб были в разноячейных орудиях лова (рис. 6, табл. 5). Широкий диапазон длин отмечен для лосося (12-96 см), жереха (9-53), леща (8-48) и щуки (20-66 см). В соответствии с размерными показателями изменялась и средняя навеска особи в уловах данными орудиями лова. Наиболее высокой навеской обладали далеко мигрирующие проходные виды – лосось и кумжа, соответственно, 5,7 и 1,8 кг. К рыбам с малой навеской отнесены пескарь, елец, щиповка (10-14 г).

Для выявления роли вида в ихтиоценозе большое значение имеет показатель доли анализируемого вида в уловах по численности (N) и биомассе (B), выраженный в процентах. Показательны в данном случае уловы разноячейных орудий лова, так как они учитывают большую часть популяции любого вида. В этом плане характерно малое количество видов, преобладающих в уловах, как по численности, так и по биомассе.

Так, по численности более 90% выловленных особей были представлены 5 видами: плотвой, окунем, густерой, ершом и уклеей. Доля каждого из них по численности находилась в пределах 13-22%. Доля еще 3 видов (лещ, рыбец, голавль) была на уровне 1-2%. Удельное значение по численности прочих 14 видов не превышало 1%.

По биомассе можно отметить высокое значение в анализируемом ихтиоценозе плотвы – 33,4%, существенную роль леща (15,2%) и густеры (10,1%). В сумме эти 3 вида занимают менее 60% общей биомассы ихтиоценоза. Из других видов рыб несколько большее значение имели окунь, рыбец, уклея (доля каждого 5-7%). Прочие 16 видов дали 23% общей биомассы с долей каждого не более 4%.

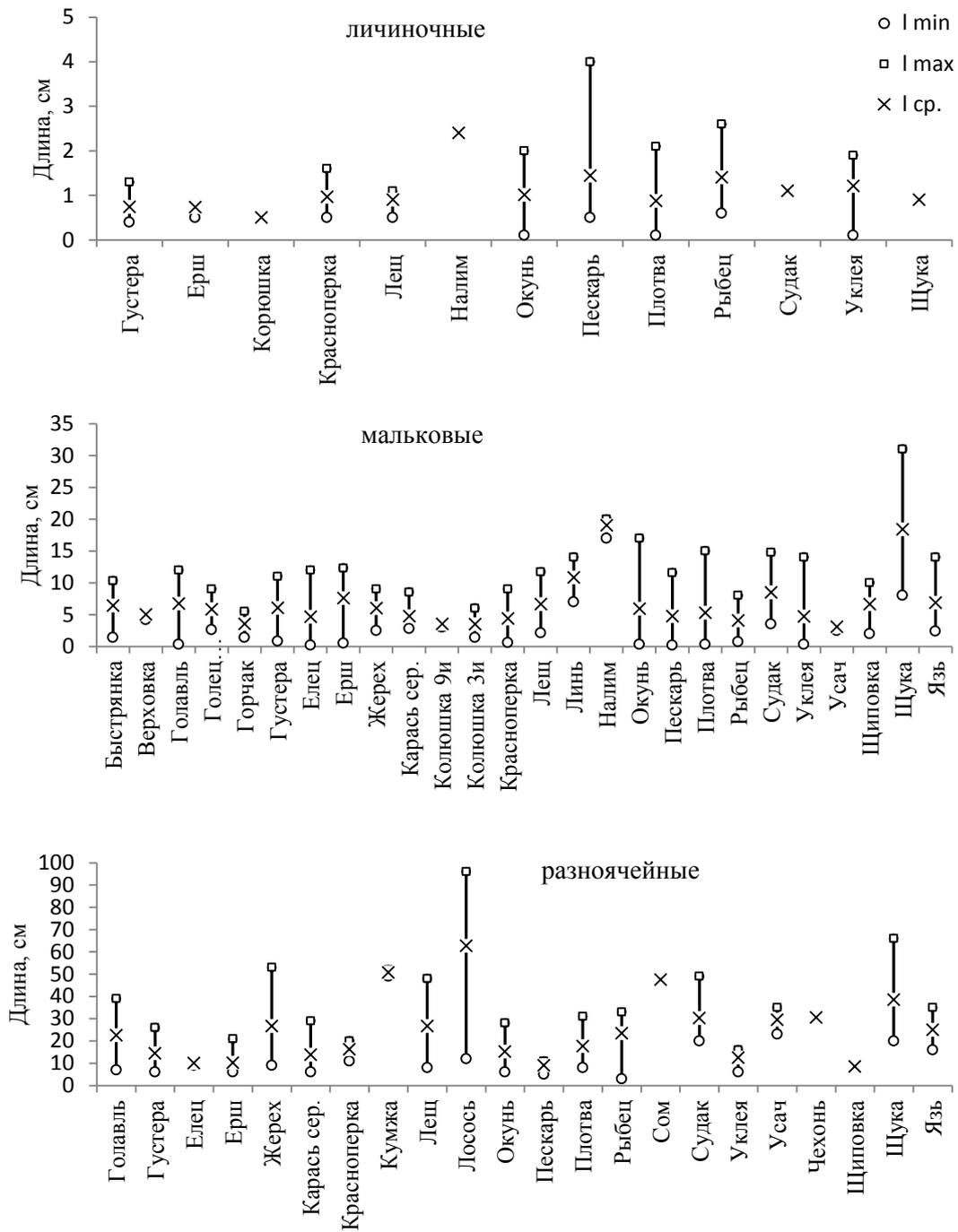


Рис. 6. Размерная характеристика рыб (максимальный, минимальный размеры, средняя длина, см) в разных орудиях лова, р. Неман
 Fig. 6. Length characteristics of fish (maximum, minimum sizes, average length, cm) in different fishing gear in the river Neman

Таблица 5. Основные характеристики рыб в уловах разноячейных орудий лова на исследуемом участке р. Неман

Table 5. Biological parameters of fish in different types of fishing gear in the river Neman

Виды рыб	Встречаемость, %	Длина тела (L), см		Масса средняя, г	Доля в уловах, %	
		колебания	средняя		N	B
Голавль	8,6	7-39	22,5	301	1,1	3,3
Густера	22,6	6-26	14,4	84	14,9	10,1
Елец	0,7	9-10	10,0	14	0,1	0,0
Ерш	14,3	6-21	10,1	26	18,9	3,7
Жерех	4,7	9-53	26,7	496	0,9	3,3
Карась сер.	2,2	6-29	13,7	164	0,3	0,4
Красноперка	2,5	11-20	16,2	113	0,3	0,4
Кумжа	1,0	49-52	50,8	1850	0,1	1,1
Лещ	15,5	8-48	26,6	627	2,2	15,2
Лосось	0,7	12-96	62,7	5663	0,1	4,1
Окунь	19,9	6-28	15,2	88	13,1	6,8
Пескарь	0,2	5-11	9,1	10	0,8	0,1
Плотва	36,6	8-31	17,7	157	21,9	33,4
Рыбец	5,9	3-33	23,5	267	2,2	6,1
Сом	0,2		47,5	980	0,0	0,1
Судак	4,7	20-49	30,3	464	0,3	1,2
Уклея	13,8	6-16	12,5	28	21,9	5,4
Усач	0,5	23-35	29,5	479	0,0	0,1
Чехонь	0,2		30,5	264	0,0	0,0
Щиповка	0,2		8,5	10	0,0	0,0
Щука	6,9	20-66	38,5	746	0,4	3,4
Язь	3,4	16-35	24,9	377	0,4	1,6

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные в 2011-2015 гг. исследования фитопланктона, зоопланктона, зообентоса и ихтиофауны р. Неман в зоне возможного воздействия Балтийской АЭС показали высокую сложность функционирования соответствующих компонентов биоты, связанную с рядом факторов.

Во-первых, наблюдается высокое разнообразие всех компонентов биоты. В фитопланктоне р. Неман обнаружено 172 таксона микроводорослей из 8 систематических групп, с преобладанием зеленых водорослей (82 таксона). В зоопланктоне отмечены 110 видов, наиболее разнообразно представлены ветвистоусые ракообразные – 42. В зообентосе идентифицированы 260 видов, относящихся к 9 систематическим группам. Наибольшее разнообразие видов наблюдается среди личинок комаров-звонцов, моллюсков и олигохет. В составе ихтиофауны зафиксированы 33 вида. Особенно широко представлено семейство карповых – 18 видов.

Во-вторых, для гидробионтов всех таксономических групп анализируемой акватории характерно то, что обнаружение многих видов носит случайный характер, так как либо их приносит течением из вышерасположенных участков р. Неман, в том числе и из других водоемов и водотоков бассейна (фито-, зоопланктон, в меньшей степени – зообентос, личинки рыб), либо они сами временно заходят на данный участок в результате естественных миграций. В

большой степени последнее характерно для рыб, совершающих нерестовые миграции, – лосося, кумжи, рыба, корюшки, морской миноги.

В-третьих, сообщества гидробионтов в анализируемой акватории р. Неман подвержены высокой изменчивости как в межгодовом, так и внутригодовом аспектах. Особенно наглядно это проявляется при анализе межсезонных изменений. Так, в составе фитопланктона весной доминировали диатомовые водоросли, в раннелетнем и осеннем периодах – центрические диатомеи, а в середине лета была велика роль зеленых водорослей. В годовом развитии зоопланктона выделяются два пика. Первый наблюдается в конце весны, и вызван он интенсивным развитием коловраток. Начало лета характеризуется существенным спадом в развитии зоопланктона (летняя депрессия), а в конце лета наблюдается второй пик развития зоопланктона преимущественно за счет ветвистоусых ракообразных и коловраток. В отношении организмов зообентоса изменчивость выражена в меньшей степени за счет круглогодичного преобладания моллюсков. В отношении рыб сезонная изменчивость проявляется, прежде всего, у весенне- и осенненерестующих видов. Весной закономерно возрастает в ихтиоценозе роль рыба, леща, судака, а осенью в уловах присутствуют лосось и кумжа. Но даже и для туводных рыб отмечается сезонная изменчивость. Так, весной в уловах по численности достаточно четко проявляются высокие удельные значения уклей, тогда как осенью данный вид встречается редко.

Таким образом, проведенные в 2011-2015 гг. исследования биоты р. Неман позволяют определить состояние гидробионтов в зоне воздействия Балтийской АЭС и использовать их характеристики в последующем как фоновые для оценки возможных изменений в рыбопродуктивности этой реки и связанного с ней Куршского залива, а в дальнейшем - и для разработки мероприятий по снижению и компенсации этого ущерба.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Шibaев, С. В. Прогноз воздействия Балтийской АЭС на рыбные запасы водоёмов Калининградской области, проблемы и решения / С. В. Шibaев, А. В. Соколов, Е. В. Лунева // Экологическая безопасность АЭС: первая научно-практическая конференция с международным участием, посвященная 60-летию атомной энергетики: труды. Калининград (16–17 октября). – Калининград: Изд-во «Аксиос», 2014. – С. 160-169.

2. Лунева, Е. В. Проблемы организации мониторинга водных биоресурсов в зоне возможного воздействия Балтийской АЭС / Е. В. Лунева, С. В. Шibaев, А. В. Соколов // Экологическая безопасность АЭС: вторая научно-практическая конференция с международным участием, посвященная 70-летию атомной отрасли России: труды. – Калининград: Изд-во "Аксиос", 2015. – С. 178-182.

3. Генкал, С. И. Материалы к флоре диатомовых водорослей (Centrophyceae) р. Неман и его притоков / С. И. Генкал, Т. М. Михеева // Ботанический журнал. – 2006.– Т. 91, №3. – С. 420-424.

4. Хурсевич, Г. К. К ревизии диатомовых водорослей семейств Thalassiosiraceae и Stephanodiscaceae из водоемов Беларуси / Г. К. Хурсевич, А. А. Свирид // Весці БДПУ. Серыя 3. – 2013. – №3. – С. 3–9.
5. Кутикова, Л. А. Коловратки фауны СССР (Rotatoria) / Л. А. Кутикова. – Ленинград: Наука, 1970. – 744 с.
6. Кутикова, Л.А. Определитель пресноводных беспозвоночных Европейской части СССР / Л. А. Кутикова.– Ленинград: Гидрометеиздат, 1977. – 511 с.
7. Липин, А. Н. Пресные воды и их жизнь / А. Н. Липин. – Москва: АН СССР, 1950. – 347 с.
8. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах // Зообентос и его продукция. – Ленинград: АН СССР ЗИН, 1982. – 33 с.
9. Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России / под ред. В. Р. Алексеева, С. Я. Цалолихина: в 2 т. – Москва: Товарищество научных изданий КМК, 2010. – Т.1. Зоопланктон. - 495 с.
10. Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий / под ред. С. Я. Цалолихина: в 6 т. – Санкт-Петербург: Наука, 1994.– 2004. – Т. 1-6.
11. Матвеева, Е.П. Характеристика зоопланктонного сообщества трансграничной реки Неман на территории Калининградской области / Е. П. Матвеева, Е. А. Масюткина, М. Н. Шibaева // Известия КГТУ. – Калининград. – 2012.– №24. – С. 103-110.
12. Матвеева, Е. П. Характеристика фонового состояния бентосного сообщества в зоне возможного воздействия Балтийской АЭС / Е. П. Матвеева, Е. А. Масюткина, М. Н. Шibaева // Известия КГТУ. – Калининград. – 2011.– №22. – С. 190-197.
13. Коблицкая, А. Ф. Определитель молоди рыб дельты Волги / А. Ф. Коблицкая. – Москва: Наука, 1966. – 166 с.
14. Методические указания по сбору и обработке ихтиологического материала в малых озерах. – Ленинград: ГосНИОРХ, 1986. – 65 с.
15. Пахоруков, А. М. Изучение распределения молоди рыб в водохранилищах и озерах / А. М. Пахоруков. – Москва: Наука, 1980. – 64 с.
16. Сечин, Ю. Т. Методические указания по оценке численности рыб в пресноводных водоемах / Ю. Т. Сечин. – Москва: ВНИИПРХ, 1990. – 50 с.
17. Шibaев, С. В. Метод анализа ихтиоценозов малых озер Калининградской области на основе контрольных обловов сетных орудий лова / С. В. Шibaев, А. В. Соколов // Труды ВНИРО, 2013. – Т. 151. – С. 158-164.
18. Жуков, П. И. Рыбы Белоруссии / П. И. Жуков. – Минск: Ураджай, 1965. – 416 с.
19. Кесминас, В. Река Неман. Ихтиофауна // Рыбохозяйственный кадастр трансграничных водоемов России (Калининградская область) и Литвы / В. Кесминас, Р. Репечка, К. В. Тылик. – Калининград: Изд-во «ИП Мишуткина», 2008. – С. 123-126.
20. Тылик, К.В. Рыбы трансграничных водоемов России и Литвы / К. В. Тылик. – Калининград: Изд-во ФГОУ ВПО «КГТУ», 2007. – 128 с.

21. Kesminas V., Virbickas T., Fish species diversity and productivity. Hydrobiological research in the Baltic countries (Rivers and lakes, part 1). Vilnius, 1999, p. - 66-103.
22. Gaigalas K., Gerulaitis A., Krotas R., Maniukas J. Fish and fishery // Nemunas River, 2. -Vilnius, 1978. - 200 p.
23. Рыбохозяйственный кадастр трансграничных водоемов России (Калининградская область) и Литвы / С.В. Шибяев [и др.].– Калининград: Изд-во «ИП Мшуткина», 2008. – 200 с.

REFERENCES

1. Shibaev S. V., Sokolov A. V., Luneva E. V. Prognoz vozdeystvija Baltijskoj AJeS na rybnye zapasy vodoemov Kaliningradskoj oblasti, problemy i reshenija [Forecast of impact of the Baltic NPP on fish resources of the water bodies of the Kaliningrad region, issues and options]. *Trudy pervoj nauchno-prakticheskoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem «Jekologicheskaja bezopasnost' AJeS», posvjashhennoj 60-letiju atomnoj jenergetiki. Kaliningrad, 16–17 oktjabrja 2014 g.* [Proceedings of the 1st scientific conference with international engagement “Environmental safety of NPP”, deicated to the 60th anniversary of nuclear power engineering. Kaliningrad, 16-17 October 2014]. Kaliningrad, Izd-vo “Aksios”, 2014, pp. 160-169.
2. Luneva E. V., Shibaev S. V., Sokolov A. V. Problemy organizacii monitoringa vodnyh bioresursov v zone vozmozhnogo vozdeystvija Baltijskoj AJeS [Problems of monitoring water bioresources in the area of potential impact of the Baltic NPP]. *Trudy vtoroj nauchno-prakticheskoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem "Jekologicheskaja bezopasnost' AJeS", posvjashhennoj 70-letiju atomnoj otrasli Rossii* [Proceedings of the 2nd scientific conference with international engagement “Environmental safety of NPP”, deicated to the 70th anniversary of nuclear power engineering]. Kaliningrad, Izd-vo "Aksios", 2015, pp. 178-182.
3. Genkal S. I., Miheeva T. M. Materialy k flore diatomovyh vodoroslej (Centrophyceae) r. Neman i ego pritokov [Materials on diatoms (Centrophyceae) of the river Neman and its inflows]. *Botanicheskij zhurnal*, 2006, vol. 91, no. 3, pp. 420-424.
4. Hursevich G. K., Svirid A. A. K revizii diatomovyh vodoroslej semejstv Thalassiosiraceae i Stephanodiscaceae iz vodoemov Belarusi [On the revision of diatoms Thalassiosiraceae and Stephanodiscaceae in the Belarusian]. *Vesci BDPU, Seryja 3*, 2013, no. 3, pp. 3–9.
5. Kutikova L. A. *Kolovratki fauny SSSR (Rotatoria)* [Rotifers of the USSAR fauna (Rotatoria)]. Leningrad, Nauka, 1970, 744 p.
6. Kutikova L. A. *Opredelitel' presnovodnyh bespozvonochnyh Evropejskoj chasti SSSR* [Identification guide of freshwater invertebrates of the European part of the USSR]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1977, 511 p.
7. Lipin A. N. *Presnye vody i ih zhizn'* [Freath water and live in it]. Moscow, AN SSSR, 1950, 347 p.
8. *Metodicheskie rekomendacii po sboru i obrabotke materialov pri gidrobiologicheskikh issledovanijah na presnovodnyh vodoemah* [Guidelines on collection and handling of materials in hydrobiological research in fresh waters]. Zoobentos i ego produkcija. Leningrad, AN SSSR ZIN, 1982, 33 p.

9. *Opredelitel' zooplanktona i zoobentosa presnyh vod Evropejskoj Rossii. T. 1. Zooplankton* [Identification guide of zooplankton and zoobenthos in fresh waters of the European part of Russia. Vol. 1. Zoological plankton]. Moscow, Tovarishestvo nauchnyh izdaniy KMK, 2010, 495 p.

10. *Opredelitel' presnovodnyh bespozvonochnyh Rossii i sopredel'nyh territorij* [Identification guide of freshwater invertebrates of Russia and cross-border regions]. Saint-Petersburg, Nauka, vol. 1-6, pp. 1994-2004.

11. Matveeva E. P., Masjutkina E. A., Shibaeva M. N. Harakteristika zooplanktonnogo soobshhestva transgranichnoj reki Neman na territorii Kaliningradskoj oblasti [Characteristics of zooplanktonic community of the cross-border river Neman in the Kaliningrad region]. *Izvestija KGTU*, Kaliningrad, 2012, no. 24, pp. 103-110.

12. Matveeva E. P., Masjutkina E. A., Shibaeva M. N. Harakteristika fonovogo sostojanija bentosnogo soobshhestva v zone vozmozhnogo vozdejstvija Baltijskoj AJeS [Background conditions of the benthos community in the area of potential impact of the Baltic NPP]. *Izvestija KGTU*, Kaliningrad, 2011., no. 22, pp. 190-197.

13. Koblickaja A. F. *Opredelitel' molodi ryb del'ty Volgi* [Identification guide of fish fry of the Volga delta]. Moscow, Nauka, 1966, 166 p.

14. *Metodicheskie ukazaniya po sboru i obrabotke ihtiologicheskogo materiala v malyh ozerah* [Guidelines on collection and handling of ichthyological material in small lakes]. Leningrad, GosNIORH, 1986, 65 p.

15. Pahorukov A. M. *Izuchenie raspredelenija molodi ryb v vodohranilishhah i ozerah* [Study of distribution of fish fry in water reservoirs and lakes]. Moscow, Nauka, 1980, 64 p.

16. Sechin Ju. T. *Metodicheskie ukazaniya po ocenke chislennosti ryb v presnovodnyh vodoemah* [Guidelines on estimation of fish abundance in fresh water bodies]. Moscow, VNIIPRH, 1990, 50 p.

17. Shibaev S. V., Sokolov A. V. Metod analiza ihtiocenozov malyh ozer Kaliningradskoj oblasti na osnove kontrol'nyh oblovov setnyh orudij lova [Method of analysis of ichthyocenosis in small lakes of the Kaliningrad region on the based on test seining of netting gears]. *Trudy VNIRO*, 2013, vol. 151, pp. 158-164.

18. Zhukov P. I. *Ryby Belorussii* [Fish of Byelorussia]. Minsk, Uradzhaj, 1965, 416 p.

19. Kesminas V., Repechka R., Tylik K. V. *Reka Neman. Ihtiofauna. Rybohozjajstvennyj kadastr transgranichnyh vodoemov Rossii (Kaliningradskaja oblast') i Litvy* [The river Neman. Ichthyofauna. Fishery inventory of the cross-border reservoirs of Russia (the Kaliningrad region) and Lithuania]. Kaliningrad, Izd-vo "IP Mishutkina", 2008, pp. 123-126.

20. Tylik K. V. *Ryby transgranichnyh vodoemov Rossii i Litvy* [Types of cross-border water bodies of Russia and Lithuania]. Kaliningrad, Izd-vo FGOU VPO KGTU, 2007, 128 p.

21. Kesminas V., Virbickas T., Fish species diversity and productivity. Hydrobiological research in the Baltic countries (Rivers and lakes, part 1). Vilnius, 1999, pp. 66-103.

22. Gaigalas K., Gerulaitis A., Krotas R., Maniukas J. Fish and fishery. Nemunas River, 2. Vilnius, 1978, 200 p.

23. Shibaev S. V., Hlopnikov M. M., Sokolov A. V. i dr. *Rybohozjajstvennyj kadastr transgranichnyh vodoemov Rossii (Kaliningradskaja oblast') i Litvy* [Fishery

inventory of the cross-border reservoirs of Russia (the Kaliningrad region) and Lithuania]. Kaliningrad, Izd-vo "IP Mshutkina", 2008, 200 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Шибает Сергей Вадимович – Калининградский государственный технический университет; доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой «Ихтиология и экология»; E-mail: 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 кафедры «Ихтиология и экология»; E-mail: sokolov@klgtu.ru

Sokolov Andrej Vladimirovich – Kaliningrad State Technical University; PhD, Associate Professor of the Department of Ichthyology and Ecology; E-mail: sokolov@klgtu.ru

Шибаета Мария Николаевна – Калининградский государственный технический университет; кандидат биологических наук, доцент кафедры «Ихтиология и экология»; E-mail: msh@klgtu.ru

Shibaeva Marija Nikolaevna – Kaliningrad State Technical University; PhD, Associate Professor of the Department of Ichthyology and Ecology; E-mail: msh@klgtu.ru

Лунева Елена Владимировна – Филиал АО «Концерн Росэнергоатом» по реализации капитальных проектов; главный специалист Управления разрешительной деятельности; E-mail: Luneva100@yandex.ru

Luneva Elena Vladimirovna – The branch of JSC "Concern Rosenergoatom" on implementation on capital projects; chief specialist of permitting activities; E-mail: Luneva100@yandex.ru

Новожилов Олег Анатольевич – Калининградский государственный технический университет; кандидат биологических наук, доцент кафедры «Ихтиология и экология»; E-mail: ecology@klgtu.ru

Novozhilov Oleg Anatolevich – Kaliningrad State Technical University; PhD, Associate Professor of the Department of Ichthyology and Ecology; E-mail: ecology@klgtu.ru

Масюткина Елена Андреевна – Калининградский государственный технический университет; ассистент кафедры «Ихтиология и экология»; E-mail: masyutkinaea@gmail.com

Masyutkina Elena Andreevna – Kaliningrad State Technical University; Assistant of the Department of Ichthyology and Ecology; E-mail: masyutkinaea@gmail.com

Макушенко Мария Евгеньевна – Санкт-Петербургское отделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института геоэкологии им. Е.М.Сергеева Российской академии наук (СПБО ИГЭ РАН); E-mail: maria@hgepro.ru

Makushenko Mariia Evgenievna – E.M. Sergeev Institute of Environmental Geosciences St. Petersburg Division; E-mail: maria@hgepro.ru

Ланге Евгения Кирилловна – Санкт-Петербургское отделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института геоэкологии им. Е.М.Сергеева Российской академии наук (СПБО ИГЭ РАН); E-mail: evlange@gmail.com

Lange Evgenia Kirillovna – E.M. Sergeev Institute of Environmental Geosciences St. Petersburg Division; E-mail: evlange@gmail.com

**ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ ПИЩЕВЫХ
ПРОИЗВОДСТВ**

УДК 664.9.022/62-503.55

СПОСОБ И АЛГОРИТМ ОРИЕНТИРОВАНИЯ РЫБЫ
НА ОСНОВЕ МЕХАТРОНИКИ

О. В. Агеев, А. Е. Ерыванов, И. А. Медянский, Н. В. Самойлова

METHOD AND ALGORITHM FOR ORIENTATION OF FISH
BASED ON MECHATRONICS

O. V. Ageev, A. E. Eryvanov, I. A. Medjansky, N. V. Samojlova

Показана актуальность применения фотометрического способа для определения ориентации рыбы головой в одну сторону на конвейере. Предложен способ ориентирования рыбы головой в одну сторону с использованием бесконтактного метода измерения, разработана структура мехатронного устройства для ориентирования рыбы головой в одном направлении. Приведены математические модели для расчета необходимой мощности лазерного излучения при облучении рыбы, имеющей диффузно рассеивающую поверхность. Описан оптико-электронный измерительный прибор на основе лазерной локации. Приведена структура мехатронного устройства, описан принцип его работы. Разработан алгоритм для ориентирования рыбы головой в одну сторону. Проведены экспериментальные исследования устройства для ее ориентирования. Измерены уровни лазерного излучения, отраженного от приголовной и хвостовой частей тушек. Изложены результаты экспериментов по измерению отраженного лазерного излучения на сардине атлантической, сардинелле, сельди и скумбрии. В результате работы программного обеспечения вычислительного блока уверенно определяется положение головы рыбы на конвейере. Ширина конвейера составляет 400, длина 1000 мм, скорость конвейера 0.3 м/с, производительность 50 рыб/мин. Стоимость измерительного прибора не превышает 40000 руб. Устройство может применяться в различных технологических линиях пищевых и рыбоконсервных производств. Построение устройства для ориентирования рыбы на основе мехатроники существенно расширяет универсальность оборудования по видам и размерам сырья, увеличивает гибкость рыбообрабатывающего производства в целом. В результате разработки, отладки и испытаний мехатронного устройства для ориентирования рыбы создан задел научных, инженерных, технологических путей и решений для повышения эффективности рыбоперерабатывающих машин. Повышается гибкость и конкурентоспособность производства, сокращается количество персонала.

ориентирование рыбы, мехатроника, морфометрия, алгоритм, микроЭВМ, обработка сигнала, математическая модель, спекл-структура, лазерный локатор

The article shows applicability of a photometric for finding one way orientation of fish heads upon a conveyor. The article presents a method for one way orientation of fish heads using non-contact measuring method as well as structure of a mechatronic

device for one way orientation of fish heads. Mathematic models are offered for calculation of the necessary power of laser radiation during exposure of fish that has a diffusing face. Optoelectronic measuring device is described based on laser location. The structure of the mechatronic device is offered. Its operation is described. Algorithm is developed for one way orientation of fish heads. Experimental tests of the device for one way orientation of fish have been conducted. Levels of laser radiation reflected from head and tail parts of fish have been measured. Experimental results of the measurements of reflected laser radiation on sardine, sardinella, herring and mackerel are presented. Position of fish head is easily determined on a conveyor by means of computer software. Conveyor width is 400 mm. Conveyor length is 1000 mm. Conveyor speed is 0,3 m/s. Conveyor capacity is 50 f/s. Cost of the measuring device does not exceed 40000 rubles. This device can be used for different process lines of food and fish canning productions. The device for fish orientation based on mechatronics significantly expands versatility of the equipment and increases flexibility of fish processing production at large. As a result of development, tuning and testing of the mechatronic device for fish orientation, a groundwork has been laid for research, engineering, technological ways and solutions in order to increase efficiency of fish processing machines. Production flexibility and competitiveness increase while staff number reduces.

orientation of fish, mechatronics, morphometry, algorithm, microcomputer, signal processing, mathematical model, speckle, laser locator

ВВЕДЕНИЕ

Работа рыборазделочного оборудования предполагает предварительное ориентирование рыбы по определенному признаку, а также правильную укладку тушек на операционный конвейер. В общем случае, загрузочный агрегат выполняет следующие технологические операции: поштучное разделение тушек, ориентирование рыбы головой в одном направлении, своевременная поштучная подача ориентированных тушек на операционный конвейер рыборазделочной машины. Перечисленные действия выполняются соответствующими устройствами, чаще всего входящими в состав загрузочного агрегата [1].

В настоящее время повышение производительности рыбообработывающих производств сдерживается отсутствием надежных устройств для ориентирования сырья (ориентаторов) перед загрузкой в рыборазделочные машины. В связи с этим не удастся осуществить полную механизацию обработки рыбы и, как следствие, невозможно отказаться от утомительного ручного труда на рыбоперерабатывающих производствах.

Основным фактором, определяющим надежность и стабильность работы рыборазделочной машины, является операция предварительного ориентирования рыбы головой в одном направлении. От правильности выполнения указанной операции зависит общая производительность рыбообработывающей линии и качество разделанной рыбы. Для ее ориентирования применяются следующие основные способы [2]:

- на горизонтальной колеблющейся плоскости;
- на наклонной плоскости;
- на планках, движущихся в противофазе;

– за счет разделения потока тушек при помощи механического захвата головы или хвоста каждого экземпляра.

Существующие устройства для ориентирования рыбы головой в одном направлении, реализующие вышеперечисленные способы, зачастую допускают неправильное ориентирование тушек – дезориентацию. В связи с этим возрастает вероятность заклинивания рабочих органов рыбоборозделочных машин из-за ошибочно ориентированной рыбы, а также возможен аварийный останов всей рыбообработывающей линии. Таким образом, надежность операции ориентирования рыбы головой в одном направлении оказывает существенное влияние на стабильность работы рыбоборозделочных машин и, в то же время, остается невысокой в существующих устройствах для ориентирования.

Наряду с этим, в ориентирующих устройствах, основанных на вышеуказанных способах, рыба повреждается при захвате и при осыпании из захватов. Ее движение по вибрирующим рабочим органам приводит к утере части чешуи и сока, а консистенция тушек ухудшается.

Принципы работы известных ориентаторов основаны главным образом на использовании ее частных свойств – размеров, толщины, сечения и др. Вместе с тем использование более общих свойств рыбы существенно улучшило бы универсальность устройств. Так, например, общим свойством промысловых видов рыб является существенная асимметричность клиновидного бокового профиля, не зависящая от размеров тушки.

С учетом вышеизложенного, требуются способ, алгоритм и реализующее их устройство, которые обеспечат надежное выполнение операции ориентирования рыбы с высокой производительностью и универсальностью без повреждения ценного рыбного сырья.

МЕТОДЫ

Как показывает проведенный анализ [3, 4], для определения положения рыбы целесообразно использовать методы и средства мехатроники [5], а также лазерные локационные системы [6].

Авторами разработан опытный оптико-электронный прибор для сбора данных на основе средств лазерной локации [5]. При этом решаются следующие задачи: автоматическое измерение параметров сырья и продукции прямым методом; сбор данных для активного контроля технологического процесса; обеспечение точности настройки рабочих органов оборудования.

В результате проведенных исследований [3] установлено, что в устройстве для ориентирования целесообразно применять фотометрический метод измерения морфометрических параметров рыбы. Условиям применения на рыбоперерабатывающих производствах наиболее соответствует активная система лазерной локации с точечной проекцией луча. Точность и помехоустойчивость повышаются при частотной модуляции лазерного излучения, хотя это и связано с усложнением и удорожанием практической конструкции локатора.

Применение лазера в качестве источника света позволяет получить световое пятно (световой зонд) малого диаметра и, тем самым, исследовать достаточно малые участки и тонкие структуры. Техническая реализация лазерного локатора, основанного на фотометрическом методе, состоит в том, что исследуемый объект подсвечивается узким лучом лазера. Луч с помощью оптической системы форми-

руется в пятно малого диаметра, которое линейно перемещается вдоль поверхности объекта или объект перемещается относительно луча лазера. При этом определяется коэффициент отражения диффузно рассеивающей поверхности, который при помощи конкретных решений может быть найден во многих точках объекта.

Распространение лазерного излучения сопряжено с потерями вследствие естественного расхождения луча, ослабления сигнала в отдельных элементах лазерного локатора, ослабления и поглощения объектом локации. Потери и ослабления происходят в системе «передающее устройство – объект – приёмное устройство» [7, 8].

Подсвечивающее излучение характеризуется оценкой $\Phi(p)$ – интенсивностью освещения в точке объекта, соотнесённой к единице телесного угла излучения. Тогда при равномерном освещении круговой апертуры интенсивность на единицу телесного угла в направлении на точку P в плоскости освещения может быть выражена через функцию Бесселя первого порядка J_1 :

$$\Phi(p) = \left[\frac{2J_1(\pi d_H \alpha / \lambda_H)}{\pi d_H \alpha / \lambda_H} \right]^2 \Phi(0), \quad 1)$$

где d_H – диаметр апертуры передающего устройства (излучателя); λ_H – длина волны излучателя; α – половинный угол между линией, которая соединяет центр апертуры передающего устройства с точкой объекта, а также между линией, которая соединяет центр апертуры передающего устройства с оптической осью; $\Phi(0) = \pi d_H^2 P / (4\lambda_H^2)$ – интенсивность освещённости в центре дифракционной картины на единицу телесного угла.

Мощность излучения на поверхности объекта определяется путём пространственного интегрирования функции Бесселя первого порядка:

$$P(\alpha') = \Phi(0) \int_0^\pi \int_0^\alpha \left[\frac{2J_1(\pi d_H \alpha / \lambda_H)}{\pi d_H \alpha / \lambda_H} \right]^2 \alpha d\alpha d\psi. \quad 2)$$

Как показали исследования, рыбное сырьё имеет поверхность с диффузным рассеянием. Диффузное рассеянное поле формируется на поверхности измеряемого объекта отдельными блестящими точками (спеклами). Блестящие точки – это такие точки, которые вместе с прилежащими к ним небольшими окрестностями отражают падающее на них излучение в противоположном направлении. Точки располагаются на поверхности объекта случайным образом, независимо друг от друга, имеют случайные независимые коэффициенты отражения. Образованная при этом так называемая спекл-структура является результатом взаимной интерференции когерентных волн, имеющих случайные сдвиги фаз и случайные наборы интенсивностей. При исследовании поверхности спекл-структура содержит информацию о микрорельефе и форме объекта, о приповерхностном слое, о распределении рассеивателей в нём.

Диффузное отражение характеризуется тем, что индикатриса отраженного излучения не зависит от угла падения, а зависит от величины потока. Математическая модель процесса регистрации отраженного от объекта излучения имеет следующий вид:

$$F = \cos(\gamma) \frac{\exp\left(-\frac{d^2}{(\varphi H)^2}\right)}{2\sqrt{\pi}} \cdot \frac{\rho r_{np} S_{np}}{\varphi H^3} \cdot \exp(-2\mu H) - \frac{\Phi_{np}}{W_0}, \quad (3)$$

где F - поток отраженного излучения на входной апертуре приёмника; γ - угол наклона плоскости падения зондирующего луча по отношению к вертикали; d - диаметр зондирующего луча; H - расстояние до объекта; ρ - полусферический коэффициент диффузного отражения поверхности объекта; r_{np} - радиус поперечного сечения объекта; S_{np} - площадь входного зрачка приёмника; φ - угол поля зрения приёмника; μ - коэффициент поглощения среды; Φ_{np} - порог чувствительности приёмника; W_0 - максимальное значение потока излучения источника.

Из выражения (3) очевидно, что основной вклад в принимаемый поток излучения вносят следующие группы параметров:

- параметры источника излучения и приёмника $\Phi_{np}, W_0, S_{np}, \varphi, d$;
- параметры среды μ , сильно зависящие от явлений поглощения и рассеяния лазерного излучения;
- параметры измеряемого объекта ρ, r_{np} ;
- условия сканирования H, γ .

СПОСОБ И АЛГОРИТМ ОРИЕНТИРОВАНИЯ РЫБЫ

Рыба основных промысловых видов характеризуется тем, что форма ее тела имеет характерную клиновидность в сторону хвоста. При одновременном облучении приголовной и хвостовой частей тушки световыми и ультразвуковыми волнами такая асимметричность формы обуславливает различные углы отражения падающих волн. Это приводит к заметной разнице уровней излучения, отраженного приголовной и хвостовой частями, что фиксируется измерительными приборами. Вычисление разности уровней отраженных сигналов позволяет микроЭВМ выявить характерную асимметричность геометрической формы каждого экземпляра. Этот признак дает возможность достоверно определить положение головы и хвоста для принятия точного решения об ориентировании рыбы.

Лазерное излучение характеризуется высокой помехоустойчивостью. Применение лазерных источников даже с невысокой интенсивностью луча и узким пучком позволяет уверенно выявлять асимметрию тела рыбы в условиях воздействия капель воды и тумана.

Вместе с тем применение наряду с лазерным излучением ультразвуковых волн разрешает сделать измерительный прибор нечувствительным к налипанию влажной чешуи и непрозрачных частиц покровных тканей, поскольку ультразвуковое излучение практически беспрепятственно проходит через них.

Таким образом, при одновременном использовании светового излучения наряду с ультразвуковыми волнами вычисляются две независимые разности уровней отраженных сигналов, что существенно повышает достоверность определения асимметричности тела рыбы в условиях воздействия неблагоприятных производственных факторов.

На рис. 1 показана схема экспериментальной установки для ориентирования рыбы головой в одну сторону (вид спереди); на рис. 2 – схема той же установки (вид сбоку); на рис. 3 – общий вид лазерного локаатора. На схемах приняты следующие обозначения: 1 – лоток; 2 – ролик; 3 – шарнир; 4 – конвейерная цепь;

5, 6 – звездочка; 7, 8 – направляющая; 9, 10 – копир; 11, 12 – упорный ролик; 13, 14 – подъемное приспособление; 15, 16 – лазерный локатор; 17, 18 – лазерный источник; 19, 20 – ультразвуковой источник; 21, 22 – фотоприемник; 23, 24 – ультразвуковой приемник; 25, 26 – модулятор; 27, 28 – демодулятор; 29 – вычислительный блок (микроЭВМ); 30 – рыба.

Рыба 30 находится в лотках 1, перемещаемых конвейерной цепью 4. Ролики 2 лотков 1 катятся по направляющим 7 и 8. Мехатронные подъемные приспособления 13, 14 находятся в поднятом состоянии и поддерживают копиры 9, 10 посредством упорных роликов 11, 12, вследствие чего они подняты, а их верхние кромки находятся на уровне направляющих 7, 8. Вычислительный блок 29 передает в модуляторы 25, 26 команды, задающие различные частоты модуляции лазерного и ультразвукового излучений лазерных локаторов 15, 16. Модулятор 25 модулирует колебания лазерного 17 и ультразвукового 19 источников, а модулятор 26 модулирует колебания лазерного 18 и ультразвукового 20 источников.

При прохождении лотка 1 с рыбой 30 между измерительными приборами 15, 16 на тушку воздействуют лазерные лучи, испускаемые лазерными источниками 17, 18, а также ультразвуковые колебания, испускаемые ультразвуковыми источниками 19, 20. При падении лазерных и ультразвуковых лучей на поверхность тела рыбы происходит их частичное отражение, условия которого определяются асимметричной формой рыбы.

Поскольку тело рыбы имеет выраженную клиновидность в сторону хвоста, уровни лазерных и ультразвуковых колебаний, отраженных от приголовной и хвостовых частей рыбы, существенно отличаются. Лазерный свет и ультразвуковые волны, отражаясь от поверхности рыбы 30, падают на фото- 21, 22 и ультразвуковые 23, 24 приемники. Сигналы об уровнях облучения с фото- 21 и ультразвукового 23 приемников – в демодулятор 27, а сигналы с фото- 22 и ультразвукового 24 приемников поступают в демодулятор 28. Таким образом, измерительный прибор 15 воспринимает только отраженные волны, которые испускают лазерный 17 и ультразвуковой 19 источники, а измерительный прибор 16 воспринимает только отраженные волны, которые испускают лазерный 18 и ультразвуковой 20 источники. Благодаря этому полностью исключены взаимные помехи между измерительными приборами 15 и 16. Если рыба 30 ориентирована хвостом в сторону измерительного прибора 16, то уровни принятых измерительным прибором 16 отраженных лазерных и ультразвуковых сигналов выше, по сравнению с уровнями сигналов, принятыми измерительным прибором 15.

Демодулированные сигналы поступают из демодуляторов 27, 28 в вычислительный блок 29, который рассчитывает разность между уровнями принятых отраженных сигналов для каждого вида излучения. На основании этой информации вычислительный блок 29 передает команду на одно из подъемных приспособлений. Если рыба 30 ориентирована головой в сторону измерительного прибора 15 (рис. 1), то вычислительный блок 29 подает команду на подъемное приспособление 13.

Подъемное приспособление 13 опускает упорный ролик 11, в результате чего под собственным весом опускается копир 9. Поскольку ролик 2 соответствующего лотка 1 к этому моменту катится по поверхности копира 9, то ролик 2 сходит вниз с направляющей 7 на опущенный копир 9, а лоток 1 поворачивается на шарнире 3 и опрокидывается в сторону опущенного подъемного приспособле-

ния 13. Рыба 30 соскальзывает из лотка 1 головой вперед с одной стороны устройства и отводится на конвейер рыбообделочной машины. После схода тушки вычислительный блок 29 подает команду на подъемное приспособление 13, которое поднимает упорный ролик 11, в результате чего копир 9 также поднимается, а пустой лоток 1 во время движения ролика 2 по копиру 9 возвращается в горизонтальное положение.

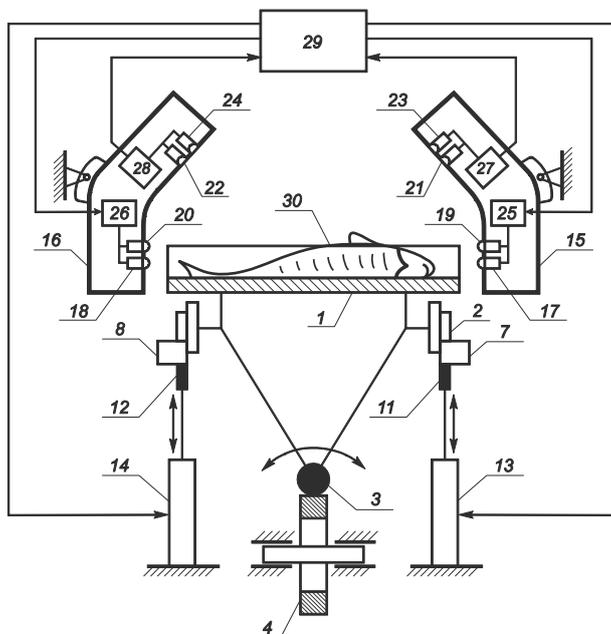


Рис. 1. Схема мехатронной установки для ориентирования рыбы (вид спереди)
 Fig. 1. Layout of the mechatronic device for orientation of fish (front view)

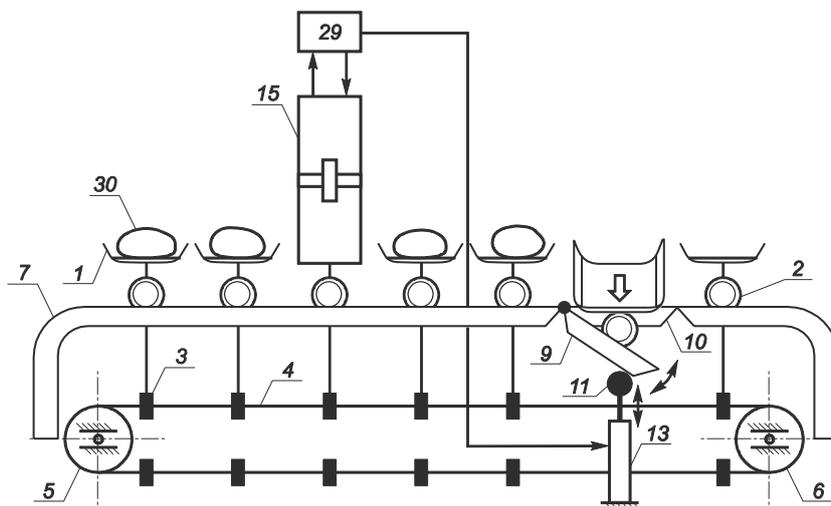


Рис. 2. Схема мехатронной установки для ориентирования рыбы (вид сбоку)
 Fig. 2. Layout of the mechatronic device for orientation of fish (side view)



Рис. 3. Общий вид лазерного локатора
Fig. 3. Overall view of the laser locator

На рис. 4 приведена схема алгоритма измерения уровней отраженного от рыбы лазерного излучения фотоприемниками и их обработки в вычислительном блоке для определения ориентации рыбы головой в одну сторону.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Проведены экспериментальные исследования опико-электронного устройства для ориентирования рыбы головой в одну сторону (рис. 5-8). Измерены уровни лазерного излучения, отраженного от приголовной и хвостовой частей тушек при их перемещении конвейером между измерительными приборами. В результате работы программного обеспечения вычислительного блока по вышеприведенному алгоритму уверенно определяется положение головы рыбы, а также обеспечивается безошибочное ориентирование рыбы головой в одну сторону.

Ширина конвейера составляет 400, длина 1000 мм. Скорость конвейера 0,3 м/с, производительность 50 рыб/мин. Измеряемые параметры для различных видов рыб имеют нижеследующие значения (рис. 5-8).

На рис. 5 приведены результаты измерений отраженного лазерного излучения на сардине атлантической, на рис. 6 – результаты измерений отраженного лазерного излучения на сардинелле, на рис. 7 – на сельди, на рис. 8 – на скумбрии.

Сардина атлантическая. Максимальная длина тушки $L_{\text{макс}} = 240$ мм; минимальная длина $L_{\text{мин}} = 200$ мм; средняя длина $L_{\text{ср}} = 220$ мм; максимальная толщина в приголовной части $B_{1\text{макс}} = 31$ мм; минимальная толщина в приголовной части $B_{1\text{мин}} = 25,8$ мм; средняя толщина в приголовной части $B_{1\text{ср}} = 28,4$ мм; максимальная толщина в хвостовой части $B_{2\text{макс}} = 22,2$ мм; минимальная толщина в хвостовой части $B_{2\text{мин}} = 18,5$ мм; средняя толщина в хвостовой части $B_{2\text{ср}} = 20,4$ мм; среднее напряжение на выходе фотоприемника со стороны приголовной части $U_1 = 0,25$ В; среднее напряжение на выходе фотоприемника со стороны хвостовой части $U_2 = 0,35$ В.

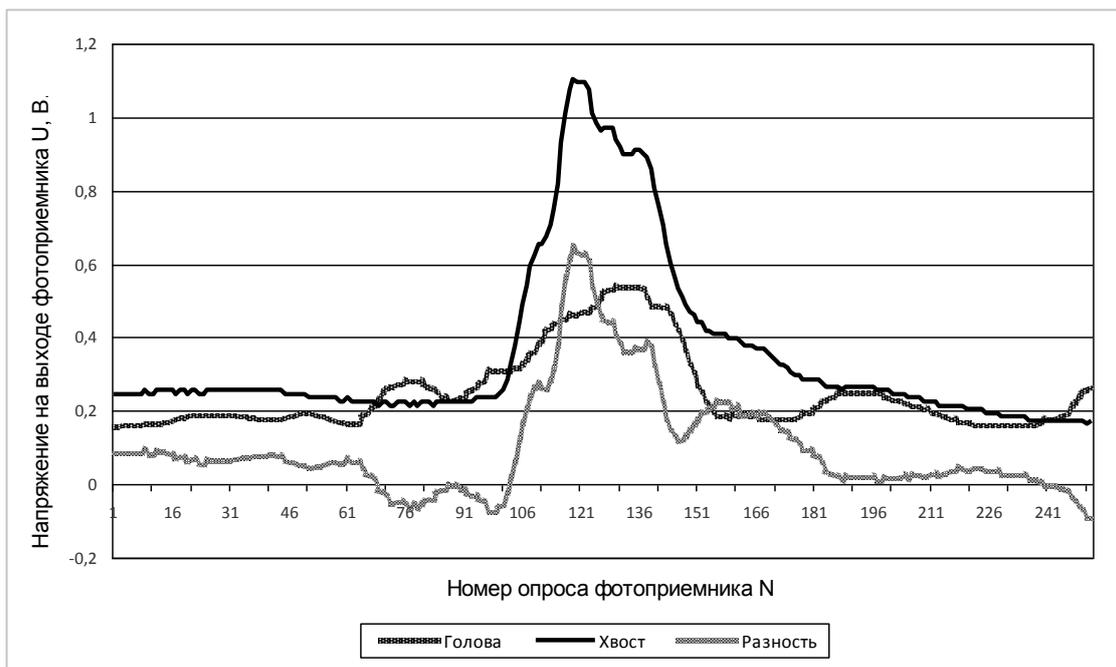


Рис. 5. Результаты измерений уровней отраженного лазерного излучения на сардине атлантической
Fig. 5. Measurement results of the levels of laser emission on the surface of pilchard sardine

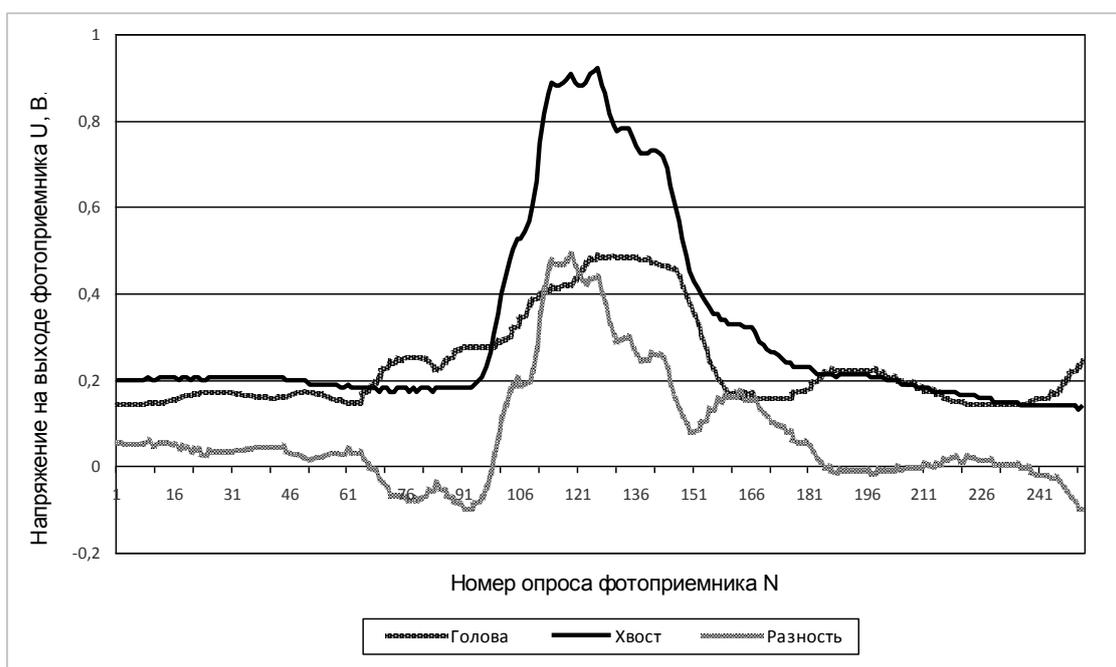


Рис. 6. Результаты измерений уровней лазерного излучения на сардинелле
Fig. 6. Measurement results of the levels of laser emission on the surface of sardinella



Рис. 7. Результаты измерений уровней лазерного излучения на сельди
Fig. 7. Measurement results of the levels of laser emission on the surface of herring

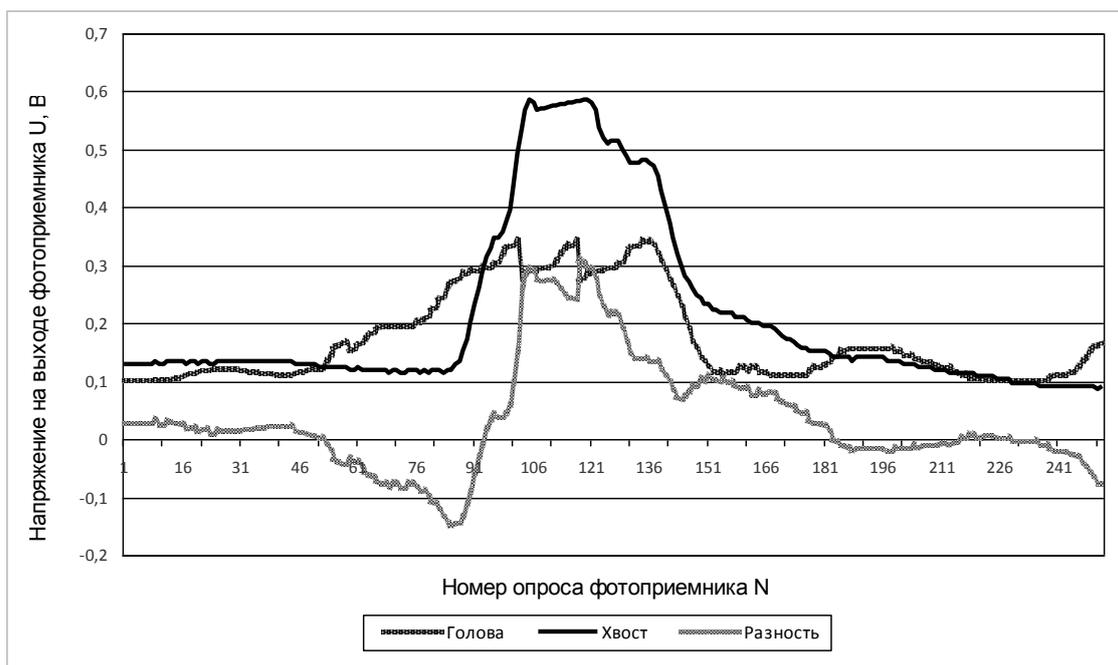


Рис. 8. Результаты измерений уровней лазерного излучения на скумбрии
Fig. 8. Measurement results of the levels of laser emission on the surface of mackerel

Сардинелла. $L_{\text{макс}} = 230$ мм; $L_{\text{мин}} = 190$ мм; $L_{\text{ср}} = 210$ мм; $V_{1\text{макс}} = 34,7$ мм; $V_{1\text{мин}} = 28,7$ мм; $V_{1\text{ср}} = 31,7$ мм; $V_{2\text{макс}} = 27,8$ мм; $V_{2\text{мин}} = 23$ мм; $V_{2\text{ср}} = 25,4$ мм; $U_1 = 0,24$ В; $U_2 = 0,31$ В.

Сельдь. $L_{\text{макс}} = 220$ мм; $L_{\text{мин}} = 190$ мм; $L_{\text{ср}} = 205$ мм; $V_{1\text{макс}} = 23$ мм; $V_{1\text{мин}} = 19,8$ мм; $V_{1\text{ср}} = 21,4$ мм; $V_{2\text{макс}} = 19,1$ мм; $V_{2\text{мин}} = 16,5$ мм; $V_{2\text{ср}} = 17,8$ мм; $U_1 = 0,32$ В; $U_2 = 0,4$ В.

Скумбрия. $L_{\text{макс}} = 400$ мм; $L_{\text{мин}} = 350$ мм; $L_{\text{ср}} = 375$ мм; $V_{1\text{макс}} = 48$ мм; $V_{1\text{мин}} = 42$ мм; $V_{1\text{ср}} = 45$ мм; $V_{2\text{макс}} = 41,2$ мм; $V_{2\text{мин}} = 36,1$ мм; $V_{2\text{ср}} = 38,7$ мм; $U_1 = 0,17$ В; $U_2 = 0,21$ В.

ВЫВОДЫ

1. Показана актуальность применения фотометрического способа для определения ориентации рыбы головой в одну сторону на конвейере. Предложен оптико-электронный измерительный прибор на основе лазерной локации.

2. Приведены математические модели для расчета необходимой мощности лазерного излучения при облучении рыбы, имеющей диффузно рассеивающую поверхность.

3. Предложен способ ориентирования рыбы головой в одну сторону с использованием бесконтактного метода измерения, разработана структура мехатронного устройства для ориентирования рыбы головой в одном направлении. Описана структура устройства, изложен принцип его работы.

4. Разработан алгоритм для определения ориентации рыбы головой в одну сторону. В результате разработки, отладки, испытаний и обеспечения автоматической работы мехатронного устройства для ориентирования рыбы создан задел научных, инженерных, технологических путей и решений для повышения эффективности работы рыбоперерабатывающих машин.

5. Проведены экспериментальные исследования устройства для ориентирования рыбы головой в одну сторону. Измерены уровни лазерного излучения, отраженного от приголовной и хвостовой частей рыб различных видов. В результате работы программного обеспечения микроЭВМ по алгоритму уверенно определяется положение головы рыбы.

6. Построение устройства для ориентирования рыбы на основе мехатроники существенно расширяет универсальность оборудования по видам и размерам сырья, увеличивает гибкость рыбообработывающего производства в целом.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Агеев, О. В. Совершенствование технологического оборудования для первичной обработки рыбы: опыт, проблематика, системный подход: монография / О. В. Агеев, Ю. А. Фатыхов. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2015. – 261 с.

2. Агеев, О. В. Мехатронное устройство для резки рыбного филе с параллельной кинематикой / О. В. Агеев, Ю. А. Фатыхов // Инновационное развитие техники пищевых технологий: материалы международной научно-технической конференции / ФГБОУ ВПО «Воронеж. гос. ун-т инж. технол.». – Воронеж: Изд-во ФГБОУ ВПО «ВГУИТ», 2015. – С. 311-318.

3. Агеев, О. В. Разработка мехатронного устройства для резки рыбного филе на пласт / О. В. Агеев, Ю. А. Фатыхов, К. В. Бабарыкин // Стандартизация, управление качеством и обеспечение информационной безопасности в перерабатывающих отраслях АПК и машиностроении: материалы междунар. науч.-техн. конф. / ФГБОУ ВПО «Воронеж. гос. ун-т инж. технол.». – Воронеж: Изд-во ФГБОУ ВПО «ВГУИТ», 2015. – С. 354-362.

4. Агеев, О. В. Применение видеокomпьютерной техники для исследования морфо-метрических параметров рыбы: в 2 ч. / О. В. Агеев, Ю. А. Фатыхов // Электронный научный журнал Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств [Электронный ресурс]. – Санкт-Петербург: НИУ ИТМО, 2015. – № 1 (23). – Ч. 1. Разработка аппаратного обеспечения видеокomпьютерного устройства. – Шифр: ЭЛ № ФС77–55245. – Режим доступа: <http://processes.ihbt.ifmo.ru/file/article/11452.pdf>.

5. Агеев, О. В. Применение видеокomпьютерной техники для исследования морфо-метрических параметров рыбы: в 2 ч. / О. В. Агеев, Ю. А. Фатыхов // Электронный научный журнал Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств [Электронный ресурс]. – Санкт-Петербург: НИУ ИТМО, 2015. – № 2 (24). – Ч. 2. Разработка программного обеспечения видеокomпьютерного устройства. – Шифр: ЭЛ № ФС77–55245. – Режим доступа: <http://processes.ihbt.ifmo.ru/file/article/13407.pdf>.

6. Агеев, О. В. Разработка видеокomпьютерного устройства для сортировки рыбы на основе мехатроники / О. В. Агеев, Ю. А. Фатыхов // Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промысловое и техническое использование: материалы VI Всероссийской научно-практической конференции: в 2 ч. / ФГБОУ ВПО «Камчатский гос. техн. ун-т». – Петропавловск-Камчатский: Изд-во ФГБОУ ВПО «КамчатГТУ», 2015. – Ч. 2. – С. 97-101.

7. Lyons, R.G. Understanding Digital Signal Processing / R.G. Lyons – New Jersey: Prentice Hall, 2010. – 984 s.

8. Proakis, J.G. Digital Signal Processing: Principles, Algorithms and Applications / J.G. Proakis, D.G. Manolakis – New Jersey: Prentice Hall, 2006. – 1004 s.

REFERENCES

1. Ageev O. V., Fatyhov Ju. A. *Sovershenstvovanie tehnologicheskogo oborudovaniya dlja pervichnoj obrabotki ryby: opyt, problematika, sistemnyj podhod* [Upgrading of technological equipment for primary processing of fish: background, problems, systematic approach]. Kaliningrad, izd-vo FGBOU VPO «KGTU», 2015, 261 p.

2. Ageev O. V., Fatyhov Ju. A. *Mehatronnoe ustrojstvo dlja rezki rybnogo file s parallel'noj kinematikoju* [Parallel link mechatronic device for cutting fish fillet]. *Materialy mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoi konferencii "Innovacionnoe razvitie tehniki pishhevyh tehnologij"* [Proceedings of scientific conference "Innovative development of food technology"]. Voronezh, izd-vo FGBOU VPO «Voronezh. gos. un-t inzh. tehnol.», 2015, pp. 311-318.

3. Ageev O. V., Fatyhov Ju. A., Babarykin K. B. *Razrabotka mehatronnogo ustrojstva dlja rezki rybnogo file na plast* [Development of a mechatronic device for

splitting fish fillet]. *Materialy mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii "Standartizacija, upravlenie kachestvom i obespechenie informacionnoj bezopasnosti v pererabatyvajushhijh otrasljah APK i mashinostroenii"* [Proceedings of scientific conference "Standardization, quality management and information security in processing industries of AIC and machine building"]. Voronezh, izd-vo FGBOU VPO "Voronezh. gos. un-t inzh. tehnol.", 2015, pp. 354-362.

4. Ageev O. V., Fatyhov Ju. A. Primenenie videokomp'yuternoj tehniki dlja issledovaniya morfo-metricheskikh parametrov ryby (Chast' 1. Razrabotka apparatnogo obespechenija videokomp'yuternogo ustrojstva) [Use of video-computer equipment for studying morphometrical parameters of fish (Part 1. Development of hardware for a video-computer equipment)]. *Jelektronnyj nauchnyj zhurnal Sankt-Peterburgskogo nacional'nogo issledovatel'skogo universiteta informacionnyh tehnologij, mehaniki i optiki*. Serija: Processy i apparaty pishhevyyh proizvodstv. Saint-Petersburg, NIU ITMO, 2015, no. 1 (23), available at: <http://processes.ihbt.ifmo.ru/file/article/11452.pdf>.

5. Ageev O. V., Fatyhov Ju. A. Primenenie videokomp'yuternoj tehniki dlja issledovaniya morfo-metricheskikh parametrov ryby (Chast' 2. Razrabotka programmnoho obespechenija videokomp'yuternogo ustrojstva) [Use of video-computer equipment for studying morphometrical parameters of fish (Part 2. Development of software for a video-computer equipment)]. *Jelektronnyj nauchnyj zhurnal Sankt-Peterburgskogo nacional'nogo issledovatel'skogo universiteta informacionnyh tehnologij, mehaniki i optiki*. Serija: Processy i apparaty pishhevyyh proizvodstv. Saint-Petersburg, NIU ITMO, 2015, no. 2 (24), available at: <http://processes.ihbt.ifmo.ru/file/article/13407.pdf>.

6. Ageev O. V., Fatyhov Ju. A. Razrabotka videokomp'yuternogo ustrojstva dlja sortirovki ryby na osnove mehatroniki [Development of a video-computer device for sorting of fish based on mechatronics]. *Materialy VI Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii "Prirodnye resursy, ih sovremennoe sostojanie, ohrana, promyslovoe i tehničeskoe ispol'zovanie"* [Proceedings of VI Russian scientific conference "Natural resources, their current status, conservation and industrial use]. Petropavlovsk-Kamchatskij, izd-vo FGBOU VPO "Kamchatskij gos. tehn. un-t", 2015, part 2, pp. 97-101.

7. Lyons R. G. *Understanding Digital Signal Processing*. New Jersey: Prentice Hall, 2010, 984 p.

8. Proakis J. G., Manolakis D. G. *Digital Signal Processing: Principles, Algorithms and Applications*. New Jersey: Prentice Hall, 2006, 1004 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Агеев Олег Вячеславович – Калининградский государственный технический университет; к.т.н., доцент кафедры пищевых и холодильных машин;
E-mail: oleg.ageev@klgtu.ru

Ageev Oleg Vjatcheslavovich – Kaliningrad State Technical University; PhD, Associate Professor of the Department of food and refrigeration machines; E-mail: oleg.ageev@klgtu.ru

Ерванов Анатолий Евгеньевич – Калининградский государственный технический университет; аспирант кафедры пищевых и холодильных машин;
E-mail: 19tolik92@mail.ru

Eryvanov Anatoly Evgenjevich – Kaliningrad State Technical University; Post-graduate student of the Department of food and refrigeration machines;
E-mail: 19tolik92@mail.ru

Медянский Иван Александрович – Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта; аспирант кафедры математического моделирования и информационных систем; E-mail: johnmedyanskyale@bk.ru

Medjansky Ivan Viktorovich – Immanuel Kant Baltic Federal University; Post-graduate student of the Department of mathematic modeling and information systems;
E-mail: johnmedyanskyale@bk.ru

Самойлова Наталья Владимировна – Калининградский государственный технический университет; соискатель; E-mail: procyon@mail.ru

Samojlova Natalia Vladimirovna – Kaliningrad State Technical University;
External student; E-mail: procyon@mail.ru

УДК 637.03

ИННОВАЦИИ В ПРОИЗВОДСТВЕ ПРОДУКТОВ ЖИВОТНОГО
ПРОИСХОЖДЕНИЯ

О. В. Зинина, М. Б. Ребезов, Е. П. Мирошникова, Л. С. Прохасько

INNOVATIONS IN THE PRODUCTION OF ANIMAL ORIGIN PRODUCTS

O. V. Zinina, M. B. Rebezov, E. P. Miroshnikova, L. S. Prokhasko

В статье рассмотрены продуктовые инновации пищевой промышленности. Выделены основные направления в области инновационных технологий переработки продукции животного происхождения: разработка ресурсосберегающих технологий; технологий, позволяющих повысить выход продукта, улучшить его качество; высокоавтоматизированных и роботизированных линий по переработке сырья, нового оборудования; применение современных пищевых добавок, способствующих улучшению качества продукта, повышающих его выход; современных упаковочных материалов и технологий по сохранению качественных показателей продукта в течение длительного времени. Особое внимание уделено разработке ресурсосберегающих технологий, которые позволяют рационально использовать вторичное и малоценное сырье (сыворожка, пахта, обезжиренное молоко, отходы первичной переработки скота, коллагенсодержащее сырье, субпродукты 2-й категории и т.д.), экономить энергетические ресурсы (например, ферментная обработка вторичного мясного сырья, СВЧ-обработка, обработка сырья ультразвуковыми волнами и т.д.), улучшать качество продукции и получать ряд новых продуктов животного происхождения с различным функциональным назначением. Более подробно рассмотрены основные аспекты проведения ферментной обработки сырья. Приведены преимущества данной обработки, требования к ферментам, влияние на характеристики сырья, примеры использования в технологии различных продуктов. Рассмотрено применение стартовых бактериальных культур как один из способов ферментной обработки сырья. Также в статье представлены разработки в области ресурсосбережения на предприятиях молочной отрасли, в частности при переработке сыворотки. По результатам представленного обзора можно сделать вывод, что разработка ресурсосберегающих технологий, базирующихся на инновационных подходах, актуальна в современных условиях. При разнообразии предлагаемых способов обработки различного маловостребованного пищевого сырья данное направление имеет широкие перспективы роста и развития.

инновации, ресурсосбережение, ферментная обработка, биотехнологии, мясное сырье, молочная сыворотка

The article deals with innovations in food industry. It highlights basic trends in innovative technologies for processing foods of animal origin: development of resource-saving technologies; processing animal products are allocated: the development of resource-saving technologies; development of technologies allowing to raise a product yield, to improve its quality; development of highly-automated and robotized lines for processing of raw material, new equipment; application of modern food additives that improve product quality; use of modern packing materials and technologies for preservation of quality indicators for a long time. Particular attention is given to development of resource-saving technologies which allow rational use of secondary and low-value raw materials (whey, buttermilk, skim milk, waste primary processing of livestock, collagen-containing raw materials, by-products of the 2nd category, etc.), to save energy resources (eg, enzymatic processing of secondary raw meat, microwave processing, raw material processing with ultrasonic waves, etc.), to improve product quality and to receive a number of new animal by-products with different functional purposes. The article digs deeper in the basic aspects of enzymatic treatment of raw materials. The article shows advantages of this treatment, requirements for the enzymes, impact on the characteristics of the raw materials, examples of application in different technologies. Use of starter cultures is described, as a way of enzymatic treatment of raw materials. Also the article presents developments in efficient use of resources in enterprises of dairy industry, in particular regarding processing of whey. According to the results presented by the overview, we can conclude that development of resource-saving technologies based on innovative approaches is of great relevance in the modern world. This trend has broad prospects for growth and development under a variety of different methods for processing of food raw material which are little in demand.

innovations, efficient use of resources, enzymatic processing, biotechnology, raw meat, whey

ВВЕДЕНИЕ

Со времени вступления России во Всемирную торговую организацию отечественная пищевая промышленность должна провести модернизацию для удовлетворения внутреннего спроса и поиска новых точек сбыта. В связи с тем что растет конкуренция с импортируемыми товарами, у производителей появился дополнительный стимул для совершенствования качественного состава выпускаемой продукции и существующих технологий. Решение задач, стоящих перед пищевой промышленностью, в сложившейся ситуации возможно только с помощью инновационного развития.

Для успешной продажи продукции необходимо обеспечить не только ее высокое качество, но и пролонгированные сроки хранения, приемлемые условия транспортирования и т.д. Одним из отрицательных свойств продукции пищевой промышленности с точки зрения потребления и хранения является их быстрая порча. Чтобы обеспечить стойкость продуктов к неблагоприятным факторам, увеличить длительность их пригодности в пищу, необходимо внедрение новейших разработок в области упаковки как неотъемлемой части приобретаемого товара. Для повышения конкурентоспособности предприятий отечественной пищевой промышленности следует применять инновационные

методы контроля качества, отличающиеся точностью и оперативностью, на всех стадиях производства продукции.

Повышение эффективности производства неизбежно связано с поиском и разработкой нового высокопроизводительного оборудования и новых технологических решений. Современные технологии и оборудование, ориентированные на получение высококачественной продукции, должны в полной мере отвечать требованиям энерго- и ресурсосбережения, экологической безопасности, быть конкурентоспособными как на внутреннем, так и на внешнем рынке. Достигнуть этого возможно, положив в основу прогрессивные инновационные идеи. На рис. 1 схематично показаны основные аспекты инновационного подхода.

Во многих случаях представленные инновационные технологии тесно связаны с получением в итоге продуктов функциональной направленности.

В связи с этим целью данной работы является проведение аналитического обзора, а также систематизация имеющихся данных об инновационных технологиях, применяемых в пищевой промышленности.

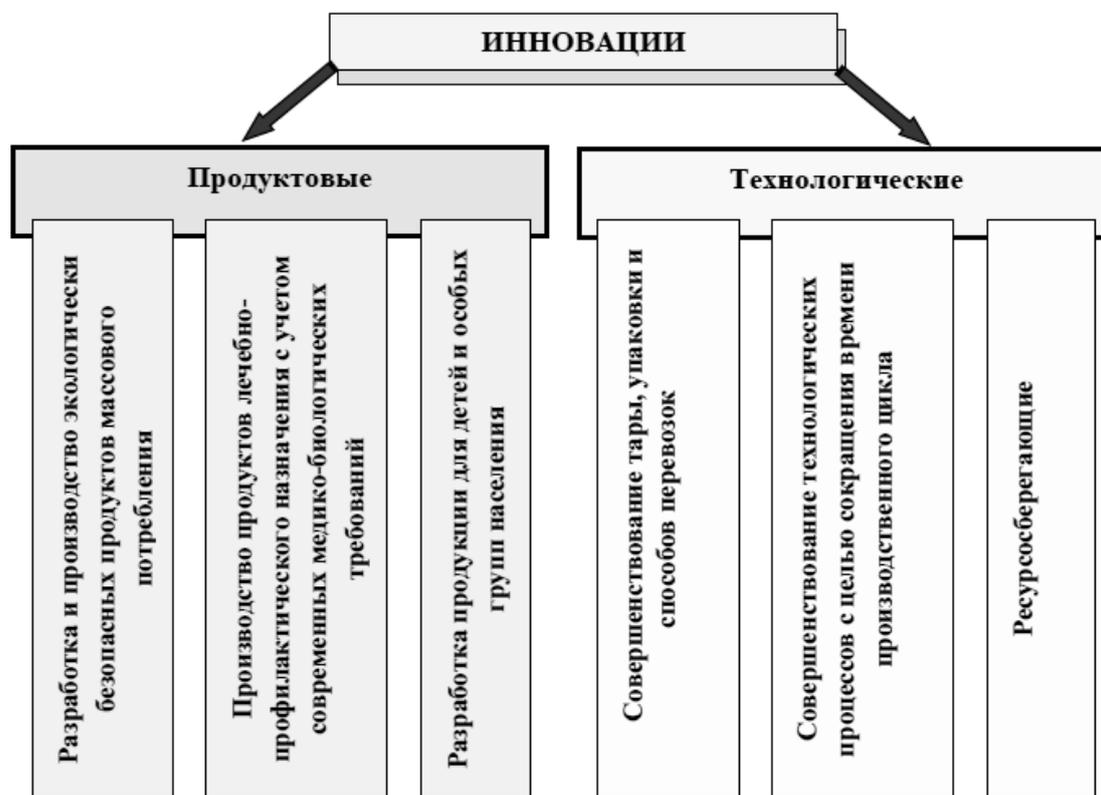


Рис. 1. Инновации в производстве продуктов животного происхождения

Fig. 1. Innovations in production of foods of animal products

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

При проведении аналитического обзора изучали доступные источники информации в таких базах, как EBSCO, Scopus, Web of Science, Agris, eLIBRARY, а также информационной базы Федерального института промышленной собственности и зарубежных патентных баз.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате анализа доступных источников информации были выделены основные направления в области инновационных технологий переработки продукции животного происхождения:

1) Разработка ресурсосберегающих технологий:

– рациональное использование вторичного и малоценного сырья (сыворожка, пахта, обезжиренное молоко, отходы первичной переработки скота, коллагенсодержащее сырье, субпродукты 2-й категории и т.д.);

– технологии, позволяющие экономить энергетические ресурсы (например, ферментная обработка вторичного мясного сырья, СВЧ-обработка, обработка сырья ультразвуковыми волнами и т.д.);

2) Разработка технологий, позволяющих повысить выход продукта, улучшить его качество (мембранные технологии, применение электрофизических методов обработки сырья и т.д.);

3) Создание высокоавтоматизированных и роботизированных линий по переработке сырья, нового современного оборудования;

4) Использование современных пищевых добавок, способствующих улучшению качества продукта, повышающих его выход;

5) Применение современных упаковочных материалов и технологий по сохранению качественных показателей продукта в течение длительного времени.

В условиях ограниченности ресурсов для производства продуктов животного происхождения наиболее актуальным и перспективным является первое направление, а именно разработка ресурсосберегающих технологий.

Вторичное мясное сырье отличается неприемлемостью свойств с технологической точки зрения. Для достижения его оптимальных характеристик прибегают к различным способам предварительной обработки: одно- или многократная варка в воде, бульонах, молоке или молочной сыворотке, обработка в слабых растворах органических кислот, механическое воздействие и т.д. При этом использование различных технологических и органолептических особенностей различных видов сырья ведет к появлению принципиально новых мясных продуктов с различным функциональным назначением [1]. Многие из перечисленных способов обработки являются энергозатратными.

Для более полного и рационального применения имеющегося не востребованного животного сырья предлагается активное использование биотехнологий, которые позволяют из непригодного в пищу сырья получить высокоценные продукты питания, пищевые добавки, медицинские препараты и другую полезную для человека продукцию при значительном сокращении расхода энергетических ресурсов.

Существующие биотехнологические принципы переработки сырья животного происхождения основаны на создании условий для протекания ферментативного гидролиза [1]. Преимущества данного подхода применительно к технологии мясопродуктов [2] представлены на рис. 2.

Ферменты не являются чужеродными для организма человека веществами [3]. В пищевых технологиях применяются в основном ферменты, присутствующие в пищевом сырье, которые поступают в организм человека при потреблении продуктов питания.

В технологических процессах ферменты используются в малых количествах – миллиграммы на килограмм продукта. При технологической обработке пищевых продуктов они, как правило, инактивируются [4].

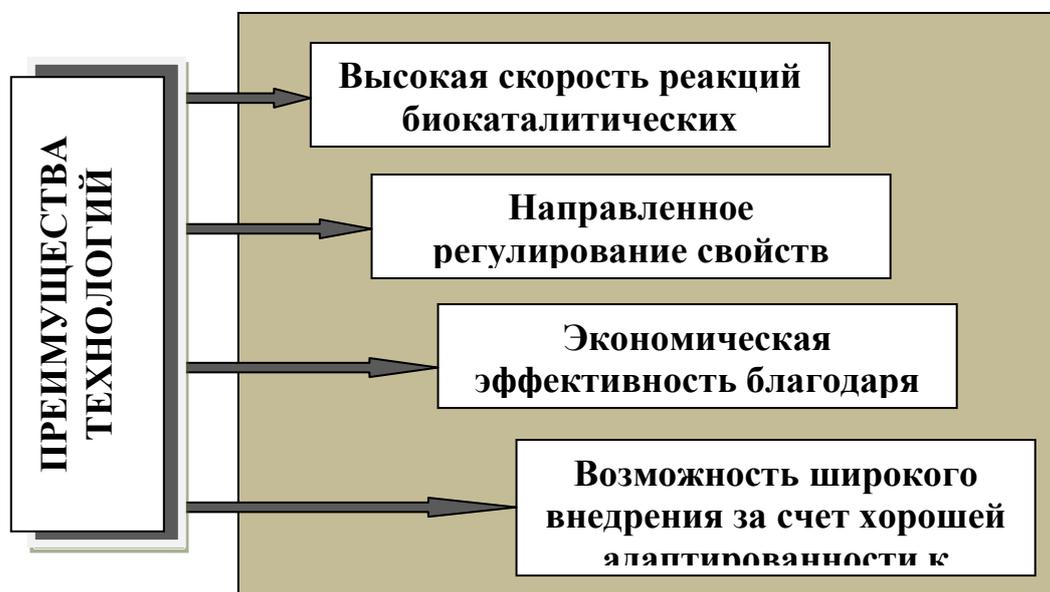


Рис. 2. Основные преимущества технологий, основанных на ферментативном гидролизе сырья

Fig. 2. Main advantages of technology based on enzymatic hydrolysis of raw materials

Ферментные препараты, используемые при производстве пищевых продуктов, должны соответствовать определенным требованиям [5], представленным на рис. 3.



Рис. 3. Основные требования к ферментным препаратам

Fig. 3. Basic requirements for enzyme preparations

При ферментации мясного сырья зарубежными учеными отмечены следующие преимущества, представленные на рис. 4.

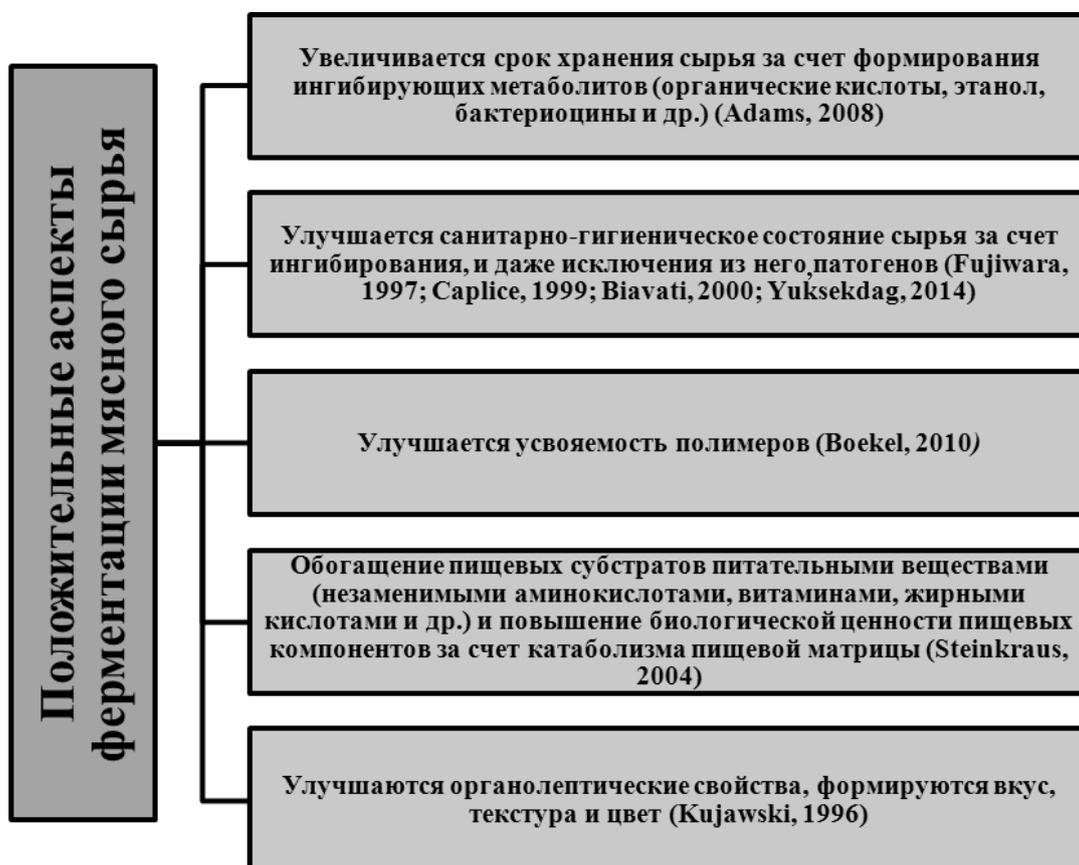


Рис. 4. Положительные аспекты ферментации мясного сырья [6-13]
Fig. 4. Positive aspects of fermentation of raw meat

Предварительная ферментация мяса вызывает гидролиз пептидных связей мышечных белков, размягчение коллагеновых и эластиновых волокон, что создает благоприятные условия для ускорения проникновения и перераспределения посолочных ингредиентов. Активность ферментов и степень биохимической тендеризации зависят от вида препарата, направленности его действия, температуры и pH среды, сортности и вида сырья, продолжительности воздействия, способа обработки и концентрации.

В мясной промышленности используют протеолитические ферменты различного происхождения (рис. 5).

Анализ литературных данных свидетельствует о широком использовании для ферментативной обработки, как в России, так и за рубежом, стартовых бактериальных культур. Эти культуры, как правило, представляют собой смесь различных микроорганизмов. Их выпускают в жидком, замороженном и сухом виде, в частности сублимированном. Сухие культуры активизируются при гидратации водой и последующем введении в фарш.

Следует отметить, что за рубежом, в США, Канаде, Финляндии, Франции, Германии и других странах, стартовые культуры используют в основном для

ускорения созревания сырокопченых колбас, в нашей же стране их область применения более широка.



Рис. 5. Протеолитические ферменты
Fig. 5. Proteolytic enzymes

Так, например, известен способ обработки вторичного сырья (легкое или селезенка) заквасками молочнокислых микроорганизмов *L. plantarum* 31 и 32 и *M. caseolyticus* 38. Ферментацию проводят при температуре 25°C в течение 24 ч. Полученная таким образом белковая смесь позволяет заменять от 30 до 50% основного сырья при производстве паштетов, не ухудшая при этом органолептические свойства продукта [14].

Другими отечественными исследователями предложена технологическая схема производства вареных колбас с введением в рецептуру биомодифицированного низкосортного сырья (говяжьих жилок). Для биомодификации использовался консорциум микроорганизмов, созданный из штаммов *L. Plantarum*, *Staphilococcus carnosus*, *bifidumbacterium siccum* [15].

Украинскими учеными разработан и исследован бактериальный препарат «МКС», который является лиофилизированной симбиотической заквасочной композицией штаммов молочнокислых бактерий *Lactobacillus plantarum* ИМВ В-7058, *L. casei* subsp. *ghannosus* ИМО В-7060 и стафилококков *Staphylococcus simulans* ИМВ В-7040, соотношение культур 1:1:1. Доказана высокая протеолитическая активность данного препарата при обработке мясного сырья [16].

Среди основных компаний, предлагающих стартовые культуры на российском рынке, можно выделить такие, как *Microlife Technics* (США), выпускающая бактериальные культуры товарных марок SAGA 1, SAGA 111, SAGA 444 - для классических сырокопченых колбас, SAGA 75 - для быстро созревающих колбас; *Hagesud Interspace GmbH* (Германия), которая вырабатывает стартовую культуру *Nitrostart G* в сочетании с препаратом *Glutabest Gold-1*; *Giulini Chemie GmbH* (Германия), производящая бакпрепараты на основе *Staphylococcus carnosus* (Тари Микро ХТН), *L. plantarum*, *L. plantarum*, *L. Carnosus*

(Тари Микро МСИ), *L. curvatus*, *L. carnosus*, *S. xylosus* (Тари Микро ФТН). Из отечественных бактериальных стартовых культур следует отметить БП-СК, Ацид-СК, ПБ-СК, ББП-СК, Биобак К и др.

В настоящее время широкое распространение получили кавитационные технологии. Их применяют для приготовления стойких против расслоения смесей (также для смешения трудносмешиваемых или несмешиваемых сред), гомогенных растворов, эмульсий, взвесей и дисперсий из различных продуктов, для активации ферментов и ускорения процессов за счет поддержания каталитических реакций [17].

Например, известен способ подготовки коллагенсодержащего сырья (шквара, жилки и сухожилия, рубец) для использования в колбасном и консервном производстве, где сочетаются два подхода к обработке сырья – кавитационные технологии и биотехнологии. Подготовленное коллагенсодержащее сырье обрабатывают ультразвуковыми колебаниями при температуре сырья 30–32°C, pH 5,0–5,5 в течение 8–10 мин и соотношении сырье : вода, равном 1:2. Затем жидкую фракцию отделяют для гидратирования белково-углеводного концентрата чечевицы. Обработанное сырье смешивают с гидратированным белковым компонентом и бактериальной закваской *Lactobacillus casei*, которую вносят из расчета 2–4% к массе этой смеси. Затем все перемешивают и термостатируют при 4–6°C в течение 12–24 ч. Таким образом, обеспечивается получение продукта с повышенным содержанием белка, обладающего улучшенными органолептическими свойствами при одновременном снижении энергетических затрат на термическую обработку сырья [18].

Проблема ресурсосбережения актуальна не только для мясоперерабатывающих предприятий, одним из маловостребованных ресурсов молочной отрасли остается сыворотка. Наличие в ней легкоусвояемых многими видами микроорганизмов источников углеводного питания, а также различных ростовых факторов предопределяет ее применение в качестве питательных сред для получения продуктов микробного синтеза. Известны более 30 различных продуктов из сыворотки, в основу которых положена микробная биотехнология [19]. С развитием исследований в этом направлении разрабатываются новые технологии микробного синтеза, в ряде стран организуются крупнотоннажные производства как в системе молочной промышленности, так и в смежных подотраслях агропромышленного комплекса. Только в последние годы в нашей стране созданы и внедрены новые технологические процессы получения жидких и сухих белково-витаминных кормовых продуктов («Промикс», «Био-ЗЦМ», «Провилакт»), создана технология отдельных гидролитических ферментов (β -галактозидаза, целлюлаза), различных напитков, глюкозо-галактозного сиропа и т.д.

В ряде стран нашло широкое применение использование для расщепления лактозы на глюкозу и галактозу иммобилизованных ферментов, что позволяет применять для целей биосинтеза микроорганизмы, неспособные в обычных условиях утилизировать лактозу.

В последнее время растет интерес к получению бактериоцина из пермеата молочной сыворотки, так как определенные штаммы молочнокислых бактерий могут расти и производить значительное количество бактериоцина. Этот процесс происходит в реакторе с применением иммобилизованных клеток молочнокислых

бактерий, полученных из сыра. Бактериоцины можно использовать как пищевой концентрат в плавленых сырах и консервах, что позволит увеличить переработку сыворотки в различные продукты на основе биотехнологии.

Глюкозо-галактозный сироп вырабатывают методом кислотного и ферментативного гидролиза. В первом случае сыворотку нагревают до 100°C и пропускают через катионообменную смолу в водородной форме. В процессе ферментативного гидролиза используют фермент лактазу, который вносят в сыворотку, либо сыворотку пропускают через специальный носитель, содержащий иммобилизованный фермент. После операции обработки ферментом сыворотку сгущают и получают глюкозо-галактозный сироп. Конечный продукт представляет собой вязкую прозрачную жидкость с карамельным вкусом [20].

Главные принципы биотехнологии нового поколения бифидогенных продуктов:

- высокая биологическая, пищевая и лечебная ценность получаемых продуктов;
- соответствие всей продукции мировым стандартам качества;
- получение экологически чистой продукции;
- применение недорогого и широкодоступного сырья;
- направленность на сохранение здоровья и увеличение продолжительности жизни человека;
- максимальная степень использования всех компонентов молочного сырья на пищевые цели;
- экологичность и поточность технологических процессов;
- комплексная переработка молочного белково-углеводного сырья как способ предотвращения загрязнения окружающей среды.

ВЫВОДЫ

Таким образом, была систематизирована имеющаяся информация об инновационных технологиях в пищевой промышленности. Разработка ресурсосберегающих технологий, базирующихся на инновационных подходах, актуальна в современных условиях. Данное направление при разнообразии предлагаемых способов обработки различного маловостребованного пищевого сырья, как в нашей стране, так и за рубежом, имеет широкие перспективы роста и развития в условиях ресурсосбережения и импортозамещения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Антипова, Л. В. Использование вторичного коллагенсодержащего сырья мясной промышленности / Л. В. Антипова, И. А. Глотова. – Санкт-Петербург: ГИОРД, 2006. – 384 с.
2. Антипова, Л. В. Исследование свойств протеолитических ферментных препаратов / Л. В. Антипова, И. С. Косенко // Мясная индустрия. – 2010. – № 11. – С. 82–83.
3. Капрельянц, Л. В. Ферменты в пищевых технологиях / Л. В. Капрельянц // Пищевые ингредиенты. – 2006. – № 2. – С.1-6.

4. Зинина, О. В. Биотехнологическая обработка мясного сырья: монография / О. В. Зинина, М. Б. Ребезов, А. А. Соловьева / ЮУрГУ. – Великий Новгород: Новгородский технопарк, 2013. – 272 с.
5. Неверова, О. А. Пищевая биотехнология продуктов из сырья растительного происхождения / О. А. Неверова, Г. А. Гореликова, В. М. Позняковский. – Новосибирск: Сиб. унив. изд-во, 2007. – 415 с.
6. Adams, M.R. Review of the sensitivity of different foodborne pathogens to fermentation / M.R. Adams, L. Nicolaidis // *Food Control*. – 2008. – № 8. – P. 227–239.
7. Biavati, B. Bifidobacteria: history, ecology, physiology and applications / B. Biavati, M. Vescovo, S. Torriani, V. Bottazzi // *Annals of Microbiology*. – 2000. – № 50. – P. 117–131.
8. Caplice E. Food fermentation: role of microorganisms in food production and preservation / E. Caplice, G.F. Fitzgerald // *Int. J. Food Microbiol.* – 1999. – Vol. 50. – № 1. – P. 131–149.
9. Fujiwara, S. Proteinaceous factor(s) in culture supernatant fluids of bifidobacteria which prevents the binding of enterotoxigenic *Escherichia coli* to gangliosylceramide / S. Fujiwara, H. Hashiba, T. Hirota, J.F. Forstner // *Appl. Environ. Microbiol.* – 1997. – № 63. – P. 506–512.
10. Yuksekdag Z. N., Derilmaz D. O., Beyatli Y. Dairy propionibacterium strains with potential as biopreservatives against foodborne pathogens and their tolerance-resistance properties. *Eur Food Res Technol.* - 2014. – P. 17–26.
11. Van Boekel, M. A review on the beneficial aspects of food processing / M. van Boekel, V. Fogliano, N. Pellegrini, C. Stanton, G. Scholz, S. Lalljie, V. Somoza, D. Knorr, P. R. Jasti, G. Eisenbrand // *Mol. Nutr. Food Res.* – 2010. – № 54. – P. 1215–1247.
12. Steinkraus K. H. Origin and History of Food Fermentations / K. H. Steinkraus, Y. H. Hui, L. Meunier-Goddik, A. S. Hansen, J. Josephsen, W.-K. Nip, P. S. Stanfeld, F. Toldra // *Hand-book of Food and Beverage Fermentation Technology*. – 2004.– CRC Press. – P. 1–9.
13. Kujawski M. Mozliwosci wynorzystania productow frmentacji propionowoej do utrwalania wendlir/ M. Kujawski, L. Lemke, Z. Bator, J. Rymaszewski, G. M. Ciehosz// *Acta Acad. Agr. Ac techn. Dsten. Technol. Aliment.*, - 1996. - №29.- P 115– 129.
14. Пат. 2101983 Российская Федерация, МПК6 А 23 L 1/31, А 23 L 1/317. Способ производства мясных паштетов / Ю. Н. Нелепов, А. И. Жаринов, С. И. Постников. – № 97103074/13; заявл. 06.03.97; опубл. 20.01.98.
15. Бобренева, И. В. Создание экструзионных лечебно-профилактических продуктов / И. В. Бобренева, Э. С. Токаев, С. В. Николаева // *Мясная индустрия*. – 2002. – № 2.– С. 49–51.
16. Вплив бактеріального «МКС» на протеоліз у сиров'ялених м'ясних продуктах / Вісник Львівського університету / Г. Бурцева [та ін.] // *Серія біологічна*. – 2011. – Вип. 57. – С. 200–206.
17. Применение гидродинамических кавитационных устройств для дезинтеграции пищевых сред / Л. С. Прохасько [и др.] // *Сборник научных трудов SWorld*. – Вып. 2.– Одесса: КУПРИЕНКО, 2013. – ЦИТ: 213–120. – С. 62–67.

18. Пат. 2204910 Российская Федерация, МПК7 А 23 J 3/04, А 23 J 1/10, А 23 J 1/02, А 23 J 1/14 А 23 L 1/314, А 23 L 1/317, А 23 В 4/00. Способ обработки коллагенсодержащего сырья / В. Б. Крылова, О. Н. Витренко. – № 2001119177/13; заявл. 11.07.01; опубл. 27.05.03. – 5 с.

19 Храмов, А. Г. Технология продуктов из вторичного молочного сырья [Текст] : учеб. пособие / А. Г. Храмов. – Москва: ГИОРД, 2009. – 424 с.

20 Пат. 2353657 Российская Федерация, С13К5/00, А23С21/00. Способ производства глюкозо-галактозного сиропа / А. Г. Храмов, А. Г. Варданян, И. А. Евдокимов и др. – № 2007139944/13; заявл. 29.10.2007; опубл. 27.04.2009. – Бюл. № 12.

REFERENCES

1. Antipova L. V., Glotova I. A. *Ispol'zovanie vtorichnogo kollagensoderzhashhego syr'ja mjasnoj promyshlennosti* [Use of secondary collagen containing raw materials of meat industry]. Saint-Petersburg, GIORD, 2006, 384 p.

2. Antipova L. V., Kosenko I. S. *Issledovanie svojstv proteoliticheskikh fermentnyh preparatov* [Investigation of properties of proteolytic enzyme preparations]. *Mjasnaja industrija*, 2010, no. 11, pp. 82–83.

3. Kaprel'janc L. V. *Fermenty v pishhevyyh tehnologijah* [Enzymes in food technologies]. *Pishhevyje ingredienty*, 2006, no. 2, pp. 1–6.

4. Zinina O. V., Rebezov M. B., Solov'eva A. A. *Biotehnologicheskaja obrabotka mjasnogo syr'ja* [Biotechnological treatment of raw meat]. JuUrGU, V. Novgorod, Novgorodskij tehnopark, 2013, 272 p.

5. Neverova O. A., Gorelikova G. A., Poznjakovskij V. M. *Pishhevaja biotehnologija produktov iz syr'ja rastitel'nogo proishozhdenija* [Food biotechnology for products of vegetable origin]. Novosibirsk, Sib. univ. izd-vo, 2007, 415 p.

6. Adams M. R., Nicolaides L. Review of the sensitivity of different foodborne pathogens to fermentation. *Food Control*. 2008, no. 8, pp. 227–239.

7. Biavati B., Vescovo M., Torriani S., Bottazzi V. Bifidobacteria: history, ecology, physiology and applications. *Annals of Microbiology*, 2000, no. 50, pp. 117–131.

8. Caplice E., Fitzgerald G. F. Food fermentation: role of microorganisms in food production and preservation. *Int. J. Food Microbiol.* 1999, vol. 50, no. 1, pp. 131–149.

9. Fujiwara S., Hashiba H., Hirota T., Forstner J. F. Proteinaceous factor(s) in culture supernatant fluids of bifidobacteria which prevents the binding of enterotoxigenic *Escherichia coli* to gangliosylceramide. *Appl. Environ. Microbiol.* 1997, no. 63, pp. 506–512.

10. Yuksekdag Z. N., Derilmaz D. O., Beyatli Y. Dairy propionibacterium strains with potential as biopreservatives against foodborne pathogens and their tolerance-resistance properties. *Eur Food Res Technol.* 2014, pp. 17–26.

11. Van Boekel M., Fogliano V., Pellegrini N., Stanton C., Scholz G., Lalljie S., Somoza V., Knorr D., Jasti P. R., Eisenbrand G. A review on the beneficial aspects of food processing. *Mol. Nutr. Food Res.* 2010, no. 54, pp. 1215–1247.

12. Steinkraus K. H., Hui Y. H., Meunier-Goddik L., Hansen A. S., Josephsen J., Nip W.-K., Stanfeld P. S., Toldra F. Origin and History of Food Fermentations. Handbook of Food and Beverage Fermentation Technology. 2004, CRC Press, pp. 1–9.

13. Kujawski M., Lemke L., Bator Z., Rymaszewski J., Ciehosz G. M. Możliwości wynorzystania produktów fermentacji propionowej do utrwalania wędlin. Acta Acad. Agr. Ac techn. Dsten. Technol. Aliment. 1996, no. 29, pp. 115–129.

14. Pat. 2101983 Rossijskaja Federacija, MPK6 A 23 L 1/31, A 23 L 1/317. Sposob proizvodstva mjasnyh pashtetov [Method of production of meat paste]. Neleпов Ju. N., Zharinov A. I., Postnikov S. I. № 97103074/13; zajavl. 06.03.97; opubl. 20.01.98.

15. Bobreneva I. V., Tokaev Je. S., Nikolaeva S. V. Sozdanie jekstruzionnyh lecebno-profilaktičeskich produktov [Creation of extrusion-type medical and preventive products]. *Mjasnaja industrija*, 2002, no. 2, pp. 49–51.

16. Burceva G., Danilenko S., Kigel' N., Zhukova Ja. Vpliv bakterial'nogo «MKS» na proteoliz u sirov'jaleni h m'jasnih produktah. *Visnik L'vivs'kogo universitetuju Serija biologična*. 2011, no. 57, pp. 200–206.

17. Prohas'ko L. S., Rebezov M. B., Asenova B. K., Zinina O. V., Zalilov R. V., Jarmarkin D. A. Primenenie gidrodinamičeskich kavitacionnyh ustrojstv dlja dezintegracii pishhevyh sred [Application of cavitation hydro-dynamic devices for disintegration of food environments]. *Sbornik nauchnyh trudov SWorld*, Odessa, KUPRIENKO, 2013 no. 2, CIT: 213–120, pp. 62–67.

18. Pat. 2204910 Rossijskaja Federacija, MPK7 A 23 J 3/04, A 23 J 1/10, A 23 J 1/02, A 23 J 1/14 A 23 L 1/314, A 23 L 1/317, A 23 B 4/00. Sposob obrabotki kollagensoderzhashhego syr'ja [Method of processing collagen containing raw materials]. Krylova V. B., Vitrenko O. N. № 2001119177/13; zajavl. 11.07.01; opubl. 27.05.03, 5 p.

19. Hramcov A. G. *Tehnologija produktov iz vtorichnogo molochnogo syr'ja: uchebnoe posobie* [Technology of products from secondary dairy raw material: students book]. Moscow, GIORД, 2009, 424 p.

20. Pat. 2353657 Rossijskaja Federacija, C13K5/00, A23C21/00. Sposob proizvodstva gljukezo-galaktoznogo siropa [Method of production of glucose-galactose syrup]. Hramcov A. G., Vardanjan A. G., Evdokimov I. A. i dr. № 2007139944/13; zajavl. 29.10.2007; opubl. 27.04.2009. Bjul. № 12.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Зинина Оксана Владимировна – Южно-Уральский государственный университет; кандидат сельскохозяйственных наук, доцент; E-mail: zinoks-vl@mail.ru

Zinina Oksana Vladimirovna – South Ural State University; PhD, Associate Professor; E-mail: zinoks-vl@mail.ru

Ребезов Максим Борисович – Южно-Уральский государственный университет; доктор сельскохозяйственных наук, профессор; E-mail: rebezov@ya.ru

Rebezov Maksim Borisovich – South Ural State University; Doctor of Agricultural Sciences, Professor; E-mail: rebezov@ya.ru

Мирошникова Елена Петровна – Оренбургский государственный университет; доктор биологических наук, профессор; E-mail: elenaakva@rambler.ru

Miroshnikova Elena Petrovna – Orenburg State University; Doctor of Biological Sciences, Professor; E-mail: elenaakva.ru

Прохасько Любовь Савельевна – Южно-Уральский государственный университет; кандидат технических наук, доцент; E-mail: prokhaskols@mail.ru

Prokhasko Lubov`Savelievna – South Ural State University; PhD, Associate Professor; E-mail: prokhaskols@mail.ru

УДК: 621.565

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ВНУТРИТРУБНОГО КИПЕНИЯ
ХЛАДАГЕНТОВ НА ВНЕШНЮЮ НЕОБРАТИМОСТЬ
В ИСПАРИТЕЛЯХ

С. В. Кошелев, А. И. Ейдеюс, М. Ю. Никишин

INFLUENCE OF IN-TUBE BOILING CONDITIONS OF REFRIGERANTS
ON EXTERNAL IRREVERSIBILITY IN EVAPORATORS

S. V. Koshelev, A. I. Eideyus, M. Yu. Nikishin

Интенсивность теплоотдачи и падение давления при внутритрубном кипении хладагента зависят от конструктивных и режимных параметров испарителя. Средняя температура кипящего потока t_a понижается по ходу движения. Из-за этого увеличивается разность между температурами стенок труб и хладагента $t_T - t_a$, которая является показателем необратимости процесса теплоотдачи.

По составленной авторами программе для ЭВМ выполнены многовариантные расчеты параметров кипения хладагентов R22, R410A, R404A, R290, R717 в плоских змеевиках. К исходным данным наряду с видом хладагента отнесены: температура кипения t_o , плотность теплового потока q , внутренний диаметр труб d_T , их число в змеевике n_T , длина зоны полного испарения жидкости l_n , радиус осевой линии калачей $R_k = Z \cdot d_T$, угол наклона плоскости змеевика θ . Во всех вариантах принято $x_b = 0,99$; $\theta = 0^\circ$; $Z = 2$. В каждом варианте определяются значения среднего коэффициента теплоотдачи (КТО) α , полного падения давления в змеевике ΔP_n , понижения температуры насыщения Δt_s , разности температур $t_T - t_a$, массовой скорости хладагента $w\rho$ и скорости насыщенного пара на выходе из зоны кипения W_n .

Результаты одного варианта расчета, который назван опорным, приводятся в таблице. Для этого же варианта на рис. 1-3 представлены графики изменения КТО α и разности $t_T - t_a$ при поочередном отклонении относительной длины труб $a = l_n/d_T$, плотности теплового потока q и паросодержания x_n от опорных их значений.

Анализ результатов расчета показывает, что понижение средней температуры t_a в большинстве случаев сопровождается повышением интенсивности теплоотдачи. При некоторых значениях варьируемых переменных показатель необратимости $t_T - t_a$ достигает минимума. Отсюда следует необходимость и возможность подбора оптимальных сочетаний параметров, определяющих условия кипения хладагентов в трубах испарителей.

необратимость, кипение, хладагент, змеевиковый испаритель, влияние параметров

The rate of heat exchange and pressure drop during in-tube boiling of a refrigerant depend on design and operational parameters of the evaporator. The average

temperature of a boiling flow t_a reduces in the direction of movement. Because of this, the difference between the temperatures of pipe walls and the refrigerant $t_T - t_a$, increases, which is an indicator of the irreversibility of heat transfer process.

Multiple calculations of boiling parameters of refrigerants R22, R410A, R404A, R290, R717 in flat coils have been performed using a computer program developed by the authors. The baseline data along with the type of refrigerant includes: boiling temperature t_o , heat flux q , inner diameter of the pipes d_T , their number in the coil n_T , the length of the area of complete liquid evaporation l_n , centerline radius of the bends $R_k = Z \cdot d_T$, coil plane angle θ . In all variants it is understood that $x_B = 0,99$; $\theta = 0^\circ$; $Z = 2$. In each case, values are determined of average of heat-transfer coefficient (HTC) α , total pressure drop in the coil ΔP_n , lowering of the saturation temperature Δt_s , temperature difference $t_T - t_a$, refrigerant mass velocity $w\rho$ and saturated vapor velocity at the exit of the boiling zone W_n .

The results of one calculation variant, which is called reference, are given in the table. For the same variant, Figures 1-3 show curves of HTC α and the difference $t_T - t_a$ with the alternate deviation of the relative length of the pipes $a = l_n/d_T$, heat flux q and vapor content x_n from the reference values.

Analysis of the calculation results shows that in most cases the decrease in the average temperature t_a is accompanied by the increase of heat transfer intensity. For some values of the variable parameters, indicator of irreversibility $t_T - t_a$ reaches its minimum. This implies the necessity and opportunity of selecting optimal combination of parameters that determine boiling conditions of refrigerants in evaporator tubes.

irreversibility, boiling, refrigerant, coil evaporator, influence of parameters

ВВЕДЕНИЕ

Холодильные машины и тепловые насосы широко применяются в разных отраслях промышленности, строительства, но наибольшее распространение получили на пищевых предприятиях при производстве и хранении пищевых продуктов, а также при создании искусственного микроклимата. Из-за своей многочисленности они потребляют значительную часть вырабатываемой в стране электроэнергии. Поэтому повышение их энергоэффективности актуально с позиций как экономии энергии, так и создания конкурентоспособного холодильного оборудования.

Процессы в реальных холодильных машинах необратимы. Различают внутреннюю и внешнюю необратимость. Первая возникает из-за внутреннего трения и смешения потоков хладагента, трения в элементах машины, дросселирования, диффузии, фазовых превращений и химических реакций. Внешняя необратимость обусловлена наличием конечной разности между температурами рабочего вещества (хладагента) и источников теплоты с низкой T_n и высокой T_θ температурами [1; 2].

Эффективность обратного цикла обычно оценивается коэффициентом преобразования, т. е. холодильным ε или отопительным μ коэффициентами. Значения обоих коэффициентов зависят от температур T_n и T_θ . Поэтому их следует использовать лишь для сравнения эффективности циклов, протекающих в одинаковых температурных условиях. Для оценки влияния необратимых потерь целесообразно находить степень приближения реального цикла к циклу с

минимальной работой L_{min} , в котором хладагент совершает обратимый цикл. Эту величину называют коэффициентом обратимости η или степенью термодинамического совершенства [1; 2]. Существует несколько равнозначных выражений:

$$\eta = \frac{L_{min}}{L} = \frac{L_{min}}{L_{min} + \Delta L} = \frac{l_{min}}{l_{min} + \Delta l} = \frac{\varepsilon_{необр}}{\varepsilon_{обр}},$$

где ΔL и Δl – дополнительная работа, затраченная на компенсацию необратимых потерь: абсолютная L или удельная l (отнесенная к 1 кг хладагента);

На практике коэффициент обратимости по ряду причин определяют редко. В частности, необратимые процессы на термодинамических диаграммах можно изображать лишь условно, так как каждая диаграмма строится для конкретного вещества. Чаще всего используется Т-s-диаграмма. Дополнительную работу, затраченную на компенсацию необратимых потерь, определяют по уравнению Гюи-Стодолы [1; 2]:

$$\Delta L = T_{o.c} \Sigma \Delta S \text{ или } \Delta l = T_{o.c} \Sigma \Delta s,$$

где $T_{o.c}$ – абсолютная температура окружающей среды; $\Sigma \Delta S$ – суммарное приращение энтропии всех тел, участвующих в протекающих процессах; $\Sigma \Delta s$ – то же, отнесенное к 1 кг рабочего вещества.

В замкнутом обратном цикле изменение энтропии хладагента равно нулю. Поэтому приращение энтропии в обратном цикле обусловлено изменением энтропии внешних источников теплоты. Рост энтропии означает рассеяние (диссипацию) энергии. Рассеянную энергию уже не удастся превратить в работу. Значительное влияние на рост энтропии в реальном цикле оказывает изменение температур охлаждаемой среды и хладагента в испарителе.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Из вышеизложенного ясно, что для снижения внешних необратимых потерь и повышения коэффициента обратимости η необходимо уменьшать разность между температурами внешних источников и хладагента. Встречается утверждение, что уменьшить эту разность можно за счет увеличения площади теплопередающей поверхности теплообменных аппаратов. Применительно к испарителям с кипением хладагента в трубах оно не подходит, так как коэффициент теплоотдачи (КТО) при кипении хладагента в значительной мере зависит от плотности теплового потока и массовой скорости парожидкостной смеси. Особенность внутритрубного кипения заключается и в том, что при движении двухфазного потока происходит понижение давления и температуры насыщения хладагента. Можно сказать, что практическому определению коэффициента обратимости η препятствует также сложность определения разности между температурами теплообменивающихся сред.

Чтобы выделить необратимые потери на стороне хладагента в змеевиковом испарителе и не рассматривать процессы на наружной его поверхности, примем, что температура стенок труб t_T по ходу движения кипящего потока не изменяется. Разность между ней и расчетной температурой кипения t_o находится по формуле:

$$t_T - t_o = q/\alpha,$$

где q – плотность теплового потока, отнесенная к внутренней поверхности стенок труб; α – средний КТО на стороне хладагента.

Внешнюю необратимость в змеевиковом испарителе характеризует разность между температурой стенки t_T и средней температурой кипящего хладагента t_a . Если определить полное падение давления в змеевике $\Delta P_{\text{п}}$ и соответствующее ему понижение температуры насыщения Δt_s на выходе из зоны кипения, то можно принять $t_a = t_o - 0,5 \cdot \Delta t_s$. Тогда показателем, влияющим на необратимость, будет разность температур: $t_T - t_a = q/\alpha + 0,5 \cdot \Delta t_s$.

По современным представлениям интенсивность теплоотдачи и градиент давления при кипении жидкости в горизонтальных трубах во многом зависят от структуры двухфазного потока, которая изменяется по мере увеличения паросодержания. Поэтому усилия исследователей направлены на подготовку обобщенных методик расчета локальных КТО и градиентов давления. Краткая информация о наиболее популярных методиках содержится в статьях [3; 4]. Неоднократно проводился сравнительный анализ обобщенных методик расчета. Наиболее свежие результаты опубликованы в статье [5].

Особенность кипения жидкостей в плоских змеевиках обусловлена дополнительным падением давления в калачах. Оно вызвано изменением направления и перераспределением фаз в потоке, а также влиянием гидростатического столба парожидкостной смеси, если калач располагается в вертикальной или наклонной плоскости [5]. Характерно, что под действием теплового потока в трубах массовое паросодержание и плотность парожидкостной смеси на входе в каждый калач имеют свои значения. Ввиду трудоемкости расчетов по обобщенным методикам составлена программа расчета КТО и падения давления при кипении хладагентов в змеевиках [6]. На основе расчета локальных значений она выдает среднее значение КТО и полное падение давления $\Delta P_{\text{п}}$ в змеевике при заданных условиях кипения выбранного хладагента.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

По составленной программе [6] выполнены многовариантные расчеты, в каждом из которых определяются значения среднего КТО α , полного падения давления в змеевике $\Delta P_{\text{п}}$, понижения температуры насыщения Δt_s , разности температур $t_T - t_a$, массовой скорости хладагента $w\rho$ и скорости насыщенного пара на выходе из зоны кипения w_n . К исходным данным отнесены вид хладагента, температура кипения t_o , массовое паросодержание в начале x_n и на выходе x_e из зоны кипения, плотность теплового потока q , внутренний диаметр труб d_T , их число в змеевике n_T , длина зоны кипения l_u , радиус осевой линии калачей R_k и угол наклона плоскости змеевика θ . Во всех вариантах принято $R_k = 2 \cdot d_T$ и $x_e = 0,99$.

С позиций оценки необратимости наибольший интерес представляют изменения среднего КТО α и разности температур $t_T - t_a$ в зависимости от выбранного сочетания конструктивных и режимных параметров змеевика. Из-за большого числа исходных данных и искомым переменных результаты всех расчетов в статье не приводятся. Ниже показаны результаты расчетов, в которых для опорного варианта принят змеевик с параметрами: диаметр труб $d_T = 0,01$ м, число горизонтальных труб $n_T = 14$, относительная длина зоны кипения $a = l_u/d_T = 2000$; угол наклона змеевика $\theta = 0^\circ$, температура кипения $t_o = -30^\circ\text{C}$, паросодержание $x_n = 0,1$, плотность теплового потока $q = 2000$ Вт/м². Попутно определяются длина зоны кипения $l_u = a \cdot d_T = 28$ м и тепловая нагрузка змееви-

ка $Q = q \cdot \pi \cdot d_T \cdot l_u = 2461,8$ Вт. Значения искомым переменных при кипении пяти хладагентов в этих условиях представлены в таблице.

Таблица. Результаты расчета для опорного варианта
Table. Calculation results for the reference variant

Искомая величина	Тип хладагента				
	R22	R410A	R404A	R290	R717
α , Вт/(м ² ·К)	1264,2	1553,8	1525,7	1271,4	1210,3
ΔP_n , Па	24452	14310	23112	13769	6673
Δt_s , °С	3,8	2,4	3,0	1,4	1,2
$t_T - t_a$, °С	3,482	2,487	2,811	2,273	2,253
$w\rho$, кг/(м ² ·с)	89,296	49,109	106,871	79,869	14,859
w_n , м/с	12,1	12,7	10,13	7,57	14,36

По результатам расчетов определялся характер изменения искомым переменных при поочередном отклонении отдельных параметров от опорных их значений. Примеры влияния относительной длины труб a , плотности теплового потока q и паросодержания x_n на значения среднего КТО α и разности $t_T - t_a$ представлены на рис. 1-3. Относящиеся к разным хладагентам кривые на них обозначены символами и цифрами: \blacklozenge 1- R22; \blacksquare 2 - R290; \blacktriangle 3 - R404A; \times 4 – R410A; $*$ 5 - R717. Расчеты показывают, что все искомым переменные зависят от вида хладагента. Лишь в обратимых циклах свойства рабочих веществ не влияют на показатели энергоэффективности [1]. Для сравнения необратимости при кипении выбраны хладагенты, которые по термодинамическим свойствам подходят для средне- и низкотемпературных установок. Другие свойства хладагентов не затрагиваются.

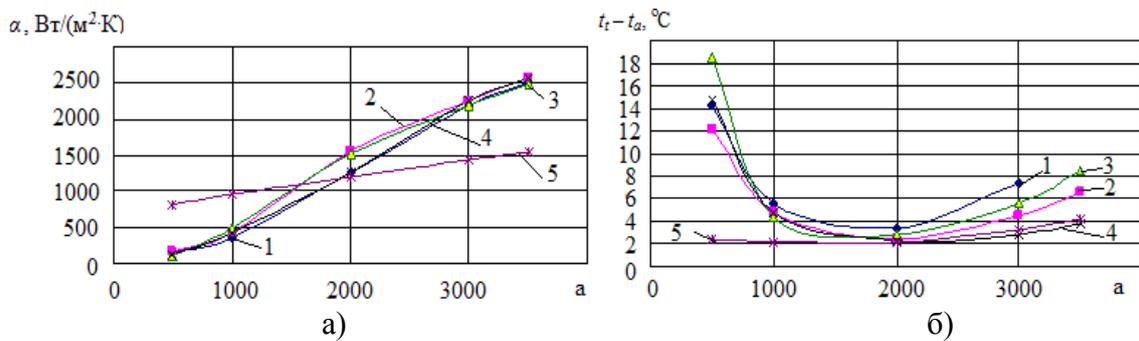


Рис.1. Влияние относительной длины труб
Fig.1. Influence of the relative length of pipes

Относительную длину труб зоны кипения a приходится выбирать при проектировании испарителей. В условиях эксплуатации на нее влияет степень заполнения испарителя жидким хладагентом. Как показано на рис. 1, а увеличение относительной длины a при прочих равных условиях способствует росту среднего КТО для всех хладагентов. Одновременно растут падение давления ΔP_n и понижение температуры насыщения Δt_s . Поэтому кривые разности $t_T - t_a$ на рис. 1, б имеют плавный перегиб. Минимум этой разности в зависимости от вида хлада-

гента располагается в диапазоне $a = 1200 \dots 2300$. Наиболее четко он выражен для R404A, а для R717 – слабо. Характерно, что для четырех хладагентов при неудачном выборе длины a разность $t_T - t_a$ может превысить минимальное значение в несколько раз. Если для R404A и R717 минимальная разность $t_T - t_a = 2,1 \dots 2,2^\circ\text{C}$, то для R22 она в полтора раза больше.

Изменение внутреннего диаметра труб d_T от 0,008 до 0,020 м в рассматриваемых условиях при фиксированной длине $a = 2000$ не оказывает существенного влияния на средний КТО и разность $t_T - t_a$ для четырех хладагентов. Лишь для R717 при этом в три раза уменьшился средний КТО и вдвое повысилась разность $t_T - t_a$. Изменение числа горизонтальных труб n_T в змеевике от 8 до 20 практически не влияет на средний КТО и незначительно повышает разность $t_T - t_a$ при кипении всех хладагентов.

Отнесенная к внутренней поверхности труб плотность теплового потока q определяется преимущественно условиями теплоотдачи на наружной поверхности. Увеличению ее способствуют оребрение труб и разные способы интенсификации наружной теплоотдачи. В настоящем анализе величина q отнесена к варьируемым переменным. В соответствии с представлениями о пузырьковом кипении и вынужденном движении парожидкостной смеси в обогреваемых трубах средний КТО α нелинейно повышается с увеличением теплового потока q (рис. 2, а). Особый характер линии 5 на этом и других рисунках обусловлен тем, что для двухфазного потока R717 в рассматриваемом диапазоне условий кипения сохраняется ламинарный или переходный режим течения. Как видно из таблицы, массовая скорость $w\rho = 14,9 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ в 3-7 раз меньше, чем для других хладагентов. Разность температур $t_T - t_a$ для четырех хладагентов имеет минимум в диапазоне $q = 1000 \dots 2000 \text{ Вт}/\text{м}^2$ (рис. 2, б). Для R717 она повышается с увеличением теплового потока q . Такая тенденция объясняется более медленным нарастанием среднего КТО по сравнению с темпом понижения температуры насыщения Δt_s при заданных размерах змеевика.

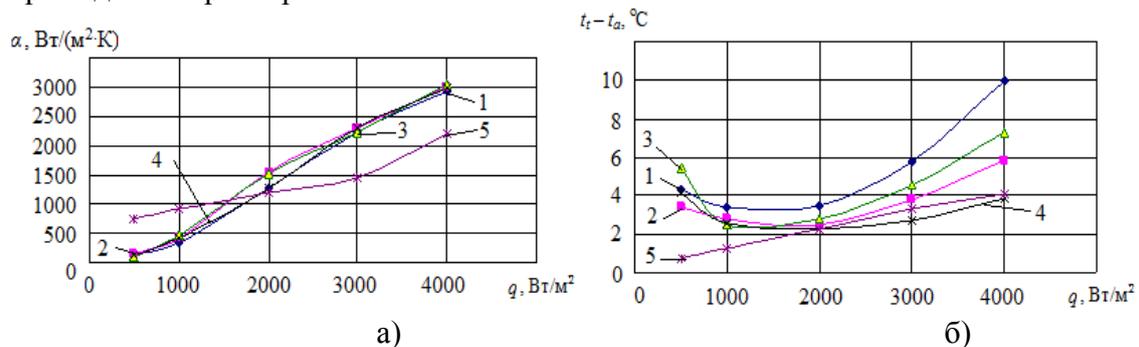


Рис. 2. Влияние плотности теплового потока
Fig. 2. Influence of heat flux

Массовое паросодержание хладагента x_n зависит от степени его переохлаждения перед дросселирующим устройством. Увеличение паросодержания x_n сопровождается ростом среднего КТО для всех хладагентов (рис. 3, а). Разность температур $t_T - t_a$ при этом изменяется несущественно (рис. 3, б). Тем не менее в данном змеевике кривые изменения $t_T - t_a$ имеют плавный перегиб при значениях x_n от 0,05 до 0,3, зависящих от вида хладагента. Полученный результат не согласуется с распространенным мнением о целесообразности значительного пере-

охлаждения дросселируемого хладагента. Причина в том, что за счет переохлаждения жидкости снижается обусловленная дросселированием внутренняя необратимость, но из-за уменьшения интенсивности теплоотдачи в трубах повышается внешняя необратимость. Таким образом, степень переохлаждения жидкости следует рассматривать в качестве одной из оптимизируемых величин при термодинамическом анализе циклов холодильных машин с внутритрубным кипением хладагентов.

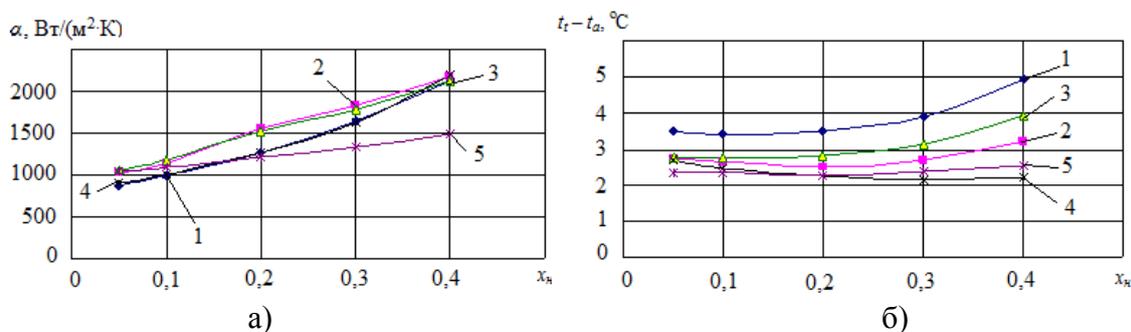


Рис. 3. Влияние паросодержания в начале зоны кипения
 Fig. 3. Influence of vapor content at the beginning of the boiling zone

Расчетная температура кипения t_o определяется требованиями технологического процесса. Она не может изменяться произвольно. Всё же проводилась оценка ее влияния на расчетные параметры змеевиковых испарителей. Оказалось, что средний КТО для четырех хладагентов мало зависит от температуры t_o , а для R717 он заметно понижается с ростом t_o . Разность температур $t_T - t_a$ для четырёх хладагентов слегка понижается с ростом t_o от минус 40°C до 0°C , а для R717 обнаруживается ее минимум при t_o равном минус 30°C .

Как показывают приведенные примеры, на необратимые потери так или иначе влияют все варьируемые переменные, включая вид хладагента. Напомним, что здесь рассматривалось поочередное отклонение одной из варьируемых переменных от их значений в опорном варианте, которые указаны в пояснениях к таблице. В реальных условиях число сочетаний варьируемых переменных может быть очень большим. На практике существует целый ряд ограничений, например, по виду хладагента, температуре кипения t_o , плотности теплового потока q , а нередко и диаметру труб d_T . Наличие ограничений уменьшает число варьируемых переменных, но задача по поиску такого сочетания остальных переменных, при которых разность $t_T - t_a$ получается наименьшей, сохраняется. Успешному ее решению способствует наличие программы совместного расчета теплоотдачи и падения давления при кипении хладагентов в плоских змеевиках [7].

ВЫВОДЫ

- Полученные данные свидетельствуют о существенном влиянии вида хладагента, а также конструктивных и режимных параметров на внешнюю необратимость в змеевиковых испарителях.
- Составленная программа позволяет подобрать такие сочетания рабочих параметров, при которых необратимые потери в испарителе минимальны.

- Степень переохлаждения жидкого хладагента следует подбирать с учётом её влияния не только на дроссельные потери, но и на интенсивность теплоотдачи в трубах испарителя.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Теплофизические основы получения искусственного холода: справочник / под ред. А. В. Быкова. – Москва: Пищ. пром-ть, 1980. – 231 с.
2. Холодные машины: учебник / А. В. Бараненко [и др.]. – Санкт-Петербург: Политехника, 2006. – 944 с.
3. Ейдеюс, А. И. Потери давления на трение при кипении хладагента в трубах / А. И. Ейдеюс, М. Ю. Никишин, С. В. Кошелев // Вестник Международной академии холода. – 2014. – №1. – С. 64-67.
4. Ейдеюс, А. И. Сравнение интенсивности теплоотдачи и падения давления при кипении хладагентов R404A и R22 в горизонтальных трубах / А. И. Ейдеюс, М. Ю. Никишин, С. В. Кошелев // Вестник Международной академии холода. – 2015. – №1. – С. 69-74.
5. Zhou Z., Fang X., Li D. Evaluation of correlations of flow boiling heat transfer of R22 in horizontal channels// Hindawi Publishing Corporation. The Scientific World Journal. 2013, pp. 1-14.
6. Yang Z., Peng X.F., Ye P. Numerical and experimental investigation of two phase flow during boiling in a coiled tube. International Journal of Heat and Mass Transfer, 51. (2008), pp.1003-1016.
7. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015663262 «Общая программа расчета коэффициента теплоотдачи и падения давления при кипении десяти хладагентов в плоских змеевиках с разным числом труб»; правообладатель ФГБОУ КГТУ / А. И. Ейдеюс, С. В. Кошелев. Дата регистрации 31.08.2015 г.

REFERENCES

1. *Teplofizicheskie osnovy poluchenija iskusstvennogo holoda: spravoch-nik* [Thermal and physical principles of obtaining refrigeration]. Moscow, Pishhevaja promyshlennost', 1980, 231p.
2. Baranenko A. V., Buharin N. N., Pekarev V. I., Timofeevskij L. S. *Ho-lodnye mashiny: uchebnik* [Cold machines: student's book]. Saint-Petersburg, Poli-tehnika, 2006, 944 p.
3. Ejdejus A. I., Nikishin M. Ju., Koshelev S. V. Poteri davlenija na trenie pri kipenii hladagenta v trubah [Frictional pressure losses during refrigerant boiling in pipes]. *Vestnik Mezhdunarodnoj akademii holoda*, 2014, no. 1, pp. 64-67.
4. Ejdejus A. I., Nikishin M. Ju., Koshelev S. V. Sravnenie intensivnosti teplootdachi i padenija davlenija pri kipenii hladagentov R404A i R22 v gorizontal'nyh trubah [Comparison of intensity of heat transfer and pressure drop in case of boiling of R404A and R22 refrigerants in horizontal pipes]. *Vestnik Mezhduna-rodnoj akademii holoda*, 2015, no. 1, pp. 69-74.

5. Zhou Z., Fang X., Li D. Evaluation of correlations of flow boiling heat transfer of R22 in horizontal channels. Hindawi Publishing Corporation. The Scientific World Journal. 2013, pp. 1-14.

6. Yang Z., Peng X. F., Ye P. Numerical and experimental investigation of two phase flow during boiling in a coiled tube. International Journal of Heat and Mass Transfer, 51. (2008), pp. 1003-1016.

7. Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlja JeVM № 2015663262 «Obshhaja programma rascheta kojefficienta teplootdachi i padenija davlenija pri kipenii desjati hladagentov v ploskih zmeevikah s raznym chislom trub». Pravoobladatel' FGBOU KGTU. Avtory Ejdejus A. I., Koshelev S. V. Data registracii 31.08.2015.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Коселев Сергей Валерьевич – Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота; аспирант, заведующий лабораторией кафедры холодильной, криогенной техники и кондиционирования; E-mail: entermoria@rambler.ru

Koshelev Sergey Valeryevich – Baltic Fishing Fleet State Academy; Postgraduate student, Head of the laboratory of the department of refrigeration, cryogenic equipment and air conditioning; E-mail: entermoria@rambler.ru

Ейдеюс Иозапас Альгирдас Иозапавич – Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота; к. т. н., профессор кафедры холодильной, криогенной техники и кондиционирования; E-mail: xktk@bga.gazinter.net

Eideyus Algirdas Iozapas Iozapovich – Baltic Fishing Fleet State Academy; PhD, Professor of the department of refrigeration, cryogenic equipment and air conditioning; E-mail: xktk@bga.gazinter.net

Никишин Михаил Юрьевич – Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота; к. п. н., доцент кафедры холодильной, криогенной техники и кондиционирования; E-mail: miknik39@rambler.ru

Nikishin Mikhail Yurievich – Baltic Fishing Fleet State Academy; PhD, Associated professor of the department of refrigeration, cryogenic equipment and air conditioning; E-mail: miknik39@rambler.ru

УДК 664.951.7:639.4

ОБОСНОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ
ГИДРОЛИЗАТОВ ИЗ НЕДОИСПОЛЬЗУЕМЫХ ТКАНЕЙ ТРЕПАНГА

А. Д. Перцева, Ю. М. Позднякова, Н. Н. Ковалев, Г. Н. Ким, М. Е. Гаркавец

JUSTIFICATION AND DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY FOR OBTAINING
HYDROLYSATES FROM UNUSED TISSUES OF SEA CUCUMBER

A. D. Pertseva, Yu. M. Pozdnyakova, N. N. Kovalev, G. N. Kim, M. E. Garkavets

Дальневосточный трепанг - один из наиболее ценных биоресурсов в Дальневосточном промышленном регионе. В настоящее время в пищевой промышленности используется только мускульный мешок трепанга. Неиспользуемые остатки, образующиеся при разделке сырья – венчики, с небольшими прирезами мышечной ткани поступают в отходы. Также неиспользуемой является мышечная ткань трепанга после выделения жирорастворимых компонентов с помощью органических растворителей. Целью настоящего исследования являлась разработка технологии ферментализатов из недоиспользуемых тканей трепанга - венчиков и мышечной ткани – после спиртовой экстракции. Определено массовое количество венчиков, отделяемых при разделке, в зависимости от времени вылова трепанга. Установлены следующие рациональные параметры ферментативного гидролиза венчиков трепанга: соотношение сырье : вода – 1:3, температура реакционной смеси 48⁰С, время гидролиза 2 ч, ферментные препараты протамекс и коллагеназа краба в концентрациях 1 и 4 ПЕ/г ткани соответственно. Проведен подбор условий ферментализации мышечной ткани трепанга, оставшейся после спиртовой экстракции. Установлены следующие рациональные параметры гидролиза ткани: рН от 7,8 до 8,2, температура 42 °С, соотношение сырье : вода – 1:50, ферментный препарат – коллагеназа краба. В ферментализатах венчиков трепанга и коллагенового остатка после спиртовой экстракции определено содержание водорастворимого белка и коллагена. Показано, что содержание водорастворимого белка в ферментализате мышечной ткани трепанга после спиртовой экстракции в 1,5 раза превышает содержание белка в ферментализате свежемороженой мышечной ткани трепанга. Высокое содержание коллагена в водорастворимой форме в полученных ферментализатах позволит использовать их при получении БАД и функциональных пищевых продуктов хондропротекторной направленности.

дальневосточный трепанг, коллаген, коллагеназа, ферментализ, водорастворимый белок

Far Eastern sea cucumber is a one of the most valuable bioresources in the Far Eastern region. Currently, only muscular tissue of the sea cucumber is used in the food industry. Unused residues appearing from cutting of raw material - tentacles with small muscle tissue pass to waste. Muscle tissue of sea cucumber after separation of lipid-soluble components with organic solvents is also unused. The aim of this study is de-

velopment of technology of sea cucumber tissue fermentative hydrolysates of tentacles and muscle tissue after ethanol extraction. We determined mass quantity of tentacles, being separated during cutting, depending on the catching time of sea cucumber. The following rational parameters for enzymatic hydrolysis of sea cucumber tentacles were established: ration of raw material: water - 1: 3, the temperature of the reaction mixture- 48 °C, hydrolysis time - 2 hours, enzyme preparations - protameks and crab collagenase in concentrations of 1 PU / g tissue and 4 PU/ g tissue, respectively. We carried out a selection of enzymatic hydrolysis conditions of sea cucumber muscle tissue remaining after ethanol extraction. Rational hydrolysis parameters of sea cucumber muscle tissue after ethanol extraction are: pH - from 7.8 to 8.2, temperature- 42 ° C. the ratio of raw materials: water 1:50, enzyme preparation - crabs collagenase. The content of water-soluble protein and sea cucumber tentacles collagen in hydrolysates and collagen residue after ethanol extraction was determined. It was shown that a content of water-soluble protein in the hydrolysates of sea cucumber muscle tissue after ethanol extraction is 1.5 times higher than content of protein in the hydrolysates of freshly frozen sea cucumber muscle tissue. A high content of collagen in a water-soluble form in obtained enzymatic hydrolysates will allow using them in preparation of chondroprotective nutritional supplement and functional foods.

far Eastern sea cucumber, collagen, collagenase, enzymatic hydrolysis, water-soluble protein

ВВЕДЕНИЕ

Комплексное использование водных биологических ресурсов является стратегической задачей на современном этапе развития рыбной промышленности. Дальневосточный трепанг - один из наиболее ценных акваресурсов в Дальневосточном промысловом регионе. В настоящее время в пищевой промышленности используется только мускульный мешок трепанга. Неиспользуемые остатки, образующиеся при разделке сырья – венчики, с небольшими прирезами мышечной ткани поступают в отходы. Установлено, что для кукумарии их количество составляет до 7% от массы тела [1]. По трепангу таких данных в литературе не найдено. Поскольку ткань венчиков состоит преимущественно из коллагена и содержит такие же биологически активные вещества (БАВ), как и мускульный мешок [2], то она может являться потенциальным сырьем для промпереработки. Один из способов переработки трепанга – спиртовая экстракция БАВ для выделения жирорастворимых компонентов мышечной ткани трепанга – каротиноидов, ПНЖК, фосфолипидов. Побочным продуктом такого процесса является белковый осадок, состоящий преимущественно из коллагена. Представляется, что использование вышеназванных видов сырья (венчики, коллагеновый осадок) позволит расширить ассортимент выпускаемой продукции из трепанга и повысит экономическую эффективность технологии его переработки.

Голотурии содержат уникальные по свойствам белково-углеводные комплексы, перевариваемость которых, а следовательно, и их усвояемость в организме человека, весьма затруднены [3-5]. Использование биомодификации сырья с помощью ферментативного гидролиза позволяет увеличить степень биодоступности продукта при одновременном сохранении состава биологически активных веществ [6-10].

Изучению вопроса ферментализации тканей голотурий посвящен ряд исследований. Так, определены рациональные параметры биомодификации венчиков и щупалец кукумарии с использованием ферментов протамекса и нейтразы: соотношение сырье:вода – 1:1, pH – 6,5, концентрация фермента 1,66 ПЕ/г сырья для нейтразы и 2,02 ПЕ/г сырья для протамекса, температура среды 45⁰С для нейтразы и 55⁰С для протамекса в течение 4-5 ч [2]. Исследование состава полученного гидролизата выявило присутствие в нем практически всех незаменимых аминокислот.

Анализ патентной и научной литературы показал, что, несмотря на имеющиеся разработки по использованию тканей голотурий после спиртовой экстракции, их применение ограничено производством кормовой продукции [11] либо выделением БАВ, но технологический процесс при этом отличается сложностью и многостадийностью [12]. Исследований, посвященных составу и технологии переработки венчиков трепанга, ранее не проводилось.

Однако венчики и ткани трепанга после спиртовой экстракции могут быть использованы для выделения биологически активных компонентов, разработки технологии БАД к пище и функциональных пищевых продуктов.

Целью настоящего исследования являлась разработка технологии ферментализации из недоиспользуемых тканей трепанга *Apostichopus japonicus* – венчиков и мышечной ткани после спиртовой экстракции.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектом исследования служил дальневосточный трепанг, выловленный в бух. Северная (зал. Славянский) Японского моря. Для проведения ферментализации использовали венчики трепанга и мышечную ткань после спиртовой экстракции (95 %-ный этиловый спирт, V:V= 1:5).

Для проведения ферментативного гидролиза использовали коммерческие ферментные препараты с известной удельной активностью: протамекс – 356, коллагеназу гепатопанкреаса краба – 300, мегатерин – 170 Е/г (Россия).

Протеолитическую активность ферментных препаратов определяли по методу Каверзневой [13].

Определение содержания коллагена проводили по Замараевой [14].

О степени гидролиза судили по содержанию водорастворимого белка, который определяли по методу Лоури [15].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Так как в литературе не обнаружено данных по массовому количеству венчиков трепанга, которые обычно поступают в отходы, в настоящей работе определяли их массовое содержание в разные сезоны вылова. По результатам исследования (табл. 1) установлено, что в среднем количество отходов – венчиков составляет 9,5 %. Максимально может достигать до 12,3 % от общей массы тела трепанга. Это количество позволяет использовать данный вид отходов как сырье для получения ферментативных гидролизатов.

Таблица 1. Количество венчиков трепанга, % от общей массы тела
Table 1. Number of sea cucumber tentacles, % of total body mass

Сезон вылова	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь
Количество венчиков трепанга, %	12,3	9,0	8,3	8,7	7	10,1	11,2

Основными параметрами ферментативного гидролиза, определяющими его эффективность, являются подбор фермента, его количества по отношению к сырью, рН реакционной смеси, гидромодуль, температура и время гидролиза.

Выбор ферментных препаратов основывался на работах, проводимых ранее на мышечной ткани трепанга, согласно которым для коллагенсодержащего сырья целесообразно применение следующих ферментных препаратов: протамекс, коллагеназа краба, мегатерин. Оптимум действия этих ферментных препаратов различается, но рациональным считается проведение гидролиза при 8,0 рН [16].

Первоначально ферментализ проводили при температуре 37 °С с использованием различных ферментных препаратов с концентрацией 2 ПЕ/г ткани при разных гидромодулях (рис. 1).

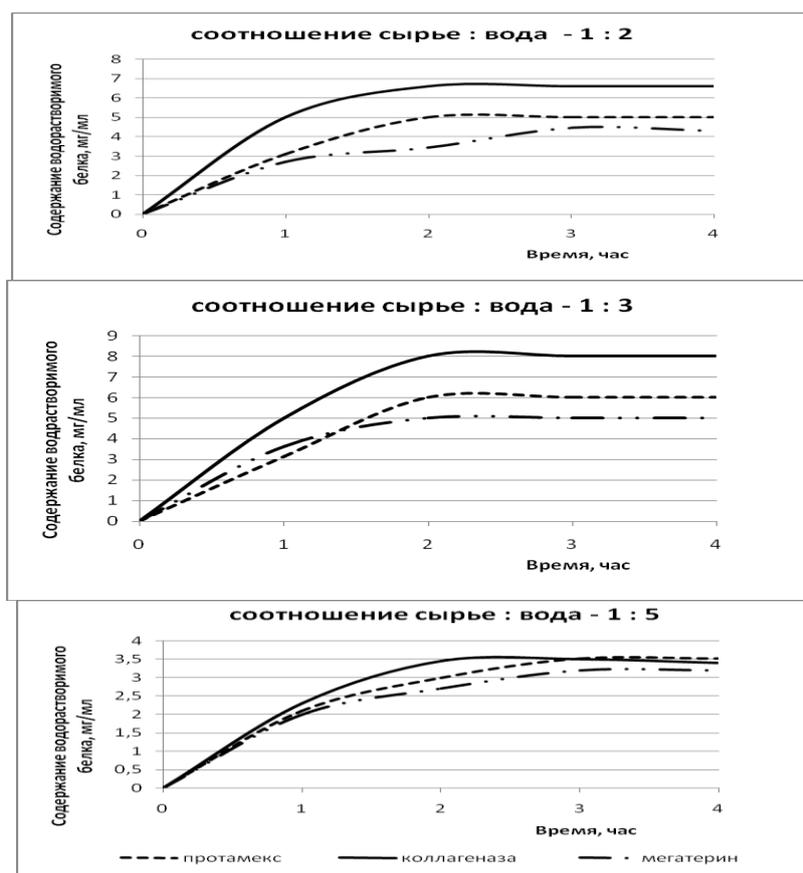


Рис. 1. Динамика прироста содержания водорастворимого белка в экстракте при ферментализе венчиков трепанга с различным гидромодулем

Fig. 1. Growth dynamics of water-soluble protein content in the extract during enzymatic hydrolysis of the sea cucumber tentacles with different hydromodule

Результаты проведенного исследования показали, что при гидролизе венчиков наиболее эффективными являются ферменты гепатопанкреаса краба и протамекс, которые были выбраны для дальнейших исследований. При этом наибольшая концентрация растворимого белка в реакционной смеси наблюдалась при соотношении сырье:вода 1:3. Данное соотношение было использовано при подборе других параметров.

Важным фактором, влияющим на эффективность процесса гидролиза, является температура реакционной смеси. Исходя из температурных оптимумов используемых ферментных препаратов [16] ферментализ проводили при температурах 42 и 48⁰С. В качестве ферментного препарата использовали коллагеназу и протамекс в концентрации 2 ПЕ/г ткани.

Было установлено (рис. 2), что ферментализ проходил эффективнее при 48⁰С, так как в полученных при такой температуре гидролизатах содержится в 1,2-1,7 раз больше водорастворимого белка, чем при температуре 42⁰С. Для достижения максимального содержания водорастворимого белка в гидролизатах достаточно 2 ч.

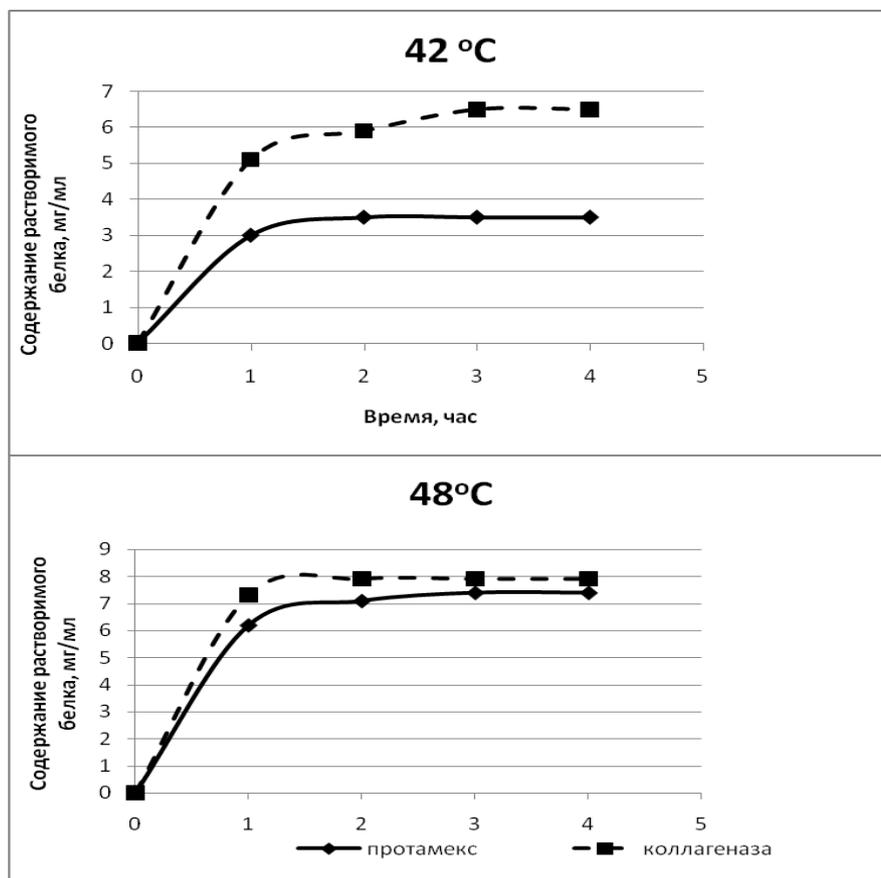


Рис. 2. Динамика накопления водорастворимого белка при ферментализе венчиков трепанга при различной температуре

Fig. 2. Dynamics of accumulation of water-soluble protein during enzymatic hydrolysis of sea cucumber tentacles at different temperatures

Подбор количества вносимых в реакцию смесь ферментных препаратов показал, что рациональными оказались соотношения 1 ПЕ/г для протамекса и 4 ПЕ/г для коллагеназы (рис. 3).

Таким образом, по результатам исследований, установлены следующие рациональные параметры проведения ферментативного гидролиза венчиков трепанга: соотношение сырье:вода – 1:3, температура реакционной смеси 48⁰С, время гидролиза 2 ч, ферментные препараты протамекс и коллагеназа краба в концентрациях 1 и 4 ПЕ/г ткани соответственно.

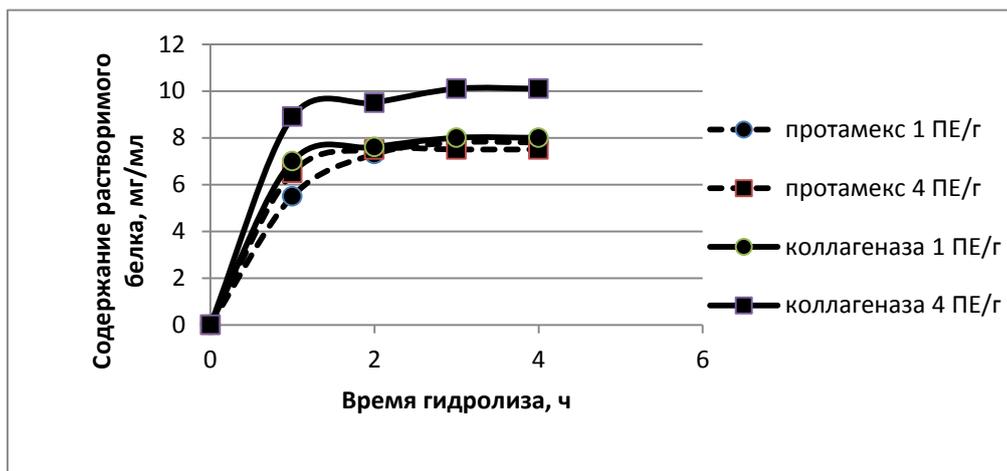


Рис. 3. Зависимость содержания водорастворимого белка в ферментолизатах венчиков трепанга от концентрации фермента

Fig. 3. Dependence of water-soluble protein content in enzymatic hydrolysates of sea cucumber tentacles on enzyme concentration

Следующим этапом работы был подбор условий ферментализации мышечной ткани трепанга, оставшейся после спиртовой экстракции.

Для приготовления спиртового экстракта использовали мышечную ткань трепанга и 95%-ный этиловый спирт в соотношении 1:20. Такие параметры применяются при выделении жирорастворимых компонентов – каротиноидов, ПНЖК, фосфолипидов [17, 18]. Экстракцию проводили в течение 3 сут при комнатной температуре. Полученный экстракт отфильтровывали, ткань измельчали и подвергали ферментализации.

Так как основную массу ткани после экстрагирования составляет коллаген, то подбор параметров (рН и температура) ферментного гидролиза основывался на известных характеристиках процесса, установленного для свежемороженой мышечной ткани трепанга [2, 16, 19], согласно которым оптимальными ферментными препаратами следует считать протамекс и коллагеназу краба. рН оптимумы для выбранных ферментов находятся в щелочной области от 7,8 до 8,2 [20, 21]. Рациональная температура проведения ферментативного гидролиза тканей трепанга составляет 42⁰С [16].

Необходимость подбора таких параметров, как гидромодуль и количество ферментного препарата, определялась различным содержанием сухих веществ в ткани после спиртовой экстракции и в свежемороженом трепанге.

На рис. 4 показана динамика ферментолиза мышечной ткани трепанга после спиртовой экстракции под действием протамекса и коллагеназы краба при соотношениях сырье:вода 1:20 и 1:50.

Результаты проведенного исследования показали, что накопление водорастворимого белка происходило быстрее при соотношении сырье : вода – 1:50 с применением обоих ферментов. Однако следует отметить, что более эффективно процесс гидролиза проходил с использованием коллагеназы (рис. 4).

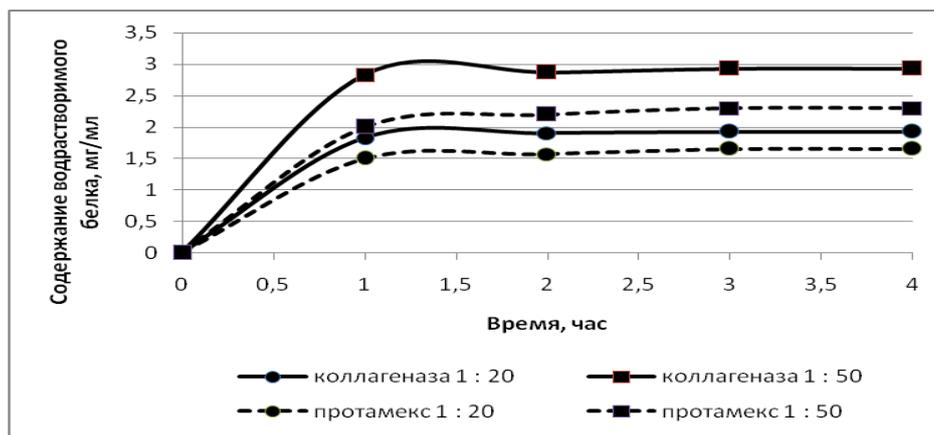


Рис. 4. Динамика ферментолиза мышечной ткани после спиртовой экстракции в зависимости от гидромодуля и ферментного препарата

Fig. 4. Dynamics of enzymatic hydrolysis of muscle tissue after alcohol extraction depending on hydromodule and enzyme preparation

Определение рациональной концентрации коллагеназы краба (ферментолиз) проводили при условиях, обоснованных выше: соотношение ткань:вода – 1:50, температура реакционной смеси 42⁰С, рН 8,0.

Согласно полученным данным (рис. 5) наибольшее количество водорастворимого белка образуется при использовании коллагеназы в концентрации 3 ПЕ/г сырья.

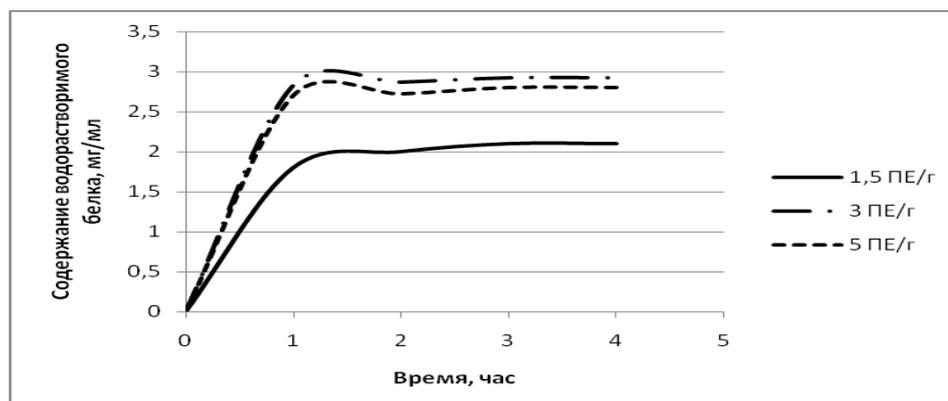


Рис. 5. Зависимость эффективности ферментолиза мышечной ткани трепанга от концентрации ферментного препарата

Fig. 5. Dependence of efficiency of enzymatic hydrolysis of sea cucumber muscle tissue on enzyme concentration

В ферментолизатах венчиков трепанга и коллагенового остатка после спиртовой экстракции определяли содержание водорастворимого белка и коллагена (табл. 2).

Результаты исследования показали высокое содержание водорастворимого белка в ферментолизате мышечной ткани трепанга после спиртовой экстракции, в 1,5 раза превышающее их содержание в ферментолизате свежей/свежемороженой мышечной ткани трепанга [16].

Таблица 2. Содержание белка/коллагена в ферментолизатах трепанга, %
Table 2. Protein/collagen content in enzymatic hydrolysates of sea cucumber, %

Ферментолизат	Белок	Коллаген
Венчики трепанга	28	9,9
Мышечная ткань после спиртовой экстракции	45,6	11,8

Предположительно это может быть связано с активацией ферментов этиловым спиртом, содержащимся в мышечной ткани трепанга после спиртовой экстракции, что согласуется с данными об активирующем эффекте этилового спирта в количестве 10-15% на объем реакционной смеси на протеолитические ферменты [19]. Высокое содержание коллагена в водорастворимой форме в полученных ферментолизатах позволяет использовать их при получении БАД и функциональных пищевых продуктов хондропротекторной направленности.

ВЫВОДЫ

Таким образом, в результате проведенных исследований выявлены рациональные параметры проведения ферментативного гидролиза венчиков трепанга и мышечной ткани, оставшейся после спиртовой экстракции.

Ферментализ венчиков трепанга следует проводить при следующих условиях: соотношение сырье:вода – 1:3, температура реакционной смеси 48⁰С, время гидролиза 2 ч, ферментные препараты протамекс и коллагеназа краба в концентрациях 1 и 4 ПЕ/г ткани соответственно.

Рациональные условия проведения ферментативного гидролиза тканей трепанга после спиртовой экстракции следующие: соотношение ткань:вода – 1:50, ферментный препарат – коллагеназа краба в концентрации 3 ПЕ/г ткани, температура реакционной смеси 42⁰С, время гидролиза 3 ч.

Предложенные технологические решения позволяют обосновать направление рационального использования дальневосточного трепанга с получением биологически активной продукции.

Полученные ферментолизаты могут использоваться в производстве БАД и функциональных пищевых продуктов за счет содержания водорастворимого низкомолекулярного коллагена.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Тимчишина, Г. Н. Обоснование технологий пищевых добавок из кукумарии (*cucumaria japonica*) на основе комплексного использования сырья: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.04 / Тимчишина Галина Николаевна; ТИПРО-центр. - Владивосток, 1999. – 199 с.
2. Карлина, А. Е. Безотходная технология пищевых продуктов и биологически активных добавок из кукумарий дальневосточных морей: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.07 / Карлина Анастасия Евгеньевна; ТИПРО-Центр. – Владивосток, 2009. – 238 с.
3. Антипова, Л. В. Полифункциональные биопродукты из вторичного мясного коллагенсодержащего сырья / Л. В. Антипова, И. А. Глотова, А. Н. Кузнецов // Мясная индустрия. - 2001. - № 6. - С. 23-26.
4. Birenheide R., Tamori M., Motokawa T., Ohtani M., Iwakoshi E., Muneoka Y., Fujita T., Minakata H., Nomoto K. Peptides controlling stiffness of connective tissue in sea cucumbers. // Biol. Bull. - 1998.-V3.-N.9.-P. 253-256.
5. Watanabe K., Suzuki Y. Protein thermostabilization by proline substitutions // J Molecular Catalysis B: Enzymatic. - 1998. - V. 4. – P. 167-180.
6. Пивненко, Т. Н. Использование протеолитических комплексных препаратов из рыбного сырья для производства питательных сред / Т. Н. Пивненко [и др.] // Изв. ТИПРО. -1992. - Т. 114.- С. 140-145.
7. Пивненко, Т. Н. Ферментативные способы приготовления белковых гидролизатов с использованием протеолитических препаратов различной специфичности / Т. Н. Пивненко [и др.] // Вопр. питания. - 1997. - № 5. - С. 34-38.
8. Пивненко, Т. Н. Протеолитические ферментные препараты при биоконверсии некондиционного белкового сырья / Т. Н. Пивненко // Известия ТИПРО. – 1995. – Т. 118. – С. 82-87.
9. Позднякова, Ю. М. Влияние ферментативного гидролиза на нуклеотидный состав молок различных видов рыб / Ю. М. Позднякова, Т. Н. Пивненко, Л. М. Эпштейн // Изв. ТИПРО. - 1999.- Т. 125.- С. 147-151.
10. Неклюдов, А. Д. Источники резервного белка для получения пищевых гидролизатов из животного сырья / А. Д. Неклюдов // Хранение и переработка сельхозсырья. – 1998. – № 3. – С. 24-25.
11. Способ получения комплекса биологически активных продуктов из голотурий: пат. 2112527 РФ: МПК А61К35/56 / Т. К. Лебская, В. Ф. Толмачева, Л. П. Ильина; заявитель и патентообладатель Полярный научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства и океанографии им. Н. М. Книповича; заявл. 06.07.1995; опубл. 10.06.1998.
12. Средство, обладающее антикоагулянтным действием, и способ его получения: пат. 2302250 РФ: МПК А 61 К 35/56, А 61 Р 7/02 / А. М. Попов, А. А. Артюков, И. А. Ли, В. П. Глазунов, Н. Н. Кофанова, Э. П. Козловская; заявитель и патентообладатель Тихоокеан. ин-т биоорг. химии ДВО РАН. - № 2006104772/15; заявл.15.02.06; опубл. 10.07.07, бюл. № 19. - 12 с.
13. Каверзнева, Е. Д. Стандартный метод определения протеолитической активности для комплексных препаратов протеаз / Е. Д. Каверзнева // Прикладная биохимия и микробиология. – 1971. – Т. 7. – № 2. – С. 225-228.
14. Замараева, Т. В. Метод определения содержания коллагеновых белков по оксипролину / Т. В. Замараева // Современные методы в биохимии. – Москва: Медицина, 1977. – С. 262–264.

15. Lowry O.H., Rosebrough N.J., Farr A.L., Randall R.J. Protein measurement with Folin phenol reagent // J. Biol. Chem. 1951. V. 193. № 1. P. 265-275.
16. Позднякова, Ю. М. Биоконверсия мышечной ткани трепанга методом ультразвуковой обработки и ферментативного гидролиза / Ю. М. Позднякова [и др.] // Вестник КрасГАУ. – 2015. – № 4. – С. 54-59.
17. Способ обогащения рыбного жира биологически активными веществами из беспозвоночных гидробионтов: пат. 2162647 РФ: МПК A23L1/325 / Т. К. Лебская, Г. М. Дубницкая, Г. Ф. Байдалова; заявитель и патентообладатель Полярный научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства и океанографии им. Н. М. Книповича; заявл. 04.02.1999; опубл. 10.02.2001.
18. Водка особая: пат. 2562100 РФ: МПК C12G3/06 / Г. Н. Ким, Н. Н. Ковалев, Ю. М. Позднякова, Т. Н. Пивненко, Р. В. Есипенко, Е. В. Михеев; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет"; заявл. 26.08.2014; опубл. 10.09.2015.
19. Давидович, В. В. Биотехнология биологически активной добавки к пище «моллюскам»: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.07 / Давидович Валентина Владимировна; ТИПРО-Центр. – Владивосток, 2005. – 166 с.
20. Сахаров, И. Ю. Субстратная специфичность коллагенолитических протеаз из гепатопанкреаса камчатского краба / И. Ю. Сахаров, Ф. Е. Литвин // Биохимия. – 1992. – Т. 57. - № 1. – С. 61-67.
21. Dumay J., Allery M., Donnay-Moreno C., Barnathan G., Jaouen P., Carbonneau E. Optimization of hydrolysis of sardine (*Sardina pilchardus*) heads with Protamex: enhancement of lipid and phospholipid extraction // Journal of the Science of Food and Agriculture July 2009, Volume 89, Issue 9, Pages 1599 – 1606.

REFERENCES

1. Timchishina G. N. *Obosnovanie tehnologij pishhevyh dobavok iz kukumarii (Cucumaria japonica) na osnove kompleksnogo ispol'zovaniya syr'ja. Dis. kand. tekhn. nauk.* [Substantiation of technology of food supplements from sea cucumber (*Cucumaria japonica*) based on the integrated use of raw materials. Dis. kand. tech. sci.]. Vladivostok, 1999, 199 p.
2. Karlina A. E. *Bezothodnaja tehnologija pishhevyh produktov i biologicheski aktivnyh dobavok iz kukumarij dal'nevostochnyh morej. Dis. kand. tekhn. nauk.* [Waste-free technology of food products and dietary supplements of the Far Eastern sea cucumber. Dis. kand. tech. sci.]. Vladivostok, 2009, 238 p.
3. Antipova L. V., Glotova I. A., Kuznecov A. N. Polifunkcional'nye bioprodukty iz vtorichnogo mjasnogo kollagensoderzhashhego syr'ja [Multifunctional products from secondary raw beef collagen]. *Mjasnaja industrija*, 2001, no. 6, pp. 23-26.
4. Birenheide R., Tamori M., Motokawa T., Ohtani M., Iwakoshi E., Muneoka Y., Fujita T., Minakata H., Nomoto K. Peptides controlling stiffness of connective tissue in sea cucumbers. *Biol. Bull.* 1998, vol. 3, no. 9, pp. 253-256.
5. Watanabe K., Suzuki Y. Protein termostabilization by proline substitutions. *J Molecular Catalysis B: Enzymatic.* 1998, vol. 4, pp. 167-180.
6. Pivnenko T. N., Zhdanjuk V. M., Jepshtejn L. M., Sultanov S. S., Kostenko L. S., Smirnova E. A. *Ispol'zovanie proteoliticheskikh kompleksnyh preparatov iz rybnogo syr'ja dlja proizvodstva pitatel'nyh sred* [The use of proteolytic complex preparations of

fish raw material for the production of culture media]. *Izv. TINRO*, 1992, vol. 114, pp. 140-145.

7. Pivnenko T. N., Jepshtejn L. M., Pozdnjakova Ju. M., Davidovich V. V. Fermentativnye sposoby prigotovlenija belkovyh gidrolizatorov s ispol'zovaniem proteoliticheskikh preparatov razlichnoj specifichnosti [Enzymatic methods for preparing protein hydrolysates using proteolytic preparations of various specificity]. *Vopr. pitaniya*, 1997, no. 5, pp. 34-38.

8. Pivnenko T. N. Proteoliticheskie fermentnye preparaty pri biokonversii nekondicionnogo belkovogo syr'ja [Proteolytic enzyme preparations during bioconversion of substandard raw protein]. *Izv. TINRO*, 1995, vol. 118, pp. 82-87.

9. Pozdnjakova Ju. M., Pivnenko T. N., Jepshtejn L. M. Vlijanie fermentativnogo gidroliza na nukleotidnyj sostav molok razlichnyh vidov ryb [Influence of enzymatic hydrolysis on the nucleotide composition of milt of different fish species]. *Izv. TINRO*, 1999, vol. 125, pp. 147-151.

10. Nekljudov A. D., Ivankin A. N., Baer H. A., Berdutina A. B., Dubina V. I. Istochniki rezervnogo belka dlja poluchenija pishhevyyh gidrolizatorov iz zhivotnogo syr'ja [Sources of reserve protein hydrolysates for food of animal raw materials]. *Hranenie i pererabotka sel'hozsyr'ja*, 1998, no. 3, pp. 24-25.

11. Patent RF 2112527. Sposob poluchenija kompleksa biologicheski aktivnykh produktov iz goloturij [A method for producing a complex of biologically active products of sea cucumbers]. Lebskaja T. K., Tolmacheva V. F., Il'ina L. P. Zajavl. 06.07.1995. Opubl. 10.06.1998.

12. Patent RF 2302250. Sredstvo, obladajushhee antikoagulantnym dejstviem, i sposob ego poluchenija [Agent having anticoagulant activity, and a method of its producing]. Popov A. M., Artjukov A. A., Li I. A., Glazunov V. P., Kofanova N. N., Kozlovskaja Je. P. Zajavl. 15.02.2006. Opubl. 10.07.2007.

13. Kaverzneva E. D. Standartnyj metod opredelenija proteoliticheskoj aktivnosti dlja kompleksnykh preparatov proteaz [Standard method for determining proteolytic activity of protease complex preparations]. *Prikladnaja biohimija i mikrobiologija*, 1971, vol. 7, no. 2, pp. 225-228.

14. Zamaraeva T. V. Metod opredelenija sodержaniya kollagenovykh belkov po oksiprolinu [Method for determination of collagen proteins by hydroxyproline]. *Sovremennye metody v biohimii*, Moscow, Medicina, 1977, pp. 262-264.

15. Lowry O. H., Rosebrough N. J., Farr A. L., Randall R. J. *Protein measurement with Folin phenol reagent*. *J. Biol. Chem.* 1951, vol. 193, no. 1, pp. 265-275.

16. Pozdnjakova Ju. M., Kim G. N., Kovalev N. N., Perceva A. D. Biokonversija myshechnoj tkani trepanga metodom ul'trazvukovoj obrabotki i fermentativnogo gidroliza [Bioconversion of trepang muscle tissue by ultrasonic treatment and enzymatic hydrolysis method]. *Vestnik KrasGAU*, 2015, no. 4, pp. 54-59.

17. Patent RF 2162647. Sposob obogashhenija rybnogo zhira biologicheski aktivnymi veshhestvami iz bespozvonochnyh gidrobiontov [The process of enrichment of fish oil with biologically active substances of aquatic invertebrates]. Lebskaja T. K., Dubnickaja G. M., Bajdalova G. F. Zajavl. 04.02.1999. Opubl. 10.02.2001.

18. Patent RF 2562100. Vodka osobaja [Special vodka]. Kim G. N., Kovalev N. N., Pozdnjakova Ju. M., Pivnenko T. N., Esipenko R. V., Miheev E. V. Zajavl. 26.08.2014. Opubl. 10.09.2015.

19. Davidovich V. V. *Biotehnologija biologicheski aktivnoj dobavki k pishhe "Molljuskam"*. Dis. kand. tekhn. nauk. [Biotechnology of dietary supplements "Mollyuskam". Dis. kand. tech. sci.]. Vladivostok, 2005, 166 p.

20. Saharov I. Ju., Litvin F. E. Substratnaja specifichnost' kollagenoliticheskikh proteaz iz gepatopankreasa kamchatskogo kraba [Substrate specificity of collagenolytic proteases from hepatopancreas of king crab]. *Biohimija*, 1992, vol. 57, no. 1, pp. 61-67.

21. Dumay J., Allery M., Donnay-Moreno C., Barnathan G., Jaouen P., Carbonneau E. Optimization of hydrolysis of sardine (*Sardina pilchardus*) heads with Protamex: enhancement of lipid and phospholipid extraction. *Journal of the Science of Food and Agriculture July*. 2009, vol. 89, iss. 9, pp. 1599-1606.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Перцева Анна Дмитриевна – Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, г. Владивосток; научный сотрудник НИЦ «Морские биотехнологии»; E-mail: anyuta_50@mail.ru

Pertseva Anna Dmitrievna – Far Eastern state technical fishery university, Vladivostok; researcher of SIC «Marine biotechnology»; E-mail: anyuta_50@mail.ru

Позднякова Юлия Михайловна – Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, г. Владивосток; кандидат технических наук; директор НИЦ «Морские биотехнологии»; E-mail: pozdnyakova.julia@yandex.ru

Pozdnyakova Yuliya Mihajlovna – Far Eastern state technical fishery university, Vladivostok; PhD; director of SIC «Marine biotechnology»; E-mail: pozdnyakova.julia@yandex.ru

Ковалев Николай Николаевич – Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, г. Владивосток; доктор биологических наук; профессор кафедры «Пищевая биотехнология»; E-mail: kovalevnn61@yandex.ru

Kovalev Nikolaj Nikolaevich – Far Eastern state technical fishery university, Vladivostok; Doctor of Biological Sciences; professor of the department of Food biotechnology; E-mail: kovalevnn61@yandex.ru

Ким Георгий Николаевич – Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, г. Владивосток; доктор технических наук, профессор, ректор; E-mail: festfu@mail.ru

Kim Georgij Nikolaevich – Far Eastern state technical fishery university, Vladivostok; Doctor of Technical Sciences, professor; rector; E-mail: festfu@mail.ru

Гаркавец Маргарита Евгеньевна – Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, г. Владивосток; начальник центра по индустриальному рыбководству; E-mail: g.ritochka@mail.ru

Garkavets Margarita Evgenjevna – Far Eastern state technical fishery university, Vladivostok; Head of the center for industrial fish farming; E-mail: g.ritochka@mail.ru

УДК 664.956

ПРИМЕНЕНИЕ ПИЩЕВЫХ ДОБАВОК В ТЕХНОЛОГИИ ФОРМОВАННОЙ
РЫБНОЙ ПРОДУКЦИИ С ПРОМЕЖУТОЧНОЙ ВЛАЖНОСТЬЮ

Е. И. Степаненко, М. П. Андреев, Б. Л. Нехамкин

PRACTICE OF FOOD ADDITIVES IN THE TECHNOLOGY OF SHAPED FISH
PRODUCTS WITH INTERMEDIATE MOISTURE

E. I. Stepanenko, M. P. Andreev, B. L. Nekhamkin

В настоящее время изменения рыбного рынка продукции с промежуточной влажностью обусловлены глубокой степенью разделки сырья, использованием ликвидных пищевых отходов. Большой интерес представляет производство продукции с пониженным содержанием поваренной соли. Новые продукты должны сохранять классические или иметь улучшенные органолептические качества. Для намеренного изменения органолептических показателей используют различные пищевые добавки. Кроме того, пищевые добавки применяют для повышения стойкости, сохранения и улучшения структуры продукта. В статье рассмотрены возможности использования структурообразующих и влагоудерживающих пищевых добавок. Исследована возможность использования лактата натрия и глицерина для продукции с пониженным содержанием соли. Определено их влияние на показатель «активность воды» (A_w), отражающий микробиологическую безопасность продукции. Лактат натрия и глицерин снижают значение A_w на $0,025 \div 0,05$, с увеличением концентрации соли отмечается возрастание разницы значений A_w . В пределах дозировки глицерина и лактата натрия до 1,0 % их влияние имеет прямолинейный характер. Рассмотрено воздействие альгината натрия, каррагинана и модифицированного крахмала на изменение органолептических и структурно-механических характеристик полуфабрикатов и готовых изделий, на динамику изменения показателя A_w в процессе обезвоживания. При добавлении структурообразователей значения влагоудерживающей способности (ВУС) полуфабрикатов увеличиваются, в наибольшей степени это наблюдается в образцах с натриевой солью альгиновой кислоты. Определено, что для упрочнения структуры полуфабриката количество исследуемых добавок достаточно в пределах до 1,0 %. По динамике изменения показателя A_w в процессе обезвоживания установлено, что использование каррагинана и натриевой соли альгиновой кислоты в дозировках менее 1,0 % не оказывает влияния на микробиологическую безопасность продукции. Исследуемые структурообразующие и влагоудерживающие добавки могут быть успешно использованы в технологии формованной рыбной продукции с промежуточной влажностью для улучшения органолептических характеристик и с сохранением потенциальной стойкости в хранении.

соленая рыбная продукция с промежуточной влажностью, пищевые добавки, альгинат натрия, каррагинан, лактат натрия, глицерин, активность воды

Currently the main changes of market of fish products with intermediate humidity are dependent on deep degree of cutting of raw materials, use of marketable food waste. Of great interest is manufacturing of products with low content of salt. New types of products should retain traditional or have improved organoleptic qualities. For intentional changes of organoleptic characteristics, we can use a variety of nutritional supplements. In addition, food additives are used to enhance product stability, structure maintaining and improving. The article deals with possibilities of using water-retaining and structure-forming food additives. We explored a possibility of using sodium lactate and glycerol in products with a reduced content of salt is. We outlined their impact on water activity (A_w) which reflects microbiological safety of products. Sodium lactate and glycerol reduce A_w value by $0.025 \div 0.05$, and the more salt concentration is, the more is the difference of A_w values. Within the dosage of glycerol and sodium lactate of up to 1.0%, their effect on graph is rectilinear. We considered the effect of sodium alginate, carrageenan and modified starch on changing of organoleptic, structural and mechanical properties of semi-finished and finished products, and also on the dynamics of A_w variation in dehydration process. With adding structure-forming food additives, water-holding capacity increases significantly for the samples with the sodium salt of alginic acid. It was determined that for hardening of structure of semi-finished products, number of additives must be within 1.0%. According to the changing dynamics of of A_w indicator during dehydration, it was found that the use of carrageenan and sodium salt alginic acid in the amount less than 1.0% has no effect on the microbiological safety of the product. Structure-forming additives and humectants can be successfully used in technology of the fish products with intermediate humidity to improve organoleptic characteristics and potential stability in storage.

salted fish products of intermediate moisture, food additive, sodium alginate, carrageenan, sodium lactate, glycerol, water activity

ВВЕДЕНИЕ

При приготовлении соленой рыбной продукции с промежуточной влажностью на основе фарша важно, чтобы полуфабрикат изначально хорошо формовался для получения готового продукта с положительными структурными характеристиками. С этой целью возможно использовать функциональные пищевые добавки – структурообразователи. Выбор тех или иных структурообразующих добавок является ответственным этапом в производстве формованной продукции с промежуточной влажностью, поскольку данные добавки могут оказать существенное влияние на процесс удаления влаги, а также на сохранение микробиологической безопасности готового продукта.

В настоящее время соленая рыбная продукция с промежуточной влажностью выпускается с содержанием соли на уровне 7-12%, что не позволяет рекомендовать ее в качестве постоянного продукта питания. Поэтому достаточно актуально рассматривать данную продукцию со сниженным содержанием поваренной соли при условии сохранения стойкости при хранении и корректировки вкусовых показателей.

Исследования, направленные на поиск пищевых добавок для создания рыбной продукции с промежуточной влажностью и сниженным содержанием по-

варенной соли, не ухудшающих качественные показатели, а также повышающие показатели безопасности, являются актуальными.

Для продукции с промежуточной влажностью одним из показателей, характеризующих микробиологическую безопасность продукта, является показатель «активность воды» (A_w), который уже во многих странах используется как главный критерий прогнозирования потенциальной стойкости при разработке новых видов продукции [1, 2]. И поэтому оценивать возможность использования тех или иных пищевых добавок с точки зрения стойкости продукта необходимо через оценку их влияния на показатель A_w .

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для исследования применения пищевых добавок в технологии формованной соленой рыбной продукции с промежуточной влажностью в качестве сырья использовали такие массовые объекты промысла, как путассу (*Micromesistius routassou*), которая привлекает относительно невысокой стоимостью, и треска балтийская (*Gadus morhua*), достаточно широко представленная на сырьевом рынке Западно-Балтийского региона.

Среди ключевых пищевых добавок, потенциально способных понизить значения A_w , для исследования были выбраны лактат натрия (ГОСТ 31642-2012 Добавки пищевые. Натрий молочнокислый (лактат натрия) E325. Технические условия) и глицерин (ГОСТ 6824-96 «Глицерин дистиллированный»).

Лактат натрия - соль молочной кислоты, является синергистом антиокислителей и обладает антимикробными свойствами. Это действие (так называемый «лактатный эффект») основано на равновесии в растворе диссоциированных и недиссоциированных молекул. Недиссоциированная молекула легко проникает сквозь клеточную мембрану, диссоциирует внутри клетки и подкисляет её содержимое. Кроме того, эта соль является регулятором кислотности, так как сама или вместе со свободной молочной кислотой образует буфер [3, 4]. Лактаты обладают свойством связывать тяжелые металлы и постепенно выводить их из организма, а также стабилизируют цвет продукта [5, 6].

Глицерин - это трехатомный спирт, который относится к группе стабилизаторов, обладающих свойствами сохранять и увеличивать степень вязкости продукта [3].

Глицерин и лактат натрия - бесцветные жидкости, имеют нейтральное значение pH и практически не имеют запаха, что важно при использовании их в качестве пищевых добавок.

Для исследования влияния глицерина и лактата натрия на изменение A_w в соленой рыбной продукции с промежуточной влажностью подготовили четыре варианта образцов из фарша трески с содержанием хлористого натрия 2, глицерина 2 и 3, лактата натрия 1 и 3%. Контролем являлся фарш с внесением 2%-ного хлористого натрия.

С целью получения продукции, обладающей качественной структурой, были исследованы образцы с внесением каррагинана («Egol M 35», ООО «КС Витязь», г. Москва), модифицированного крахмала («ColdSwell 1111», компания «КМС» Дания) и альгината натрия (FD-120, фирма Danisco).

Все подготовленные образцы обезвоживали конвективным способом при температуре 22-24 °С, относительной влажности воздуха 50-60 % и скорости движения 0,5-1,0 м/с.

Влияние структурообразующих добавок на изменение предельного напряжения сдвига (ПНС), водоудерживающую способность, активность воды (A_w) определялось на фарше путассу с добавлением 2 %-ного хлористого натрия после уточнения технологических дозировок добавок для получения продукта с приемлемой структурой.

Предельное напряжение сдвига фаршевых полуфабрикатов определяли по ГОСТ Р 50814-95 «Мясопродукты. Методы измерения пенетрации конусом и игольчатым индентором», ВУС по ГОСТ 7636 «Рыба, морские млекопитающие, морские беспозвоночные и продукты их переработки. Методы анализа».

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

При исследовании влияния пищевых добавок – глицерина и лактата натрия на изменение A_w формованной соленой рыбопродукции с промежуточной влажностью в первую очередь проведена органолептическая оценка образцов. В сравнении с контролем в образцах с глицерином было отмечено положительное изменение консистенции. Образцы имели более плотную и эластичную структуру. Контрольный образец по окончании процесса обезвоживания оказался жестким и слегка крошливым.

Влияние глицерина и лактата натрия на изменение A_w образцов в процессе обезвоживания показано на рис. 1.

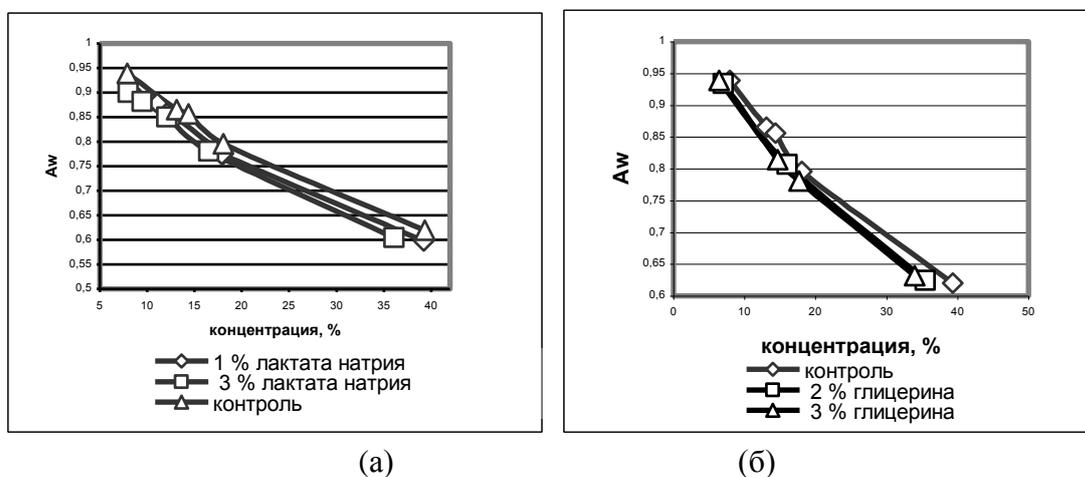


Рис. 1. Динамика изменения показателя A_w соленых рыбных фаршей с добавлением лактата натрия (а) и глицерина (б) в процессе обезвоживания
 Fig. 1. Dynamics of A_w indicator of salted minced fish with addition of sodium lactate (a) and glycerol (b) in the process of drying

По данным рис. 1 видно, что и лактат натрия, и глицерин снижают значение A_w в сравнении с контролем ориентировочно на 0,025-0,05. В процессе обезвоживания с увеличением концентрации отмечается незначительное возрастание разницы значений A_w образцов.

По литературным данным для отдельных пищевых продуктов снижение значения A_w даже на 0,01 приводит к увеличению сроков хранения в два раза, что связано с ролью A_w в протекании микробиологических процессов [7]. Не следует ожидать такого отклика на небольшое снижение активности воды для значительно обезвоженной продукции. Но это необходимо учитывать при обработке технологических параметров (массовой доли соли и влаги) с повышенным значением A_w , когда комплексное использование хлористого натрия и исследуемых пищевых добавок может явиться дополнительным барьерным фактором для предотвращения микробиологической порчи.

Исходя из принципов здорового питания, необходимо уменьшить количество потребляемой в России поваренной соли, а следовательно, оптимизировать ее содержание в различных продуктах. В этом случае роль синергистов соли может оказаться существенной.

В качестве примера на рис. 2 показано сравнительное влияние различной дозировки лактата натрия и глицерина на A_w фаршевого изделия с концентрацией соли 9%.

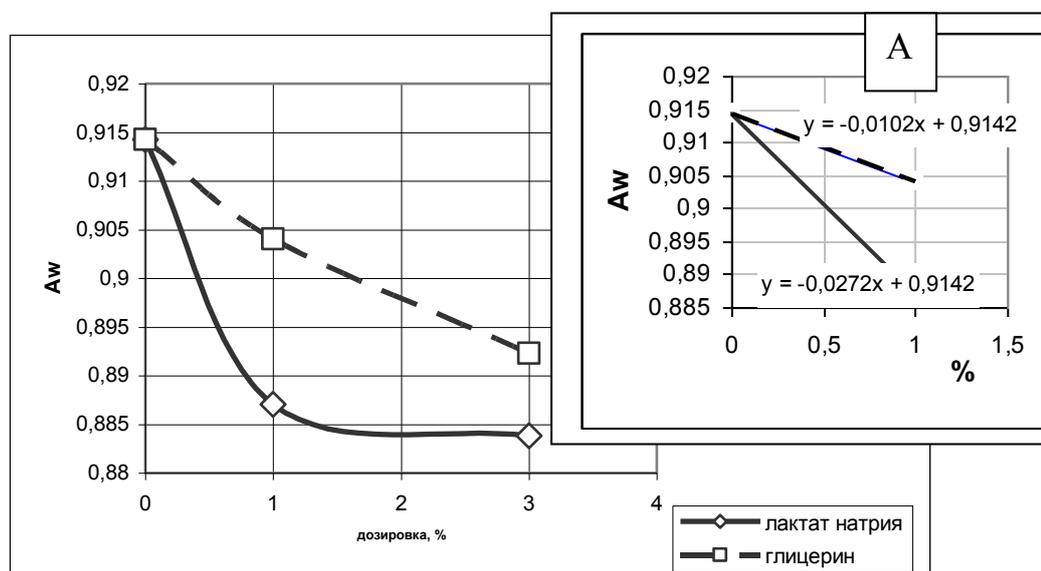


Рис. 2. Изменение A_w рыбного фарша с концентрацией соли 9 % в зависимости от дозировки глицерина и лактата натрия

Fig. 2. A_w dynamics of minced fish with salt concentration of 9%, depending on the dosage of sodium lactate and glycerol

Так как в пределах дозировки добавок до 1,0 % влияние их носит практически прямолинейный характер, то возможно оценить их роль при незначительном внесении, что может быть оправдано с технологической точки зрения. В секторе А (рис. 2) представлены математические выражения этой прямолинейной зависимости.

На рис. 2 видно, что влияние лактата натрия в этом диапазоне дозировок значительно сильнее выражено в сравнении с глицерином.

В пределах дозировки 0,5% влияние лактата натрия на степень снижения активности воды показано на рис. 3. Причем это влияние, как показал расчет, не зависит от концентрации соли в продукте.

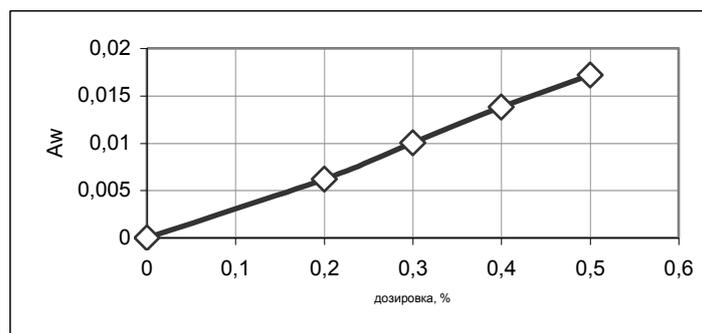


Рис. 3. Влияние дозировки лактата натрия на снижение A_w в обезвоженной продукции

Fig. 3. Effect of sodium lactate dosage on reduction of A_w in dehydrated products

По результатам оценки органолептических характеристик полуфабрикатов со структурообразующими добавками для исследования были выбраны образцы с внесением 0,5, 1,0 и 1,5% добавок. Динамика изменения и ПНС и ВУС полуфабрикатов показана на рис. 4.

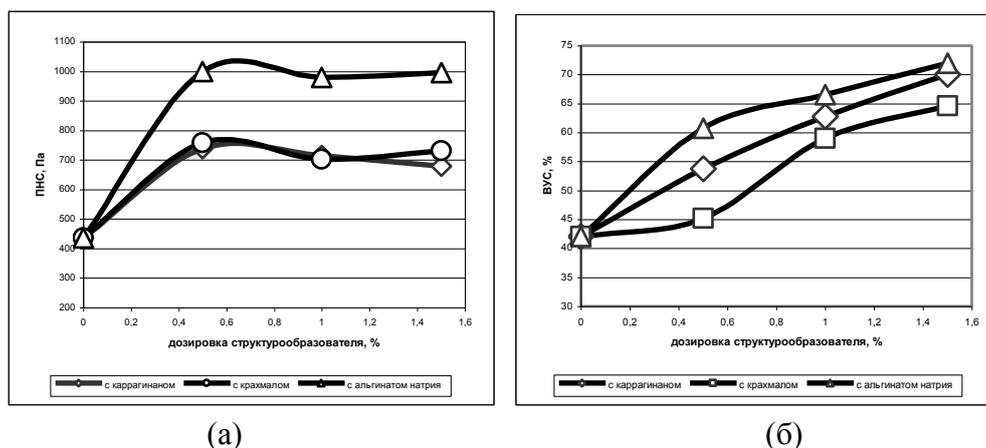


Рис. 4. Динамика изменения показателей ПНС (а) и ВУС (б) соленых рыбных фаршей

Fig. 4. Dynamics of yield value (a) and moisture-retaining capacity (b) of salted minced fish

По данным рис. 4 видно, что при добавлении структурообразователей значения ВУС увеличиваются, причем в наибольшей степени это наблюдается в образцах с натриевой солью альгиновой кислоты. В результате взаимосвязи белков и полисахаридов образуются комплексы, которые обуславливают получение вязкой структуры, тем самым препятствуя удалению воды.

При измерении предельного напряжения сдвига установили, что для упрочнения структуры полуфабриката количество исследуемых добавок должно быть менее 1 %. При повышении дозировки не происходит увеличение значений

ПНС. Это связано с образованием гелевой системы – структуры, состоящей из высокомолекулярных веществ, которые образуют непрерывную трёхмерную макромолекулярную сетку, выступающую в роли каркаса, пустоты в которой заполнены низкомолекулярным растворителем — дисперсионной средой. Таким образом, образованная пространственная структурная сетка обладает эластичностью.

По завершению сушки всех образцов была проведена органолептическая оценка готовой продукции, в результате которой отмечено, что наиболее оптимальные по консистенции – образцы с добавлением различных количеств каррагинана и натриевой соли альгиновой кислоты. У контрольных образцов структура была неравномерная, жесткая и крошащаяся.

На следующем этапе исследований нами определено влияние вышеописанных добавок на активность воды (A_w) образцов в процессе обезвоживания (рис. 5).

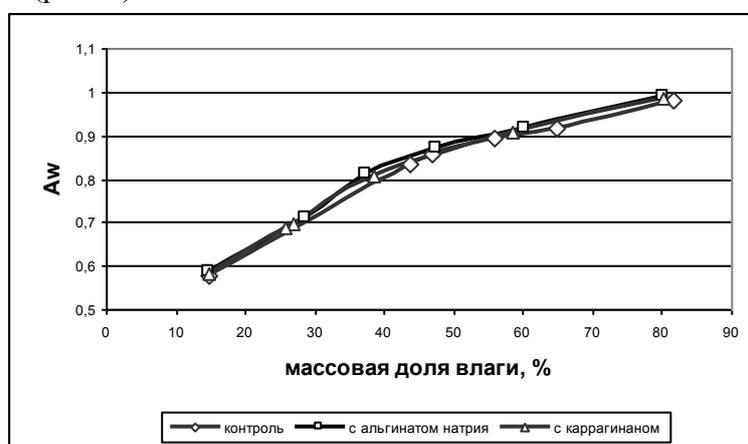


Рис. 5. Динамика изменения показателя A_w в процессе сушки образцов
 Fig. 5. A_w dynamics during drying of samples

Из рис. 5 видно, что в сравнении с контрольным образцом разница в динамике изменения показателя A_w для образцов с добавлением каррагинана и натриевой соли альгиновой кислоты незначительна. Таким образом, использование данных добавок в дозировке менее 1% не оказывают значительного влияния на микробиологическую безопасность готовой продукции.

ВЫВОДЫ

Добавление глицерина в количестве до 3,0 % к массе соленого полуфабриката улучшает консистенцию готового продукта и не оказывает отрицательного влияния на другие органолептические показатели соленой рыбной продукции с промежуточной влажностью.

Применение лактата натрия в количестве 0,5 % к массе соленого полуфабриката снижает значение A_w для продукции с концентрацией соли 9 % на 0,017, что может стать дополнительным барьером для предотвращения микробиологической порчи продукции с пониженным содержанием хлористого натрия.

Добавление каррагинана или натриевой соли альгиновой кислоты в количестве менее 1 % к массе полуфабрикатов обеспечивает получение фаршей с хо-

рошими формулирующими свойствами, а также получение готовой продукции улучшенной равномерной структуры.

Добавление каррагинана или натриевой соли альгиновой кислоты в количестве менее 1 % к массе полуфабриката не оказывает существенного влияния на динамику изменения показателя A_w при обезвоживании соленого фарша, что важно с точки зрения микробиологической безопасности продукции

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Water activity in foods: fundamentals and applications/ Gustavo V. Barbosa-Cánovas, Anthony J. Fontana Jr., Shelly J. Schmidt, Theodore P. Labuza Blackwell Publishing and Institute of Food Technologists, 2007. – P. 405.
2. Christian, J.H.B. Drying and reduction of water activity / J.H.B. Christian // The microbiological safety and quality of food / edited by B. Lund, A. Baird-Parker, G. Gould. – Maryland (USA): Aspen Publishers, 2000. – Pp. 146-168.
3. Сарафанова, Л. А. Пищевые добавки: энциклопедия / Л. А. Сарафанова. – Санкт-Петербург: ГИОРД, 2003. – 688 с.
4. Shelef L.A. Antimicrobial effects of lactates: a review. J. of Food Protection, 1994, v.57, №5.
5. Кудряшов, Л. С. Изменение цветовых характеристик мяса в процессе технологической обработки / Л. С. Кудряшов, Г. В. Гуринович // Обзорная информация. Сер. «Мясная промышленность» [Background information: series “Meat industry”]. – Москва: АгроНИИТЭИ Мясомолпром., 1994. - С. 10-17.
6. Кудряшов, Л. С. Использование молочной кислоты и ее солей при производстве мясопродуктов / Л. С. Кудряшов // Проблемы глубокой переработки сельскохозяйственного сырья и экологической безопасности в производстве продуктов питания XXI века: мат-лы науч.-практ. конф. – Углич, 4-7 сентября 2001.
7. Технология продукции общественного питания: в 2 т. / под ред. д-ра техн. наук, проф. А. С. Ратушного. – Москва: Мир, 2003. – Т. 1. – Физико-химические процессы, протекающие в пищевых продуктах при их кулинарной обработке. – 351 с.

REFERENCES

1. Water activity in foods: fundamentals and applications/ Gustavo V. Barbosa-Cánovas, Anthony J. Fontana Jr., Shelly J. Schmidt, Theodore P. Labuza Blackwell Publishing and Institute of Food Technologists, 2007, 405 p.
2. Christian J.H.B. Drying and reduction of water activity. The microbiological safety and quality of food / edited by B. Lund, A. Baird-Parker, G. Gould. Maryland (USA): Aspen Publishers, 2000, pp. 146-168.
3. Sarafanova L. A. *Pishhevye dobavki: jenciklopedija* [Food additives: encyclopedija]. Saint-Petersburg, GIOR, 2003, 688 p.
4. Shelef L. A. Antimicrobial effects of lactates: a review. J. of Food Protection, 1994, vol. 57, no. 5.
5. Kudrjashov L. S., Gurinovich G. V. *Izmenenie cvetovyh harakteristik mjasa v processe tehnologicheskoy obrabotki* [Change of colour characteristics of meat during processing treatment]. Obzornaja informacija: serija “Mjasnaja promyshlennost”

[Background information: series “Meat industry”]. Moscow, AgroNIITJeI Mjasomolprom, 1994, pp. 10-17.

6. Kudrjashov L. S. Ispol'zovanie molochnoj kisloty i ee solej pri proizvodstve mjasoproduktov [Using lactic acid and its lactates in manufacturing of meat products]. *Materialy nauchno-prakticheskoy konferencii “Problemy glubokoj pererabotki sel'skohozjajstvennogo syr'ja i jekologicheskoy bezopasnosti v proizvodstve produktov pitaniya XXI veka”* [Proceedings of scientific conference “Problems of deep freeze of agricultural products and ecological safety in production of food of XXI century]. Uglich, 4-7 sentjabrja, 2001.

7. Ratushnyj A. S., Hlebnikov V. I., Baranov B. A. *Tehnologija produkcii obshhestvennogo pitaniya. Tom 1. Fiziko-himicheskie processy, protokajushhie v pishhevyyh produktah pri ih kulinarnoj obrabotke* [Technology of catering products. Vol. 1. Physical-chemical processes occurring in food products during their cooking]. Moscow, Mir, 2003, 351 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Степаненко Екатерина Игоревна – Атлантический научно исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии; научный сотрудник лаборатории технологии соленой, копченой и вяленой рыбопродукции;
E-mail: katestepanenko@yandex.ru, e.stepanenko@ atlantniro.ru

Stepanenko Ekaterina Igorevna – Atlantic Research Institute of Fisheries and Oceanography, (AtlantNIRO); research worker of department of salted, smoked and dried fish products;
E-mail: katestepanenko@yandex.ru, e.stepanenko@ atlantniro.ru

Андреев Михаил Павлович – Атлантический научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии; доктор технических наук заместитель директора Атлантического научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии; E-mail: andreev@atlantniro.ru

Andreev Michael Pavlovich – Atlantic Research Institute of Fisheries and Oceanography, (AtlantNIRO); doctor of Sciences, Deputy Director of Atlantic Research Institute of Fisheries and Oceanography; E-mail: andreev@atlantniro.ru

Нехамкин Борис Лазаревич – Атлантический научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии; заведующий лабораторией технологии соленой, копченой и вяленой рыбопродукции; E-mail: posol@ atlantniro.ru

Nekhamkin Boris Lazarevich – Atlantic Research Institute of Fisheries and Oceanography, (AtlantNIRO); head of the department of salted, smoked and dried fish products; E-mail: posol@ atlantniro.ru

СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

УДК 631.4 : 631.5

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПОЧВ И УРОЖАЙНОСТИ ЯЧМЕНЯ
ПРИ МИНИМАЛЬНОЙ И НУЛЕВОЙ ОБРАБОТКЕ
В ХОЛМИСТО-МОРЕННЫХ АГРОЛАНДШАФТАХ

О. А. Анциферова

COMPARATIVE ASSESSMENT OF SOILS AND YIELD OF BARLEY AT
MINIMUM AND ZERO TILLAGE IN HILLY MORAINÉ AGROLANDSCAPES

O. A. Antsiferova

Исследования проведены на двух пахотных полях в Зеленоградском районе Калининградской области в пределах Самбийской холмисто-моренной равнины. Продуктивность ячменя изучалась в 2013 г. Почвенный покров полей представлен глееватыми буроземами на вершинах холмов и склонах, дерново-подзолистыми и дерново-глеевыми почвами в понижениях. На обоих полях преобладают почвы со среднекислой реакцией среды пахотного горизонта. В буроземах вершин и склонов холмов содержание гумуса низкое вследствие эродированности и припашки подпахотных горизонтов. В почвах понижений отмечено повышенное содержание гумуса. В 2013 г. в замкнутых понижениях поверхностный застой воды наблюдался до начала мая. Поэтому на таких участках произошла практически полная гибель ячменя вследствие вымокания. Агрохимический фон обоих полей отличается высокой степенью контрастности в связи с неоднородностью ландшафтных условий и особенностями землепользования (несвоевременное известкование и неравномерное внесение минеральных удобрений). Минимальная обработка почв не является препятствием для развития водной эрозии; в условиях нулевой обработки проявлений водной эрозии не отмечено. Корреляционный анализ дает объективную информацию при изучении выборок по группам почв. Для глееватых буроземов повышений и склонов корреляция урожая зерна ячменя с содержанием обменного алюминия теснее ($r = -0,88$), чем с pH_{KCl} ($r = 0,66$). В пахотном горизонте дерново-глеевых почв замкнутых понижений ионы H^+ преобладают над обменным Al^{3+} . На среднекислых почвах возможно получение урожая ячменя при низком содержании обменного алюминия и в условиях обеспечения фосфорного и калийного питания. При нулевой обработке снижение урожая ячменя на сильнокислых почвах повышений и склонов составляет 94, а на среднекислых 48 - 72 %. При минимальной обработке снижение урожая в тех же условиях составило 60 - 83 и 28 - 56% соответственно.

минимальная обработка, нулевая обработка, свойства почв, глееватые буроземы, дерново-глеевые почвы, урожайность ячменя

Research has been carried out on two arable fields in Zelenogradsk district of the Kaliningrad region within the Sambiyskaya hilly moraine plain. The productivity of

barley was studied in 2013. The soil cover is made up of fields of gleysolic brown soil (braunerde gleysolic) on hills, soddy-podzol gley and soddy-gley soils in depressions. In both fields soils with a medium acidic reaction of the plowing horizon are prevalent. In brown soils of hills tops and slopes, humus content is low due to erosion and plowing of subsurface horizons. Soils of depressions are characterized by high humus content. In 2013, in closed depressions, surface water stagnation was observable until early May. Therefore, in such areas there was almost complete destruction of barley due to waterlogging. Agrochemical background of both fields is characterized by a high degree of contrast, due to heterogeneity of landscape conditions and peculiarities of land-use (late liming and unequal application of mineral fertilizers). Mini-till (minimum tillage) is not an obstacle for the development of water erosion; under no-till (zero tillage) manifestations of water erosion were not observed. Correlation analysis provides unbiased information in the study of soil samples in groups. For gleysolic brown soils of tops and slopes, correlation of grain yield of barley with exchange aluminium content is closer ($r = -0,88$), than with pH_{KCl} ($r = 0,66$). In the arable horizon of soddy-gley soils of closed depressions, H^+ predominates over exchange Al^{3+} . In medium acid soils, it is possible to obtain barley harvest at low levels of exchange aluminium and in conditions of phosphorus and potassium nutrition. At no-till barley harvest on strongly acidic soils of tops and slopes of hilly moraine is 94 % and on medium acidic - 48 - 72 %. At mini-till yield reduction under the same conditions was 60 - 83 % and 28 - 56 %, respectively.

minimum tillage, zero tillage, soil properties, gleysolic brown soils, soddy-gley soils, yield of barley

ВВЕДЕНИЕ

В современных системах земледелия существуют подсистемы, выделяющиеся по разной глубине обработки (глубокая, разноглубинная, минимальная) [1, 2]. Под минимальной обработкой (mini-till) почвы понимают научно обоснованную обработку, обеспечивающую снижение энергетических и трудовых затрат путем сокращения числа и глубины обработок, совмещения нескольких операций в одном рабочем процессе и уменьшения обрабатываемой поверхности [3, 4]. Рекомендации по внедрению минимальной и разноглубинной обработки почвы под конкретные культуры и севообороты в различных почвенно-сельскохозяйственных зонах России были разработаны еще в 80-х годах XX в. [4, 5]. Минимализация обработки почвы получила широкое развитие в Западной Европе, в том числе применительно к дерново-подзолистым почвам [6].

Нулевая обработка почвы (no-till) распространилась как одна из систем почвозащитных обработок для предотвращения эрозии и уменьшения экономических затрат в земледелии [7]. Исследования по нулевой обработке в России и странах СНГ проведены в основном на базе черноземов [3, 8, 9]. Результаты, полученные в последние годы в ФГБНУ «ВНИИМЗ» (г. Тверь) по сравнительной характеристике эффективности разных видов минимальной и нулевой обработки на осушенных дерново-подзолистых почвах, показали, что нулевая обработка в течение трех лет не дает преимуществ перед культивацией [10]. На основе подробного анализа опыта использования no-till в Западной Европе установлено, что в странах с гумидным климатом (Швеция, Финляндия,

Германия) эффективность этой технологии значительно ниже по сравнению с регионами с засушливым климатом (Испания, Италия) [11].

Для условий Калининградской области в 80-е годы XX в. рекомендовалась зяблевая вспашка, которая должна была сочетаться в севообороте с безотвальными и поверхностными приемами обработки почвы [12]. В 1973-1980 гг. полевые опыты по минимальной обработке почвы показали, что: 1) увеличивается засоренность посевов; 2) уменьшение числа вспашек и глубины обработки легкосуглинистой почвы до 10-12 см не снижает урожая озимой пшеницы, если она размещается по занятому пару, возделывается в севообороте и систематически удобряется [13, с. 10-14]. Актуальность исследования заключается в том, что в настоящее время нулевая и минимальная обработки активно внедряются в Калининградской области, но при этом отсутствуют научные агроэкологические данные степени эффективности этих технологий в региональных почвенно-климатических условиях.

Цель исследования - сравнить продуктивность ячменя при минимальной и нулевой обработках почв в условиях сложного почвенного покрова. Задачи: 1) изучить почвенный покров ключевых участков; 2) установить степень однородности агрохимического фона и оценить пригодность почв для минимальной и нулевой обработок; 3) выявить агроэкологические факторы, лимитирующие урожайность ячменя; 4) сравнить урожайность ячменя при минимальной и нулевой обработках.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводили на двух ключевых участках («Холмы» и «20-й км»), представляющих собой пахотные поля в Зеленоградском районе Калининградской области. В физико-географическом аспекте эти участки располагаются в пределах Самбийской холмисто-моренной равнины. В работе использованы стандартные и рекомендованные методики [14]. Проводили анализ следующих агрохимических показателей: $pH_{КС1}$ – потенциметрически, обменный калий и подвижные фосфаты – по Кирсанову (ГОСТ Р 54650-2011), гумус – по Тюрину. В период полной спелости на различных почвенных ареалах отбирали пробные снопы с площадок 1 м^2 параллельно со смешанными образцами почв из пахотного слоя. Обмолот снопов проведен вручную. Все анализы выполнены в 4-кратной повторности. Статистическую обработку данных выполняли в Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Рельеф обоих полей холмисто-волнистый с наличием замкнутых микропонижений площадью от 0,02 – 0,5 до 1 га. Вершины холмов чаще всего сглажены, но встречаются и выпуклые. Преобладают склоновые поверхности крутизной $1-3^{\circ}$, у выраженных в рельефе холмов она составляла $3-5^{\circ}$, на участке «Холмы» – до $9-12^{\circ}$. По длине склоны очень короткие 50 – 100 м и короткие 100 – 200 м (по классификации М. Н. Заславского). Рельеф создает условия для формирования почв разной степени гидроморфизма.

Почвенный покров полей представляет собой сочетание слабogleеватых буроземов на вершинах холмов с глееватыми и глеевыми буроземами на склонах, дерново-подзолистыми и дерново-глеевыми почвами в понижениях. Преобладает легкосуглинистый гранулометрический состав пахотного горизонта, но

встречаются ареалы супесей и неоднородных пород. Буроземы и дерново-подзолистые почвы повышений и склонов глубоко выщелочены. Дерново-глеевые почвы замкнутых понижений сформировались на карбонатных отложениях. В почвенном покрове полей преобладают полугидроморфные оглеенные почвы, которые занимают более 90 % от общей площади (совместно глееватые и глеевые). Долевое участие глеевых почв выше на участке «20-й км» (более 43 %). Глеевые почвы подвержены сезонному переувлажнению, особенно в замкнутых понижениях.

Результаты анализа агрохимических свойств пахотного горизонта почв в пределах различных групп почв отражены в табл.1 - 4.

На повышениях и склонах участка «20-й км» рН солевой вытяжки варьирует от очень сильнокислого до слабокислого, в понижениях - от очень сильнокислого до нейтрального. В почвах преобладает среднекислая реакция среды (табл. 1).

На участке «Холмы» интервал варьирования рН схож на почвах различных элементов рельефа и изменяется в пределах от сильнокислого до слабокислого. В почвах также преобладает среднекислая реакция среды.

Таблица 1. Варьирование уровня рН_{KCl}

Table 1. Variation of рН_{KCl}

Участок	Показатель*	Рельеф, крутизна склонов, почвы**				
		Повышения Л ^{бз}	Склоны 2-5 ⁰ Л ^{бз}	Волнистые участки Л ^{бГ} , П ^{дГ}	Открытые понижения П ^{дГ} , Д ^Г	Замкнутые понижения Д ^Г
«20-й км»	M _{+m}	4,9 ± 0,2	4,5±0,2	4,6±0,2	4,8±0,1	5,0±0,3
	lim	3,9 - 5,5	3,9 - 5,5	4,3 - 5,5	4,3 - 5,6	3,9 - 6,2
«Холмы»	M _{+m}	4,7 ± 0,1	4,5 ± 0,2	4,7 ± 0,1	4,5 ± 0,3	4,7 ± 0,2
	lim	4,1 – 4,9	4,2 – 5,3	4,2 – 4,9	4,2 – 5,2	4,3 – 5,3

* M_{+m} – среднее арифметическое и ошибка среднего; lim – минимальное и максимальное значения показателя;

** Л^{бз} – бурозем глееватый; Л^{бГ} – бурозем глеевый; П^{дГ} – дерново-подзолистая глеевая почва; Д^Г – дерново-глеевая почва.

Большой процент кислых почв объясняется давностью известкования и длительным применением физиологически кислых удобрений. Пространственная контрастность уровня рН связана с двумя группами причин: 1) неоднородностью рельефа и гранулометрического состава почв; 2) неединовременным известкованием различных агрохимических контуров.

Содержание гумуса на повышениях и склонах участка «20-й км» варьирует от очень низкого до повышенного, в понижениях - от среднего до высокого.

На участке «Холмы» содержание гумуса на склонах и повышениях изменяется от очень низкого до среднего, в понижениях – от среднего до высокого. На склонах крутизной 5-12⁰ встречаются ареалы средне- и сильноосмытых почв с содержанием гумуса 1,2 – 1,6 %. Низкое содержание гумуса обуславливается эродированностью почв и систематической припашкой

малогумусных подпахотных горизонтов. На обоих участках среднее содержание гумуса в пространстве возрастает по мере продвижения от повышений к понижениям (табл. 2). Повышенное количество гумуса типично для почв понижений и является результатом его накопления в условиях насыщенности почвенного поглотительного комплекса кальцием и магнием и близкого залегания грунтовых вод и верховодки.

Таблица 2. Варьирование содержания гумуса, %

Table 2. Variation of humus content, %

Участок	Показатель	Рельеф, крутизна склонов, почвы				
		Повышения Л ^{бэ}	Склоны 2-5 ⁰ Л ^{бэ}	Волнистые участки Л ^{бГ} , П ^{дГ}	Открытые понижения П ^{дГ} , Д ^Г	Замкнутые понижения Д ^Г
«20-й км»	M+m	1,88 ± 0,04	2,0 ± 0,13	2,77 ± 0,1	3,46 ± 0,22	3,16 ± 0,25
	lim	1,7 - 2,1	1,55 - 2,4	2,4 - 3,2	2,3 - 4,5	2,5 - 3,7
«Холмы»	M+m	1,80 ± 0,03	1,82 ± 0,03	2,32 ± 0,03	2,41 ± 0,02	3,70 ± 0,08
	lim	1,7 - 2,1	1,7 - 2,3	2,0 - 2,8	2,1 - 2,7	2,7 - 4,6

Для почв всех элементов рельефа на участке «20-й км» характерно варьирование содержания подвижного фосфора от очень низкого до очень высокого. Максимальный разброс значений содержания наблюдается на склонах крутизной свыше 3⁰. На участке «Холмы» содержание подвижного фосфора варьирует от среднего до очень высокого (табл. 3). Среднеарифметическое содержание подвижного фосфора в почвах обоих участков высокое. Варьирование содержания фосфора объясняется неравномерностью внесения фосфорных удобрений.

Таблица 3. Варьирование содержания подвижного P₂O₅, мг/кг

Table 3. Variation of the content of movable P₂O₅, mg/kg

Участок	Показатель	Рельеф, крутизна склонов, почвы				
		Повышения Л ^{бэ}	Склоны 2-5 ⁰ Л ^{бэ}	Волнистые участки Л ^{бГ} , П ^{дГ}	Открытые понижения П ^{дГ} , Д ^Г	Замкнутые понижения Д ^Г
«20-й км»	M+m	155±28,6	214±70,5	194±36,2	193±37,1	175±39,4
	lim	50 - 310	25 - 620	112 - 361	81 - 350	33 - 262
«Холмы»	M+m	137 ± 34	156 ± 42	179 ± 23	221 ± 26	169 ± 34
	lim	92 - 250	85 - 214	109 - 245	112 - 284	112 - 210

Содержание обменного калия на участке «20-й км» варьирует от повышенного до очень высокого, а на участке «Холмы» от среднего до очень высокого. В среднем количество обменного калия в почвах ключевых участков повышенное (табл. 4). Пространственная контрастность связана с неравномерностью внесения удобрений и разной скоростью миграции по элементам рельефа иона калия.

Исследованиями установлено, что агрохимические условия участка «20-й км» более контрастны в сравнении с участком «Холмы», где фон пахотного горизонта более выровнен.

Таблица 4. Варьирование содержания обменного K_2O , мг/кг

Table 4. Variation of the content of exchange K_2O , mg/kg

Участок	Показатель	Рельеф, крутизна склонов, почвы				
		Повышения $L^{бэ}$	Склоны $2-5^0$ $L^{бэ}$	Волнистые участки $L^{бГ}, П^{дГ}$	Открытые понижения $П^{дГ}, Д^Г$	Замкнутые понижения $Д^Г$
«20-й км»	$M_{\pm m}$	177 \pm 13,25	181 \pm 12,1	156 \pm 15,4	162 \pm 22,1	151 \pm 18,6
	lim	112 – 221	125 – 223	104 – 217	104 – 260	125 – 243
«Холмы»	$M_{\pm m}$	141 \pm 48	153 \pm 46	166 \pm 47	152 \pm 32	171 \pm 23
	lim	95 - 265	85 - 271	98 - 217	112 - 218	130 - 221

Анализ литературных источников показывает, что для введения минимальной, и в особенности нулевой, обработки почвы необходимы следующие условия: 1) высокий уровень окультуренности почв (мощность гумусового горизонта 25-30 см; уровень pH_{KCl} не менее 5,5; минимальное варьирование агрохимических показателей на поле); 2) хорошая работа мелиоративной сети; 3) выровненная поверхность почвы [3 - 11]. Изученные поля не соответствуют требованиям, предъявляемым к введению минимальной и нулевой обработок, так как в составе почвенного покрова встречается высокий процент кислых почв, а также почв с низким содержанием гумуса, дренажная сеть нарушена и в весенний период наблюдаются многочисленные участки поверхностного переувлажнения.

Технология возделывания ячменя отражена в табл. 5.

Таблица 5. Технология возделывания ячменя на ключевых участках

Table 5. Barley cultivation technology in key areas

Элементы технологии	«Холмы»	«20-й км»
Предшественник	Яровой рапс	
Химическая обработка	С осени и весной перед посевом, глифосатом 3-5 л/га	
Предпосевная обработка	Минимальная, дисковая борона на глубину 8-10 см	Нулевая
Сорт	Фаворит 2РС	
Посев	Первая декада мая, норма высева 180 кг/га	
	Универсальная зерновая сеялка	Стерневая сеялка
Предпосевное удобрение	Отсутствует	$N_{45}P_{34}$ д.в.
Подкормки	Аммонийная селитра, N_{80-90} д.в. в стадии 13-15	
Химические обработки	Гербициды Секатор+Агритокс, фунгицид АльтоСупер, инсектицид Борей	Гербициды Секатор+Агритокс, Магнум+Балерина, фунгициды АльтоСупер, Колосаль, инсектициды Борей+Скарлет
Уборка	Вторая декада августа 2013 г.	

В целом технология возделывания ячменя на обоих участках совпадает, различие состоит в способе обработки поля. Возделывание ячменя при no-till предполагало предпосевное удобрение и дополнительные химические обработки.

Погодные условия вегетационного периода 2013 г. (апрель – август) характеризовались количеством осадков (338 мм) на уровне среднеголетних значений (325 мм). Температурный фон летних месяцев был более теплый (рисунок). Холодной оказалась первая половина апреля, что привело к недостаточному прогреву почвы. В последней декаде июня выпадение обильных ливневых осадков привело к временному переувлажнению почвы. Сырые погодные условия июля сказались, прежде всего, на увлажнении пониженных участков, где было отмечено частичное полегание ячменя. В период уборки погодные условия были благоприятными.

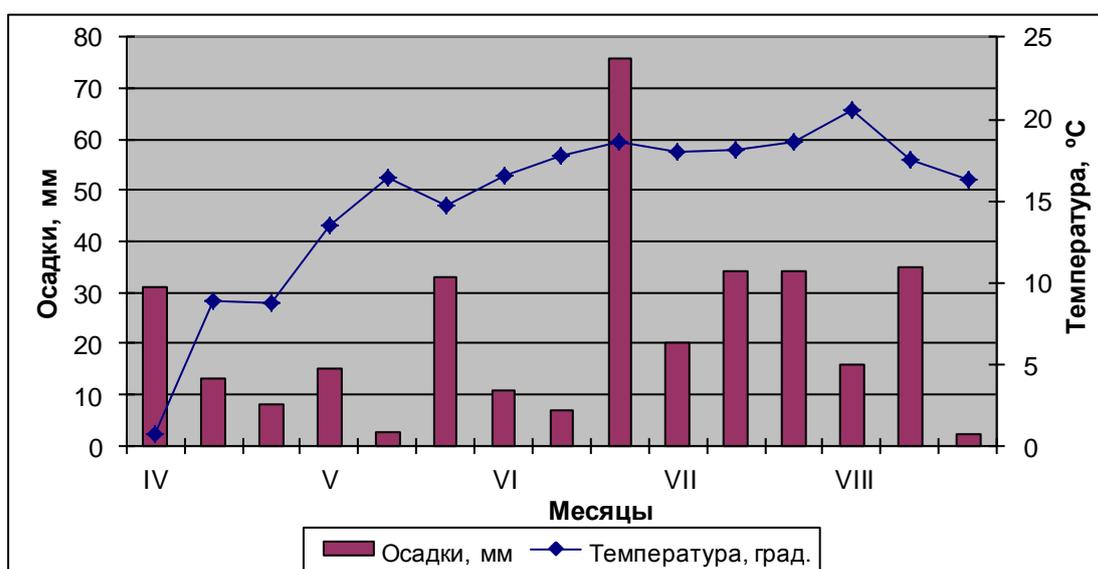


Рис. Распределение осадков и среднесуточных температур по декадам с апреля по август 2013 г. по данным метеостанции г. Калининграда

Fig. Distribution of rainfall and average daily temperatures by decades between April and August of 2013 according to the weather station in Kaliningrad

Ячмень неустойчив к затоплению и переувлажнению в критические периоды: до всходов и во время колошения. Благоприятный для выращивания ячменя уровень рН дерново-подзолистых почв составляет по данным литературных источников 6 – 7,5. Указывается, что на легко- и среднесуглинистых почвах pH_{KCl} должен быть в пределах 5,5 – 6,5. Ячмень чувствителен к средней и высокой кислотности почвы, а также высокому содержанию подвижного алюминия [1]. В результате почвенно-агрохимических исследований установлено, что основными лимитирующими урожай факторами будут являться: 1) особенности увлажнения почв (наличие и длительность поверхностного затопления); 2) кислотность почв.

Статистический анализ массы зерна пробных снопов показал, что нет существенной разницы между урожайностью на почвах со слабокислой и близкой

к нейтральной реакции среды пахотного горизонта. Вот почему эти две группы кислотности объединены в одну при обобщении результатов.

По степени увлажнения почв нами с учетом рельефа выделены четыре их группы: 1) слабogleеватые буроземы на повышениях (вершины холмов); 2) буроземы на склонах; 3) дерново-подзолистые глеевые и дерново-глеевые почвы в открытых понижениях между холмами; 4) замкнутые понижения с дерново-глеевыми почвами, заболачивающимися в весенний и позднесенний период. В 2013 г. в замкнутых понижениях поверхностный застой воды наблюдался до начала мая, т.е. до периода посева. Поэтому на таких участках сохранились глубокие колеи от прохода техники и произошла практически полная гибель ячменя вследствие вымокания, в ряде случаев – на фоне повышенной кислотности почвы. Несмотря на то, что все дерново-глеевые почвы замкнутых микропонижений на поле являются карбонатными в нижней части профиля, пахотный горизонт их может иметь кислые значения рН как следствие способности почв аккумулировать геохимические стоки с окрестных повышений. К подкислению гумусового горизонта дерново-глеевых почв приводит длительное применение физиологически кислых минеральных удобрений (аммонийной селитры и сульфата аммония). Наличие глинистых прослоек под пахотным горизонтом дерново-глеевых почв препятствует интенсивному просачиванию кислых почвенных растворов в нижнюю часть профиля в летний период.

В пределах участка «20-й км» преобладают склоновые поверхности, поэтому в качестве «эталоны» принята урожайность на буроземах глееватых легкосуглинистых в условиях склонов и близкой к нейтральной реакции среды. Расчет показал, что на сильнокислых почвах разной степени увлажнения снижение массы зерна свыше 90 %. На среднекислых почвах максимальные потери (71,7 %) отмечаются на почвах вершин холмов, а минимальные (19,6 %) – в открытых понижениях, куда поступают геохимические потоки, содержащие питательные вещества из удобрений (табл. 6). Открытые понижения не испытывают длительного поверхностного затопления в отличие от замкнутых западин. Поэтому в условиях слабокислой и близкой к нейтральной реакции среды масса зерна на единицу площади на таких участках выше по сравнению с глееватыми почвами склонов. Вместе с тем ячмень в открытых понижениях отличается сильнорослостью из-за избытка минерального азота и при ливневых осадках полегаёт в первую очередь. Это обстоятельство приводит к потерям урожая при производственной уборке. В замкнутых микропонижениях в 2013 г. наблюдалась практически полная гибель ячменя (потери 95-100 % урожая). Местами сохранились лишь отдельные растения в западинах, где поверхностный застой воды продолжался до конца апреля.

На участке «20-й км» отмечена выраженная зависимость урожая зерна ячменя от степени обменной кислотности. Содержание обменного алюминия в пахотном горизонте почв со среднекислой реакцией среды варьировало от 0,2 до 1,2 мг на 100 г, в сильнокислых оно увеличивалось до 1,5 – 5 мг на 100 г, а в очень сильнокислых почвах (рН_{KCl} менее 4,0) составляло 4,3 – 37,1 мг на 100 г. При оценке степени корреляции урожая зерна ячменя с рН и обменным алюминием для общей выборки почв (без разделения на таксономические группы) получили сходные коэффициенты: для пары «урожай - рН_{KCl}» $r = 0,64$, для пары «урожай –

обменный алюминий» $r = -0,62$. Однако при анализе по группам почв выяснилось, что для слабogleеватых буроземов повышений и глееватых буроземов склонов корреляция урожая зерна ячменя с обменным алюминием теснее ($r = -0,88$), чем с pH_{KCl} ($r = 0,66$). В группе почв открытых понижений, напротив, теснее корреляционная связь между урожаем и pH_{KCl} ($r = 0,74$), чем в паре «урожай – обменный алюминий» ($r = -0,6$). Причина заключается в том, что почвы повышений и склонов функционируют в условиях интенсивного выноса подвижных ионов с поверхностным и внутрипочвенным стоками. Кислотность в этих почвах обусловлена в основном обменным алюминием. В почвах открытых понижений происходит частичная нейтрализация ионов Al^{3+} и H^+ вследствие высокой насыщенности большинства почв кальцием и магнием. Источником этих ионов являются: 1) грунтовые воды в карбонатных горизонтах материнских пород, в частности капиллярная кайма, поднимающаяся в почвенный профиль в весенний период; 2) геохимические потоки с повышений, приносящие остаточные количества известковых материалов. Поэтому общее содержание обменных Al^{3+} и H^+ в дерново-подзолистых глеевых и дерново-глеевых почвах депрессий ниже (за исключением отдельных случаев) по сравнению с кислыми буроземами склонов и повышений. Длительное использование физиологически кислых минеральных удобрений является источником H^+ , который активно мигрирует в понижения. Анализ показывает, что в почвах понижений количество ионов H^+ увеличивается по отношению к Al^{3+} . Его содержание становится примерно равным количеству обменного алюминия и составляет в среднем 0,04 мг на 100 г почвы. В среднекислых дерново-глеевых почвах замкнутых понижений обменный H^+ преобладает над алюминием.

Таблица 6. Масса зерна ($г/м^2$) ячменя
Table 6. Barley grain weight ($г/м^2$)

Почвы	Рельеф и крутизна склонов	Урожайность на почвах разной степени кислотности (pH_{KCl})		
		Менее 4,5	4,6 – 5,0	5,1 – 5,9
Участок «20-й км»				
L^{Bz} л	Повышения	36 ± 3	159 ± 10	577 ± 17
L^{Bz} л	Склоны 2 – 5 ⁰	35 ± 4	290 ± 13	562 ± 26
$П^{ДГ}$, $Д^{Гс}$	Открытые понижения	9 ± 2	452 ± 15	591 ± 15
Участок «Холмы»				
L^{Bz} л	Повышения	73 ± 7	195 ± 14	.*
L^{Bz} л	Склоны 2 – 5 ⁰	204 ± 23	321 ± 15	440 ± 17
L^{Bz} л ↓↓, L^{Bz} л ↓↓↓	Склоны 5 – 12 ⁰	176 ± 11	378 ± 19	493 ± 21
$П^{ДГ}$, $Д^{Гс}$	Открытые понижения	194 ± 24	423 ± 21	529 ± 14

* Данная группа почв не обнаружена.

На участке «Холмы» отсутствуют ареалы очень сильнокислых почв с высоким содержанием подвижного алюминия (выше 8 мг на 100 г). Наличие покато-крутых склонов способствует быстрой миграции элементов из

минеральных удобрений, прежде всего – нитратного азота. При интенсивном минеральном питании корни растений перехватывают эти вещества. Поэтому на склонах, даже в условиях среднекислой реакции среды, урожайность выше по сравнению с участком «20-й км» (табл. 6). Таким образом, если причиной кислотности не является высокое содержание обменного алюминия, то на таких почвах возможно получение производственно-значимых урожаев ячменя в условиях обеспечения фосфорного и калийного питания. Но только оптимальная реакция среды почвенного раствора дает возможность реализовать продукционный потенциал ячменя. Результаты исследований показывают, что среднестатистический урожай при слабокислой реакции среды на участках значительно выше, чем на среднекислых почвах.

Применение минимальной обработки почв не сдерживает водную эрозию. Наблюдения путем пассивного эксперимента в природе [15, с. 147 - 149] показали, что в 2013 г. водная эрозия на участке «Холмы» активно развивалась в посевах ячменя на склонах западной экспозиции крутизной свыше 5°. Объем вынесенной почвы с различных участков склонов составил 2,3 – 4,2 т/га. Это значительно меньше, чем в сыром 2012 г. Тогда в условиях минимальной обработки под посевами ярового рапса объемы смытой почвы составили 5,2 – 12 т/га, а у подножия склонов накопился песчаный делювий. Склоны северной, восточной и южной экспозиции в пределах ключевого участка «Холмы» в меньшей степени подвержены эрозии. В условиях нулевой обработки почвы на участке «20-й км» визуальных проявлений водной эрозии в форме ручейковых размывов не отмечено.

ВЫВОДЫ

1. Агрохимический фон обоих полей отличается высокой степенью контрастности, что связано как с неоднородностью ландшафтных условий, так и с особенностями землепользования (несвоевременное известкование и неравномерное внесение минеральных удобрений).

2. Изученные поля не соответствуют требованиям, предъявляемым к введению минимальной и нулевой обработок, так как в составе почвенного покрова встречается высокий процент кислых почв, а также почв с низким содержанием гумуса, дренажная сеть нарушена и в весенний период наблюдаются многочисленные участки поверхностного переувлажнения; на участке «Холмы» развивается водная эрозия.

3. Основными лимитирующими урожай показателями являются степень увлажнения и кислотность. В условиях нулевой обработки снижение урожая ячменя на сильнокислых почвах повышений и склонов составляет 94 %, а на среднекислых 48 - 72 %. При минимальной обработке снижение урожая в тех же условиях было на уровне 60 - 83 и 28 - 56% соответственно. В замкнутых понижениях происходит практически полный выпад урожая.

4. Минимальная обработка почв не является препятствием для развития водной эрозии; в условиях нулевой обработки проявлений водной эрозии не отмечено.

5. На полях необходимо провести: 1) выборочное известкование: для ареалов сильнокислых почв в дозе CaCO_3 8 т/га, для среднекислых – 4,8, для слабокислых – 3,9 т/га (по полной гидролитической кислотности); 2) прочистку и

ремонт дренажной системы; 3) регламентированное внесение минеральных удобрений, в частности фосфорных на почвенных контурах с низким уровнем обеспеченности данным элементом; 4) противоэрозионные мероприятия (вспашка поперек склона или по горизонталям, насыщение севооборота многолетними травами); 5) внесение органических удобрений по 40 – 50 т/га на ареалах почв с низким содержанием гумуса.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Агроэкологическая оценка земель, проектирование адаптивно-ландшафтных систем земледелия и агротехнологий: методическое руководство / под ред. В. И. Кирюшина. – Москва: ФГНУ «Росинформагротех», 2005. – 784 с.
2. Земледелие / Г. И. Баздырев [и др.]; под ред. А. И. Пупониной. – Москва: Колос, 2000 – 552 с.
3. Киреев, А. К. Методические рекомендации по применению минимальной и нулевой обработок почвы на богарных землях юго-востока Казахстана / А. К. Киреев [и др.]. – Астана: МСХ РК - Алмалыбак, 2011. – 20 с.
4. Минимализация обработки почвы (рекомендации) / И. П. Макаров [и др.]. - Москва: Агропромиздат, 1985. – 14 с.
5. Саранин, К.И. Система обработки дерново-подзолистых почв в земледелии / К. И. Саранин, Н. А. Старовойтов // Ресурсосберегающие системы обработки почвы: сб. науч. трудов / под ред. И. П. Макарова. – Москва: Агропромиздат, 1990. – С. 20 – 32.
6. Кант, Г. Земледелие без плуга / Г. Кант; пер. с нем. Е.А. Кошкина. Москва: КолосС, 1980. - 158 с.
7. No-till farmer 1985. June. P. 1 – 6. Option for fertilizer placement in conservation tillage. Solutions. 1985. V. 29, No 7. p. 28 – 32.
8. Рзаева, В. В. Системы основной обработки почвы в земледелии Северного Зауралья: автореф. дис. ... докт. с.-х. наук: 06.01.01 – Общее земледелие, растениеводство / В. В. Рзаева. – Тюмень, 2014. - 34 с.
9. Бакиров, Ф. Г. Эффективность технологии no-till на черноземах южных Оренбургского Предуралья / Ф. Г. Бакиров, Г. В. Петрова // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. - 2014. - № 1. – С. 23 – 26.
10. Артемьев, А. Е. Влияние приемов обработки и способов посева на урожай ячменя / А. Е. Артемьев, Ю. И. Митрофанов // Мелиорация и водное хозяйство XXI века: проблемы и перспективы развития: междунар. науч.-практ. конф.: материалы / ФГБНУ «ВНИИМЗ», г. Тверь (27-28 августа 2014). - Кн. 1. – Тверь, 2014. – С. 183.
11. Soane, B. D. No-till in northern, western and south-western Europe: A review of problems and opportunities for crop production and the environment / B. D. Soane, B.C., Ball, J. Arvidsson et al. // Soil and Tillage Research. 2012. No. 118. p. 66 – 87.
12. Научные основы системы земледелия Калининградской области // Сборник научных трудов / О. А. Борматенков [и др.]. - Калининград, 1982. – 253 с.
13. Резервы повышения плодородия почв Калининградской области. – Калининград, 1983. – 91 с.

14. Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения / под. ред. Л. М. Державина, Д. С. Булгакова. – Москва: ФГНУ «Росинформагротех», 2003. – 240 с.

15. Кузнецов, М. С. Эрозия и охрана почв / М. С. Кузнецов, Г. П. Глазунов. – Москва: Изд-во Моск. ун-та, 2004. – 352 с.

REFERENCES

1. *Agrojekologičeskaja ocenka zemel', proektirovanie adaptivno-landshaftnyh sistem zemledelija i agrotehnologij. Metodičeskoe rukovodstvo* [Agroecological evaluation of lands, design of self-adaptive landscape cropping systems and agricultural technology. Guidelines]. Moscow, FGNU “Rosinformagroteh”, 2005, 784 p.

2. Bazdyrev G. I., Loshakov V. G., Puponin A. I. *Zemledelie* [Agriculture]. Moscow, Kolos, 2000, 552 p.

3. Kireev A. K., Akynbekov A. A., Asanbekov A. A. *Metodičeskie rekomendacii po primeneniju minimal'noj i nulevoj obrabotok pochvy na bogarnyh zemljah jugo-vostoka Kazahstana* [Guidelines on using minimal and zero tillage on unwatered lands of south-eastern Kazakhstan]. MSH RK-Almalybak, 2011, 20 p.

4. Makarov I. P., Naumov S. A., Puponin A. I. *Minimalizacija obrabotki pochvy (rekomendacii)* [Minimization of tillage (recommendations)]. Moscow, Agropromizdat, 1985, 14 p.

5. Saranin K. I., Starovojtov N. A. *Sistema obrabotki dernovo-podzolistyh pochv v zemledelii* [System of soddy-podzolic soils treatment in agriculture]. Sbornik nauchnyh trudov “Resursosberegajushhie sistemy obrabotki pochvy” [Collection of scientific papers “Resource-saving systems of tillage”]. Moscow, Agropromizdat, 1990, pp. 20-32.

6. Kant G. *Zemledelie bez pluga* [Agriculture without a plough]. Moskva, Kolos, 1980, 158 p.

7. No-till farmer 1985. June. P. 1–6. Option for fertilizer placement in conservation tillage. Solutions. 1985, vol. 29, no. 7, pp. 28-32.

8. Rzaeva V. V. *Sistemy osnovnoj obrabotki pochvy v zemledelii Severnogo Zaural'ja. Avtoreferat diss. dokt. s.-h. nauk* [Systems of primary tillage in the agriculture of the Northern Trans-Urals. Abstract of dis. dr. agricult. sci.]. Tjumen', 2014, 34 p.

9. Bakirov F. G., Petrova G. V. *Jeffektivnost' tehnologii no-till na chernozemah juzhnyh Orenburgskogo Predural'ja* [Efficiency of no-till technology on southern black soils of the Orenburg Cis-Ural region]. *Izvestija Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2014, no. 1, pp. 23-26.

10. Artem'ev A. E., Mitrofanov Ju. I. *Vlijanie priemov obrabotki i sposobov poseva na urozhaj jachmenja* [Effect of management practice and seeding methods on barley yield]. *Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-praktičeskoj konferencii “Melioracija i vodnoe hozjajstvo XXI veka: problemy i perspektivy razvitija”*, Tver', 27-28 avgusta 2014 g. [Proceedings of International scientific conference “Soil and water management of the XXI century: challenges and opportunities for development”, August 27-28, 2014]. Tver', FGBNU VNIIMZ, 2014, vol. 1, pp. 183.

11. Soane B. D., Ball B. C., Arvidsson J. No-till in northern, western and south-western Europe: a review of problems and opportunities for crop production and the environment. *Soil and Tillage Research*, 2012, no. 118. pp. 66-87.

12. Bormatenkov O. A., Valuckij E. N., Vegele M. K. *Nauchnye osnovy sistemy zemledelija Kaliningradskoj oblasti* [Scientific basis of the cropping system of the Kaliningrad region]. Kaliningrad, 1982, 253 p.

13. *Rezervy povyshenija plodorodija pochv Kaliningradskoj oblasti* [Potential for improving soil fertility of the Kaliningrad region]. Kaliningrad, 1983, 91 p.

14. *Metodicheskie ukazaniya po provedeniju kompleksnogo monitoringa plodorodija pochv zemel' sel'skohozjajstvennogo naznachenija*. [Guidelines for integrated monitoring of soil fertility of agricultural lands]. Moscow, FGNU "Rosinformagroteh", 2003, 240 p.

15. Kuznecov M. S., Glazunov G. P. *Jerozija i ohrana pochv* [Erosion and protection of soils]. Moscow, Izd-vo Mosk. un-ta, 2004, 352 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Анциферова Ольга Алексеевна - Калининградский государственный технический университет; кандидат сельскохозяйственных наук, доцент;
E-mail: anciferova@inbox. ru

Antsiferova Olga Alekseevna – Kaliningrad State Technical University;
PhD; Associate Professor; E-mail: anciferova@inbox. ru

УДК 631.4 : 581.55

ПОЧВЕННО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ
ЗАСОРЕННОСТИ ПАХОТНОГО ПОЛЯ

О. А. Анциферова, Е. В. Колестро

SOIL AND GEOMORPHOLOGICAL APPROACH TO THE ASSESSMENT
OF THE WEEDINESS OF THE ARABLE FIELD

O. A. Antsiferova, E. V. Kolestro

Исследования проведены на пахотном поле в условиях без посева (пар) и гербицидных обработок (отвальная вспашка выполнена в апреле 2015 г.). Ключевой участок расположен в Зеленоградском районе в пределах Самбийской холмисто-моренной равнины. Изучены сорные сообщества на 18 почвенных ареалах разной степени гидроморфизма, которые объединены в четыре группы: 1) буроземы глееватые на автономных позициях рельефа (вершины холмов) – элювиальные элементарные геохимические ландшафты (ЭГЛ); 2) буроземы глееватые на склоновых поверхностях (верхние и средние части склонов холмов) – трансэлювиальные ЭГЛ; 3) буроземы и дерново-подзолистые глеевые почвы нижних частей склонов и открытых понижений – трансэлювиально-аккумулятивные ЭГЛ; 4) дерново-глеевые почвы замкнутых микропонижений – аккумулятивные ЭГЛ. На поле выявлено 125 видов сорных растений, относящихся к 31 семейству. Преобладают виды семейства *Asteraceae*. Максимальным видовым разнообразием отличаются дерново-глеевые почвы на карбонатных отложениях (в среднем 31 вид). На глееватых буроземах встречаются в среднем 25 видов. Видовое богатство не зависит от площади почвенного ареала. Сорные сообщества сильно дифференцированы в зависимости от степени кислотности почв и увлажнения. Продуктивность фитомассы определяется почвенными условиями и биометрическими особенностями доминирующих видов. В среднем воздушно-сухая масса в условиях пара составляет $254,9 \pm 19$ г/м². Коэффициенты общности Жаккара указывают на высокую индивидуальность сорных сообществ при частом сходстве доминантов. Потенциальная засоренность на всех изученных ареалах почв оценивается как сильная и очень сильная. Среди доминантов преобладают малолетние зимующие (*Matricaria inodora* L., *Capsella bursa-pastoris* L.), поздние яровые (*Polygonum aviculare* L.), многолетние корневищные (*Stachus palustris* L., *Equisetum arvense* L.) виды.

сорняки, элементарный геохимический ландшафт, почвенно-гидрологические условия, фиторазнообразие, продуктивность

Research has been conducted on the arable field in conditions without crops (fallow) and herbicidal treatment (moldboard plowing was carried out in April, 2015). The key site is located in Zelenogradsk district of the Kaliningrad region within the Sambiyskaya hilly moraine plain. We have studied weed communities on 18 soil areas

of different degree of hydromorphism which are united in four groups: 1) gleysolic burozems on autonomous positions of a relief (hill tops) – eluvial elementary geochemical landscapes (EGL); 2) gleysolic burozems on slope surfaces (top and middle parts of slopes of hills) – transeluvial EGL; 3) burozems and soddy podsolie gley soils of the lower parts of slopes and open depressions – transeluvial-accumulative EGL; 4) soddy gley soils of closed micro depressions – accumulative EGL. 125 species of weed plants belonging to 31 families have been revealed in the field. *Asteraceae* family prevails. Soddy gley soils on carbonate deposits show maximum species diversity (on average 31 species). On average 25 species occur on gleysolic burozems. Species diversity doesn't depend on the soil area. Weed communities are strongly differentiated depending on the degree of soil acidity and moistening. Productivity of biomass depends on soil conditions and biometric features of the dominating types. Air-dry weight of weeds in the conditions of fallow is on average $254,9 \pm 19 \text{ g/m}^2$. Jaccard's similarity coefficients indicate high identity of weed communities at frequent similarity of dominants. Potential weediness on all studied areas of soils is estimated as strong and very strong. Among the dominating weeds wintering juvenile (*Matricaria inodora* L., *Capsella bursa-pastoris* L.), late summer (*Polygonum aviculare* L.), perennial rootstock (*Stachus palustris* L., *Equisetum arvense* L.) prevail.

weeds, elementary geochemical landscape, soil and geomorphological conditions, phytovariety, productivity

ВВЕДЕНИЕ

Важность изучения сорняков обусловлена не только их вредоносностью по отношению к сельскохозяйственным культурам [1-5], но и экологической ролью в агрофитоценозе [6, 7]. На современном этапе развития научного земледелия парадигма борьбы с сорными растениями сменяется парадигмой управления сорным компонентом агрофитоценоза. Система управления сорным компонентом агрофитоценоза (СУСК) направлена на обеспечение безусловной эдификаторной роли культурного компонента агрофитоценоза в присутствии незначительного количества сорных растений, не оказывающих заметного влияния или стимулирующих рост и развитие культурного компонента за счет «обоюдно-положительных» аллелопатических взаимоотношений между ними. Базой для построения модели СУСК является выявление и изучение факторов, заметно влияющих на поведение системы (агрофитоценоза) в целом и ее отдельных структурных составляющих [1].

Актуальность региональных исследований сорных сообществ обусловлена слабой изученностью видового разнообразия в современных системах земледелия Калининградской области. Отсутствуют данные о фитоиндикационной роли, не установлены пороги вредоносности в климатических и эдафических условиях региона. Задачи исследования: 1) изучить видовое разнообразие сорняков в пределах почвенных ареалов разной степени гидроморфизма; 2) определить фитомассу сорняков в условиях пахотного поля без посева (под паром); 3) оценить степень засоренности в зависимости от особенностей почв; 4) установить агробиологические особенности сорных сообществ. В статье представлены результаты исследования 2015 г.

ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ

Ключевой участок («20-й км») представляет собой пахотное поле в Зеленоградском районе на территории Самбийской возвышенности, рельеф которой сформировался под влиянием последнего Валдайского оледенения с последующей сортировкой материала ледниковыми водами. Для поля характерны абсолютные отметки над уровнем моря 38 – 42 м. Рельеф холмисто-волнистый с наличием замкнутых микропонижений. Преобладают склоновые поверхности крутизной 1-3⁰. У выраженных в рельефе холмов она составляет 3-5⁰. Глееватые и глеевые почвы склонов и пониженных участков осушаются системой закрытого дренажа. Из-за частичного нарушения дренажных линий, а также вследствие наличия локальных глинистых прослоек площадь поверхностного заболачивания и переувлажнения в весенний период в годы со средней обеспеченностью осадками достигает 5 - 6 га.

Исследованию предшествовала детальная почвенная съемка ключевого участка. Учет и описание видового состава с отбором сорной растительности с пробных площадок в четырехкратной повторности на различных почвенных ареалах проводили согласно официальной инструкции [8]. Оценка обилия видов в пределах почвенных ареалов осуществлялась по шкале Друде с уточнениями Н.Ф. Комарова для посевных агрофитоценозов [9]. Агробиологическая группировка выполнена согласно классификатору сорной растительности [10]. Оценка степени засоренности посевов сделана по рекомендованной шкале [11, с. 205]. Статистическая обработка материалов выполнена по общепринятой методике [12]. В работе применена классификация элементарных геохимических ландшафтов (ЭГЛ) по Б. Б. Польшову – М. А. Глазовской [13].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Пробные площадки сорной растительности располагались на 18 элементарных почвенных ареалах (ЭПА) разной степени гидроморфизма, которые объединены в четыре группы в зависимости от геоморфологических и геохимических особенностей:

- 1) ареалы буроземов глееватых на автономных позициях рельефа (вершины холмов) – элювиальные ЭГЛ;
- 2) ареалы буроземов глееватых на склоновых поверхностях (верхние и средние части склонов холмов) – трансэлювиальные ЭГЛ;
- 3) ареалы буроземов и дерново-подзолистых глеевых почв нижних частей склонов и открытых понижений – трансэлювиально-аккумулятивные ЭГЛ;
- 4) ареалы дерново-глеевых почв в замкнутых микропонижениях – аккумулятивные ЭГЛ.

Изученные ареалы почв имели различную площадь (табл. 1 - 4). Однако при вычислении коэффициента корреляции между площадью ЭПА и количеством видов сорняков на нем оказалось, что связь между этими показателями очень слабая ($r = 0,12$). Следовательно, видовое богатство сорных сообществ зависит от других факторов: 1) сочетания комплекса геоморфологических и почвенно-гидрологических условий: микро- и мезорельеф, строение и свойства почвообразующих пород, глубина залегания грунтовых вод, верховодки, наличие и длительность поверхностного затопления, агрохимические свойства пахотного горизонта; 2) общего запаса семян в почве и погодных условий, создающих фон

для произрастания отдельных видов; 3) агротехнических условий (история поля, давность известкования, эффективность работы дренажных систем, способы обработки почвы, длительность, виды и дозы применяемых гербицидов, особенности чередования сельскохозяйственных культур).

Сорные сообщества на ключевом участке сформировались в результате агрогенной эволюции в условиях системы земледелия, основанной на чередовании отвальной вспашки, минимальной и нулевой обработок, возделывании озимых зерновых и рапса, гербицидных обработок с преобладанием глифосатсодержащих препаратов (2009 – 2014 гг.).

В условиях без посева и гербицидных обработок на пахотном поле (отвальная вспашка проведена в апреле 2015 г.) наблюдается максимальное видовое разнообразие сорняков, что дает возможность их детального изучения. На поле выявлено 125 видов из 31 семейства. По количеству видов преобладают сложноцветные (20 %), злаки (12,8 %), бобовые (9,6 %). Среди доминантов сорных сообществ ведущее место занимают виды семейства сложноцветных (*Matricaria inodora* L., *Anthemis arvensis* L.), хвощовых (*Equisetum arvense* L.), гречишных (*Polygonum aviculare* L.), крестоцветных (*Capsella bursa-pastoris* L.).

В пределах четырех ЭПА на элювиальных ЭГЛ среднее количество видов на единицу площади практически одинаково и составляет 11 – 12 на 1 м². Видовое разнообразие в пределах ЭПА варьирует от 21 до 33, в среднем – 26. Максимальное количество видов обнаружено в ареале бурозема контактно-глееватого. Формирование верховодки на локальном водоупоре в метровой толще почвы создает условия для произрастания видов с различным отношением к влажности на фоне хорошей агрохимической окультуренности (слабокислая реакция среды – рН_{KCl} 5,3, среднее содержание гумуса – 2,8 %, повышенное количество обменных оснований – 16,4 мг·экв на 100 г почвы, высокая обеспеченность подвижным фосфором – 208 мг/кг и обменным калием – 200 мг/кг).

Все ареалы буроземов на вершинах холмов отличаются высокой степенью засоренности. Основным доминантом сорной растительности является *Matricaria inodora* L. в ареалах 1 и 4. В ареале 2 ведущее место занимал яровой рапс (*Brassica napus* L.), семена которого осыпались при уборке в 2012 г. и получили условия для произрастания в 2015 г. В ареале 3 на очень сильнокислых почвах (рН_{KCl} 4,0) доминировали *Scleranthus annuus* L., *Centaurea cyanus* L. Коэффициенты общности Жаккара указывают на то, что наибольшее количество сходных видов характерно для буроземов ареалов 2 и 4, расположенных поблизости друг от друга (табл. 1). На сильнокислых почвах ареала 3 сформировалось ацидофильное сорное сообщество.

Продуктивность сорных сообществ зависит от высоты доминантов и обилия растений на ЭПА. Максимальная фитомасса формируется на почвах с преобладанием высокостебельных ветвящихся сорняков (*Matricaria inodora* L.). Для ацидофильных сообществ типичны низкорослые виды и разреженное проективное покрытие.

Среди сорняков на вершинах холмов преобладают двудольные озимые и зимующие (21 – 38 % видов), далее располагаются ранние яровые (9,5 – 21,0 %), двулетние (7,7 – 19,0 %) и многолетние корневищные (9,5 – 16,7 %).

Таблица 1. Характеристики сорной растительности на элювиальных ЭГЛ (вершины холмов)
 Table 1. Characteristics of weed vegetation on eluvial EGL (hill tops)

Показатели	Номера ареалов			
	1	2	3	4
Площадь ЭПА, га	0,5	0,5	0,2	0,4
Название почвы	Бурозем легкосуглинистый глубокоглееватый	Бурозем легкосуглинистый контактно-глееватый	Бурозем легкосуглинистый глееватый	Бурозем легкосуглинистый глееватый
Среднее количество видов на 1 м ²	12 ± 1	12 ± 2	11 ± 1	11 ± 1
Видовое разнообразие в пределах ЭПА	26	33	24	21
Количество сорняков на 1 м ² , шт.	142 ± 8	71 ± 13	61 ± 9	78 ± 11
Степень засоренности*	Очень сильная	Сильная	Сильная	Сильная
Преобладающие сорняки	<i>Matricaria inodora L.</i> , <i>Polygonum aviculare L.</i> , <i>Capsella bursa-pastoris L.</i>	<i>Matricaria inodora L.</i> , <i>Equisetum arvense L.</i> , <i>Stachus palustris L.</i>	<i>Scleranthus annuus L.</i> , <i>Centaurea cyanus L.</i> , <i>Viola arvensis Murr.</i>	<i>Anthemis arvensis L.</i> , <i>Capsella bursa-pastoris L.</i> , <i>Anchusa arvensis (L.) Bieb</i>
Воздушно-сухая фитомасса, г/м ²	470,7 ± 14	236,3 ± 16	105,8 ± 18	219,6 ± 12
Коэффициенты общности (по Жаккару), %	Сравниваемые ареалы: 1-2 – 41,5; 1-4 – 34,3; 2-4 – 43,2; 1-3 – 25,0; 2-3 – 27,3; 3-4 – 25,0			

* В условиях без посева основной культуры (под паром)

Таблица 2. Характеристики сорной растительности на трансэлювиальных ЭГЛ (склоны холмов)
 Table 2. Characteristics of weed vegetation on transeluvial EGL (hill slopes)

Показатели	Номера ареалов				
	5	6	7	8	9
Площадь изученных ЭПА (в составе ЭПС*), га	1,0	1,0	0,8	0,6	0,8
Название почвы	Бурозем глееватый среднеэродированный легкосуглинистый	Бурозем глееватый среднеэродированный легкосуглинистый	Бурозем глееватый легкосуглинистый	Бурозем глееватый слабоэродированный	Бурозем супесчаный глееватый слабоэродированный
Среднее количество видов на 1 м ²	14 ± 1	12 ± 2	9 ± 2	9 ± 1	8 ± 2
Видовое разнообразие в пределах ЭПА	34	33	19	23	15
Количество сорняков на 1 м ² , шт.	144 ± 12	99 ± 5	62 ± 9	75 ± 9	76 ± 8
Степень засоренности	Очень сильная	Сильная	Сильная	Сильная	Сильная
Преобладающие сорняки	<i>Matricaria inodora</i> L., <i>Anchusa arvensis</i> (L.) Bie., <i>Stachus palustris</i> L., <i>Capsella bursa-pastoris</i> L., <i>Equisetum arvense</i> L.	<i>Matricaria inodora</i> L., <i>Equisetum arvense</i> L.	<i>Galium aparine</i> L., <i>Matricaria discoidea</i> DC.	<i>Equisetum arvense</i> L., <i>Apera spica-</i> <i>venti</i> L. Beauv., <i>Barbarea vulgaris</i> R.Br.	<i>Matricaria inodora</i> L., <i>Equisetum arvense</i> L.
Воздушно-сухая фитомасса, г/м ²	244,2 ± 17	283,2 ± 13	277,5 ± 21	184,1 ± 14	233,7 ± 15
Коэффициенты общности (по Жаккару), %	Сравниваемые ареалы: 5-6 – 45,5; 5-8 – 22,4; 6-7 – 26,8; 6-9 – 32,6; 7-9 – 20,5; 5-7 – 22,7; 5-9 – 40,8; 6-8 – 25,0; 7-8 – 11,0; 8-9 – 26,7				

* ЭПС – элементарная почвенная структура

Таблица 3. Характеристика сорной растительности на трансэлювиально-аккумулятивных ЭГЛ (нижние части и подножия холмов, пониженные слабоволнистые участки, открытые понижения)

Table 3. Characteristics of weed vegetation on transeluvial-accumulative EGL (lower parts of slopes and open depressions)

Показатели	Номера ареалов			
	10	11	12	13
Площадь изученных ЭПА (в составе ЭПС), га	1,2	1,8	2,4	0,7
Название почвы	Дерново-подзолистая глеевая легкосуглинистая	Дерново-подзолистая глеевая легкосуглинистая	Дерново-подзолистая глеевая среднесуглинистая	Бурозем глеевый легкосуглинистый
Среднее количество видов на 1 м ²	15 ± 2	10 ± 1	14 ± 1	9 ± 2
Видовое разнообразие в пределах ЭПА	30	33	25	23
Количество сорняков на 1 м ² , шт.	141 ± 11	88 ± 12	64 ± 9	137 ± 10
Степень засоренности	Очень сильная	Сильная	Сильная	Очень сильная
Преобладающие сорняки	<i>Equisetum arvense</i> L., <i>Anchusa arvensis</i> (L.) Bie., <i>Capsella bursa-pastoris</i> L., <i>Stellaria media</i> (Vill.)	<i>Equisetum arvense</i> L., <i>Matricaria inodora</i> L., <i>Polygonum aviculare</i> L.	<i>Matricaria inodora</i> L., <i>Equisetum arvense</i> L.	<i>Equisetum arvense</i> L., <i>Matricaria inodora</i> L., <i>Polygonum aviculare</i> L., <i>Stachus palustris</i> L.
Воздушно-сухая фитомасса, г/м ²	204,5 ± 18	338,0 ± 16	350,3 ± 11	225,2 ± 21
Коэффициенты общности (по Жаккару), %	Сравниваемые ареалы: 10-11 – 43,2; 10-13 – 28,1; 11-13 – 25,7; 10-12 – 42,9; 11-12 – 55,9; 12-13 – 20,9			

Таблица 4. Характеристика сорной растительности на аккумулятивных ЭГЛ (замкнутые микропонижения)
 Table 4. Characteristics of weed vegetation on accumulative EGL (closed micro depressions)

Показатели	Номера ареалов				
	14	15	16	17	18
Площадь ЭПА, га	0,04	1,2	0,04	0,04	0,03
Название почвы	Дерново-глеявая среднесуглинистая	Дерново-глеявая среднесуглинистая	Дерново-глеявая намытая легкосуглинистая	Дерново-глеявая среднесуглинистая	
Среднее количество видов на 1 м ²	14 ± 1	16 ± 1	7 ± 2	11 ± 2	10 ± 1
Видовое разнообразие в пределах ЭПА	34	40	14	27	39
Количество сорняков на 1 м ² , шт.	115 ± 9	49 ± 11	66 ± 12	64 ± 9	66 ± 6
Степень засоренности	Очень сильная	Средняя	Сильная	Сильная	Сильная
Преобладающие сорняки	<i>Equisetum arvense</i> L., <i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin. ex Steud.	<i>Matricaria inodora</i> L., <i>Solidago</i> <i>gigantea</i> Aiton.	<i>Bidens tripartite</i> L., <i>Alopecurus geniculatus</i> L., <i>Carex</i>	<i>Equisetum arvense</i> L., <i>Matricaria</i> <i>inodora</i> L., <i>Stachus palustris</i> L.	<i>Matricaria</i> <i>inodora</i> L., <i>Matricaria</i> <i>recutita</i> L.
Воздушно-сухая фитомасса, г/м ²	250,1 ± 12	220,3 ± 23	332,0 ± 35	259,3 ± 12	153,7 ± 9
Коэффициенты общности (по Жаккару), %	Сравниваемые ареалы:	14-15 – 24,5; 14-17 – 35,0; 14-16 – 7,7; 14-18 – 25,9;	15-16 – 10,6; 15-17 – 23,1;	15-18 – 21,9; 16-17 – 2,6;	16-18 – 5,9; 17-18 – 29,4

На трансэлювиальных ЭГЛ (верхние и средние части склонов холмов) изучены сорные сообщества на пяти ареалах буроземов глееватых (табл. 2). Среднее количество видов на 1 м² составило 10, при разбросе – от 9 до 14. В пределах ЭПА в среднем встречаются 25 видов. На видовое богатство сорных сообществ на склонах влияют локальные почвенно-гидрологические условия, степень кислотности почв и внутриценотические взаимосвязи по типу конкуренции. Наибольшее количество видов обнаружено на склонах со среднекислыми буроземами, имеющими внутри профиля глинистые прослойки, что приводит к дополнительному скоплению влаги в весенний период. Поэтому формируется широкая экологическая ниша для произрастания видов с амплитудой от ксеромезофитов до мезогигрофитов. На буроземах с сильнокислой реакцией среды сформировались сообщества с меньшим видовым богатством, но более ацидовыносливые (*Anthemis arvensis* L., *Centaurea cyanus* L., *Barbarea vulgaris* R.Br.). На отдельных склонах получают развитие специфичные виды (в частности, *Galium aparine* L.), подавляющие остальные сорные растения и за счет этого снижающие общее видовое разнообразие (ареал 8).

Засоренность оценивается как очень высокая на почвах со среднекислой реакцией среды и высокая на сильнокислых. Сорные сообщества на трансэлювиальных ЭГЛ ключевого участка отличаются индивидуальностью, что подтверждают рассчитанные коэффициенты общности (табл. 2). Продуктивность воздушно-сухой массы сорняков составляет в среднем 244,5 г/м² с минимумом в условиях сильнокислых почв (ареал 8).

Агробиологический спектр сорных видов на склонах схож с вершинами холмов – преобладают однодольные озимые и зимующие. На сильнокислых почвах намечается тенденция увеличения многолетних корневищных двудольных видов.

Видовое разнообразие сорных сообществ на трансэлювиально-аккумулятивных ЭГЛ богаче по сравнению с элювиальными и трансэлювиальными (табл. 3). В пределах ЭПА в среднем встречаются 28 видов. Причинами этого являются: повышенное содержание гумуса в почвах, геохимический привнос биогенных элементов с вершин и склонов холмов, контрастность условий увлажнения, наличие карбонатов в профиле почв с 50 – 120 см. В составе растительных сообществ увеличивается процент гигромезофитов, предпочитающих слабокислые условия. Среди доминантов растительных сообществ на всех изученных ареалах присутствует *Equisetum arvense* L. Видовой состав сорной растительности на трех из четырех изученных ареалов сходен на 40 – 50 % (табл. 3). Это отражает отсутствие значимых различий почвенно-гидрологических и агрохимических условий на данных ареалах. Сорные сообщества на трансэлювиально-аккумулятивных ЭГЛ отличаются наибольшей усредненной продуктивностью фитомассы по сравнению с другими ЭГЛ (279,5 г/м²). По биологическим особенностям доминируют группа малолетних сорняков, подгруппы озимых и зимующих (26,7 – 36,0 %). Ранние яровые составляют 12,1 – 20,0% от общего количества видов в пределах ЭПА.

В замкнутых микропонижениях (аккумулятивные ЭГЛ) обнаружены максимальное фиторазнообразие и сильная зависимость растительного покрова от режима увлажнения (табл. 4). Основными факторами формирования видового состава фитоценозов здесь являются длительность поверхностного застоя воды в

весенний период и степень проточности грунтовых вод. Поэтому в составе сообществ более половины составляют гигромезофиты и гигрофиты с участием гидрофитов. В глубоких западинах с застоем воды более 2-3 недель формируются выраженные гигрофитные сообщества из *Alopecurus geniculatus* L., *Bidens tripartite* L. с осоками и ситниками. Это наиболее бедные в видовом составе ареалы (14 видов в пределах мелкоконтурных ЭПА, в том числе 7 видов на 1 м²).

Максимальное видовое разнообразие характерно для крупной западины с внутренним нанорельефом в форме кочек, углублений, в том числе следов от прохода техники (колеи). Поэтому в пределах площади в 1 га создаются разнообразные экологические условия для произрастания видов от мезофитов до гидрофитов. Видовое богатство такого ареала дерново-глеевой почвы насчитывает 40 видов, в том числе на 1 м² встречается в среднем 16 видов.

Индикатором проточных грунтовых вод на ключевом участке служит *Phragmites australis*, доминирующий в ареале 14.

Специфическое сорное сообщество с преобладанием *Matricaria recutita* L. сформировалось в западине с дерново-глеевой почвой, в которой под пахотным горизонтом залегает глинистая прослойка мощностью 50 см. Режим увлажнения таких западин зависит от условий года и сезона. В 2015 г. застой воды в весенний период был минимальным (около недели), что создало условия для произрастания 39 видов на площади ЭПА 0,03 га.

Расчет коэффициентов общности Жаккара подтверждает высокую степень специфичности сорных сообществ в микропонижениях (табл. 4). Продуктивность сорных сообществ в среднем 243,1 г/м², однако показатель сильно варьирует в зависимости от биометрических особенностей и площади проективного покрытия.

Длительность поверхностного затопления и режим увлажнения влияют на распределение сорняков по агробиологическим группам. В микропонижениях с коротким поверхностным затоплением в средний по осадкам год доминируют двудольные малолетние озимые и зимующие виды (20 – 23 %). Значительно возрастает количество корневищных видов среди двудольных многолетников по сравнению с другими ЭГЛ. В западинах длительного поверхностного затопления резко снижается процент озимых и зимующих, увеличивается количество поздних яровых сорняков или однодольных корневищных видов, появляются кустарники (*Salix cinerea* L., *Salix aurita* L. *Solanum dulcamara* L.).

ВЫВОДЫ

1. На ключевом участке выявлено 125 видов сорных растений, относящихся к 31 семейству. Преобладают виды семейства *Asteraceae*. Количество видов на единицу площади (1 м²) варьирует от 7 до 16 на почвах разной степени гидроморфизма и составляет в среднем 11 видов.

2. Максимальным видовым разнообразием отличаются дерново-глеевые почвы на карбонатных отложениях аккумулятивных ЭГЛ (в среднем 31 вид). На глееватых буроземах элювиальных и трансэлювиальных ЭГЛ встречаются в среднем 25 видов. Видовое богатство не зависит от площади почвенного ареала.

3. Сорные сообщества сильно дифференцированы в зависимости от степени кислотности почв и увлажнения. На вершинах холмов и склонах в

условиях кислой реакции среды преобладают мезофиты мезоацидофильной группы. В замкнутых микропонижениях возрастает количество гигрофитов.

4. Продуктивность сорных сообществ определяется почвенными условиями и биометрическими особенностями доминирующих видов (разброс от 105 до 470 г/м², коэффициент вариации 450 %). В среднем воздушно-сухая масса в условиях пара составляет 254,9 ± 19 г/м².

5. Потенциальная засоренность на всех изученных ареалах почв оценивается как сильная и очень сильная.

6. В видовом составе большинства ЭГЛ преобладают двудольные малолетние озимые и зимующие сорняки. Среди доминантов сорных сообществ в 2015 г. ведущее место принадлежало малолетним зимующим (*Matricaria inodora* L., *Capsella bursa-pastoris* L.), поздним яровым (*Polygonum aviculare* L.), многолетним корневищным (*Stachus palustris* L., *Equisetum arvense* L.) видам.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Захаренко, А. В. Теоретические основы управления сорным компонентом агрофитоценоза в системах земледелия / А. В. Захаренко. – Москва: Изд-во МСХА, 2000. – 468 с.

2. Wick, G. Weed control in conservation tillage systems / G. Wick. - Illinois, 1985, p.77-92.

3. Ennis, W. Integration of weed control technologies / W. Ennis // Integrated control of weeds. - Токуо, 1977, p.229-243.

4. Баздырев, Г. И. Сорные растения и меры борьбы с ними в современном земледелии / Г. И. Баздырев. – Москва: Изд-во МСХА, 1993. – 242 с.

5. Защита растений в устойчивых системах землепользования: в 4 кн. / Д. Шпаар [и др.]; под общ. ред. Д. Шпаара. - Берлин; Минск, 2003 - 2004. - Кн. 4. - 2004. - 346 с.

6. Марков, М. В. Агрофитоценология / М. В. Марков. – Казань: Наука, 1972. – 215 с.

7. Горышина, Т. К. Экология растений / Т. К. Горышина. - Москва: Высшая школа, 1979. – 368 с.

8. Инструкция по определению засоренности полей, многолетних насаждений, культурных сенокосов и пастбищ. – Москва: Агропромиздат, 1986. 15 с.

9. Шенников, А. П. Введение в геоботанику / А. П. Шенников – Москва, 1964. – 375 с.

10. Отраслевой классификатор сорных растений 3 84 021 310. – Москва, 1984. – 76 с.

11. Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения. – Москва: Росинформагротех, 2003. – 240 с.

12. Василевич, В. И. Статистические методы в геоботанике / В. И. Василевич. – Москва: Наука, 1969. – 232 с.

13. Глазовская, М. А. Геохимические основы типологии и методика исследования природных ландшафтов / М. А. Глазовская. – Москва, 1964. - 67 с.

REFERENCES

1. Zaharenko A. V. *Teoreticheskie osnovy upravlenija sornym komponentom agrofитоcеноза v sistemah zemledelija* [Theoretical background of management of a weed component of agrophytocenosis in cropping systems]. Moscow, Izd-vo MSHA, 2000, 468 p.
2. Wick G. Weed control in conservation tillage systems. Illinois, 1985, pp.77-92.
3. Ennis W. Integration of weed control technologies. Integrated control of weeds, Tokyo, 1977, pp. 229-243.
4. Bazdyrev G. I. *Sornye rastenija i mery bor'by s nimi v sovremennom zemledelii* [Weed plants and control measures in modern agriculture]. Moscow, Izd-vo MSHA, 1993, 242 p.
5. Shpaar D., Bartel's G., Vetcel T. *Zashhita rastenij v ustojchivyh sistemah zemlepol'zovanija* [Protection of plants in sustainable land systems]. Minsk, 2004, vol. 4, 346 p.
6. Markov M. V. *Agrofитоcеноlogija* [Agrophytocenology]. Kazan', Nauka, 1972, 215 p.
7. Goryshina T. K. *Jekologija rastenij* [Ecology of plants]. Moscow, Vysshaja shkola, 1979, 368 p.
8. *Instrukcija po opredeleniju zasorennosti polej, mnogoletnih nasazhdenij, kul'turnyh senokosov i pastbishh* [Guide on evaluation of weediness of fields, perennial plantations, cultural haylands and pastures]. Moscow, Agropromizdat, 1986, 15 p.
9. Shennikov A. P. *Vvedenie v geobotaniku* [Introduction to plants geography]. Moscow, 1964, 375 p.
10. *Otraslevoj klassifikator sornyh rastenij 3 84 021 310* [Coding system of weed plants 3 84 021 310]. Moscow, 1984, 76 p.
11. *Metodicheskie ukazanija po provedeniju kompleksnogo monitoringa plodorodija pochv zemel' sel'skohozjajstvennogo naznachenija* [Guidelines on integrated monitoring of soil fertility of agricultural lands]. Moscow, Rosinformagroteh, 2003, 240 p.
12. Vasilevich V. I. *Statisticheskie metody v geobotanike* [Statistical methods in plants geography]. Moscow, Nauka, 1969, 232 p.
13. Glazovskaja M. A. *Geohimicheskie osnovy tipologii i metodika issledovanija prirodnyh landshaftov* [Geochemical background of typology and methodology of natural landscapes]. Moscow, 1964, 67 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Анциферова Ольга Алексеевна – Калининградский государственный технический университет; кандидат сельскохозяйственных наук, доцент;
E-mail: anciferova@inbox. ru

Antsiferova Olga Alekseevna – Kaliningrad State Technical University;
PhD, Associate Professor; E-mail: anciferova@inbox. ru

Колестро Екатерина Владиславовна – Калининградский государственный
технический университет; студентка

Kolestro Ekaterina Vladislavovna – Kaliningrad State Technical University;
student

УДК 631.9

ИЗМЕНЕНИЕ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ПЕРИОДА ВЕГЕТАЦИИ И СУММЫ АКТИВНЫХ ТЕМПЕРАТУР В КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ ЗА ПОСЛЕДНИЕ ДЕСЯТЬ ЛЕТ

В. А. Наумов, Н. Р. Ахмедова

CHANGES IN THE GROWING SEASON DURATION AND THE SUM OF ACTIVE TEMPERATURES IN THE KALININGRAD REGION OVER THE PAST DECADE

V. A. Naumov, N. R. Akhmedova

Оценка природных ресурсов имеет особое значение для сельского хозяйства, где производство продукции напрямую зависит от компонентов природного комплекса. Агроклиматические характеристики местности в основном характеризуются показателями тепла и влаги. Результаты наблюдений за агрометеорологическими условиями сводятся в справочники, которые содержат нужную информацию для успешного ведения сельского хозяйства. Последние данные, представленные в агроклиматическом справочнике по Калининградской области, датируются 70-ми годами прошлого столетия. В настоящее время имеются примеры исследования агроклиматических ресурсов других регионов, которые указывают на изменение этих показателей. Цель данной работы заключалась в том, чтобы определить: изменились ли основные агрометеорологические показатели в Калининградской области за последние десятилетия. При описании агроклиматических районов используются различные показатели, в данной работе рассмотрены два основных - сумма температур выше 10°C и продолжительность периода с температурами 5-15° С и выше. Исходными данными является гидрометеорологическая информация по метеостанции Калининград. В работе представлены средние многолетние температуры по месяцам и декадам в периоды 1881-1958 и 2006-2015 гг., выявлено определенное изменение этих показателей. Проведен анализ известного метода расчета суммы активных температур, в результате которого выявлено занижение данной величины при расчетах по среднемесячным значениям и по среднему многолетнему графику хода температур воздуха, а не по каждому году в отдельности с последующим осреднением. В результате авторами предложен алгоритм расчета суммы активных температур, который дает более точные данные. Полученные результаты важны для характеристики условий периода вегетации.

сумма активных температур, период вегетации, агрометеорология, Калининградская область

Natural resources assessment has a special value for agriculture where manufacturing directly depends on the natural system components. Agroclimatic characteristics of

an area are generally described in terms of heat and moisture indices. Observation results over agrometeorological conditions are compiled in reference books which contain all necessary information for successful farming. The latest data provided in the agroclimatic reference book on the Kaliningrad region dates back the 70th years of the last century. At present there are examples of research of agroclimatic resources of other regions which prove their change. The purpose of this work was to determine whether the main agrometeorological indicators in the Kaliningrad region have changed over the last decades. In the description of agroclimatic zones various indicators are used; this work considers two main indicators—the sum of temperatures above 10 °C and duration of the period with temperatures of 5-15 °C and above 15 °C. Baseline data is hydrometeorological information on Kaliningrad meteorological station. The paper presents average long-term temperatures on months and decades over the periods 1881-1958 and 2006-2015, a certain change of these indicators is revealed. We have carried out an analysis of the known calculation method of the sum of active temperatures which resulted in understating of this value when calculating by the average monthly values and when calculating by the average long-term schedule of the curve of air temperatures, but not by every year separately with the subsequent averaging. As a result, the authors have offered calculation algorithm for the sum of active temperatures which gives more accurate data. The obtained results are important for specification of the growing season conditions.

sum of active temperatures, growing season, agricultural meteorology, the Kaliningrad region

ВВЕДЕНИЕ

Формирование урожая культурных растений во многом зависит от метеорологических условий. Результатом многолетних наблюдений за агрометеорологическими условиями региона являются агроклиматические справочники по Калининградской области [1, 2], выпущенные в 60–70-е гг. XX столетия, которые содержат ёмкую и важную информацию для растениеводства.

С тех пор прошло уже более 40 лет, за это время произошли значительные изменения климата [3]. Однако данные систематического и комплексного изучения агроклиматических характеристик Калининградского региона не были опубликованы, на что указано в [4]. Работы по отдельным агроклиматическим характеристикам (например, по осадкам [5]) принципиально не решают проблему.

Для описания агроклиматических районов А. Х. Шкляр [6] предложил учитывать следующие показатели:

- 1) физико-географические условия;
- 2) сумму температур выше 10°C;
- 3) гидротермический коэффициент Г. Т. Селянинова;
- 4) коэффициент увлажнения Н. И. Иванова;
- 5) индекс Докучаева-Высоцкого;
- 6) продолжительность периода с температурами 5-15° С и выше.

В данной статье рассмотрены показатели (2) и (6) по Калининградской метеостанции (№ 26702) за последние 10 лет. К остальным характеристикам мы наде-

емя вернуться в следующих работах. Исходные данные (средние суточные температуры) были предоставлены ВНИИ гидрометеорологической информации [7].

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Авторами проанализирована продолжительность периодов с заданными температурами. В табл. 1 в числителе указано общее количество суток в году с заданной температурой, а в знаменателе – непрерывное количество, т. е. после соответствующего перехода. Именно последнее приводится в справочниках и используется для вычисления суммы активных температур (*CAT*).

Таблица 1. Продолжительность периодов с заданными температурами по метеостанции Калининград

Table 1. Duration of the periods with fixed temperatures according to Kaliningrad weather station

№ п/п	Год	Продолжительность периодов с температурами			
		выше 5°C	выше 10°C	выше 15°C	от 5°C до 15°C
1	2006	242/204	173/171	105	137/99
2	2007	241/199	161/160	89	152/110
3	2008	250/211	163/161	92	158/119
4	2009	222/200	156/156	90	132/110
5	2010	223/197	151/148	83	140/114
6	2011	230/203	164/164	104	126/99
7	2012	226/199	160/160	94	132/105
8	2013	232/200	165/165	101	131/99
9	2014	245/205	172/170	87	158/118
10	2015	231/195	166/160	73	158/122
Средние значения		234,2/201,3	163,1/161,5	91,8	142,4/109,5
По [1]		205	152	79	
По [2]		192-196	148-152	76-80	

В табл. 2 представлены средние декадные температуры по метеостанции Калининград в период вегетации по справочникам [1, 2], а также рассчитанные за 2006-2015 гг. по данным [7]. Данные [1] и [2] различаются незначительно, на 0,1-0,2 °C, тогда как средние декадные температуры за последние 10 лет значительно выше. Первая декада августа – выше на 2°C. В апреле повышение составило 1,5 °C и более. Температура выше 10°C наблюдалась в последней декаде апреля, а не в первой декаде мая, как было ранее.

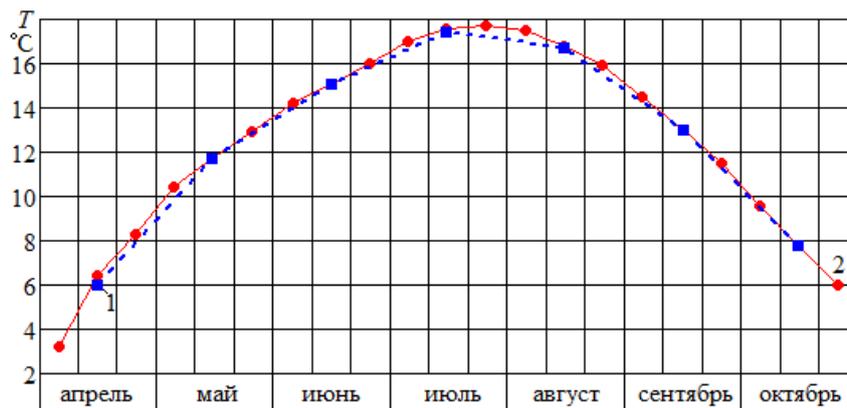
Авторам не удалось найти Свода правил или иного нормативного документа, в котором был бы утвержден порядок расчета *CAT*. В действующем ГОСТе [8] имеется лишь определение: «Сумма активных температур (Accumulated temperatures, *Wärmesumme*) – показатель, пропорциональный количеству тепла и выражающийся суммой средних температур воздуха или почвы, превышающих биологический минимум температуры, установленный для определенного периода развития растения».

Таблица 2. Средние декадные температуры по метеостанции Калининград в период вегетации

Table 2. Average decade temperatures according to Kaliningrad weather station during growing season

№ п/п	Месяц	Декада	Середина декады K_i	Средние декадные температуры, °С		
				по [1]	по [2]	2006-2015 гг.
1	Апрель	1	5	3,2	3,6	5,3
2		2	15	6,4	6,3	7,8
3		3	25	8,3	8,4	10,7
4	Май	1	35	10,4	10,6	11,0
5		2	45	11,7	11,9	12,6
6		3	55,5	12,9	13,0	14,7
7	Июнь	1	66	14,2	14,4	15,7
8		2	76	15,1	15,3	16,0
9		3	86	16,0	16,2	16,7
10	Июль	1	96	17,0	17,1	18,9
11		2	106	17,6	17,7	18,5
12		3	116,5	17,7	17,8	19,4
13	Август	1	127	17,5	17,5	19,5
14		2	137	16,8	16,9	18,4
15		3	147	15,9	16,0	16,6
16	Сентябрь	1	157,5	14,5	14,5	14,8
17		2	168	13,0	13,1	13,8
18		3	178	11,5	11,6	12,6
19	Октябрь	1	188	9,6	9,7	9,8
20		2	198	7,8	7,9	7,9
21		3	208,5	6,0	6,0	7,2

При расчетах активных температур широко используется методика, приведенная в [9]. Если значения температуры 10°C и ниже, то эти сутки в расчет не входят. Суммы температур за декады (или месяцы) получают путем умножения средней декадной или месячной температуры на число дней декады или месяца. Подсчет средних многолетних SAT в [9] производится по графику среднего многолетнего хода температур воздуха (рис. 1 и 2). Значения температур берутся по оси ординат, а декады (или месяцы) – по оси абсцисс; значения температур – с точностью до $0,1^{\circ}\text{C}$ с середины декад или на пятнадцатое число каждого месяца. Подсчет сумм средних многолетних значений производится по средней месячной (или средней декадной) температуре, снятой с графика годового хода температур. Суммы температур за декады или месяцы получают путем умножения средней декадной или месячной температуры, снятой с графика (гистограммы), на число дней декады или месяца.



где t_0 — температура на последний день месяца; k_l — число дней за неполный месяц (снимается с графика). По аналогичной формуле вычисляется CAT_n в последний (неполный), n -й месяц вегетационного периода.

В остальные месяцы вегетационного периода со 2-го по $(n-1)$ -й в [9] CAT вычисляем, умножая среднемесячное значение на количество дней в месяце. Фактически, приближенное интегрирование функции зависимости температуры воздуха от времени выполняется очень неточным методом прямоугольников. Результат будет заметно точнее, если для численного интегрирования использовать метод трапеций:

$$CAT = 0,5 \cdot \left((K_2 - K_0) \cdot (10 + t_2) + (K_* - K_{n-1}) \cdot (10 + t_{n-1}) + \sum_{i=3}^{n-1} (K_i - K_{i-1}) \cdot (t_i + t_{i-1}) \right), \quad (2)$$

где K_i — даты середины каждого месяца (декады); t_i — средние месячные (декадные) температуры.

Дату начала K_0 и завершения K_* вегетационного периода удобнее и точнее не снимать с графика, а вычислять по формулам:

$$K_0 = K_2 - (K_2 - K_1) \frac{t_2 - 10}{t_2 - t_1}, \quad K_* = K_n - (K_n - K_{n-1}) \frac{t_7 - 10}{t_7 - t_6}. \quad (3)$$

Автор [9] не различает расчет CAT по среднемесячным или средним декадным температурам. Покажем, что это приводит к погрешности, на примере температуры по метеостанции Калининград. По рис. 2 видно, как различается ход графиков и переход к температурам выше 10°C . Вычисление по формулам (3) дает: при использовании многолетних среднемесячных значений — это 28 апреля, а средних декадных — 23 апреля. Обратный переход — в обоих случаях — 4 октября. Следовательно, при расчете CAT по среднемесячным значениям не учитываются температуры за пять дней, значит, величина CAT будет занижаться.

Другая причина занижения расчетного значения CAT [9] в том, что расчет проводится по среднему многолетнему графику хода температур воздуха, а не по каждому году в отдельности с последующим осреднением. На рис. 3 показан ход температуры воздуха по метеостанции Калининград в 2015 г. Видно, что переход к температурам выше 10°C различается: при использовании среднемесячных значений — это 3 мая, а средних декадных — 24 апреля.

Табл. 3 показывает, что указанное различие приводит к занижению расчетного значения CAT . Абсолютное и относительное отклонение

$$\Delta_i = CAT_{m_i} - CAT_{d_i}, \quad \varepsilon_i = 100\% \cdot \Delta_i / CAT_{d_i}. \quad (4)$$

По средним многолетним графикам хода декадной температуры 1881-1958 гг. (рис. 1) расчет по формуле (2) дал значение $CAT = 2250^\circ\text{C}$ (табл. 3), в точности совпадающее с приведенным в справочнике [1] для Калининграда. В справочнике [2] диапазон $CAT = 2200-2300^\circ\text{C}$, наши расчеты по средним декадным температурам и формуле (2) дали значение (табл. 3) $CAT = 2286^\circ\text{C}$, попадающее в указанный диапазон. Тогда как результат расчета по средним многолетним месячным температурам $CAT = 2193^\circ\text{C}$ находится вне этого диапазона. Далее в расчетах будем использовать средние декадные температуры.

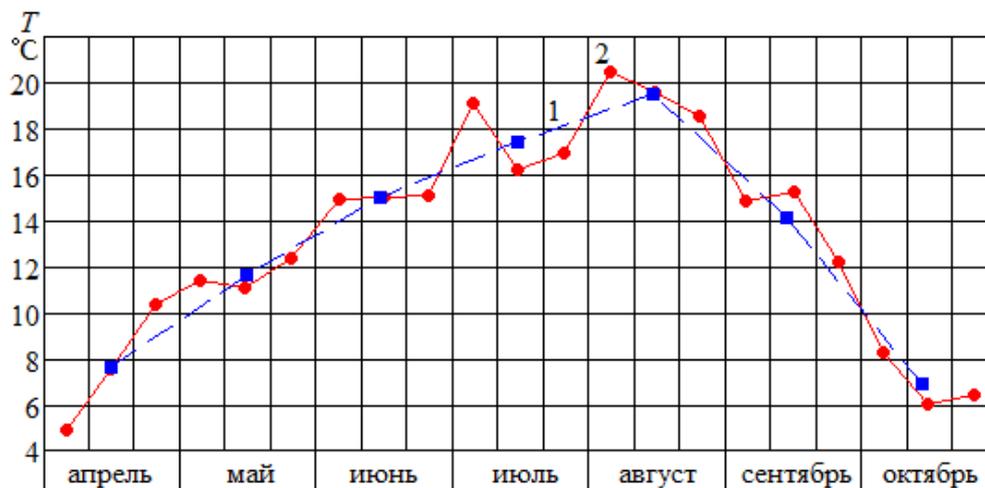


Рис. 3. Средние температуры по метеостанции Калининград (№ 26702) в 2015 г.: 1 – по месяцам, 2 – по декадам

Fig. 3. Average temperatures according to Kaliningrad weather station (№ 26702) in 2015: 1 - monthly, 2 - over decades

Таблица 3. Расчетные значения SAT по метеостанции Калининград
Table 3. Calculated values of the sum of active temperatures according to Kaliningrad weather station

№ п/п	Год	SAT , °C, по средним температурам		Δ , °C	ϵ , %
		SAT_m , по месяцам	SAT_d , по декадам		
1	2006	2697	2846	-149	-5,2
2	2007	2455	2489	-34	-1,4
3	2008	2424	2611	-187	-7,2
4	2009	2446	2628	-182	-6,9
5	2010	2350	2473	-123	-5,0
6	2011	2599	2782	-183	-6,6
7	2012	2396	2601	-205	-7,9
8	2013	2541	2570	-29	-1,1
9	2014	2660	2803	-143	-5,1
10	2015	2304	2444	-140	-5,7
Средние по годовым графикам хода температуры		2487	2625	-138	-5,3
По средним графикам хода температуры 2006-2015 гг.		2468	2574	-106	-4,1
По средним многолетним графикам хода температуры [1]		2164	2250	-86	-3,8
По средним многолетним графикам хода температуры [2]		2193	2286	-93	-4,1

В табл. 3 найденная по средним (декадным) графикам хода температуры 2006-2015 гг. $SAT = 2574^{\circ}\text{C}$. Если сначала найти SAT по средним декадным температурам для каждого года, а затем выполнить осреднение, получим $SAT = 2625^{\circ}\text{C}$. Поэтому именно такую последовательность расчета SAT следует рекомендовать.

На рис. 4 показано накопление сумм активных температур по метеостанции Калининград в последние годы.

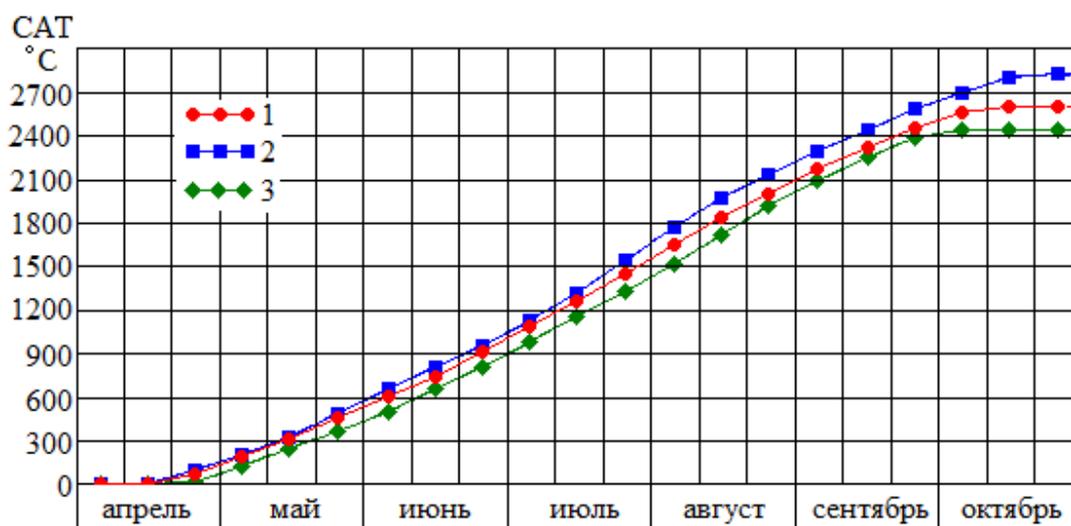


Рис. 4. Накопление сумм активных температур по метеостанции Калининград (№ 26702): 1 – 2012 г., 2 – 2014 г., 3 – 2015 г.
 Fig. 4. Accumulation of the sums of active temperatures according to Kaliningrad weather station (№ 26702): 1 - 2012, 2 – 2014, 3 - 2015

ВЫВОДЫ

Полученные графики важны для характеристики условий периода вегетации. Например, по данным [9], выращивание раннеспелых сортов кукурузы требует, чтобы значение SAT было не менее 2200°C , среднеспелых $2400\text{-}2500^{\circ}\text{C}$, среднепоздних 2700°C и более. Справочники [1, 2] рекомендовали выращивать в Калининградской области кукурузу раннеспелых сортов. Исследования авторов показали, что в связи с изменением климата обеспечение теплом достаточно для среднеспелых сортов кукурузы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Агроклиматический справочник по Калининградской области. - Ленинград: Гидрометеиздат, 1961. - 128 с.
2. Агроклиматические ресурсы Литовской ССР и Калининградской области РСФСР: справочник. - Ленинград: Гидрометеиздат, 1972. - 144 с.

3. Давыденко, О. В. Агроклиматическое районирование Беларуси в условиях изменения климата / О. В. Давыденко // Вестник БГУ. Серия 2. – 2009. - № 1. – С. 106-111.
4. Бедарев, С. А. Перспективы агрометеорологических исследований в Калининградской области / С. А. Бедарев // Современные аспекты агрономии и природопользования: сб. научных трудов. – Калининград: Изд-во КГТУ, 1997. - С. 12-18.
5. Наумов, В. А. Тенденции изменения слоя осадков в Калининградской области / В. А. Наумов, Л. В. Маркова // Инновации - сельскому хозяйству: материалы международной конференции. - Калининград: Изд-во ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2013. – С. 79-81.
6. Шкляр, А. Х. Климатические ресурсы Белоруссии и использование их в сельском хозяйстве / А. Х. Шкляр. – Минск: Вышэйшая школа. – 1973. – 432 с.
7. ВНИИГМИ-МЦД-Климат-Удаленный доступ к ЯОД архивам [Электронный ресурс]. – URL: <http://aisori.meteo.ru/ClimateR> (Дата обращения: 09.05.2016).
8. ГОСТ 17713-89. Сельскохозяйственная метеорология. Термины и определения. Утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 18.01.1989 № 72.
9. Лосев, А. П. Практикум по агрометеорологическому обеспечению растениеводства: учеб. пособие / А. П. Лосев. – Санкт-Петербург: Гидрометеоиздат, 1994. – 245 с.

REFERENCES

1. *Agroklimaticheskij spravocnik po Kaliningradskoj oblasti* [Agroclimatic reference book of the Kaliningrad region]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1961, 128 p.
2. *Agroklimaticheskie resursy Litovskoj SSR i Kaliningradskoj oblasti RSFSR: spravocnik* [Agroclimatic resources of the Lithuanian Soviet Socialist Republic and the Kaliningrad region of the Russian SFSR: reference book]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1972, 144 p.
3. Davydenko O. V. *Agroklimaticheskoe rajonirovanie Belarusi v uslovijah iz-menenija klimata* [Agroclimatic zoning of Belarus in conditions of climate change]. Vestnik BGU, serija 2, 2009, no. 1, pp. 106-111.
4. Bedarev S. A. *Perspektivy agrometeorologicheskikh issledovanij v Kalinin-gradskoj oblasti* [Agrometeorological research perspectives in the Kaliningrad region]. *Sovremennye aspekty agronomii i prirodnopol'zovanija: sbornik nauchnyh trudov* [Modern aspects of agronomy and environmental management: collection of research papers]. Kaliningrad, izd-vo KGTU, 1997, pp. 12-18.
5. Naumov V. A., Markova L. V. *Tendencii izmenenija sloja osadkov v Kalinin-gradskoj oblasti* [Rainfall depth trend in the Kaliningrad region]. *Materialy mezhdunarodnoj konferencii "Innovacii - sel'skomu hoz'jajstvu* [Proceedings of the international conference "Innovations for agriculture"]. Kaliningrad, izd-vo FGBOU VPO "KGTU", 2013, pp. 79-81.

6. Shkljar A. H. *Klimaticheskie resursy Belorussii i ispol'zovanie ih v sel'skom hozjajstve* [Climatic resources of Belarus and their use in agriculture]. Minsk, Vyshnejshaja shkola, 1973, 432 p.

7. VNIIGMI-MCD-Klimat-Udalennyj dostup k JaOD arhivam. Available at: <http://aisori.meteo.ru/ClimateR> (Accessed: 09 May 2016).

8. GOST 17713-89. *Sel'skohozjajstvennaja meteorologija. Terminy i opredele-nija*. [Agricultural meteorology. Terms and definitions] Utverzhden i vveden v dejstvie Postanovleniem Gosudarstvennogo komiteta SSSR po standartam ot 18.01.1989 № 72.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Наумов Владимир Аркадьевич – Калининградский государственный технический университет; доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой водных ресурсов и водопользования; E-mail: vladimir.naumov@klgtu.ru

Naumov Vladimir Arkadievich – Kaliningrad State Technical University; Doctor of Engineering, Professor, Head of the department of water resources and water use; E-mail: vladimir.naumov@klgtu.ru

Ахмедова Наталья Равиловна – Калининградский государственный технический университет; кандидат биологических наук, доцент кафедры водных ресурсов и водопользования; E-mail: natalya.ahmedova@klgtu.ru

Akhmedova Natalya Ravilovna – Kaliningrad State Technical University; PhD, Associate professor of the department of water resources and water use; E-mail: natalya.ahmedova@klgtu.ru

УДК 639.3.06

**РАСЧЕТ СИЛ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ СЕТНЫХ
ОРУДИЙ РЫБОЛОВСТВА В ЗАДАЧАХ ИМИТАЦИОННОГО ИХ
МОДЕЛИРОВАНИЯ**

А. А. Недоступ, А. О. Ражев

**CALCULATION OF DRAG FORCES OF NETTING FISHING GEARS
IN THE TASKS OF SIMULATION**

A.A. Nedostup, A. O. Razhev

В статье приводится алгоритм расчета сил гидродинамического сопротивления сетных орудий рыболовства, оптимизированный для работы на современных вычислительных системах. При определении гидродинамических коэффициентов используется математическая операция возведения в степень, достаточно трудоемкая при вычислениях на ЭВМ. Предложенный метод оптимизации основывается на разложении зависимостей сил гидродинамического сопротивления от скорости потока в ряд Тейлора четвертого порядка, в котором используются только операции умножения, сложения и вычитания. На современных процессорах они выполняются быстро (аппаратным способом). Вычисление производится с использованием SIMD-инструкций одновременно для двух гидродинамических коэффициентов - c_0 и c_{90} . Для анализа адекватности описанного алгоритма и определения его основных характеристик (области определения, скорости работы, погрешности вычислений) создана компьютерная программа. При ее разработке был реализован предлагаемый алгоритм с использованием вычислительных ресурсов центрального процессора с набором инструкций SSE3. При помощи данной программы проведен численный эксперимент и определены скоростные характеристики оптимизированного алгоритма в сравнении с алгоритмом, использующим операцию возведения в степень. Результат замера показал, что скорость работы оптимизированного алгоритма в 35 раз выше. На интервале скоростей от 0.2 до 1.8 м/с погрешность минимальна и практически равна нулю, от 1.8 до 3.7 м/с она не превышает 5 %.

орудие рыболовства, гидродинамика, моделирование, ЭВМ, SIMD, ряд Тейлора

The article presents the algorithm for calculation of drag forces of netting fishing gears, optimized to run on modern computer systems. Mathematical operation of exponentiation is used in calculation of drag forces coefficients. This operation is quite time-consuming if it is done on a computer. The proposed optimization method is based on the decomposition of the dependency of drag forces of flow velocity in a Taylor series 4th order which performs only operations of multiplication, addition and subtraction and which are fast in modern processors (by hardware). The computation is performed using SIMD instructions for two coefficients of drag forces c_0 and c_{90} . A computer pro-

gram was developed to analyze the adequacy of the described algorithm and to identify its main characteristics (scope, speed, error of calculation. In the process of the program development the proposed algorithm using computing resources of CPU with the SSE3 instruction set was implemented. By using the computer program, a numerical experiment was carried and speed characteristics of the optimized algorithm were determined compared to the algorithm that uses exponentiation. Measurement result showed that the speed optimized algorithm is 35 times higher. In the velocity range from 0.2 to 1.8 m/s the error is minimal and is almost zero. In the interval of speeds above 1.8 to 3.7 m/s, the error does not exceed 5 %.

fishing gear, hydrodynamics, modeling, computers, SIMD, Taylor series

ВВЕДЕНИЕ

Имитационное моделирование в отличие от других видов исследований (натурный эксперимент или физическое моделирование) является наименее затратным и наиболее оперативным [1-3]. С постоянным совершенствованием элементной базы ЭВМ и одновременно их удешевлением последние становятся все более доступными широкому кругу пользователей. Современные персональные компьютеры и рабочие станции имеют мощные вычислительные ресурсы, способные эффективно обрабатывать большие объемы данных в реальном времени. Это достигается возможностью одновременной обработки множества данных на одном или нескольких вычислительных модулях, таких как центральный и графический процессоры.

Одним из методов моделирования сетных орудий рыболовства, состоящих из множества однотипных элементов, является дискретное моделирование. При данном виде моделирования с учетом строения орудия рыболовства его математическая модель условно разбивается на множество дискретных сетных элементов, способных обрабатываться по одному алгоритму.

При дискретном моделировании процессов рыболовства важную роль играет эффективность алгоритмов расчета на ЭВМ. Один из трудоемких этапов расчета - вычисление мгновенных сил гидродинамического сопротивления, приложенных к каждому элементу орудия рыболовства. Рассмотрим данный процесс более подробно.

МЕТОДЫ

Учитывая то, что элементы большинства орудий рыболовства представляют собой сетные участки, проведем расчет сил гидродинамического сопротивления по аналогии с сетью [4]. В модели точечных масс [5] проекции сил гидродинамического сопротивления имеют следующие эвристические зависимости от проекций участка сети:

$$R_x = \frac{1}{2} \left(c_0 + (c_{90} - c_0) \frac{\sqrt{r^2 - r_x^2}}{r} \right) v^2 \rho S F_o;$$

$$R_y = \frac{1}{2} c_{90} \frac{r_x r_y}{r^2} v^2 \rho S F_o; \quad R_z = \frac{1}{2} c_{90} \frac{r_x r_z}{r^2} v^2 \rho S F_o, \quad (1)$$

где R_x , R_y , R_z - проекции сил гидродинамического сопротивления; c_0 - гидродинамический коэффициент для сети, расположенной параллельно потоку

воды; c_{90} - гидродинамический коэффициент для сети, расположенной перпендикулярно потоку воды; r - длина связи между узлами модели точечных масс; r_x, r_y, r_z - длина проекции связи на оси прямоугольной декартовой системы координат, ось OX которой расположена по направлению вектора скорости перемещения узла относительно воды; v - абсолютное значение скорости перемещения узла относительно воды; ρ - плотность воды; S - площадь участка сети; F_o - сплошность сети.

Гидродинамические коэффициенты находятся по формулам

$$c_o = F_o \text{Re}^{-b}, \quad c_{90} = 16 \left(\frac{2F_o}{\text{Re}} \right)^{0.28}, \quad \text{Re} = \frac{d}{\nu} v, \quad (2)$$

где Re - число Рейнольдса для сети; d - диаметр ниток сети; ν - кинематическая вязкость воды; b - коэффициент, учитывающий тип материала сети ($b=0.165$ для капроновой сети, $b=0.16$ - для полиэтиленовой сети).

Для определения гидродинамических коэффициентов в (2) используется математическая операция возведения в степень, достаточно трудоемкая при вычислениях на ЭВМ.

Рассмотрим метод оптимизации вычисления сил гидродинамического сопротивления, основанный на разложении их функции от скорости в ряд Тейлора [6] и применении SIMD-инструкций [7] центрального и графического процессоров.

Подставив (2) в (1), получим:

$$R = k_0 v^{2-b} + (k_{90} v^{1.72} - k_0 v^{2-b}) \chi, \quad (3)$$

где R - одна из проекций сил гидродинамического сопротивления; k_0, k_1 - постоянные для участка сети коэффициенты, зависящие от параметров посадки и материала участка сети; χ - безразмерный параметр, определяющий ориентацию участка в сети относительно вектора относительной скорости v .

Коэффициент k_{90} одинаков для каждой проекции R , коэффициент k_0 - различен. Для проекций на оси координат OY и OZ, исходя из (1), $k_0=0$. Данные коэффициенты постоянны в течение всего процесса моделирования и вычисляются перед началом работы основного цикла алгоритма.

Параметр χ является переменным и вычисляется на каждой итерации алгоритма моделирования для всех проекций R .

В выражении (3) математические операции возведения переменной v в степень запишем в виде

$$f(v) = v^p, \quad (4)$$

где $p=2-b$ для k_0 и $p=1.72$ для k_{90} (3).

Разложим (4) в ряд Тейлора четвертого порядка [6]. Общий вид разложения задается выражением

$$f(v) = \sum_{i=0}^{\infty} \frac{f^{(i)}(a)}{i!} (v-a)^i,$$

где $f^{(i)}(a)$ - значение производной i -го порядка разлагаемой функции в точке a .

При $a=1$ для разложения четвертого порядка получим:

$$f(v) = 1 + p(v-1) \left(1 + \frac{1}{2}(p-1)(v-1) \left(1 + \frac{1}{3}(p-2)(v-1) \left(1 + \frac{1}{4}(p-3)(v-1) \right) \right) \right). \quad (5)$$

В выражении (5) используются только операции умножения, сложения и вычитания. На современных процессорах они выполняются аппаратным способом и быстро.

Реализуем алгоритм вычисления (5) с использованием SIMD-инструкций для работы на центральном или графическом процессоре. В современном центральном процессоре архитектуры x86 и большинстве графических процессоров одна SIMD-инструкция способна обрабатывать до четырех вещественных значений одинарной точности одновременно. С учетом сказанного и того, что в выражении присутствуют четыре группы однотипных последовательностей операций, данный алгоритм можно оптимизировать. При этом необходимо учесть, что для вычисления трех проекций силы гидродинамического сопротивления следует вычислить функцию (5) дважды (для k_0 и k_{90}).

Для анализа адекватности описанного алгоритма и определения его основных характеристик (области определения, скорости работы, погрешности вычислений) создана компьютерная программа. При ее разработке был реализован предлагаемый алгоритм с использованием вычислительных ресурсов центрального процессора с набором инструкций SSE3. Ниже представлен код получившегося алгоритма на языках программирования C++ и Ассемблер.

```
float __fastcall Func(float x, float y)
{
    static float _one = 1.f;
    static float& vals = Values[0];
    float v;

    asm
    {
        mov eax, vals
        movss xmm1, x
        subss xmm1, _one
        movsldup xmm0, xmm1
        padd xmm1, [eax+32]
        movlhps xmm0, xmm0 //x, x, x, x
        movlhps xmm1, xmm1 //x, 1, x, 1
        mulps xmm1, xmm1 //x^2, 1, x^2, 1
        mulps xmm1, xmm0 //x^3, x, x^3, x
        mulps xmm0, xmm1 //x^4, x^2, x^4, x^2
        mulps xmm1, [eax+0]
        mulps xmm0, [eax+16]
        addps xmm0, xmm1
        haddps xmm0, xmm0
        addss xmm0, _one
        movss v, xmm0
    }

    return v;
}
```

РЕЗУЛЬТАТЫ

При помощи данной компьютерной программы был проведен численный эксперимент и определены скоростные характеристики оптимизированного алгоритма в сравнении с алгоритмом, использующим операцию возведения в степень. Замер времени выполнения производился для одного миллиарда узлов. В эксперименте использовался персональный компьютер с характеристиками, указанными в табл. 1. Результат замера показан в табл. 2. Из нее видно, что скорость работы оптимизированного алгоритма оказалась в 35 раз выше.

Таблица 1. Основные характеристики экспериментального оборудования
Table 1. Main characteristics of experimental equipment

Центральный процессор	AMD Phenom II
Количество ядер	4
Тактовая частота	3.2 ГГц
Оперативная память	12 ГБ

Таблица 2. Параметры численного эксперимента
Table 2. Parameters of numerical experiment

Параметр	Алгоритм	
	возведение в степень	оптимизированный
Количество узлов	1000000000	
Длительность вычислений	5 мин 41.2 с	9.7 с
Максимальная относительная погрешность при $v=[0.08...3.7]$ м/с	-	5 %

Графики зависимостей результата $f(v)$ и относительной погрешности вычисления $e(v)$ от относительной скорости приведены на рис. 1 и 2. На графиках сплошной линией изображена зависимость, полученная алгоритмом возведения в степень, пунктирной – зависимость, полученная оптимизированным алгоритмом, штрих-пунктирной – зависимость относительной погрешности вычислений от скорости для оптимизированного алгоритма.

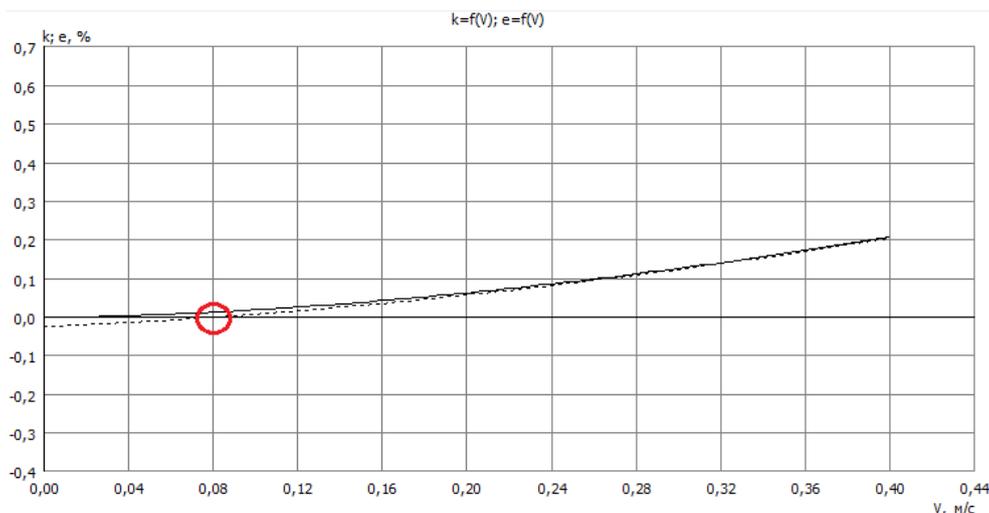


Рис. 1. Графики зависимостей $f(v)$ и $e(v)$ при низких скоростях
Fig. 1. Dependence of $f(v)$ and $e(v)$ at low velocity

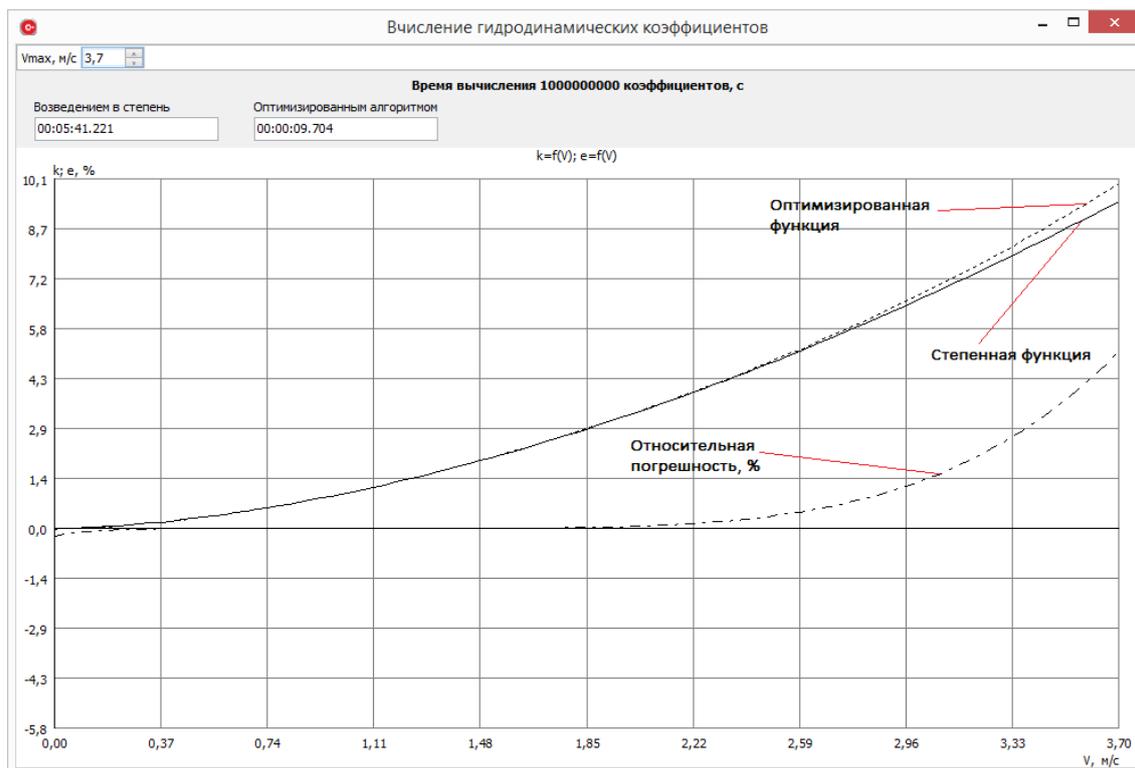


Рис. 2. Графики зависимостей $f(v)$ и $e(v)$ при скоростях до 3.7 м/с

Fig. 2. Dependence of $f(v)$ and $e(v)$ at velocities of up to 3.7 m/s

ВЫВОДЫ

По графикам на рис. 2 видно, что на интервале скоростей от 0.2 до 1.8 м/с погрешность минимальна и практически равна нулю; от 1.8 до 3.7 м/с она не превышает 5 %; на интервале до 0.2 м/с при уменьшении скорости погрешность начинает увеличиваться. Более того, при скоростях менее 0.08 м/с (см. рис. 1) у оптимизированного алгоритма результат вычисления $f(v)$ становится отрицательным. Данное обстоятельство следует учесть в случаях, когда необходимо производить исследования при низких или нулевых скоростях.

Одним из методов коррекции указанного недостатка алгоритма является аппроксимация результата при скоростях ниже 0.2 м/с. Возможна аппроксимация линейным сплайном как между точками (0, 0) и (0.2, $f(0.2)$), так и между точками (0, $f(0.2)$) и (0.2, $f(0.2)$). Оба вида должны дать приемлемый результат.

Статья подготовлена в рамках выполнения гранта РФФИ №15-08-464а.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Математическое моделирование орудий и процессов рыболовства: монография: в 3 ч. / А. А. Недоступ. - Калининград: Изд-во ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2013. - Ч. 1. - 253 с.

2. Недоступ, А. А. Математическое моделирование орудий и процессов рыболовства: монография: в 3 ч. / А. А. Недоступ, А. О. Ражев. - Калининград: Изд-во ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2014. - Ч. 2. - 249 с.
3. Математическое моделирование орудий и процессов рыболовства: монография: в 3 ч. / А. А. Недоступ [и др.]. - Калининград: Изд-во ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2014. - Ч. 3. - 183 с.
4. Недоступ, А. А. Гидродинамический расчет рыболовной сети / А. А. Недоступ, Д. А. Володько, А. О. Ражев // Инженерные системы – 2012: V международная научно-практическая конференция: сборник трудов / РУДН.- Москва, 2012. - С. 27-31.
5. Nedostup A.A., Razhev A.O. A discrete model of gill nets for static and dynamic problems / 11th International workshop - Contributions on the theory of fishing gears and related marine systems DEMAT 2013. V. 8. 2013. Germany. Rostock. p. 13-22.
6. Ильин, В. А. Математический анализ / В. А. Ильин, В. А. Садовничий, Б. Х. Сендов / ред. А. Н. Тихонов: в 2 ч. - Москва: Проспект, 2004. - Изд. 3-е. - Ч. 1.
7. David A. Patterson, John L. Hennessy. Computer Organization and Design, Fourth Edition: The Hardware/Software Interface. — Morgan Kaufmann, 2011. — 914 p.

REFERENCES

1. Nedostup A. A., Naumov V. A., Razhev A. O., Belyh A. V. *Matematicheskoe mo-delirovanie orudij i processov rybolovstva, ch. 1* [Mathematical simulation of fishing gear and processes, part 1]. Kaliningrad, Izdatel'stvo FGBOU VPO "KGTU", 2013, 253 p.
2. Nedostup A. A., Razhev A. O. *Matematicheskoe modelirovanie orudij i processov rybolovstva, ch. 2*. [Mathematical simulation of fishing gear and processes, part 2]. Kaliningrad, Izdatel'stvo FGBOU VPO "KGTU", 2014, 249 p.
3. Nedostup A. A., Razhev A. O. *Matematicheskoe modelirovanie orudij i processov rybolovstva, ch. 2* [Mathematical simulation of fishing gear and processes, part 2]. Kaliningrad, Izdatel'stvo FGBOU VPO "KGTU", 2014, 249 p.
4. Nedostup A. A., Volod'ko D. A., Razhev A. O. *Gidrodinamicheskij raschet ry-bolovnoj seti* [Hydrodynamic calculation of a fishing net]. *Sbornik trudov V mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii "Inzhenernye sistemy-2012"* [Proceedings of the V international scientific conference "Engineering systems-2012"]. RUDN, Moscow, 2012, pp. 27-31.
5. Nedostup A. A., Razhev A. O. A discrete model of gill nets for static and dynamic problems / 11th International workshop - Contributions on the theory of fishing gears and related marine systems DEMAT 2013. V. 8, 2013, Germany, Rostock, pp. 13-22.
6. Il'in V. A., Sadovnichij V. A., Sendov B. H. *Matematicheskij analiz, ch. 1, izd. 3* [Mathematical analysis, part 1, issue 3], Moscow, Prospekt, 2004.
7. David A. Patterson, John L. Hennessy. Computer Organization and Design, Fourth Edition: The Hardware/Software Interface. Morgan Kaufmann, 2011. 914 p. ISBN 0123747503.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Недоступ Александр Алексеевич – Калининградский государственный технический университет; проректор по информатизации и развитию, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой промышленного рыболовства;
E-mail: nedostup@klgtu.ru

Nedostup Alexander Alekseevich – Kaliningrad State Technical University; Vice Rector for informatization and development, PhD, Associate professor, the Head of the Department of Industrial Fishing; E-mail: nedostup@klgtu.ru

Ражев Алексей Олегович – Калининградский государственный технический университет; аспирант; E-mail: progacpp@live.ru

Razhev Aleksei Olegovich – Kaliningrad State Technical University; graduate student; E-mail: progacpp@live.ru

СУДОСТРОЕНИЕ, МАШИНОСТРОЕНИЕ И ЭНЕРГЕТИКА

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ
НА ПАРАМЕТРЫ ИНВАРИАНТНЫХ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ЭТАЛОНОВ

Л. И. Ковальчук, М. В. Исаева

ASSESSMENT OF THE IMPACT OF INITIAL ERRORS ON THE PARAMETERS
OF INVARIANT DIAGNOSTIC STANDARDS

L. I. Kovalchuk, M. V. Isaeva

В условиях приближенного задания исходных данных и приближенных вычислений над ними работоспособные диагностические эталоны могут быть сформированы при наличии количественных признаков, позволяющих контролировать изменения свойств операторов и образующих структуру эталона. По изложенным причинам в совокупности факторов, определяющих работоспособность диагностических эталонов, вопросы о количественной оценке степени линейной зависимости операторов и влиянии погрешностей измерений и вычислений на конечные результаты расчета приобретают первостепенную значимость. В статье описывается разработка алгоритма вычислительного процесса, позволяющего минимизировать количество вычислительных операций и влияние погрешностей исходных данных на конечные результаты расчета. Для практической реализации алгоритма наиболее подходящими исходными данными являются результаты стендовых испытаний нового двигателя по серии скоростных или нагрузочных характеристик. При наличии таких данных появляется возможность определить структуру инвариантного эталона при минимальном количестве вычислительных операций и минимизировать влияние погрешностей исходных данных на параметры эталона. Показано, что при одном и том же количестве исходных данных и известной структуре диагностического эталона вычислительная задача по определению параметров эталона сводится к решению систем уравнений с многократно вырожденными матрицами. Системы уравнений с такими матрицами плохо обусловлены с точки зрения устойчивости их решений, т. е. при незначительных изменениях исходных данных существенно изменяются параметры эталона. Область решений плохообусловленных систем может быть очень большой и даже уходить в бесконечность. Дан пример численной оценки влияния погрешностей исходных данных на параметры инвариантных диагностических эталонов при реализации различных вычислительных алгоритмов.

инвариантные диагностические эталоны, погрешности исходных данных, алгоритм определения параметров эталона, влияние погрешностей исходных данных на параметры эталонов

In conditions of approximate initial data and approximate calculations on them, workable diagnostic standards can be formed in the presence of quantitative

characteristics which enable to monitor changes in the properties of the operators forming the structure of the standard. In view of these reasons, in a combination of factors that determine the performance of diagnostic standards, the issue of quantitative assessment of the degree of linear dependence of the operators that make up the structure of the standards and the impact of measurement and computation errors on final results of the calculation is of great importance. The article presents a computational algorithm which minimizes the number of computational operations and the impact of initial errors on the final results of the calculation. For practical implementation of the algorithm, the most appropriate initial data are the results of bench tests of a new motor according to the set of high-speed or load characteristics. With this information, it is possible to determine the structure of the invariant standard with a minimum of computational operations and to minimize the impact of initial errors on the parameters of the standard. It is shown that in case of the same amount of initial data and the known structure of the diagnostic standard, computational problem of the characterization of the standard reduces to solving systems of equations with multiple singular matrices. The systems of equations with such matrices are ill-conditioned in terms of their solution stability, in other words at minor changes of the initial data, the parameters of the standard change significantly. Solution area of ill-conditioned systems can be very large and can even extend to infinity. An example is given of the numerical evaluation of the effect of initial errors on the parameters of invariant diagnostic standards under implementation of various computational algorithms.

invariant diagnostic standards, initial errors, characterization algorithm for the parameters of the standard, effect of initial errors on the parameters of the standards

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что эталоны предназначены для определения конкретных свойств предметов или явлений. В последующем под инвариантными диагностическими эталонами понимаются экспериментально-теоретические модели, устанавливающие взаимосвязи между входными в рабочие цилиндры и выходными из них параметрами и справедливые для всего поля возможных режимов работы двигателя. Такие модели обладают свойством инвариантности относительно возмущений со стороны потребителей механической энергии и позволяют обнаружить возможные нарушения процесса сгорания топлива в цилиндрах на ранней стадии их проявления, т.е. повышают эффективность контроля качества функционирования цилиндров главных двигателей в эксплуатационных условиях.

Наиболее подходящими исходными данными для построения инвариантных диагностических эталонов являются результаты стендовых испытаний нового двигателя по серии нагрузочных или скоростных характеристик.

При наличии таких показателей появляется возможность развить эффективные алгоритмы определения параметров, позволяющие минимизировать влияние погрешностей исходных данных на конечные результаты расчета.

При решении задач в условиях, когда исходные данные заданы с погрешностями, конечный результат вычислений будет найден приближенно при любом методе решения задачи, т.е. в этом случае погрешность результата будет состоять из вычислительной и неустранимой погрешности.

Вычислительная погрешность (погрешность от округлений) в основном зависит от выбранного алгоритма решения задачи. При одном способе решения эта погрешность будет меньше, при другом – больше, если вычислительные операции осуществляются при заданном округлении одинаково в обеих схемах.

Неустранимая погрешность (погрешность исходных данных) имеет более сложную природу. Она зависит от содержания задачи и характеризуется ее обусловленностью. Вычислительная задача считается плохо обусловленной, если результат вычислений значительно меняется при малом изменении исходных данных. Следует отметить, что влияние неустранимой погрешности на конечный результат решения также в основном зависит от алгоритма решения задачи. Покажем это на конкретном примере.

МЕТОД И РАСЧЕТЫ

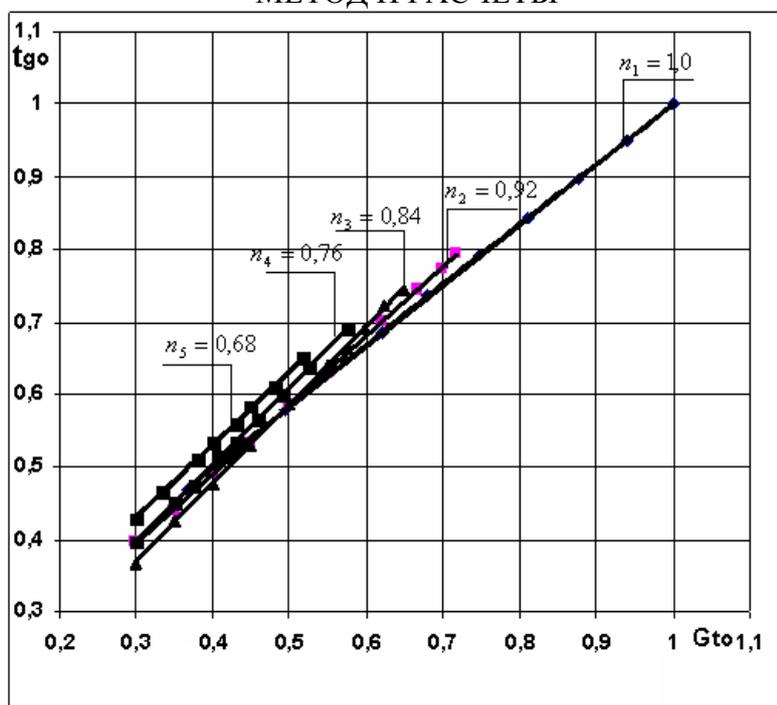


Рис. 1. Результаты испытаний одноцилиндрового двигателя по серии нагрузочных характеристик 1СН17,5/24

Fig. 1. Test results of a single-cylinder engine according to a set of load characteristics 1СН17,5/24

На рис. 1 приведены результаты испытаний одноцилиндрового четырехтактного двигателя 1СН17,5/24 по серии нагрузочных характеристик. Результаты приведены в безразмерной системе координат $t_{go} - G_{mo}$, где t_{go} - относительные значения температуры отработавших газов на выходе из

цилиндра; G_{mo} - относительные значения часового расхода топлива. Переход к относительным значениям параметров выполнен по соотношениям:

$$t_{go} = \frac{t_g}{t_{gn}}; \quad G_{mo} = \frac{G_m}{G_{mn}}; \quad n_o = \frac{n}{n_n} . \quad (1)$$

В соотношениях (1) индексом «н» обозначены значения параметров, соответствующие номинальному режиму работы двигателя: $t_{gn} = 384^0 C$; $G_{mn} = 3.14 \text{ кг/ч}$; $n_n = 630 \text{ мин}^{-1}$.

Использование в последующих вычислениях безразмерных параметров исключает вопрос о размерностях и повышает устойчивость вычислительных операций относительно влияния на результаты вычислений погрешностей исходных данных, так как значения параметров выражаются числами одного порядка.

Суть замысла сводится к тому, чтобы на основе названных информативных параметров построить количественную структуру, которая во всех точках поверхности, образованной последовательным смещением зависимости $t_{go} = f(G_{mo})$ имела бы постоянное численное значение.

В данном случае характер зависимостей $t_{go} = f(G_{mo})$ можно безошибочно определить непосредственно по рис. 1 - каждая из них может быть аппроксимирована линейной функцией, т.е. взаимосвязь между параметрами t_{go} и G_{mo} при $n = const$ задана в виде:

$$t_{go} = x_1 \cdot G_{mo} + x_2 \quad (2)$$

Очевидно, что в условиях, когда численные значения параметров t_{go} и G_{mo} заданы с погрешностями, решения x_1 и x_2 уравнения (2) могут быть определены приближенно, и степень этого приближения зависит от величины погрешностей исходных данных и количества нагрузочных режимов, на которых производились замеры параметров на данном скоростном режиме.

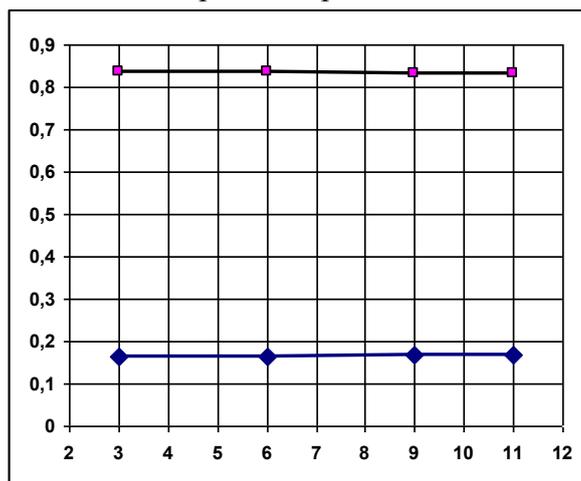


Рис. 2. Зависимости $x_1 = f(m)$ и $x_2 = f(m)$
 Fig. 2. Dependencies $x_1 = f(m)$ and $x_2 = f(m)$

На рис. 2 приведены зависимости $x_1 = f(m)$ и $x_2 = f(m)$. Для скоростного режима $n_0 = 1.0$. В данном случае численные значения x_1 и x_2 стабилизируются при $m = 5c$ с точностью до третьего знака после запятой и принимают значения: $x_1 = 0.167$ и $x_2 = 0.834$.

Таким образом, при $m \geq 5$ изменения решений x_1 и x_2 уравнения (2) становятся сопоставимы с погрешностью исходных данных и их можно считать достаточно хорошим приближением к решению уравнения (2).

С учетом изложенного система уравнений, аппроксимирующих нагрузочные характеристики, приведенные на рис.1, принимает вид

$$\begin{aligned}
 & 1. \quad t_{go} = 0.834 \cdot G_{mo} + 0.167, \quad n_0 = 1.0; \\
 & 2. \quad t_{go} = 0.9564 \cdot G_{mo} + 0.1062, \quad n_0 = 0.9206; \\
 3. & \quad t_{go} = 1.0818 \cdot G_{mo} + 0.0439, \quad n_0 = 0.8413; \\
 4. & \quad t_{go} = 1.068 \cdot G_{mo} + 0.0754, \quad n_0 = 0.7619; \\
 5. & \quad t_{go} = 1.0113 \cdot G_{mo} + 0.127, \quad n_0 = 0.6825;
 \end{aligned} \tag{3}$$

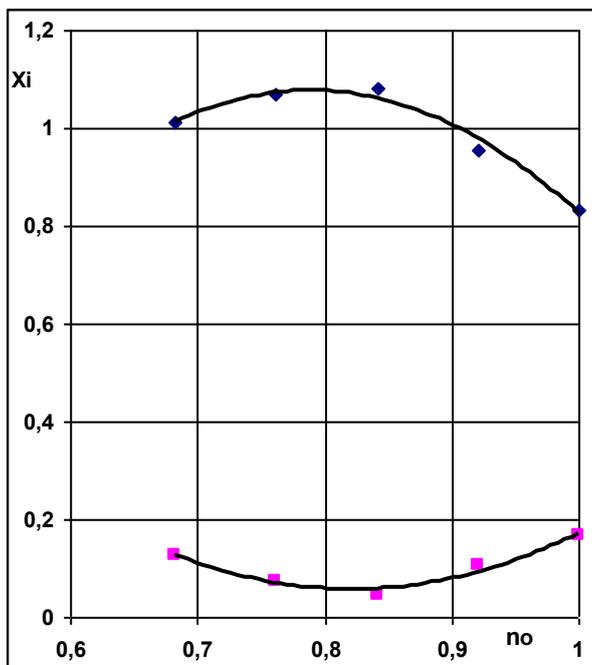


Рис. 3. Зависимости $x_1 = f(n_0)$ и $x_2 = f(n_0)$

Fig. 3. Dependencies $x_1 = f(n_0)$ and $x_2 = f(n_0)$

Система уравнений (3) позволяет выявить закономерности изменения решений при переходе от одной нагрузочной характеристики к другой, т.е. зависимости $x_1 = f(n_0)$ и $x_2 = f(n_0)$. Эти зависимости приведены на рис. 3. Видно, что это – нелинейные зависимости, поэтому аппроксимированы полиномами второго порядка:

$$x_2 = 3.6148 \cdot n_0^2 - 5.9422 \cdot n_0 + 2.499. \tag{4}$$

Подстановкой (4) в (2) получим уравнение поверхности, образованной последовательным смещением зависимости $t_{go} = f(G_{mo})$ при переходе от одной нагрузочной характеристики к другой.

$$t_{go} = (-5.6397 \cdot n_0^2 + 8.9016 \cdot n_0 - 2.4359) \cdot G_{mo} + (3.6148 \cdot n_0^2 - 5.9422 \cdot n_0 + 2.499). \quad (5)$$

Эффективность описанного алгоритма построения модели (5) оценим посредством сопоставления двух гистограмм распределения погрешностей расчета по уравнениям (3) и (5).

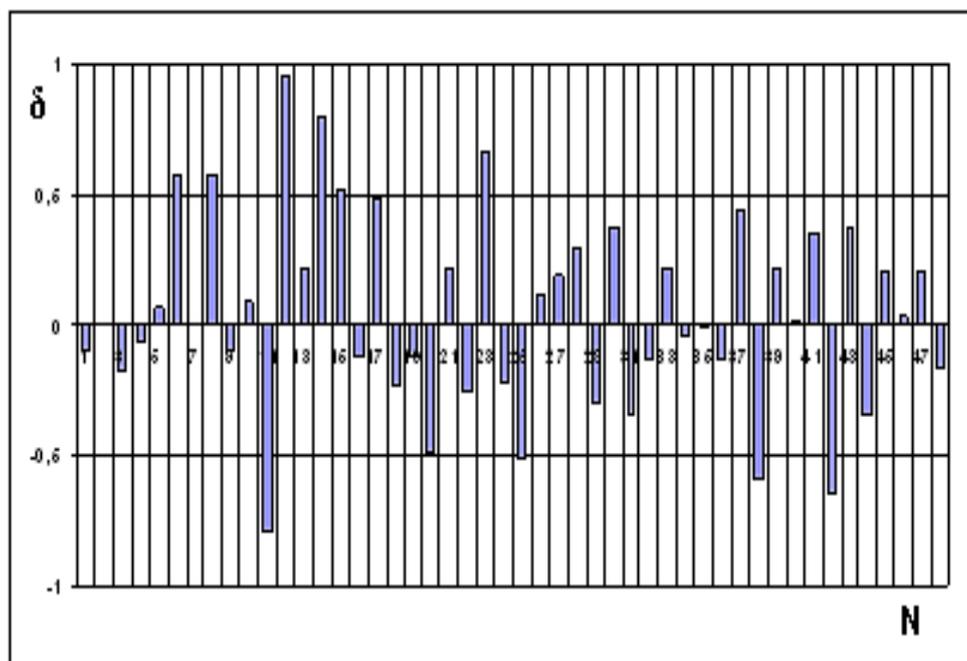


Рис. 4. Гистограмма распределения погрешностей расчета по уравнениям прямой (3)

Fig. 4. Distribution histogram of calculation errors by straight-line equations (3)

На рис. 4 приведена гистограмма распределения погрешностей расчета по уравнениям (3) для каждой нагрузочной характеристики отдельно. Видно, что в этом случае весь массив исходных данных воспроизводится с погрешностью, не превышающей $\pm 1.0\%$. На этом основании можно предположить, что именно с такими погрешностями были измерены информативные параметры t_{go} , n_0 и G_{mo} в процессе испытаний.

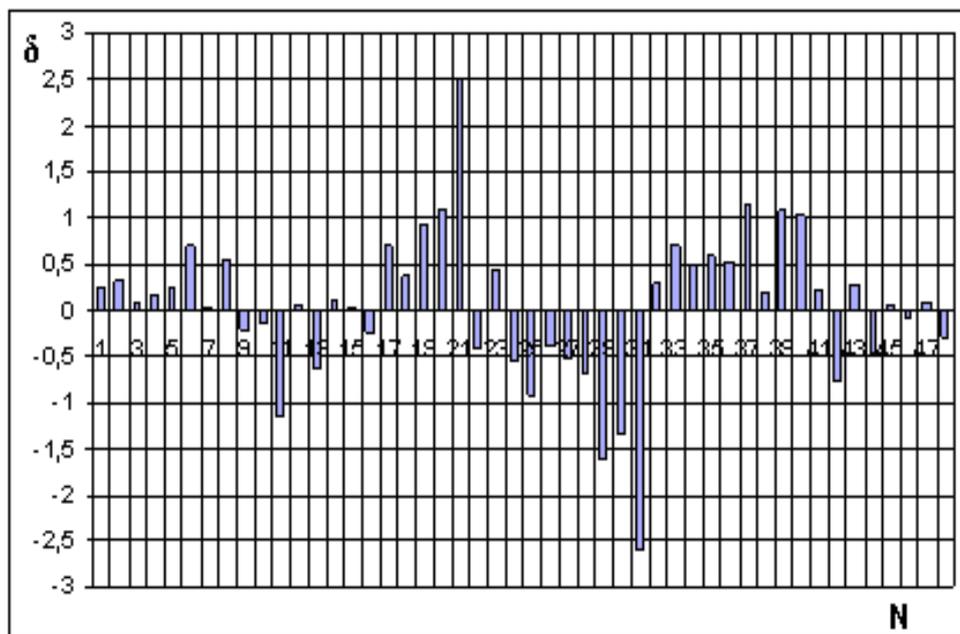


Рис. 5. Гистограмма распределения погрешностей расчета по уравнению (5)
 Fig. 5. Distribution histogram of calculation errors by equation (5)

На рис. 5 приведена гистограмма распределения погрешностей расчета по уравнению (5), которое воспроизводит весь массив тех же исходных данных с погрешностью, не превышающей $\pm 2,5\%$, т.е. замена системы уравнений (3) единой моделью приводит к увеличению погрешности расчета в 2,5 раза. Очевидно, что такое увеличение погрешностей расчета обусловлено тем, что решения системы (3) определены приближенно, а следовательно, решения $x_1 = f(n_0)$ и $x_2 = f(n_0)$ являются также приближенными. Тем не менее результаты расчета по уравнению (5) следует признать вполне удовлетворительными. Для сравнения решим поставленную задачу посредством применения другого алгоритма.

Структура модели (5) теперь известна. Поэтому на основании (5) и того же массива исходных данных сформируем систему условных однородных уравнений $A \cdot x = 0$, где A - прямоугольная матрица порядка $m \times n$, $m = 48$ и $n = 7.0$. Методом наименьших квадратов условную систему уравнений заменим нормальной $A^T A \cdot x = 0$, где $A^T A$ - квадратная матрица порядка $n \times n$. Здесь уместно отметить, что в силу образования матрицы $A^T A$ ее собственными значениями могут быть только вещественные или равные нулю числа.

Положим, что матрица $A^T A$ просто вырожденная, т.е. система $A^T A \cdot x = 0$ имеет не равные нулю решения. Отсюда следует, что длина искомого вектора x может быть определена лишь с точностью до произвольного постоянного множителя. Это обстоятельство используем для целесообразного нормирования вектора x . Например, полагая $x_7 = -1,0$, запишем однородную систему $A^T A \cdot x = 0$ в неоднородной форме $\bar{A} \cdot x = b$, где \bar{A} - симметричная матрица порядка $(n-1) \times (n-1)$.

В результате решения неоднородной системы уравнений $\bar{A} \cdot x = b$ получены следующие численные значения коэффициентов уравнения (5):

$$t_{go} = (-0.011 \cdot n_0^2 - 0.591 \cdot n_0 + 1.486) \cdot G_{mo} + (-0.004818 \cdot n_0^2 + 0.13 \cdot n_0 + 0.000894). \quad (6)$$

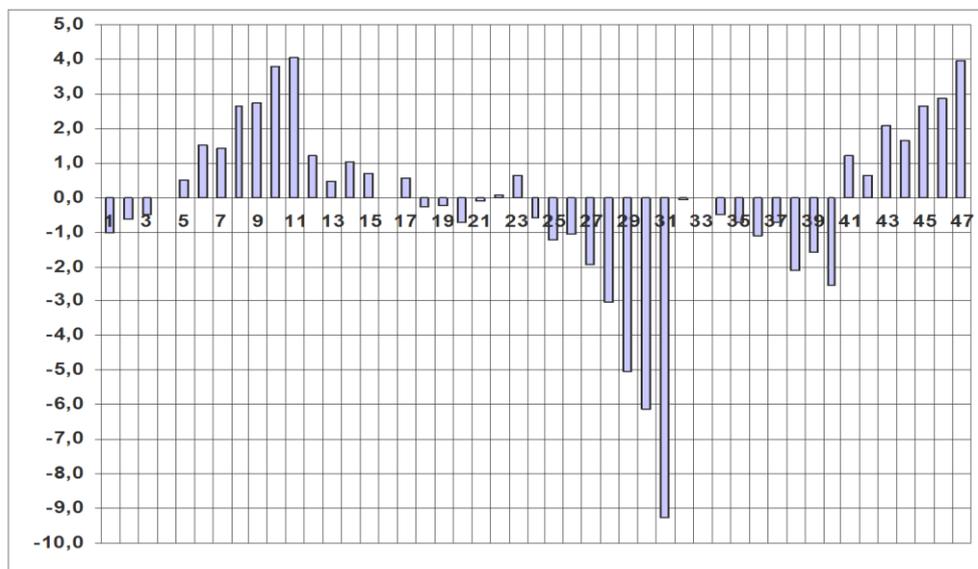


Рис. 6. Гистограмма распределения погрешности расчета по уравнению (6)
 Fig. 6. Distribution histogram of calculation errors by equation (6)

На рис. 6 приведена гистограмма распределения погрешностей расчета по уравнению (6). Видно, что при численной реализации второго алгоритма погрешности расчета увеличиваются до значений $\pm 9.0\%$.

Выясним возможные причины весьма существенных изменений в конечных результатах решения одной и той же задачи двумя описанными способами.

Используем для этой цели спектры собственных чисел матриц $A^T A$ и \bar{A} , которые определяются в результате решения уравнений

$$\det(A^T A - E\lambda) = 0; \det(\bar{A} - E \cdot \lambda) = 0, \quad (7)$$

где E - единичная матрица.

При степени переопределенности $m = 48$ условной системы уравнений $A \cdot x = 0$ спектры собственных чисел матриц $A^T A$ и \bar{A} будут следующими:

- матрицы $A^T A$: $\lambda_1 = 161.6588$; $\lambda_2 = 3.3521$; $\lambda_3 = 1.0222$; $\lambda_4 = 0.2253$; $\lambda_5 = 0.0106$; $\lambda_6 = 0.001493$; $\lambda_7 = -0.1006$;
- матрицы \bar{A} : $\lambda_1 = 143.199$; $\lambda_2 = 3.244$; $\lambda_3 = 0.825$; $\lambda_4 = 0.182$; $\lambda_5 = 0.004232$; $\lambda_6 = -0.099$.

Структура спектров собственных чисел матриц $A^T A$ и \bar{A} такова, что по своим свойствам эти матрицы являются многократно вырожденными. Системы уравнений с такими матрицами плохо обусловлены с точки зрения устойчивости их решений при возможных вариациях исходных данных. Область решений этих систем может быть очень большой и даже уходить в бесконечность.

ВЫВОДЫ

В заключение отметим, что выполненные оценки влияния погрешностей исходных данных на параметры инвариантных диагностических эталонов позволяют сделать нижеследующие выводы:

1. Наиболее подходящими исходными данными для построения таких эталонов являются стендовые испытания двигателя по серии нагрузочных или скоростных характеристик. При наличии таких данных появляется возможность по предложенному в данной работе алгоритму определить структуру инвариантных диагностических эталонов, минимизировать количество вычислительных операций и влияние погрешностей исходных данных на конечный результат расчета.
2. Показано что при применении других алгоритмов решения поставленной задачи влияние погрешностей исходных данных на конечный результат существенно увеличивается. По этой причине применение разработанного алгоритма для определения параметров инвариантных диагностических эталонов следует признать предпочтительным.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Воеводин, В. В. Линейная алгебра / В. В. Воеводин. – Москва: Наука. – 1980. – 399 с.
2. Ковальчук, Л. И. Практические принципы построения моделей для диагностирования рабочих процессов в цилиндрах главных судовых дизелей / Л. И. Ковальчук // Судостроение. – 1991. – №7. – С. 17-18.
3. Кублановская, В. Н. Численные методы алгебры / В. Н. Кублановская. – Ленинград: ЛКИ. – 1978. – 112 с.
4. Уилкинсон, Д. Х. Алгебраическая проблема собственных значений / Д. Х. Уилкинсон. – Москва: Наука. – 1970. – 450 с.
5. Feller W. and Forsythe G. E. New matrix transformations for obtaining characteristic vectors, Quart. Appl. Math., 1951, 8, №4, 325-331; БК, 12, 538.
6. Henrici P. On the speed of convergence of cyclic and qua – sicyclic Jacobi methods for computing eigenvalues of Hermitian matrices. J. Soc. Industr. and Appl. Math., 1958, 6, №2, 144—162; РЖМ, 1960, 919.
7. Fox L., Huskey H. D. and Wilkinson J. H. Notes on the solution of algebraic linear simultaneous equations. Quart. J. Mech. And Appl. Math1, 1948, №2, 149-173;

REFERENCES

1. Voevodin V. V. *Linejnaja algebra* [Linear algebra]. Moscow, Nauka, 1980, 399 p.
2. Koval'chuk L. I. Prakticheskie principy postroenija modelej dlja diagnostirovanija rabochnih processov v cilindrah glavnyh sudovyh dizelej [Practical concept of building models for diagnostics of operational processes in the cylinders of the main marine diesels]. *Sudostroenie*, no. 7, 1991, pp. 17-18.
3. Kublanovskaja V. N. *Chislennye metody algebry* [Numerical methods of algebra]. Leningrad, LKI, 1978, 112 p.
4. Uilkinson D. H. *Algebraicheskaja problema sobstvennyh znachenij* [Algebraic eigenvalue problem]. Moscow, Nauka, 1970, 450 p.
5. Feller W. and Forsythe G. E. New matrix transformations for obtaining characteristic vectors, *Quart. Appl. Math.*, 1951, 8, no. 4, 325-331; K,12,538.
6. Henrisi P. On the speed of convergence of cyclic and qua – sicyclic Jacobi methods for computing eigenvalues of Hermitian matrices. *J. Soc. Industr. and Appl. Math.*, 1958, 6, no. 2, 144-162; RZhM, 1960, 919.
7. Fox L., Huskey H. D. and Wilkinson J. H. Notes on the solution of algebraic linear simultaneous equations. *Quart. J. Mech. And Appl. Math*1, 1948, no. 2, 149-173.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Ковальчук Леонид Игнатьевич – Балтийская государственная академия
рыбопромыслового флота; доктор технических наук, профессор

Kovalchuk Leonid Ignatyevich – Baltic Fishing Fleet State Academy; PhD, Professor

Исаева Марина Васильевна – Балтийская государственная академия
рыбопромыслового флота; аспирант

Isayeva Marina Vasilyevna – Baltic Fishing Fleet State Academy;
Post-graduate student

УДК 621.431.7

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ВЫБРОСОВ
ДИОКСИДА УГЛЕРОДА С ОТРАБОТАВШИМИ ГАЗАМИ
ДВИГАТЕЛЕМ С ПРИНУДИТЕЛЬНЫМ ЗАЖИГАНИЕМ
ПРИ РАБОТЕ НА БЕНЗИНЕ И ТОПЛИВНОМ ГАЗЕ

Л. И. Ковальчук, И. В. Мишачков

EXPERIMENTAL AND THEORETICAL MODELS OF CARBON DIOXIDE
EMISSIONS WITH EXHAUST GASES BY A SPARK-IGNITION ENGINE WHEN
OPERATING ON PETROL AND FUEL GAS

L. I. Kovalchuk, I. A. Mishachkov

В работе излагаются теоретические предпосылки формирования моделей, позволяющие дать количественную оценку токсичных выбросов в поле возможных режимов работы. На этой основе разработан алгоритм проведения экспериментальных исследований и обработки их результатов.

Показано, что для построения названных моделей наиболее подходящими исходными данными являются результаты стендовых испытаний двигателя по серии нагрузочных характеристик. Для решения этой задачи на кафедре «Автомобильный транспорт и сервис автомобилей» Балтийской государственной академии рыбопромыслового флота разработана и изготовлена экспериментальная установка на базе V-образного шестицилиндрового двигателя 6Ч 9,1/7,3 с принудительным зажиганием, распределенной системой впрыска бензина, дополнительно оснащенного газобаллонным оборудованием четвертого поколения.

Испытания проводились без каталитического нейтрализатора в диапазоне частот вращения от 1400 до 2200 мин⁻¹, с шагом $\Delta n=200$ мин⁻¹. В качестве газомоторного топлива использовался сжиженный углеводородный газ марки ПТБ, ГОСТ Р 52087-2003. Замеры токсичных выбросов производились многокомпонентным газоанализатором «Автотест 02.03». Отбор проб выполнялся на срезе выпускной системы, в которую для снижения температуры отработавших газов были вмонтированы дополнительные расширители, что позволило довести время замеров на каждом режиме до значений, предусмотренных технической характеристикой газоанализатора.

В качестве примера построены экспериментально-теоретические модели выбросов диоксида углерода при работе двигателя на бензине и топливном газе, позволяющие дать их количественную оценку в широком диапазоне скоростных и нагрузочных режимов. Показано, что при работе двигателя на топливном газе достигается снижение выбросов диоксида углерода в среднем на 16 %.

двигатели внутреннего сгорания, вредные выбросы в окружающую среду, возможности снижения вредных выбросов, модели выбросов, диоксид углерода

The paper presents theoretical background of formation of models that allow us to quantify toxic emissions in possible operation modes. On this basis we have created an algorithm for carrying out experimental research and processing results.

It is shown that for the construction of the models, the most appropriate baseline data is the results of the bench tests of the engine according to a set of load characteristics. In order to solve this problem, the department of automobile transport and automobile service of Baltic Fishing Fleet State Academy has designed and manufactured an experimental setup on the basis of v-shaped 6-cylinder engine 6CH 9.1/7.3 with forced ignition, port fuel injection of petrol, additionally equipped with port fuel injection of the fourth generation fuel gas.

Tests have been carried out without a catalyst in a range of rotation speeds from 1400 to 2200 min^{-1} , with a pitch $\Delta n = 200 \text{ min}^{-1}$. As a natural gas motor fuel, liquefied hydrocarbon gas of PTB brand, GOST R 52087-2003, was used. Measurements of toxic emissions were conducted by means of multicomponent gas analyzer «Autotest 02.03».

For illustrative purposes, we have built experimental and theoretical models of carbon dioxide emissions when the engine is running on petrol and fuel gas. These models allow us to quantify these emissions in a wide range of speed and load modes. It is shown that with the engine running on fuel gas, carbon dioxide emissions decrease by 16% on average.

internal combustion engines, emissions into the environment, possibility of reducing harmful emissions, emission models, carbon dioxide

Сгорание топлива в цилиндрах двигателей внутреннего сгорания (ДВС) сопровождается образованием большого количества различных токсичных веществ, состоящих из продуктов неполного сгорания и термического разложения углеводородов топлива. Снижение токсичности отработавших газов представляет собой сложную научно-техническую задачу, при решении которой большое значение имеет стоимость тех или иных мероприятий, а также необходимость сохранения высоких экономических, энергетических и других показателей двигателя.

Диоксид углерода (CO_2) представляет собой продукт полного окисления углерода. Основное количество CO_2 производится природными источниками (вулканы, пожары, окисление, гниение и т.д.), и только 1..3% связаны с производственной деятельностью человека (антропогенные выбросы), которые могут так нарушить равновесие в атмосфере, что послужат причиной возникновения парникового эффекта [1]. Из всех антропогенных парниковых газов значения для усиления парникового эффекта имеет только CO_2 .

Формирование экспериментально-теоретических моделей выбросов диоксидов углеводородов при работе двигателя на бензине

Экспериментальные исследования выбросов диоксида углерода проводились по серии нагрузочных характеристик шестицилиндрового V-образного двигателя 6Ч 9,1/7,3 с искровым зажиганием и распределенной системой впрыска бензина. Испытания проходили без каталитического нейтрализатора в диапазоне частот вращения от 1400 min^{-1} до 2200 min^{-1} с шагом $\Delta n = 200 \text{ min}^{-1}$. Для измерения токсичных выбросов с отработавшими газами использовался многокомпонентный газоанализатор модификации «Автотест – 02.03». Отбор проб выпол-

нялся на срезе выпускной системы, в которую для снижения температуры отработавших газов были вмонтированы дополнительные расширители, что позволило довести время замеров на каждом режиме до значений предусмотренных технической характеристикой газоанализатора.

В процессе испытаний производились замеры следующих параметров:

- частота вращения двигателя n , мин^{-1} ;
- перемещение дроссельной заслонки S , мм;
- часовой расход бензина G_T , кг/ч;
- выбросы диоксида углерода CO_2 , %.

Для исключения вопроса о размерностях в последующих вычислениях использованы безразмерные значения определяющих и определяемых параметров.

$$\overline{\text{CO}}_2 = \frac{\text{CO}_2}{\text{CO}_{2н}}; \bar{S} = \frac{S}{S_n}; \bar{n} = \frac{n}{n_n} \quad (1)$$

В приведенных отношениях индексом «Н» обозначены значения нормирующих параметров, которые приняты следующими: $\text{CO}_{2н} = 15,33$ кг/ч; $S_n = 27$ мм; $n_n = 2200$ мин^{-1} .

В процессе проведения экспериментальных исследований выбросы диоксида углерода на всех режимах в процентном выражении изменялись в пределах 12-13 %.

На рис. 1 приведены зависимости $\overline{\text{CO}}_{2p} = f(\bar{S})$ при $n_0 = \text{const}$. Видно, что это нелинейные зависимости. Поэтому каждая из них аппроксимируется полиномом второго порядка вида

$$\overline{\text{CO}}_{2p} = x_1(\bar{n}) \cdot \bar{S}^2 + x_2(\bar{n}) \cdot \bar{S} + x_3(\bar{n}), \quad (2)$$

где $x_1(\bar{n})$, $x_2(\bar{n})$, $x_3(\bar{n})$ – искомые зависимости определяемых параметров от частоты вращения.

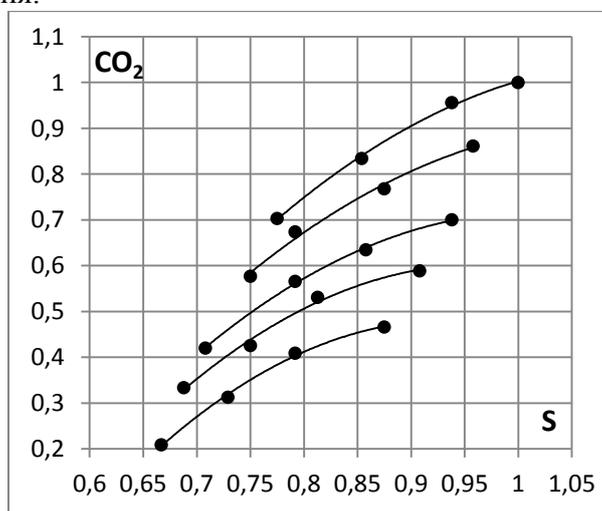


Рис. 1. Зависимость $\overline{\text{CO}}_{2p} = f(\bar{S})$ по нагрузочным характеристикам при работе двигателя на бензине

Fig. 1. Dependence $\overline{\text{CO}}_{2p} = f(\bar{S})$ on load characteristics when the engine is running on petrol

Для определения закономерностей $x_i = f(\bar{n})$ используем систему полиномов, аппроксимирующих зависимости $\overline{CO}_{2p} = f(\bar{S})$ по каждой нагрузочной характеристике. В данном случае система полиномов имеет вид:

1. $\overline{CO}_2 = -2,9227 \cdot \bar{S}^2 + 6,532 \cdot \bar{S} - 2,6062$, при $\bar{n} = 1,0$;
2. $\overline{CO}_2 = -2,8105 \cdot \bar{S}^2 + 6,1125 \cdot \bar{S} - 2,4185$, при $\bar{n} = 0,909$;
3. $\overline{CO}_2 = -3,1911 \cdot \bar{S}^2 + 6,4604 \cdot \bar{S} - 2,5539$, при $\bar{n} = 0,818$;
4. $\overline{CO}_2 = -3,5702 \cdot \bar{S}^2 + 6,8846 \cdot \bar{S} - 2,716$, при $\bar{n} = 0,727$;
5. $\overline{CO}_2 = -3,8216 \cdot \bar{S}^2 + 7,1431 \cdot \bar{S} - 2,8569$, при $\bar{n} = 0,636$.

Система полиномов (3) позволяет определить закономерности изменения численных коэффициентов $x_i = f(\bar{n})$ при переходе от одной нагрузочной характеристике к другой.

На рис. 2 приведена графическая интерпретация зависимостей $x_i = f(\bar{n})$. Видно, что в данном случае эти зависимости имеют нелинейный характер. Система полиномов, аппроксимирующая зависимости $x_i = f(\bar{n})$, принимает вид:

$$\begin{aligned} x_1 &= -6,2596 \cdot \bar{n}^2 + 13,051 \cdot \bar{n} - 9,6469; \\ x_2 &= 12,354 \cdot \bar{n}^2 - 22,403 \cdot \bar{n} + 16,481; \\ x_3 &= -5,9292 \cdot \bar{n}^2 + 10,584 \cdot \bar{n} - 7,2226. \end{aligned} \quad (4)$$

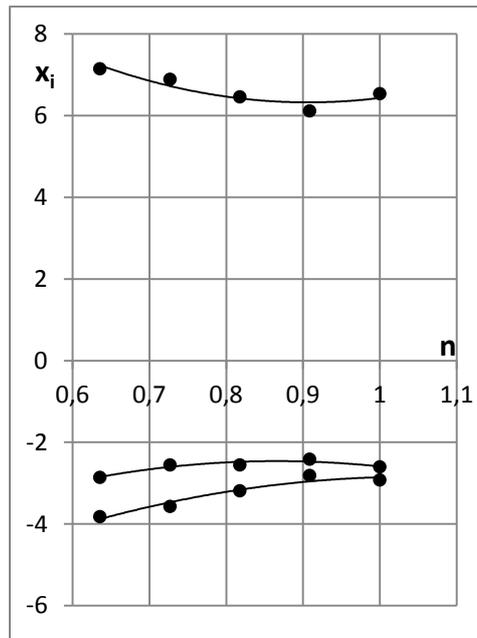


Рис. 2. Зависимость коэффициентов $x_i = f(\bar{n})$ для \overline{CO}_{2p} при работе двигателя на бензине

Fig. 2. Dependence of the coefficients $x_i = f(\bar{n})$ to \overline{CO}_{2p} when the engine is running on petrol

После подстановки (4) в (2) получим уравнение поверхности, образованной смещением зависимостей $\overline{CO}_{2p} = f(\bar{S})$ при переходе от одной нагрузочной характеристике к другой

$$\overline{CO}_{2p} = (-6,2596 \cdot \bar{n}^2 + 13,051 \cdot \bar{n} - 9,6469) \cdot \bar{S}^2 + (12,354 \cdot \bar{n}^2 - 22,403 \cdot \bar{n} + 16,481) \cdot \bar{S} + (-5,9292 \cdot \bar{n}^2 + 10,584 \cdot \bar{n} - 7,2226). \quad (5)$$

Гистограмма распределения погрешностей расчета приведена на рис. 3. Видно, что уравнение (5) воспроизводит весь массив исходных данных с погрешностью, не превышающей $\pm 4,0\%$.

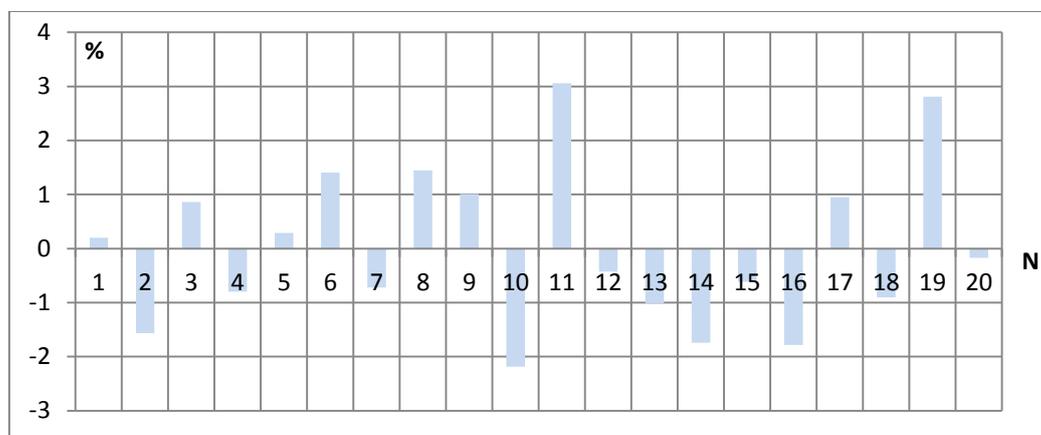


Рис. 3. Гистограмма распределения погрешностей расчета CO₂ при работе двигателя на бензине

Fig. 3. Distribution histogram of CO₂ calculation errors when the engine is running on petrol

Следует отметить, что модель (5) воспроизводит опытные данные с погрешностью, не превышающей погрешности их измерения, только для определенных скоростных и нагрузочных режимов работы двигателя. При изменении условий сгорания рассогласование между замеренными величинами $\overline{CO}_{2з}$ и рассчитанными по уравнению (5) будет неизбежно увеличиваться.

Формирование экспериментально-теоретических моделей выбросов диоксидов углеводородов при работе на топливном газе

В процессе испытаний производились замеры следующих параметров:

- частота вращения двигателя n , мин⁻¹;
- перемещение дроссельной заслонки S , мм;
- часовой расход газа G_r , кг/ч (плотность топливного газа 2,2 кг/м³);
- выбросы диоксида углерода CO₂, %.

Для построения экспериментально-теоретической модели выбросов диоксида углерода с отработавшими газами, предварительно были определены абсолютные величины выбросов как часть общего количества продуктов сгорания. Необходимость таких расчетов возникла потому, что на всех исследованных режимах работы двигателя на топливном газе значения выбросов изменялись в пределах 9,4 ÷ 12%.

В последующих расчетах использованы безразмерные значения параметров:

$$\overline{CO}_2 = \frac{CO_2}{CO_{2н}}; \bar{S} = \frac{S}{S_n}; \bar{n} = \frac{n}{n_n}, \quad (6)$$

где индексом «Н» обозначены значения нормирующих параметров, которые в данном случае приняты следующими $CO_{2н} = 10,71$ кг/ч; $S_n = 25$ мм; $n_n = 2200$ мин⁻¹.

На рис. 4 приведены закономерности изменения зависимостей $\overline{CO}_2 = f(\overline{S})$ по серии нагрузочных характеристик, каждая из которых может быть аппроксимирована полиномом вида:

$$\overline{CO}_{2p} = x_1(\overline{n}) \cdot \overline{S}^2 + x_2(\overline{n}) \cdot \overline{S} + x_3(\overline{n}), \quad (7)$$

где $x_1(\overline{n})$, $x_2(\overline{n})$, $x_3(\overline{n})$ – переменные коэффициенты полинома, функции частоты вращения коленчатого вала двигателя.

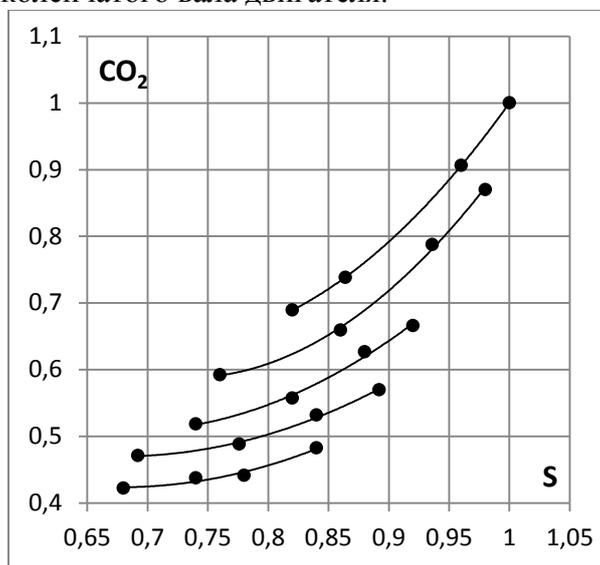


Рис. 4. Зависимость $\overline{CO}_{2p} = f(\overline{S})$ по нагрузочным характеристикам при работе двигателя на топливном газе

Fig. 4. Dependence $\overline{CO}_{2p} = f(\overline{S})$ on load characteristics with the engine running on fuel gas

Система полиномов, аппроксимирующих зависимости $\overline{CO}_{2p} = f(\overline{S})$, принимает вид:

1. $\overline{CO}_2 = 5,7268 \cdot \overline{S}^2 - 8,7044 \cdot \overline{S} + 3,9786$, при $\overline{n} = 1,0$;
2. $\overline{CO}_2 = 4,4674 \cdot \overline{S}^2 - 6,5009 \cdot \overline{S} + 2,953$, при $\overline{n} = 0,909$;
3. $\overline{CO}_2 = 3,5623 \cdot \overline{S}^2 - 5,0816 \cdot \overline{S} + 2,3287$, при $\overline{n} = 0,818$;
4. $\overline{CO}_2 = 2,6409 \cdot \overline{S}^2 - 3,6871 \cdot \overline{S} + 1,7589$, при $\overline{n} = 0,727$;
5. $\overline{CO}_2 = 1,7978 \cdot \overline{S}^2 - 2,3774 \cdot \overline{S} + 1,2087$, при $\overline{n} = 0,636$.

На рис. 5 приведена графическая интерпретация зависимостей $x_i = f(\overline{n})$.

Система полиномов, аппроксимирующих эти зависимости, имеет вид:

$$\begin{aligned} x_1 &= 8,1383 \cdot \overline{n}^2 - 2,2621 \cdot \overline{n} - 0,2104; \\ x_2 &= -18,099 \cdot \overline{n}^2 + 12,088 \cdot \overline{n} - 2,5666; \\ x_3 &= 10,06 \cdot \overline{n}^2 - 8,8832 \cdot \overline{n} + 2,7398. \end{aligned} \quad (9)$$

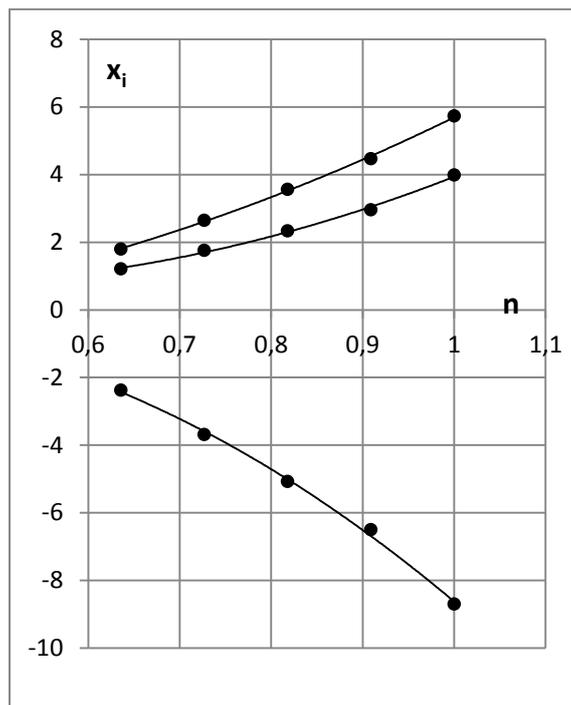


Рис. 5. Зависимость коэффициентов $x_i = f(\bar{n})$ для \overline{CO}_{2p} при работе двигателя на топливном газе

Fig. 5. Dependence of the coefficients $x_i = f(\bar{n})$ to \overline{CO}_{2p} when the engine is running on fuel gas

После подстановки (9) в (7) получено уравнение поверхности, образованной смещением зависимостей $\overline{CO}_{2p} = f(\bar{S})$ при переходе от одной нагрузочной характеристики к другой

$$\overline{CO}_{2гр} = (8,1383 \cdot \bar{n}^2 - 2,2621 \cdot \bar{n} - 0,2104) \cdot \bar{S}^2 + (-18,099 \cdot \bar{n}^2 + 12,088 \cdot \bar{n} - 2,5666) \cdot \bar{S} + (10,06 \cdot \bar{n}^2 - 8,8832 \cdot \bar{n} + 2,7398) \quad (10)$$

Гистограмма распределения погрешностей расчета приведена на рис. 6. Видно, что уравнение (10) воспроизводит весь массив исходных данных с погрешностью, не превышающей $\pm 4,0\%$.

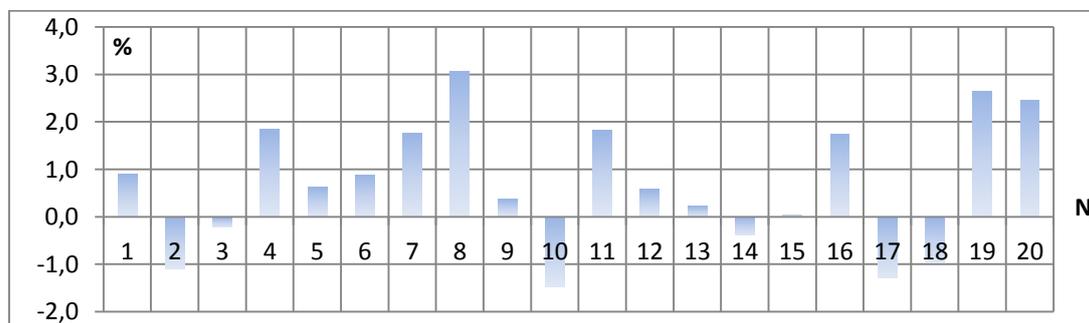


Рис. 6. Гистограмма распределения погрешностей расчета CO_2 при работе двигателя на топливном газе

Fig. 6. Distribution histogram of CO_2 calculation errors when the engine is running on fuel gas

Следует отметить, что уравнение (10) воспроизводит опытные данные с погрешностью, не превышающей погрешности их измерения, только для определенных скоростных и нагрузочных режимов работы двигателя VOLVO-B280F. За пределами области, ограниченной указанными выше скоростными и нагрузочными режимами, расхождение опытных и расчетных значений будут увеличиваться. Другими словами, наиболее подходящими исходными данными для построения экспериментально-теоретических моделей токсичных выбросов с отработавшими газами являются универсальные характеристики конкретного двигателя.

Изложенные подходы формирования данных моделей при работе на бензине и топливном газе позволяют сравнить выбросы диоксида углерода в указанном диапазоне скоростных и нагрузочных режимов. Значения выбросов CO₂ при работе на топливном газе ниже в среднем на 16%, чем при работе на бензине.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Звонов, В. А. Токсичность двигателей внутреннего сгорания / В. А. Звонов. – Москва: Машиностроение, 1981. – 160 с.

REFERENCES

1. Zvonov V. A. *Toksichnost' dvigateley vnutrennego sgoraniya* [Toxicity of internal combustion engines]. Moscow, Mechanical engineering, 1981, 160 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Ковальчук Леонид Игнатьевич – Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота; доктор технических наук, профессор кафедры «Автомобильный транспорт и сервис автомобилей»; E-mail: mail@bffsa.com

Kovalchuk Leonid Ignatievich – Baltic Fishing Fleet State Academy; PhD, Professor of the department of automobile transport and automobile service;
E-mail: mail@bffsa.com

Мишачков Илья Викторович – Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота; аспирант кафедры «Автомобильный транспорт и сервис автомобилей»; E-mail: tranceportnik@mail.ru.

Mishachkov Ilya Viktorovich – Baltic Fishing Fleet State Academy; graduate student of the department of automobile transport and automobile service;
E-mail: tranceportnik@mail.ru

УДК 621-313

ОБОСНОВАНИЕ МОДЕРНИЗАЦИИ СУДОВЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ
ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ УСТРОЙСТВ НА СИСТЕМЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ

Л. Д. Шабалин, Д. Ю. Чушанков

RATIONALE FOR MODERNIZATION OF SHIP ELECTRICAL CARGO
HANDLING GEAR ON THE SYSTEMS USING FREQUENCY CONVERTER

L. D. Shabalin, D. Yu. Chushankov

Целью работы было обоснование модернизации электроприводов судовых грузоподъемных устройств на базе исследования их динамических режимов в системах – асинхронный двигатель с фазным ротором; многоскоростной электродвигатель; преобразователь частоты – асинхронный двигатель и сравнение их энергетических показателей. Для решения поставленной задачи были разработаны модели приводов с электродвигателем с фазным ротором, многоскоростным электродвигателем и приводов по системе преобразователь частоты – асинхронный двигатель с использованием пакетов прикладных программ MatLab (Simulink). При исследовании всех трех моделей снимали характеристики двигателя, а именно: ток статора $I_{st}(t)$, ток ротора $I_p(t)$, электромагнитный момент $T_e(t)$ и потребляемые активную $P(t)$ и реактивную мощности $Q(t)$.

В результате проведенных исследований было установлено, что электропривод асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором и преобразователем частоты потребляет меньше электрической энергии, чем многоскоростной привод и привод с фазным ротором примерно на 15-20%. Также стоит отметить, что амплитуды токов при пуске в модернизированной модели на 40% ниже, а время разгона двигателя с преобразователем частоты в два раза меньше, чем у прежних аналогов.

судовые грузоподъемные устройства, электропривод, преобразователь частоты, моделирование, MatLab

The paper concentrates on the rationale for modernization of ship electrical cargo handling gear based on the study of their dynamic modes in the systems: wound-rotor induction motor; multi-speed motor; frequency converter - induction motor; and comparison of their energy performance. In order to solve this task, we have developed drives models with wound-rotor induction motor, multi-speed motor and frequency converter - induction motor involving application packages MatLab (Simulink). While investigating all three models, we checked performance of the engine: stator current $I_{st}(t)$, rotor current $I_p(t)$, electromagnetic torque $T_e(t)$ and consumed active $P(t)$ and reactive power $Q(t)$.

The result of the research is that an electric induction motor with squirrel-cage rotor and frequency converter consumes approximately 15-20% less electricity than a multi-speed motor and wound-rotor induction motor. It is also worth noting that current amplitudes during start-up in the upgraded model are 40% lower than that of the old drive models. Acceleration time of the motor with a frequency converter is two times less than its older prototypes.

cargo handling gears, electric drive, frequency converter, simulation, Matlab

ВВЕДЕНИЕ

В течение долгого времени, начиная с 60-х годов, было очень популярно использовать в качестве электропривода судовых грузоподъемных устройств трехфазный асинхронный электродвигатель с фазным ротором или многоскоростной асинхронный электродвигатель. В настоящее время широкое распространение получили микропроцессорные частотные преобразователи, которые регулируют скорость асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором. Режим работы электродвигателей грузоподъемных устройств характеризуется частыми пусками и торможениями, широким изменением нагрузок, и поэтому для них применяются специально разработанные серии крановых электродвигателей. По конструктивному исполнению крановые электродвигатели отличаются от двигателей общепромышленного исполнения, имеют повышенный запас прочности механических узлов и деталей, класс нагревостойкости изоляции [1, 2].

В Российской Федерации существует более чем десятилетний опыт внедрения и эксплуатации систем с частотным регулированием. При использовании современных частотных преобразователей регулирование скорости вращения электродвигателя производится путем изменения величины и частоты напряжения питания. КПД подобного преобразования составляет примерно 98%. При этом из сети потребляется только активная часть тока нагрузки, а микропроцессорная система управления позволяет максимально эффективно управлять двигателем и контролировать большое количество параметров. Снижается и риск аварийных ситуаций. Также преимуществами микропроцессорной системы управления являются ее компактность и надежность. Наличие микропроцессора дает возможность программировать частотный преобразователь, что позволяет управлять двигателем в любом режиме автоматически [3].

В работе поставлено несколько основных задач: снижение потребления электроэнергии, уменьшение габаритных размеров установки и наиболее точное управление асинхронным двигателем на базе исследования динамических режимов электроприводов грузоподъемных устройств с электродвигателем с фазным ротором, многоскоростным электродвигателем и электроприводом по системе преобразователь частоты – асинхронный двигатель.

Для анализа и сравнения работы трех представленных выше систем электроприводов использовался пакет программы MatLab Simulink вместе с пакетом расширения SimPowerSystems (в более ранних версиях — PowerSystemsBlockset), являющийся основой для изучения и исследования устройств силовой электроники и электромеханических устройств [4].

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИВОДА ДВИГАТЕЛЯ С ФАЗНЫМ РОТОРОМ

В пакете SimPowerSystems электропривод с фазным ротором имеет следующий вид (рис. 1):

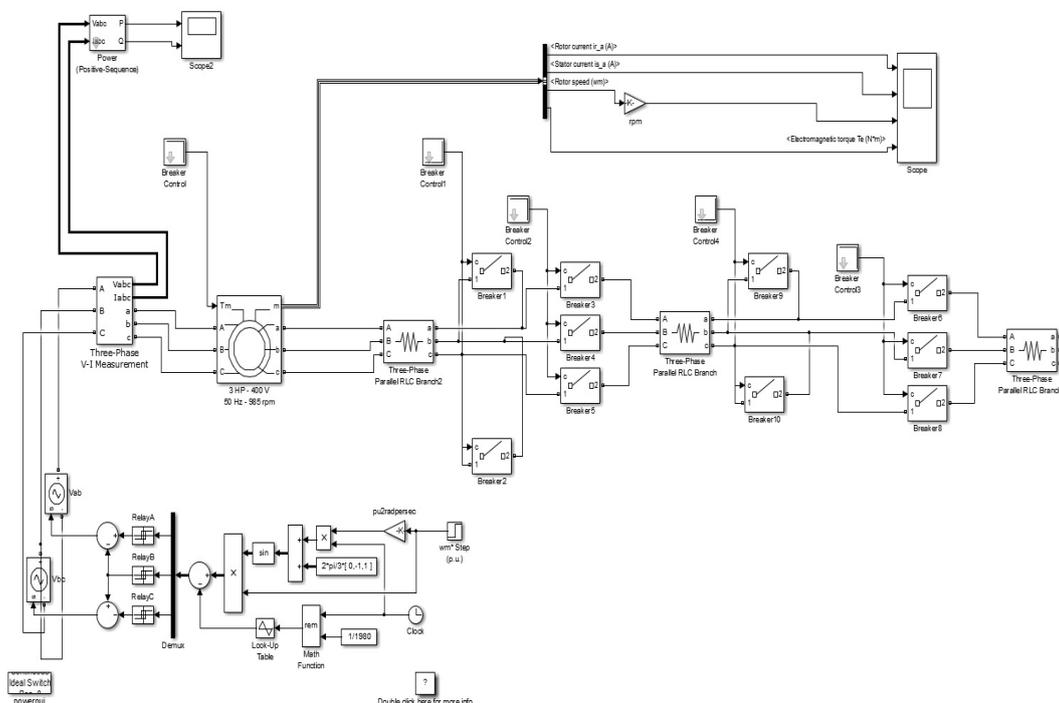


Рис. 1. Модель привода двигателя с фазным ротором
Fig. 1. Model of a wound-rotor induction motor

Модель привода (рис. 1) состоит из модели электродвигателя, трех добавочных сопротивлений, включенных в обмотку ротора и изменяющих сопротивление ротора, задатчика момента на валу двигателя и измерительных устройств. Модель привода оснащена дисплеем, на который выводятся такие параметры двигателя, как ток статора, ток ротора, электромагнитный момент, развиваемый двигателем, частота вращения, потребляемые активная и реактивная мощности [5].

При запуске данной модели мы сняли характеристики двигателя, а именно: изменение тока статора $I_{ст}(t)$, тока ротора $p(t)$, электромагнитного момента $T_e(t)$ (рис. 2) и изменение активной $P(t)$ и реактивной мощностей $Q(t)$ (рис. 3).

Проанализировав полученные графики, можно заметить, что в момент переключения скоростей максимальная амплитуда тока достигает 1000 А, и это достаточно большая величина, что ведет к значительным потерям, которые расходятся на нагрев сопротивлений в цепи ротора. Также следует заметить, что регулирование процесса занимает больше 3 с, а это довольно длительное время для таких токов. Частота вращения двигателя достигает номинальных значений за 3,5 с. Также на недостатки данной системы показали приборы учета, продемонстрировавшие большие скачки потребляемых активной и реактивной мощностей, а следовательно, увеличение потребления энергии и нагрузки на систему.

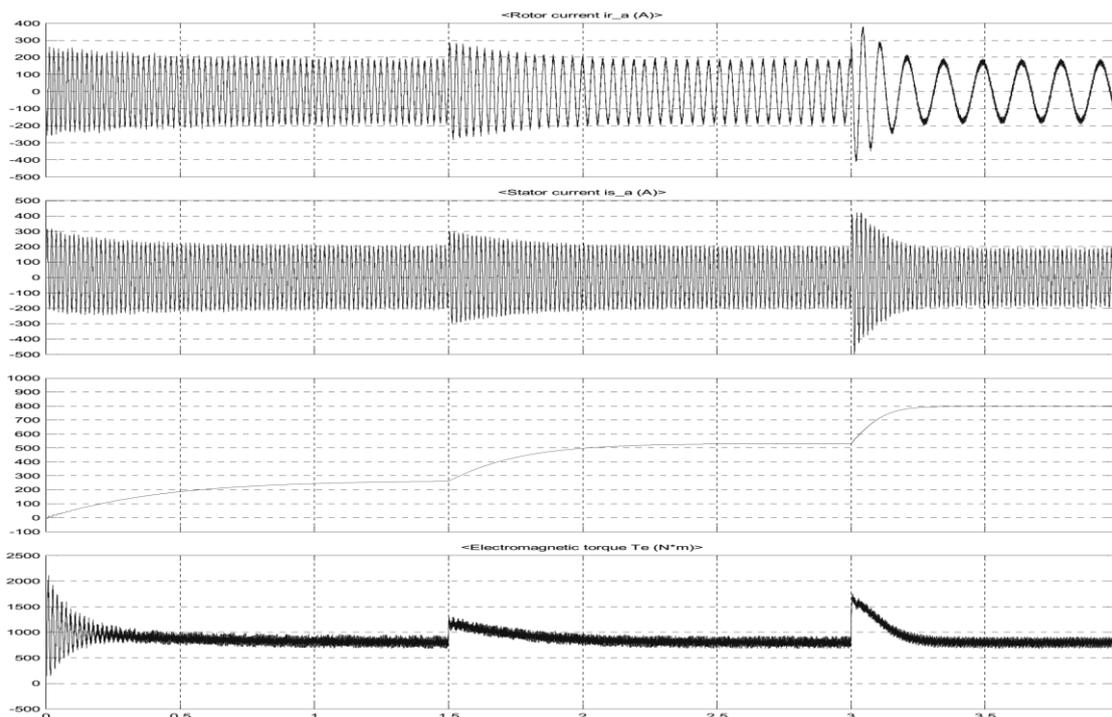


Рис. 2. Графики зависимостей $I_{st}(t)$, $I_r(t)$, $n(t)$, $T_e(t)$ привода с фазным ротором
Fig. 2. Dependency diagram $I_s(t)$, $I_r(t)$, $n(t)$, $T_e(t)$ of the wound-rotor induction motor

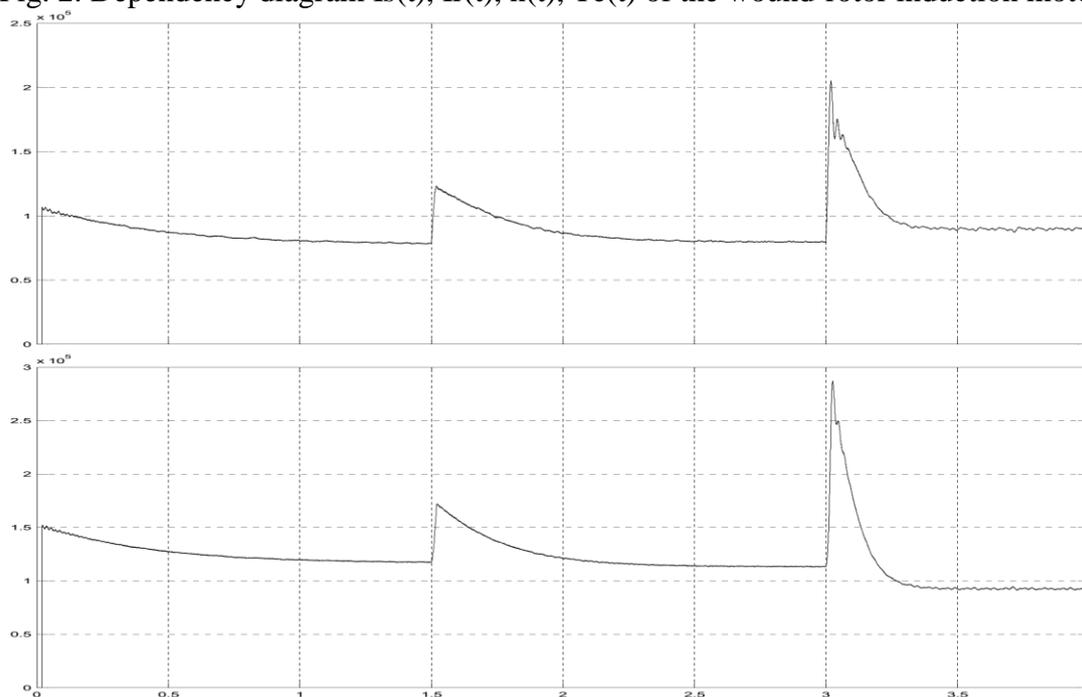


Рис. 3. Графики зависимостей $P(t)$, $Q(t)$ привода с фазным ротором
Fig. 3. Dependency diagram $P(t)$, $Q(t)$ of the wound-rotor induction motor

МОДЕЛИРОВАНИЕ МНОГОСКОРОСТНОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Для моделирования многоскоростного (трехскоростного) электродвигателя использовалась Simulink модель (рис. 4), состоящая из трех одинаковых асинхронных двигателей с разным числом пар полюсов, осуществляющих переключение друг с другом эквивалентно переключению обмоток в многоскоростном асинхронном электродвигателе. Многоскоростное исполнение выделяется наличием на статоре двигателя нескольких независимых обмоток, в данном случае двух, одна обмотка подключена двойной звездой (звезда с последовательным соединением катушек) и обеспечивает две скорости, вторая обмотка – третью скорость. Модель также включает в себя измерительные устройства для отображения параметров привода, таких как ток статора, ток ротора, электромагнитный момент, развиваемый двигателем, и частота вращения [2].

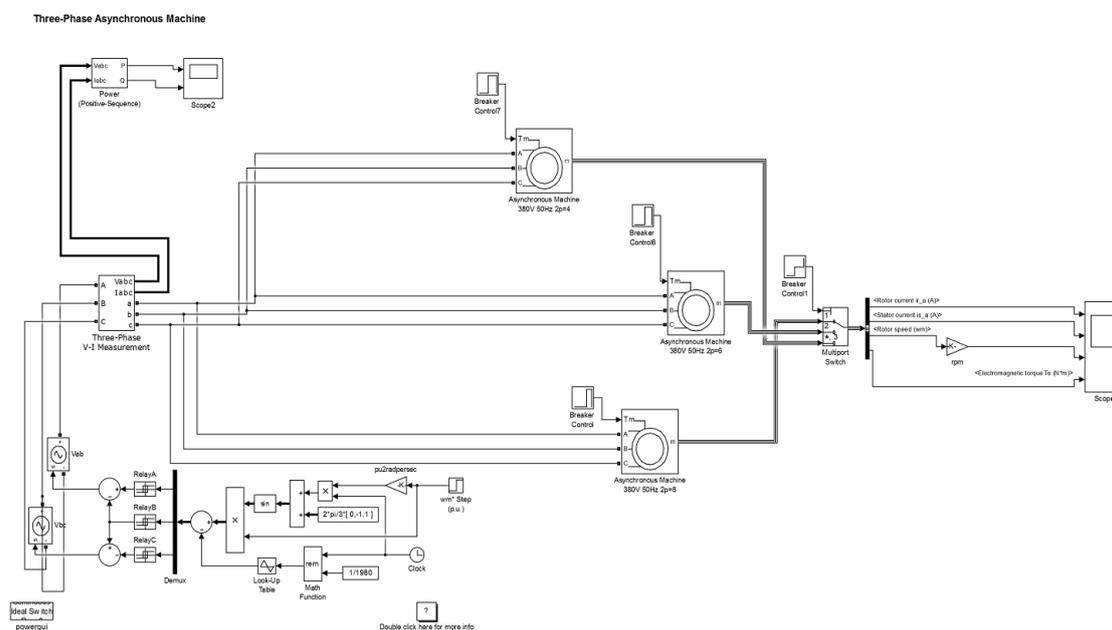


Рис. 4. Модель многоскоростного асинхронного двигателя
 Fig. 4. Model of a multi-speed induction motor

При запуске модели были получены следующие характеристики: зависимости тока статора и тока ротора, электромагнитного момента от времени (рис. 5) и изменения потребления электроэнергии (рис. 6).

Проанализировав полученные графики видно, что в момент переключения скоростей максимальная амплитуда тока достигает 1000 А аналогично электроприводу с фазным ротором, но регулирование процесса занимает больше времени, чем у его аналога. Частота вращения двигателя достигает номинальных значений за 2,5 с. Стоит отметить, что в данной системе приборы учета показали большие скачки активной и реактивной мощностей при переключении скоростей, но при схожем с приводом с фазным ротором потреблении энергии.

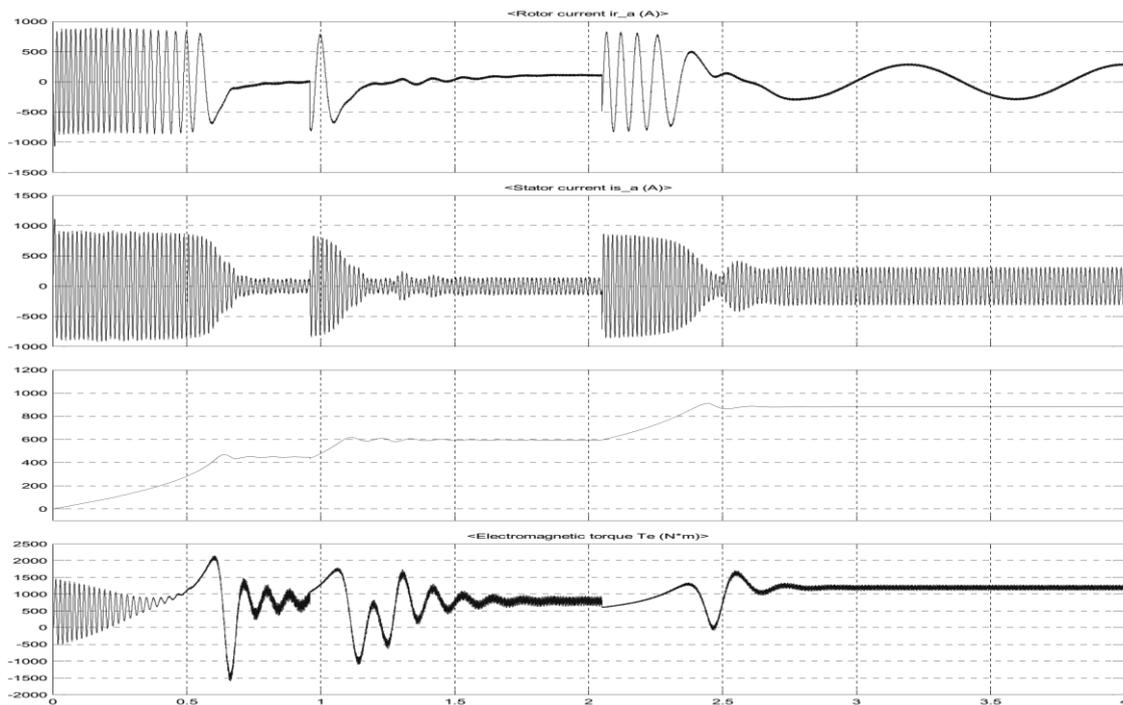


Рис. 5. Графики зависимостей $I_{ст}(t)$, $I_p(t)$, $n(t)$, $T_e(t)$ многоскоростного двигателя
Fig. 5. Dependency diagram $I_s(t)$, $I_r(t)$, $n(t)$, $T_e(t)$ of the multi-speed motor

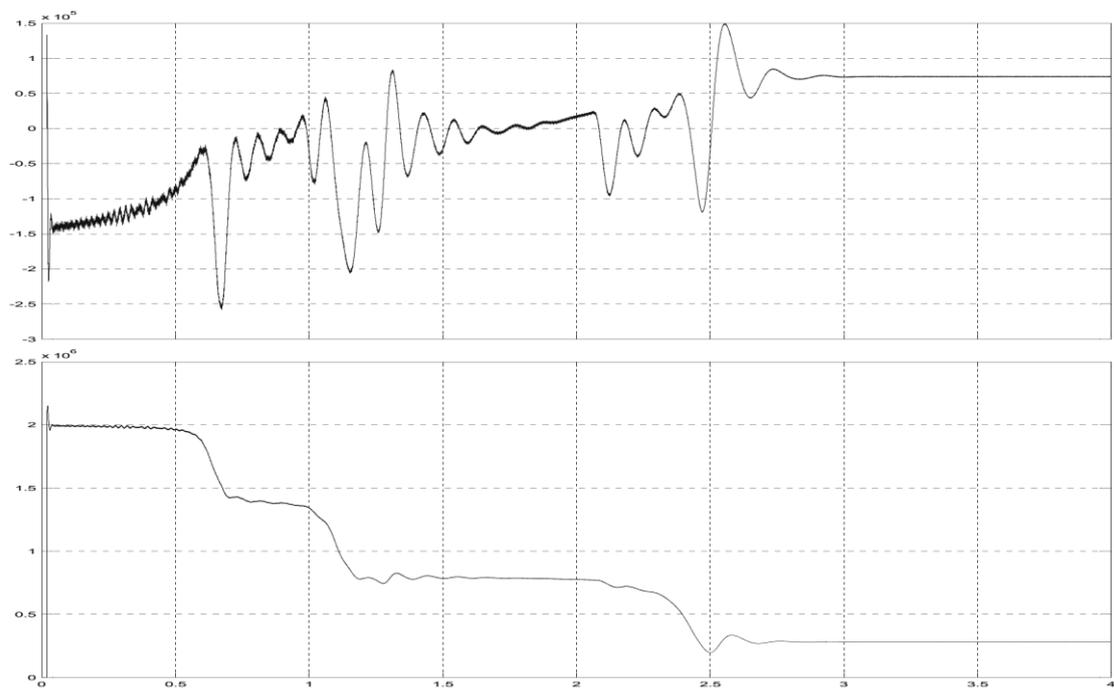


Рис. 6. Графики зависимостей $P(t)$, $Q(t)$ многоскоростного двигателя
Fig. 6. Dependency diagram $P(t)$, $Q(t)$ of the multi-speed motor

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИВОДА ДВИГАТЕЛЯ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ И ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ ЧАСТОТЫ

Для моделирования привода с частотным преобразователем использовалась встроенная в библиотеке Simulink модель. Данная модель по исходным характеристикам аналогична предыдущим, но использует короткозамкнутый асинхронный электродвигатель. Модель привода (рис. 7) короткозамкнутого асинхронного двигателя с преобразователем частоты состоит из следующих элементов: модели двигателя с короткозамкнутым ротором, задатчика момента на валу двигателя, преобразователя частоты, измерительных устройств и дисплея для индикации параметров двигателя [5, 6].

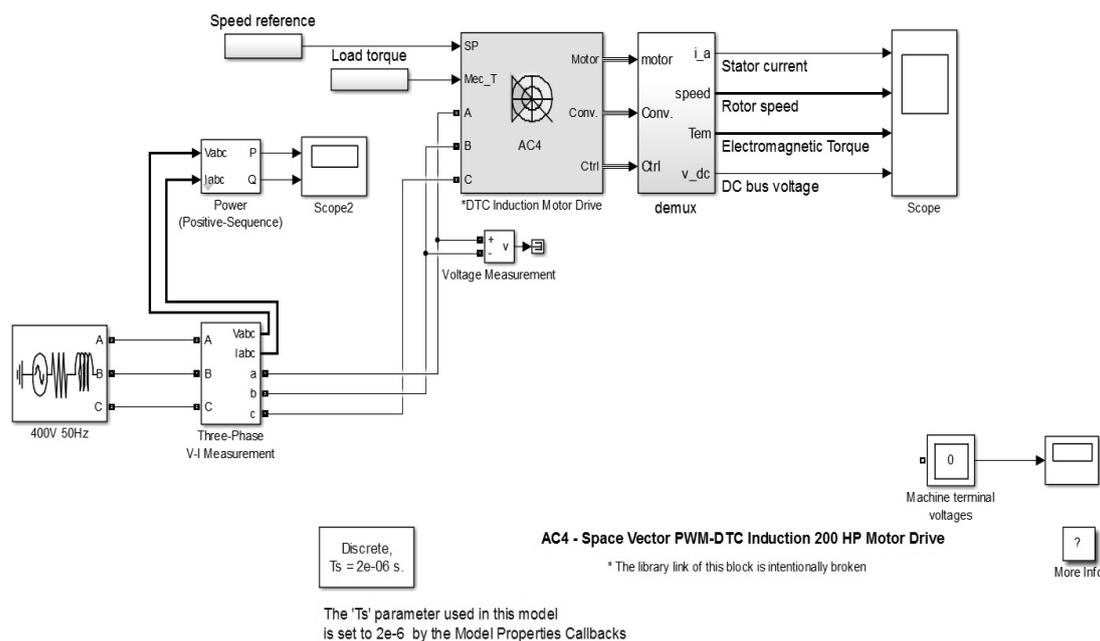


Рис. 7. Модель привода асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором и преобразователем частоты

Fig. 7. Model of an induction motor with a square-cage rotor and a frequency converter

При запуске модели были получены следующие характеристики: зависимости тока статора и тока ротора, электромагнитного момента от времени (рис. 8) и изменения потребления электроэнергии (рис. 9).

Проанализировав полученные графики, можно сделать следующие выводы. Ток ротора составляет в амплитуде не более 700А при пуске, но в моменты переключения скоростей амплитуда токов не превышает 250А. Номинальная частота вращения достигается за 1,2 с. Также следует отметить, что потребление электроэнергии электроприводом с преобразователем частоты в моменты переключения скоростей ниже, чем электроприводом с фазным ротором и многоскоростным электродвигателем, за счет отсутствия больших скачков мощности при переходных процессах [7, 8].

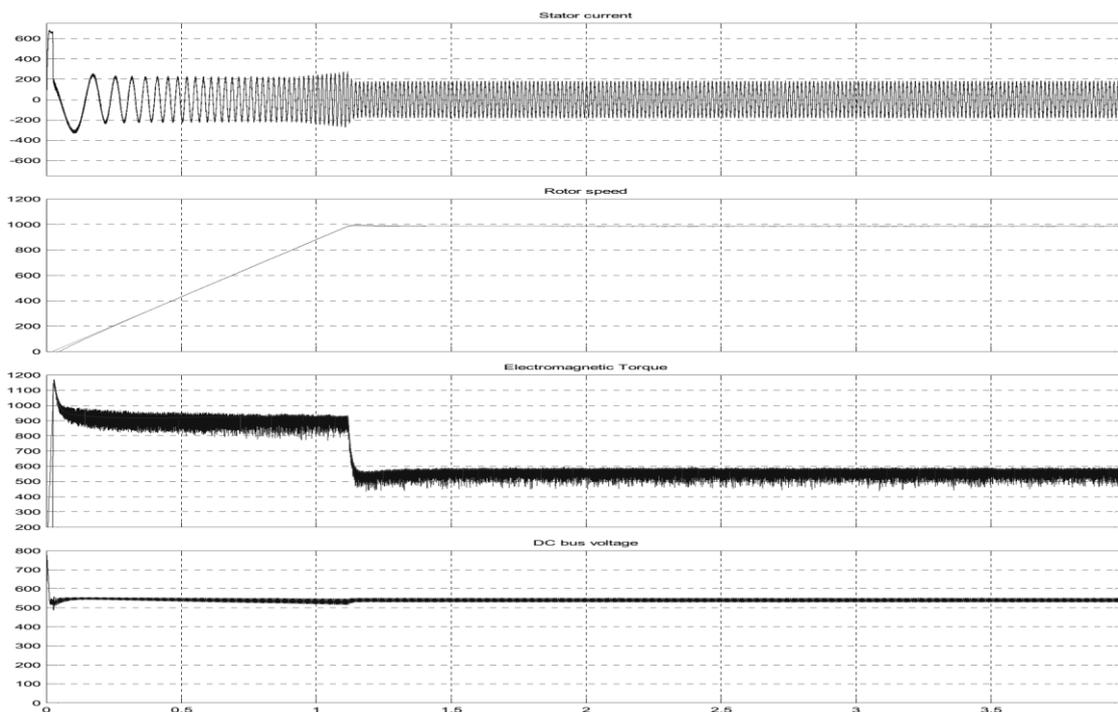


Рис. 8. Графики зависимостей $I_{st}(t)$, $I_r(t)$, $n(t)$, $T_e(t)$ привода с частотным преобразователем

Fig. 8. Dependency diagram $I_s(t)$, $I_r(t)$, $n(t)$, $T_e(t)$ of the induction motor with a frequency converter

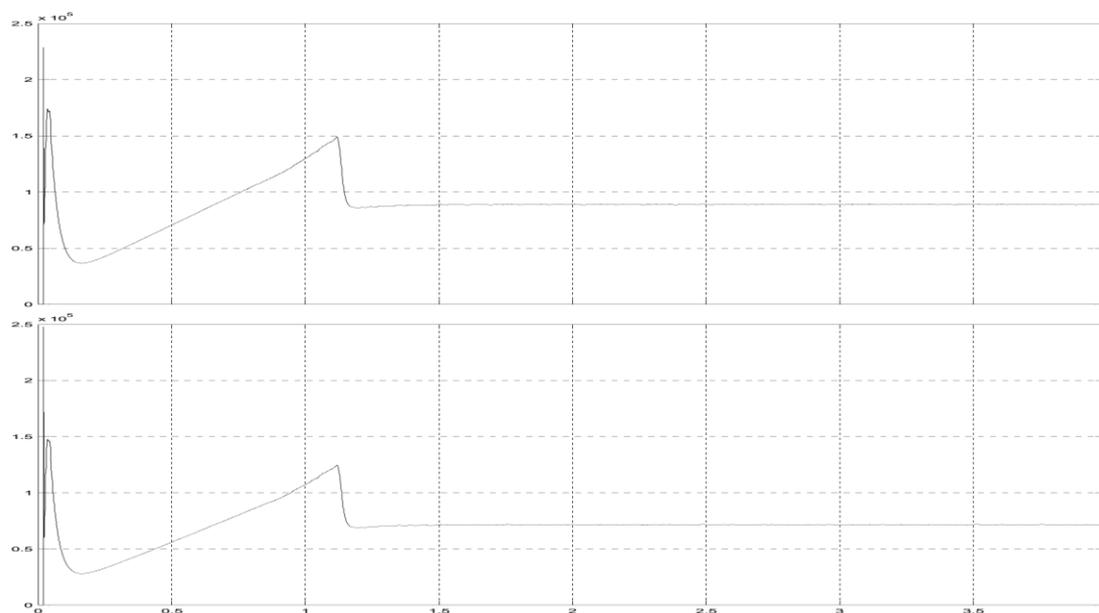


Рис. 9. Графики зависимостей $P(t)$, $Q(t)$ привода с частотным преобразователем

Fig. 9. Dependency diagram $P(t)$, $Q(t)$ of the induction motor with a frequency converter

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам исследования можно сделать вывод, что электропривод, состоящий из асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором и преобразователем частоты, потребляет меньше электрической энергии, чем привод с фазным ротором или многоскоростной электродвигатель примерно на 15-20%. Также стоит отметить, что амплитуды токов при пуске в модернизированной модели на 40% ниже, чем у привода с фазным ротором и многоскоростного электродвигателя. В моменты переключения скоростей амплитуды тока ротора у привода с частотным преобразователем достигают 200А, в то время как у привода с фазным ротором и многоскоростного двигателя – 1000А. Время, за которое двигатель разгоняется до номинальных оборотов, у привода с фазным ротором и у многоскоростного двигателя в два раза больше, чем у привода с преобразователем частоты. Таким образом, с учетом вышеизложенного наилучшим способом модернизации электропривода грузоподъемных механизмов с фазным ротором или многоскоростным электродвигателем является применение приводов с асинхронным короткозамкнутым ротором и преобразователем частоты.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гарпунов, В. М. Электрооборудование кранов металлургических предприятий / В. М. Гарпунов. – 3-е изд., перераб. и доп. Б. М. Рапутовым. – Москва: Металлургия, 1990. – 272 с.
2. Кацман, М. М. Справочник по электрическим машинам / М. М. Кацман. – Москва: Академия, 2005. – 480с.
3. Соколовский, Г. Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием / Г. Г. Соколовский. – Москва: Академия, 2006. – 272 с.
4. Дьяконов, В. Г. VisSim+Mathcad+MATLAB. Визуальное математическое моделирование / В. Г. Дьяконов. – Москва: СОЛОН-Пресс, 2004. – 384 с.
5. Терехин, В. Б. Моделирование систем электропривода в Simulink (Matlab 7.0.1): учеб. пособие / В. Б. Терехин. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 320 с.
6. Stephen, J. Chapman. MATLAB Programming for Engineers, 2012. – 267 с.
7. Vodovozov, V. Electric Drive System and Operation, 2012. – 102 с.
8. J. David Irwin, Power Electronics Handbook. Florida.: University of florida, 2001. – 892 с.

REFERENCES

1. Garpunov V. M. *Jelektrooborudovanie kranov metallurgicheskikh predpriyatij* [Electrical equipment of cranes of iron and steel works]. Moscow, Metallurgija, 1990, 272 p.
2. Kacman M. M. *Spravochnik po jelektricheskim mashinam* [Reference book on electrical machines]. Moscow, Akademiya, 2005, 480 p.

3. Sokolovskij G. G. *Jelektroprivody peremennogo toka s chastotnym regulirovanijem* [Induction motors with a frequency converter]. Moscow, Akademija, 2006, 272 p.
4. D'jakonov V. G. *VisSim+Mathcad+MATLAB. Vizual'noe matematicheskoe modelirovanie* [VisSim+Mathcad+MATLAB. Visual mathematical modeling]. Moscow, SOLON-Press, 2004, 384 p.
5. Terehin V. B. *Modelirovanie sistem jelektroprivoda v Simulink (Matlab 7.0.1): uchebnoe posobie* [Modeling of the electric drive systems in Simulink (Matlab 7.0.1): textbook]. Tomsk, izd-vo Tomskogo politehnicheskogo universiteta, 2008, 320 p.
6. Stephen J. Chapman. *MATLAB Programming for Engineers*. 2012, 267 p.
7. Vodovozov V. *Electric Drive System and Operation*. 2012, 102 p.
8. J. David Irwin. *Power Electronics Handbook*. Florida, University of Florida, 2001, 892 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Шабалин Леонид Дмитриевич – Калининградский государственный технический университет; кандидат технических наук, доцент кафедры электрооборудования судов и электроэнергетики; E-mail: shabalin@klgtu.ru

Shabalin Leonid Dmirievich – Kaliningrad Stat Technical University; Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of Ship Electrical Equipment and Electrical Energy; E-mail: shabalin@klgtu.ru

Чушанков Дмитрий Юрьевич – фирма «Green Managment», г. Калининград; инженер-электромеханик; E-mail: chushankov@gmail.com

Chushankov Dmitriy Yurievich – Electro-technical engineer;
E-mail: chushankov@gmail.com

ЕСТЕСТВЕННЫЕ И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 667.6

ЗАЩИТНЫЙ ЛАК ОТ ПОВЕРХНОСТНЫХ ОБРАСТАНИЙ ПОДВОДНЫХ
ОБЪЕКТОВ

И. А. Сорокин, В. Б. Акопян, М. В. Бамбура, С. Г. Бекеш

PROTECTIVE VARNISH FOR UNDERWATER OBJECTS
FROM FOULING

I. A. Sorokin, V. B. Akopyan, M. V. Bambura, S. G. Bekesh

Проблема борьбы с обрастанием гидротехнических сооружений и морских судов и в настоящее время не потеряла актуальности. Наиболее распространенный способ борьбы с обрастанием сегодня – использование красочных покрытий, содержащих токсичные вещества, подавляющие рост и развитие гидробионтов. Но эти вещества постепенно вымываются из слоя краски, снижают ее защитные свойства и создают угрозу для окружающей среды. Известно, однако, природное вещество – янтарь, образовавшийся более 50 млн. лет назад, но не подвергшийся биотрансформации или биодеградации благодаря своим, по крайней мере, бактериостатическим свойствам. Янтарь химически инертен и нерастворим ни в пресной, ни в солёной воде. Факты, свидетельствующие об обрастании янтаря биопленкой, плесенью или гидробионтами, неизвестны. Мелкие фракции и отходы переработки янтаря пригодны для создания янтарных лаков и формирования красочного слоя, препятствующего размножению на нем бактерий, гидробионтов и других организмов и при этом безопасного для окружающей среды. Новые, ультразвуковые технологии позволяют ускорить, повысить растворимость янтаря в спирте, ацетоне, масле, других растворителях и получить покрывной материал, сохраняющий свойства натурального янтаря и обладающий высокими защитными свойствами. Янтарные лаки весьма перспективны для предотвращения обрастания подводных частей корпусов кораблей и гидротехнических сооружений гидробионтами, для использования в медицине (стоматологии, урологии), для защиты от плесени внутренних поверхностей в герметичных жилых помещениях. Натурные испытания образцов в виде стальных пластин, покрытых янтарными лаками различного состава, показали, что, янтарные лаки, как спиртовые, так и масляные, обладают выраженными защитными свойствами против химической и биокоррозии, а также против обрастания в морской воде, по крайней мере, в течение шести месяцев.

защита поверхностей, биопленки, биообрастание, янтарь, янтарный лак

Protection of hydraulic structures and marine vessels from fouling remains relevant today. The most common way of protection from fouling today is using paints containing toxic substances that inhibit growth and development of aquatic organisms. At the same time, these substances are gradually washed away from the paint layer, reduce

its protective properties and create a hazard to the environment. However, there exists a well-known natural substance - amber, which was formed more than 50 million years ago, but was not affected by biotransformation or biodegradation, at least because of its bacteriostatic properties. Amber is chemically inert and insoluble in fresh or salt water. Appearance of biofilms, mold or hydrobionts on amber is not registered. Small fractions and wastes of amber processing are suitable for creation of amber varnishes. The latter may be used for the formation of a paint layer that protects from the growth of bacteria, aquatic and other organisms, and, at the same time, is safe for the environment. New ultrasonic technics make it possible to accelerate dissolution, to increase solubility of amber in alcohol, acetone, oil and other solvents and to obtain a coating material that retains the properties of natural amber and is highly protective. Amber varnishes hold much promise for protection of underwater hulls of ships and hydraulic structures from fouling, for use in medicine (dentistry, urology) and for preventing mold growth on the inner surfaces in hermetically sealed premises. Full-scale tests of samples in the form of steel plates coated with amber varnishes of various compositions showed that alcoholic and oily amber varnishes are highly protective against chemical and biological corrosion and against fouling in sea water at least for 6 months.

surface protection, biofilms, corrosion, biofouling, amber, amber varnish

ВВЕДЕНИЕ

«Живые слои» в виде планктона, бактериальных биоплёнок, плесневых грибков, обрастаний моллюсками, водорослями и прочих, формируются при достаточной доступности питательных веществ на границах водных и твердых, водных и воздушных, твердых и насыщенных влагой воздушных сред. Конструкционные материалы, контактирующие с этим слоем, подвергаются ускоренному разрушению, как за счет хорошо известного механического воздействия, так и по причине коррозии, в том числе и биокоррозии (рис. 1), обусловленной формированием на их поверхностях микробных биопленок, с последующим возможным обрастанием гидробионтами, инициирующими процесс коррозии, скорость которой для некоторых металлов может возрасти в 2-3 десятка раз [1]. Ряд защитных механизмов обеспечивает микроорганизмам в биопленках повышенную устойчивость [2], что усложняет борьбу против их инфекционной опасности на поверхностях медицинских изделий, биокоррозионной активности на внутренних поверхностях герметичных жилых помещений, на гидротехнических сооружениях, корпусах кораблей [3].

Обросшие гидробионтами гидротехнические сооружения обладают меньшим эксплуатационным ресурсом, военные корабли менее боеспособны, а торговые или рыболовецкие суда экономически менее доходны, поскольку вынуждены постоянно транспортировать на внешней поверхности корпуса много-тонный груз приросших к нему морских организмов. Все это является постоянным стимулом разработки новых способов борьбы против обрастания. Наиболее распространенным способом в настоящее время можно считать использование красочных покрытий, содержащих токсичные вещества, подавляющие рост и развитие гидробионтов [4]. Однако эти вещества постепенно вымываются из слоя краски, снижая ее защитные свойства и создавая угрозу для окружающей среды [5]. Введение токсического вещества, действующего на гидробионтов только в

случае их внедрения в краску, – ивермектина – «под пленку» краски [6], практически не пропускающей его в окружающую среду, не предотвращает обрастания, но лишь замедляет его. Попытки решить проблему с использованием экологически чистых технологий, например периодическим «стрягиванием» гидробионтов с краски, способной трансформировать электрические импульсы в механические, также не получили распространения из-за ряда технических препятствий [7].

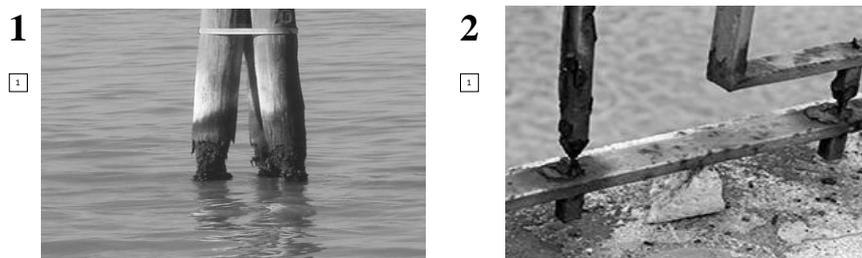


Рис. 1. Бревенчатые указатели фарватера в Венеции (1), металлическая ограда пирса на берегу Черного моря (2)

Fig. 1. Log pointers of fairway in Venice (1), metal fence of pier on the shore of the Black Sea (2)

Наилучшим решением проблемы было бы использование вещества, пригодного для формирования защитного красочного слоя, а также препятствующего размножению на нем бактерий, гидробионтов и других организмов и при этом безопасного для окружающей среды. На роль такого вещества претендует янтарь, образовавшийся более 50 млн. лет назад и не подвергшийся биодеградации благодаря своим бактериостатическим свойствам.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Янтарь химически инертен и не растворим ни в пресной, ни в солёной воде. Фактов, свидетельствующих об обрастании янтаря биопленкой, плесенью или гидробионтами, в доступных литературных источниках не обнаружено. Янтарь частично растворим в органических растворителях, например в этаноле и ацетоне. Раствор представляет собой лак, оставляющий на покрытой им поверхности после высыхания прочную эластичную необрастающую пленку. Известен способ получения и масляных лаков, получаемых растворением янтаря в кипящих маслах [8, 9].

Таблица 1. Композиции янтарных лаков (частей)

Table 1. Composition of amber varnishes (parts)

Состав	Содержание в композициях, №				
	1	2	3	4	5
Янтарь измельченный	2	2	2	4	4
Уайт спирт	1	-	1	1	1
Скипидар	1	-	-	-	-
Льняное масло	6	-	-	5	5
Этиловый спирт	-	1	-	-	-
Сиккатив	0,02	-	-	0,02	-

К настоящему времени накоплено огромное количество рецептов приготовления янтарных лаков, однако сегодня янтарный лак в России в промышленных масштабах не производится. Обусловлено это сложностью и длительностью технологических процессов, а также значительными потерями исходного сырья.

Новые, разработанные в АО «ГосНИИсинтезбелок» технологии с применением низкочастотного ультразвука (22÷44 кГц) и плотностью акустической мощности ~10 Вт/см³ позволяют ускорить растворение янтаря в спирте, ацетоне, масле, повысить его растворимость [10] и получать янтарные лаки различных композиций (табл. 1).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЯ

Покрытия янтарными лаками различного состава (табл. 1), полученными с использованием ультразвуковых технологий из измельченных отходов переработки янтаря и наименее востребованных мелких фракций [10], а также из отбракованного, с почвенными загрязнениями, сырья, полностью сохраняют свойства натурального янтаря и обладают высокими защитными свойствами даже в агрессивных средах. Лак при высыхании образует прочную эластичную плёнку, на которой микроорганизмы практически не закрепляются и не развиваются [11].

Сравнительная бактериостатическая активность лаковых композиций, оцениваемая диско-диффузионным методом [12] по зонам задержки роста культуры, приведена в табл. 2, сравнительная фунгистатическая активность лаковых композиций, оцениваемая по степени развития плесневых грибов в соответствии с ГОСТ 9.049-91, – в табл. 3.

Таблица 2. Сравнительная антимикробная активность лаковых композиций
Table 2. Comparative antimicrobial activity of varnish compositions

Культура	Состав					
	1	2	3	4	5	контроль
Бактериостатическая активность (Зоны задержки роста бактериальных культур, мм±0,5мм)						
<i>Candida albicans</i>	2	2	1,5	2,5	2,5	0
<i>Bacillus subtilis</i>	3	3	3,5	4	4	0
<i>Bacillus thuringiensis</i>	3,5	2,5	4,5	4,5	4,5	0

Таблица 3. Сравнительная фунгистатическая активность лаковых композиций
Table 3. Comparative fungistatic activity of varnish compositions

Культура	Состав					
	1	2	3	4	5	контроль
Фунгистатическая активность, баллы*						
<i>Penicillium funiculosum</i>	2	0	0	0	0	5
<i>Aspergillus niger</i>	0	1	0	0	0	5
<i>Trichoderma viride</i>	0	0	0	0	0	4
<i>Fusarium culmorum</i>	0	0	2	0	0	5

0 - материал нейтрален или фунгистатичен,

1,2 – материал не препятствует незначительному развитию грибов,

3,4,5 – материал содержит достаточное количество питательных веществ, благоприятствующих развитию грибов.

Из представленных в табл. 2 и 3 данных следует, что антимикробная активность пропитанных янтарным лаком тканей достаточно высока, по крайней мере, в отношении исследованных штаммов, а сами лаки могут применяться для защиты различных поверхностей от бактериальных пленок и плесеней.

Для испытания фунгистатической активности были использованы также образцы ткани (капрон), натянутой на пальцы, изготовленные из нарезанных на кольца пищевых пластиковых (ПЭТФ) бутылок. После нанесения лаков эти образцы вместе с контрольными образцами помещались в эксикаторы на полки. На дно эксикаторов наливалась вода, внутренняя среда заражалась грибами. Через три месяца грибок покрывал всю внутреннюю поверхность эксикатора, в том числе и контрольные образцы тканей. Однако образцы ткани, покрытые янтарными лаками как спиртовыми, так и масляными, оказались свободными от плесеней.

Ряд новых янтарных лаков создает необходимое разнообразие, обеспечивающее оптимальный выбор средств для решения конкретных задач по защите различных поверхностей от нежелательной микрофлоры. Так, спиртовой янтарный лак, не растворимый в слюне и в жидкостях, используемых в пищу, безвредный для человека, позволяет создавать на зубных протезах тонкие и прочные, не вызывающие дискомфорта, покрытия, которые препятствуют образованию биопленок и пигментированных налетов на поверхностях, прилегающих к деснам и другим тканям ротовой полости [13]. Спиртовой лак весьма эффективен для придания бактериостатических свойств поверхностям урологических катетеров [14].

Спиртовой и ацетоновый янтарные лаки, обладающие к тому же высокой механической прочностью, весьма перспективны для защиты копыт животных от копытной гнили [15], возникающей при нарушении гигиены стойлового содержания.

Натурные испытания на Черном море с образцами в виде стальных пластин, покрытых янтарными лаками различного состава, а также контрольной, не покрытой лаком, помещенными в морскую воду на тонких стальных тросах на шесть месяцев, показали, что как спиртовые, так и масляные янтарные лаки обладают выраженными защитными свойствами против их обрастания и биокоррозии в морской воде, по крайней мере, в течение шести месяцев (рис. 2).



Рис. 2. Стальные пластины: 1 - контрольная, 2 - покрытая спиртовым янтарным лаком, 3 - покрытая масляным янтарным лаком, 4 - покрытая сначала спиртовым, а затем масляным янтарным лаком

Fig. 2. Steel plates: 1 - control plate, 2 - plate covered by alcohol-based amber varnish, 3 - plate covered by oil-based amber varnish, 4 - plate first covered by alcohol-based amber varnish and then by oil-based amber varnish

Контрольный образец оказался покрытым ржавчиной, поверхность же образцов, покрытых янтарными лаками, практически не подверглась изменению. Существенных различий в защитных свойствах использованных лаков не обнаружено. Возможно, они проявятся при более длительных испытаниях.

Соленость воды составляла при этом 18% (в Балтийском море существенно ниже, в Мировом океане 35%), температура воды в процессе испытания менялась от 10 до ~ 24 °С (табл. 4) .

Таблица 4. Температура воды в °С (05/25 числа каждого месяца) на 1,5-метровой глубине погружения испытываемых образцов

Table 4. Water temperature in ° C (05/25 of each month) at 1.5 m. depth of immersion of test samples

Месяцы 2015 г.	05	06	07	08	09	10
t°С	10,2/16,5	16,7/20,2	20,8/22,9	23,0/23,7	22,6/20,5	19,9/18,7

Параллельно с натурными аналогичные испытания были проведены в лабораторных условиях, где четыре стальные пластины, три из которых покрыты янтарными лаками различного состава, поместили в культуральную среду, содержащую кроме адекватного количества солей еще и органические вещества, обеспечивающие питание микроорганизмов. Через шесть месяцев из среды, в которой за этот период в нестерильных условиях многократно менялся консорциум микроорганизмов, вплоть до гнилостных, были извлечены покрытые лаком образцы без следов обрастания. Контрольный образец отличался окисленной поверхностью, покрытой слизистой биопленкой.

Можно с большой степенью вероятности предположить, что, несмотря на не самую низкую стоимость, янтарные лаки найдут свое применение в медицинской практике, а также для покрытия внутренних поверхностей герметичных жилых помещений (космических станций, например) для защиты их от плесени, а также для покрытия корпусов морских судов и гидротехнических сооружений, так как высокие защитные свойства лаков позволят предотвратить возникновение биопленок, существенно уменьшить необходимость очистки подводных частей судов и продлить междоковый период их эксплуатации, замедлить или предотвратить биокоррозию и продлить срок жизни гидротехнических сооружений.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Харченко, У. В. Микробиологическая активность сообществ обрастания как индикатор биокоррозионной агрессивности морской воды / У. В. Харченко [и др.] // Коррозия: материалы, защита. - 2009. - № 9. - С. 42-46.
2. Costerton J. W., Stewart P. S., Greenberg E. P. Bacterial biofilms: a common cause of persistent infections // Science. - 1999. - №284. - P. 318-322.
3. Masanori Toyofuku, Nobuhiko Nomura. Biofilm as a Multicellular Bacterial System. Biodegradative Bacteria. -2014. -P.335-352.
4. Mahfouz A. B., Atilhan S., Batchelor B., Linke P., El-Halwagi M. M. Optimal scheduling of biocide dosing for seawater-cooled power and desalination plants //Clean Technologies and Environmental Policy.-2011. – № 6. – P. 783-796.
5. Горбенко, Ю. А. Действие противообрастаемых красок на морских объектах / Ю. А. Горбенко, Ю. А. Ковальчук, И. И. Крышев. - Киев: Наукова думка, 1991. - 100 с.

6. Trepos R., Pinori E., Per R. J., Berglin M., Svenson J., Coutinho R., Lausmaa J., Hellio C. Innovative approaches for the development of new copper-free marine antifouling paints // *The Journal of Ocean Technology*. – 2014. – №4. – P. 7-18.
7. Konetschny C. A new anti-fouling principle for anti-fouling paints // University of Gothenburg. Science Daily. Materialsgate NEWS. - 2009. – URL: www.sciencedaily.com/releases/2009/05/090511181250.htm.
8. William F. Weber Amber varnish and process of making same. US 840812 A, 1900.
9. Савкевич, С. С. Янтарь / С. С. Савкевич. – Ленинград: Недра, 1970. – С. 192.
10. Патент № 2543169 РФ, МПК С09Д 4/00, В01F 11/02. Лак янтарный / Акопян В. Б., Афонин А. В., Бамбура М. В., Филатова В. А., Ступин А. Ю., Чубатова О. И.; заявитель и патентообладатель Акопян В. Б., Бамбура М. В. - № 2012154596/05; заявл. 27.06.2014; опубл. 27.02.2015, Бюл. № 6. - 9 с.
11. Акопян, В.Б. Противомикробные защитные покрытия с янтарем и прополисом / В. Б. Акопян, А. В. Афонин, М. В. Бамбура, В. А. Филатова // Известия МГТУ «МАМИ». – 2012. – 4. – №2 (14). – С. 262-269.
12. Бриан, Л. Е. Бактериальная резистентность и чувствительность к химиопрепаратам / Л. Е. Бриан. – Москва: Медицина, 1984. – 272 с.
13. Патент № 2523002 РФ МПК А61К6/00; А61С13/07; А61К35. Защитное покрытие съемных протезов / Акопян А. В., Акопян В. Б., Агудаличева Н. А., Бамбура М. В., Бамбура О. Г., Саруханова Л. Е.; заявитель и патентообладатель Акопян В. Б.; подача заявки: 2013-05-14; публикация патента: 20.07.2014.
14. Maki D. G., Tambyah P. A. Engineering out the risk of infection with urinary catheters // *Emerging Infectious Disease journal*. - 2001. - № 2. – P. 342-347.
15. Акопян, В. Б. Проблемы и перспективы применения препаратов янтаря и смолы сосны в ветеринарной санитарии / В. Б. Акопян [и др.] // *Ветеринарный врач*. – 2015. – № 2. – С. 27-34.

REFERENCES

1. Harchenko U. V., Beleneva I. A., Karpov V. A. Mikrobiologicheskaja aktivnost' soobshhestv obrastaniya kak indikator biokorroziionnoj agressivnosti morskoy vody [Microbiological activity of fouling communities as an indicator of biocorrosive aggressiveness of seawater]. *Korroziya: materialy, zashhita*, 2009, no. 9, pp. 42-46.
2. Costerton J. W., Stewart P. S., Greenberg E. P. Bacterial biofilms: a common cause of persistent infections. *Science*, 1999, no. 284, pp. 318-322.
3. Masanori Toyofuku, Nobuhiko Nomura. *Biofilm as a Multicellular Bacterial System. Biodegradative Bacteria*, 2014, pp. 335-352.
4. Mahfouz A. B., Atilhan S., Batchelor B., Linke P., El-Halwagi M. M. Optimal scheduling of biocide dosing for seawater-cooled power and desalination plants. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 2011, vol. 13, no. 6, pp. 783-796.
5. Gorbenko Ju. A., Koval'chuk Ju. A., Kryshev I. I. *Dejstvie protivooobrastaemyh krasok na morskikh ob#ektah* [Effect of antifouling paints on marine objects]. Kiev, Naukova dumka, 1991, 100 p.
6. Trepos R., Pinori E., Per R. J., Berglin M., Svenson J., Coutinho R., Lausmaa J., Hellio C. Innovative approaches for the development of new copper-free marine antifouling paints. *The Journal of Ocean Technology*, 2014, vol. 9, no. 4, pp. 7-18.

7. Konetschny C. A new anti-fouling principle for anti-fouling paints. University of Gothenburg. Science Daily. Materials gate NEWS. 2009. www.sciencedaily.com/releases/2009/05/090511181250.htm.
8. William F Weber Amber varnish and process of making same. US 840812 A, 1900.
9. Savkevich S. S. *Jantar'* [Amber]. Leningrad, Nedra, 1970, 192 p.
10. Akopjan V. B., Bambura M. V., Chubatova O. I., Filatova V. A., A. N. Larjushkin A. N. Lak jantarnyj [Amber varnish]. Patent RF № 2543169, 2012.
11. Akopjan V. B., Afonin A.V., Bambura M. V., Filatova V. A. Protivomikrobnnye zashhitnye pokrytija s jantarem i propolisom [Antimicrobial protective coatings with amber and propolis]. *Izvestija MGTU "MAMI"*, 2012, vol. 4, no. 2 (14), pp. 262-269.
12. Brian L. E. *Bakterial'naja rezistentnost' i chuvstvitel'nost' k himiopreparatam* [Bacterial resistance and sensitivity to chemicals]. Moscow, Medicina, 1984, 272 p.
13. Akopjan A. V., Akopjan V. B., Agudalicheva N. A., Bambura M. V., Bambura O. G., Saruhanova L. E. Zashhitnoe pokrytie s#emnyh protezov [Protective coating of over-denture solutions]. Patent RF № 2523002, 2014.
14. Maki D. G., Tambyah P. A. Engineering out theriskofinfectionwithurinary catheters. *Emerging Infectious Disease journal*, 2001, vol. 7, no. 2, pp. 342-347.
15. Akopjan V. B., Bambura M. V., Korzhevenko G. N., Stupin A. Ju. Problemy i perspektivy primeneniya preparatov jantarnya i smoly sosny v veterinarnoj sanitarii [Challenges and opportunities of using amber and pine-tree resin preparations in veterinary sanitary]. *Veterinarnyj vrach*, 2015, no. 2, pp. 27-34.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Сорокин Игорь Анатольевич – Акционерное общество "Техмашсервис";
г. Москва; руководитель проекта; E-mail: evro177@yandex.ru

Sorokin Igor Anantol'evich – JSC "Tehmashservis", Moscow; Project Manager;
E-mail: evro177@yandex.ru

Акопян Валентин Бабкенович – Акционерное общество «Государственный научно-исследовательский институт биосинтеза белковых веществ»; г. Москва; доктор биологических наук, профессор; заведующий отделом биосинтеза;
E-mail: akopyan1941@mail.ru

Akopyan Valentin Babkenovich – JSC "GosNIIsintezbelok", Moscow; ScD, Professor;
Head of the Department of biosynthesis; E-mail: akopyan1941@mail.ru

Бамбура Мария Владимировна – Акционерное общество «Государственный научно-исследовательский институт биосинтеза белковых веществ»; г. Москва; к. б. н.; научный сотрудник отдела биосинтеза; E-mail: akopyan1941@mail.ru

Bambura Maria Vladimirovna – JSC "GosNIIsintezbelok", Moscow; PhD, Researcher
at the Department of biosynthesis; E-mail: mariya-bambura@yandex.ru

Бекеш Сергей Геннадиевич – Минно-торпедная служба Черноморского флота;
г. Севастополь; начальник службы, капитан 1 ранга; E-mail: delf15@mail.ru

Bekesh Sergey Gennadievich – Mine and Torpedo Service of the Black Sea Fleet,
Sevastopol; Head of Service, Captain 1st Rank; E-mail: delf15@mail.ru

ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ АПК

УДК 657.0/5:664(06)

ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА УЧЕТА ЗАТРАТ НА ПРОИЗВОДСТВО И ПРОДАЖУ
ПРОДУКЦИИ БЕРЕГОВЫХ РЫБООБРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Н. К. Ботева, Л. А. Гейбо

THEORY AND PRACTICE OF ACCOUNTING COSTS FOR PRODUCTION AND
SALES OF COASTAL FISH-PROCESSING PLANTS

N. K. Boteva, L. A. Geybo

В статье рассмотрены вопросы учета затрат на производство и продажу продукции; калькулирование себестоимости специфичных для береговых рыбообрабатывающих предприятий субъектов малого предпринимательства Калининградской области.

На основе анализа нормативных документов, разработанных Министерством финансов РФ, выявлено отсутствие в них отраслевых особенностей деятельности. Отраслевую специфику бухгалтерского финансового учета содержат локальные нормативные документы на уровне экономического субъекта; к ним относятся рабочие документы организации, определяющие ее учетную политику, а также первичные документы и учетные регистры текущего аналитического учета.

Российская нормативная база достаточно близка к МСФО, а оставшиеся различия не очень значимы; расхождения объясняют вопросы учетной политики конкретного экономического субъекта.

ПБУ 10/99 «Расходы организации» и действующие формы финансовой отчетности не содержат предписаний по обязательному исчислению себестоимости единицы выпущенной продукции или оказанной услуги, нередко не исчисляют эти показатели и на предприятиях.

Исчисление себестоимости рыбопродукции по ассортименту сводится к обоснованию базы распределения затрат. Статья содержит пример расчета фактической себестоимости рыбопродукции по ассортименту, в котором за базу распределения затрат принята стоимость потребленного сырья за вычетом отходов, потому что в структуре себестоимости рыбное сырье может составлять до 70 %.

По данным расчета доля себестоимости в контрактной цене для наиболее массовых и относительно дешевых видов мороженой рыбы (густера, плотва, лещ) составляет 64-83,3 %. Для рыб средней ценовой категории (судак) 90,9 %. Эти цифры подтверждают, что цена отечественных производителей рыбы близка к минимально возможной.

учетная политика, расходы, затраты, бухгалтерский финансовый учет, отраслевые стандарты, стандарты экономического субъекта, калькулирование себестоимости

The article examines issues of cost accounting of production and sales; cost accounting of small business of the Kaliningrad region specific for coastal fish-processing plants.

Following the analysis of the regulatory documents by the Ministry of Finance of the Russian Federation, we have revealed the lack of branch-specific activities. Local regulatory documents at the level of an economic entity include branch-specific characteristics of financial accounting; among these are work papers of an enterprise which determine its accounting policy as well as supporting primary documentation and journals for current analytical accounting.

Russian regulatory framework is sufficiently close to IFRS, and the differences are of negligible importance; these differences explain accounting policy of a particular economic entity.

Accounting standard 10/99 “Expenses of the organization” and current forms of financial statements do not include instructions on mandatory calculation of cost per unit of goods produced or services rendered; quite often these indicators are not calculated at the enterprises. Calculation of product cost on the variety of fish products is limited to substantiation of cost allocation base. The article includes an example of cost products calculation on the variety of fish products, in which the cost allocation base is designated as the cost of consumed raw materials net of wastes, since fish raw material can make up 70 % of the cost structure. According to the calculation, in the contract price for the cheapest types of fish (white bream, roach, bream), production cost amounts to 64-83,3%. For fish of average price category (pike-perch)- 90,9%. These figures confirm that the price of domestic producers of fish is close to minimum.

accounting policy, expenses, costs, financial accounting, branch-specific standards, standards of an economic entity, cost accounting

ВВЕДЕНИЕ

Тема статьи актуальна потому, что нормативные документы по бухгалтерскому учету и финансовой отчетности, разработанные Министерством финансов РФ, практически исключают отраслевые особенности. Отраслевую специфику бухгалтерского финансового учета содержат локальные нормативные документы на уровне экономического субъекта; к ним относятся рабочие документы организации, определяющие ее учетную политику, а также первичные документы и регистры текущего аналитического учета.

Цель работы - исследование вопросов учета затрат на производство и продажу продукции, специфичных для береговых рыбообрабатывающих предприятий, и обоснование значимости исчисления себестоимости продукции по ассортименту для установления уровня безубыточной цены.

МЕТОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

При подготовке статьи использованы присущие только бухгалтерскому учету приемы и методы, такие как: первичное наблюдение информации (документация и инвентаризация); стоимостное измерение информации (оценка и

калькуляция); взаимосвязанное отражение информации (счета и двойная запись); балансовое обобщение информации (баланс и отчетность), а также заимствованные из других научных дисциплин анализ, группировки, сравнение [1].

Действующий с 1 января 2013 г. закон «О бухгалтерском учете» 402-ФЗ к документам в области регулирования бухгалтерского учета относит отраслевые стандарты, обязательные к применению, и стандарты экономического субъекта [2].

Закон 402-ФЗ разъясняет, что отраслевые стандарты устанавливают особенности применения федеральных стандартов в отдельных видах экономической деятельности. Закон предписывает до утверждения новых федеральных и отраслевых стандартов всем экономическим субъектам применять действующие нормы бухгалтерского учета и составления отчетности, так как для предприятий рыбохозяйственного комплекса до настоящего времени стандарты не разработаны.

Особенности учета затрат в рыбной отрасли, не противоречащие ПБУ 10/99, определены следующими двумя документами.

1. Инструкция по планированию, учету и калькулированию себестоимости продукции на предприятиях, объединениях рыбной отрасли. Утверждена Приказом Минрыбхоза СССР от 01.09.1988 № 386;

2. Письмо комитета РФ по рыболовству от 16.03.1993 № 6-ц «Об особенностях состава затрат, включаемых в себестоимость продукции (работ, услуг) на предприятиях и в организациях рыбной отрасли (с изменениями от 01.12.1999).

В деятельности рыбной отрасли субъектов малого предпринимательства Калининградской области названные документы не применяются по причине изменений условий хозяйствования в экономике России.

В России конечный финансовый результат производственной деятельности организации определяется способом сопоставления себестоимости продукции и выручки от ее продажи.

Различают два вида себестоимости.

1. Сумма всех затрат предприятия, возникшая в данном отчетном периоде.
2. Стоимость единицы выпущенной продукции или оказанной услуги [3].

Первая себестоимость является объектом финансового учета – это затраты, отражаемые согласно ПБУ 10/99 по дебету субсчета 90-2 «Себестоимость продаж», а вторая – исчисляется в процессе ведения управленческого учета, и регулирующие органы могут давать собственникам или менеджерам только советы. В условиях рыночной экономики вторая себестоимость имеет локальное (ограниченное) значение.

В настоящее время в бухгалтерской отчетности показатели себестоимости единицы продукции отсутствуют, нередко не исчисляют их и на предприятиях. В отчете о финансовых результатах отражают себестоимость проданной продукции статьями: себестоимость проданных товаров, продукции, работ, услуг; коммерческие расходы; управленческие расходы.

В отчете «Приложение к балансу» отражают расходы по обычным видам деятельности по элементам затрат, в том числе и на незавершенное производство.

Таким образом, нормативные документы по финансовому учету и отчетности не содержат предписаний по обязательному исчислению себестоимости единицы выпущенной продукции или оказанной услуги.

Организационно-методическую основу бухгалтерского учета предприятия характеризует принятая учетная политика [4].

С целью упрощения порядка ведения бухгалтерского учета и составления отчетности субъекты малого предпринимательства применяют сокращенный план счетов [5]. В соответствии с рабочим планом счетов затраты на производство и продажу продукции учитывают на следующих синтетических счетах: счет 20 «Основное производство», счет 26 «Общехозяйственные расходы», счет 43 «Готовая продукция», счет 44 «Расходы на продажу», счет 90 «Продажи». Счет 20 «Основное производство» предназначен для обобщения информации о затратах на производство продукции (работ, услуг). По дебету этого счета учитывают все затраты, которые формируют фактическую производственную себестоимость.

Учет наличия и движения готовой продукции осуществляют на активном счете 43 «Готовая продукция» по фактической себестоимости без применения счета 40 «Выпуск продукции» [6]. Организация документооборота по выпуску рыбопродукции представлена на рисунке.

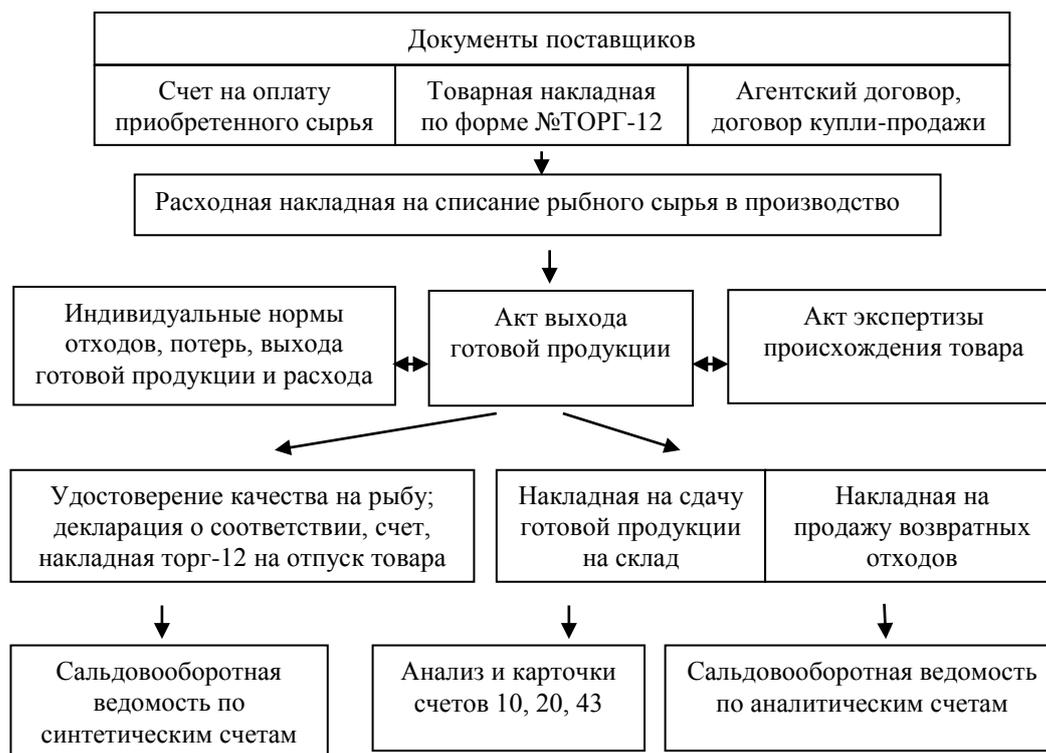


Рис. Организация документооборота по выпуску рыбопродукции
Fig. Document management for fish production

Исчисление себестоимости рыбопродукции по ассортименту сводится к обоснованию базы распределения затрат. Нам представляется, что можно принять за базу распределения стоимость потребленного сырья за вычетом продуктов разделки и отходов, потому что в структуре себестоимости рыбное сырье

составляет около 70 %. При этом должна быть распределена и часть прямых затрат, поскольку прямые (по экономической сути) затраты по причине специфики деятельности нецелесообразно учитывать отдельно по видам продукции (соль, специи). Себестоимость сырья, использованного при производстве каждого вида продукции, определяется прямым счетом на основании аналитического учета по счету 10 «Материалы».

Для определения количества выпущенной продукции в бухгалтерском учете используют коэффициенты (для каждого вида продукции) пересчета сырья в готовую продукцию, указанные в акте экспертизы происхождения товара.

Информация о выходе готовой продукции по ассортименту содержится в актах выхода готовой продукции.

Расходы по статьям калькуляции содержатся в аналитическом учете по счетам: 20 «Основное производство», 26 «Общехозяйственные расходы», 43 «Готовая продукция», 44 «Расходы на продажу» и представлены в табл. 1.

Таблица 1. Расходы по статьям калькуляции и выход готовой продукции
Table 2. Expenses according to calculation items and output of finished goods

№	Статьи калькуляции	руб.	Выход готовой продукции.		
			Наименование	Ед. изм.	Количество
1	Сырье и материалы,	5 735 383	Треска мороженая	кг	16158
	в т.ч. сырье рыбное	5 604 292	Лещ мороженный	кг	18036
	другие материалы	131 091	Густера мороженая	кг	1713
2	Возвратные отходы	0	Филе судак	кг	6729
3	Полуфабрикаты, услуги	356 695	Плотва мороженая	кг	12037
4	Топливо и энергия	362 732	Скумбрия мороженая. Глазурь	кг	2637
5	Амортизация	320 296	Жерех мороженный	кг	6234
6	Заработная плата	601 045	Теша мороженая	кг	7692
7	Отчисления на соц.нужды	125 017	Филе мор. пеламиды	кг	1269
8	Расходы на подготовку производства	0	Филе окуня	кг	4769
9	Потери от брака	0			
10	Общепроизводственные расходы	0			
	Неполная себестоимость	7 501 168			
11	Общехозяйственные расходы	75 608			
12	Прочие производственные расходы	0			
	Итого производственная себестоимость	7 576 776			
13	Коммерческие расходы	542 698			
	Итого полная производственная себестоимость	8 119 474			

Пример расчета фактической себестоимости рыбопродукции по ассортименту представлен в табл. 2.

Таблица 2. Пример расчета фактической себестоимости рыбопродукции по ассортименту (руб.)

Table 2. Example of calculation of products cost on the variety of fish products (rub.)

Виды продукции	Стоимость сырья за вычетом отходов	Др. материалы	Полуфабрикаты и услуги	Топливо и энергия	Амортизация	Заработная плата	Страховые взносы	Общехозяйственные расходы	Расходы на продажу	Производственная себестоимость
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Треска морожен.	1521690	35594	96851	98490	86968	163197	33945	20529	147354	2204618
Лещ морожен.	688826	16112	43842	44583	39368	73875	15366	9293	66703	997968
Густера морожен.	37881	886	2411	2452	2165	4063	845	511	3668	54882
Филе судака морожен.	1352695	31641	86095	87552	77309	145073	30175	18249	130990	1959779
Плотва морожен.	417653	9769	26582	27032	23870	44792	9317	5635	40444	605094
Скумбрия морожен.	226557	5300	14420	14664	12948	24298	5054	3056	21939	328236
Жерех морожен.	293372	6862	18672	18988	16767	31463	6544	3958	28409	425035
Теша морожен.	505344	11821	32163	32708	28881	54197	11273	6818	48936	732141
Филе пеламиды	211514	4948	13462	13690	12088	22684	4718	2854	20482	306440
Филе окуня	348760	8158	22197	22573	19932	37403	7780	4705	33773	505281
ИТОГО:	5604292	131091	356695	362732	320296	601045	125017	75608	542698	8119474
Коэффициент		0,023	0,063	0,064	0,057	0,107	0,022	0,013	0,096	

Расчет себестоимости продукции по ассортименту является объективным обоснованием безубыточной цены продажи, а также источником информации для анализа показателей деятельности предприятия.

К формированию цен применяются два подхода: затратный и рыночный.

Рыночный подход подразумевает формирование цен под влиянием спроса и предложения. При затратном подходе цена формируется на основе себестоимости единицы продукции. Производитель продукции должен устанавливать такую цену, чтобы она не только покрывала затраты, но и создавала возможность получать определенный размер прибыли.

Доля себестоимости в контрактной цене представлена в табл. 3.

Таблица 3. Сравнительная таблица производственной себестоимости выпуска рыбопродукции и рыночной стоимости.

Table 3. Example of production cost calculation on the variety of fish products (rub.)

Выход готовой продукции		Полная производственная себестоимость	Себестоимость 1 ед. продукции	Контрактная стоимость		Доля себестоимости в контрактной цене, %
Готовая продукция	Ед.изм., кг.			Цена б/НДС, руб.	Стоимость, руб.	
Треска морож. б\г	16158	2204618	136	150	2423700	90,7
Лещ мороженный	18036	997968	55	80	1442880	68,7
Густера мороженная	1713	54882	32	50	85650	64
Филе судака мороженое	6729	1959779	291	320	2153280	90,9
Плотва мороженная	12037	605094	50	60	722220	83,3
Скумбрия мороженная	2637	328236	124	160	421920	77,5
Жерех мороженный	6234	425035	68	85	529890	80
Теша мороженная	7692	732141	95	110	846120	86,4
Филе пеламиды	1269	306440	241	280	355320	86,1
Филе окуня	4769	505281	106	160	763040	65,6
Итого	77274	8119474			9744020	83,3

Для наиболее массовых, относительно дешевых видов мороженой рыбы (густера, плотва, лещ) доля себестоимости в контрактной цене составляет соответственно 64, 83,3 и 68,7 %. Для рыб средней ценовой категории (филе судака мороженого) – 90,9 %.

Эти цифры подтверждают, что цена отечественных продавцов рыбы близка к минимально возможной, ее рост обоснован и вызван объективной причиной – ростом себестоимости.

ВЫВОДЫ

Анализ действующих нормативных документов по бухгалтерскому учёту и финансовой отчетности выявил отсутствие в их содержании отраслевой специфики деятельности.

Отраслевая специфика деятельности проявляется в рабочих документах экономического субъекта, определяющих его учетную политику, а также в первичных документах и регистрах текущего аналитического учета.

Нормативные документы по бухгалтерскому учёту и финансовой отчетности, разработанные Министерством финансов РФ, не содержат предписаний по обязательному исчислению себестоимости единицы выпущенной продукции или оказанной услуги, нередко не исчисляют эти показатели и на предприятиях [7].

На основе расчетов фактической себестоимости рыбопродукции по ассортименту обоснована значимость такой информации для установления уровня безубыточной цены.

Практическая значимость выполненного исследования состоит в том, что представленный материал может быть использован при разработке отраслевого стандарта экономического субъекта «Учёт затрат и калькулирование себестоимости рыбопродукции».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Пачоли, Л. Трактат о счетах и записях / Л. Пачоли; под ред. Я. В. Соколова. – Москва: Финансы и статистика, 1983. – 286 с.
2. Федеральный закон «О бухгалтерском учете» от 06.12.2011 №402 ФЗ (ред. от 04.11.2014) [Электронный ресурс] // Справочная правовая система «Консультант плюс». – Режим доступа: <http://www.consultant.ru/>.
3. Артемова, В. И. Бухгалтерский учет формирования прибылей и убытков экономического субъекта рыбной отрасли / В. И. Артемова, Н. К. Ботева, В. Г. Грудинов. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2013. – 275 с.
4. Приказ Минфина России «Об утверждении положений по бухгалтерскому учёту» (вместе с «Положением по бухгалтерскому «Учетная политика организации» (ПБУ 1/2008)» от 06.10.2008 №106н (ред. от 18.12.2012) [Электронный ресурс] // Справочная правовая система «Консультант плюс». – Режим доступа: <http://www.consultant.ru/>.
5. Ботева, Н. К. Формирование и учет финансовых результатов компаний, осуществляющих прибрежное рыболовство / Н. К. Ботева, Л. А. Гейбо // Балтийский экономический журнал. – 2015. – №2(14). – С. 131-139.
6. Приказ Минфина РФ от 31.10.2000 №94н (ред. от 08.11.2010) «Об утверждении Плана счетов бухгалтерского учёта финансово-хозяйственной деятельности организаций и Инструкции по его применению» [Электронный ресурс] // Справочная правовая система «Консультант плюс». – Режим доступа: <http://www.consultant.ru/>.
7. Приказ Минфина России «Об утверждении Положения по бухгалтерскому учету «Расходы организации» ПБУ 10/9 от 06.05.99 №33н.

REFERENCES

1. Pacholi L. *Traktat o schetah i zapisjah* [Discourse on accounts and records]. Moscow, Finansy i statistika, 1983, 286 p.
2. Federal'nyj zakon "O buhgalterskom uchete" ot 06.12.2011g. № 402 FZ (red. ot 04.11.2014) [The federal law "On financial accounting" of 06.12.2011, № 402 Federal Law (last updated 04.11.2014)].
3. Artemova V. I., Boteva N. K., Grudinov V. G. *Buhgalterskij uchet formirovaniya pribylej i ubytkov jekonomicheskogo sub#ekta rybnoj otrasli* [Financial accounting of profits and losses generation of an economic entity of fish industry]. Kaliningrad, izdatel'stvo FGBOU VPO "KGTU", 2013, 275 p.
4. Prikaz Minfina Rossii "Ob utverzhdenii polozhenij po buhgalterskomu uchetu" (vmeste s "Polozheniem po buhgalterskomu "Uchetnaja politika organizacii"

(PBU 1/2008)” от 06.10.2008, № 106n (red. ot 18.12.2012) [The order of the Ministry of Finance of the Russian Federation “On approval of accounting regulations” (together with “A provision on accounting “Accounting policy of an organization” (RAS 1/2008)” of 06.10.2008 № 106n (last updated 18.12.2012)].

5. Boteva N. K., Gejbo L. A. Formirovanie i uchet finansovyh rezultatov kompanij, osushhestvljajushhih pribrezhnoe rybolovstvo [Forming and accounting of financial results of the companies performing inshore fishing]. *Baltijskij jekonomicheskij zhurnal*, 2015, no. 2(14).

6. Prikaz Minfina RF ot 31.10.2000 № 94n (red. ot 08.11.2010) “Ob utverzhdenii Plana schetov buhgalterskogo ucheta finansovo-hozjajstvennoj dejatel'nosti organizacij i Instrukcii po ego primeneniju” [The order of the Ministry of Finance of the Russian Federation from 10/31/2000 № 94n (last updated 11/8/2010) “On approval of the Chart of accounts of financial accounting of financial and economic organization activity and the Instruction for its application”].

7. Prikaz Minfina Rossii “Ob utverzhdenii Polozhenija po buhgalterskomu uchetu “Rashody organizacii” PBU 10/9 ot 06.05.99, № 33n [The order of the Ministry of Finance of the Russian Federation “On approval of the Accounting regulation “Expenses of an Organization” of RAS 10/9 from 06.05.99, № 33n].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Ботева Нина Константиновна – Калининградский государственный технический университет; кандидат экономических наук, доцент кафедры учета, анализа и аудита; E-mail: Geybo_Ludmila@mail.ru

Boteva Nina Konstantinova – Kaliningrad State Technical University; PhD,
Associate professor of the department of accounting, analysis and audit;
E-mail: Geybo_Ludmila@mail.ru

Гейбо Людмила Аркадьевна – Калининградский государственный технический университет; кандидат экономических наук, доцент кафедры учета, анализа и аудита; E-mail: Geybo_Ludmila@mail.ru

Geybo Ludmila Arkadieвна – Kaliningrad State Technical University; PhD,
Associate professor of the department of accounting, analysis and audit;
E-mail: Geybo_Ludmila@mail.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 (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-omgrpu-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 rezanii 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. Pitanie sibirskogo osetra Acipenser baerii Brandt r. Leny [Diet of the Siberian sturgeon of the river Lena]. *Voprosy ikhtiologii*, 1966, vol. 6, iss. 3 (40), pp. 550–560.

Статья в электронном журнале

1. Ivanova A.E. Problemy 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. Osobennosti proektirovaniya razrabotki mestorozhdeniy s primeneniem gidrorazryva plasta [Features of the Design of Field Development with the Use of Hydraulic Fracturing]. *Trudy 6 Mezhdunarodnogo Simpoziuma "Novye 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 ekologicheskii 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. 4th 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 Тав. Номер формулы вводится в круглые скобки и выравнивается вправо. При наборе формул рекомендуется использовать следующие кегли шрифтов: основной – 11; крупный индекс – 7; мелкий индекс – 5; крупный символ – 14; мелкий символ – 10. Гарнитура шрифта Times New Roman. Для набора математических формул используют буквы латинского алфавита (светлый курсив), греческого алфавита (светлый прямой шрифт) и готический шрифт (светлый прямой). Индексы формул, обозначенные буквами латинского алфавита, набирают курсивом (m_i – масса i -го элемента), а обозначенные буквами русского алфавита – прямым шрифтом (l_p – длина разбега; $V_{\text{пос}}$ посадочная скорость). Сокращенные обозначения физических величин и единиц измерения (кВт, Ф/м, W/m) – светлым прямым без точек. Числа и дроби в формулах должны быть набраны светлым прямым шрифтом. Прямым шрифтом набирают также некоторые математические обозначения (sin, tg; max, min; const; log, det, exp и т. д.). Векторные величины следует обозначать жирным курсивом, а не надсимвольной чертой: e не \bar{e} . Перенос в формулах допускается делать в первую очередь на знаках (=, », <, > и др.), во вторую очередь – на отточии (...), на знаках сложения и вычитания (+, –), в последнюю – на знаке умножения в виде косоугольного креста (\times). Перенос на знаке деления не допускается. Математический знак, на котором разрывается формула при переносе, обязательно должен быть повторен в начале второй строки. При переносе формул нельзя отделять выражения, содержащиеся под знаком интеграла, логарифма, суммы, произведения, от самих знаков. Небольшие формулы, не имеющие самостоятельного значения, набираются внутри строк текста. Наиболее важные формулы, все нумерованные формулы, а также длинные и громоздкие формулы, содержащие знаки суммирования, произведения и т. п., набирают отдельными строками. Отбивка до и после строки с формулой в этом случае – 6 пунктов. Вместо выражения вида $\frac{a}{b}$ 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 подойдут 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

<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 27.07.2016. Выход в свет 01.08.2016. Формат 60 x 88 (1/8)
Печ. л. 31,4. Уч.-изд. л. 20,1. Тираж 1000 экз. Заказ № 47.