

ИЗВЕСТИЯ

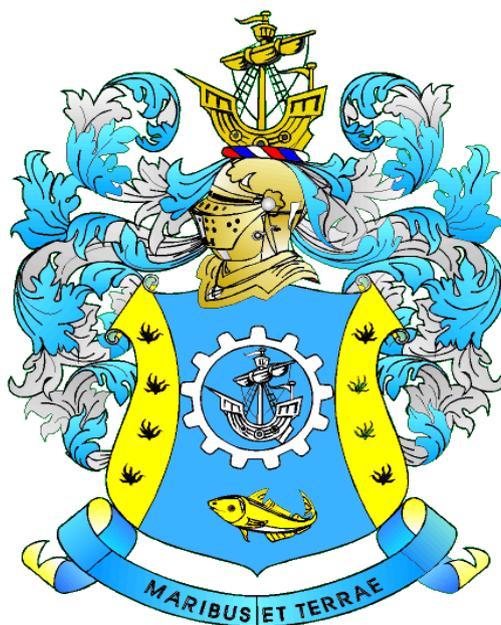
КГТУ

2018

№ 51

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Научный журнал



Индексирование журнала, включение в базы данных
Российский индекс научного цитирования (РИНЦ)
Agricultural Research Information System (Agris)

Калининград

«Известия КГТУ»
Учредитель: ФГБОУ ВО
«Калининградский государственный
технический университет»

Научный журнал
Основан в 2002 г.

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

Редакционный совет:

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

С. Т. Антипов, д-р техн. наук, проф., Воронежский государственный университет инженерных технологий, проректор по научной и инновационной деятельности, заведующий кафедрой машин и аппаратов пищевых производств;

А. В. Бараненко, д-р техн. наук, проф., Национально-исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, г. Санкт-Петербург, советник ректора, заведующий кафедрой холодильных установок;

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

А. М. Ершов, д-р техн. наук, проф., ООО «Айсберг-Норд», главный научный сотрудник по развитию, г. Мурманск;

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

С. Е. Кузнецов, д-р техн. наук, проф., Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова, г. Санкт-Петербург;

О. М. Лапшин, д-р техн. наук, Камчатский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (КамчатНИРО), г. Петропавловск-Камчатский, директор;

Ю. И. Нечаев, д-р техн. наук, проф., Санкт-Петербургский государственный морской технический университет;

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

Марек Якубовский, д-р техн. наук, проф., Кошалинский политехнический университет (Польша, г. Кошалин), заведующий кафедрой «Процессы и аппараты пищевых производств»;

О. Я. Тимофеев, д-р техн. наук, доц., Крыловский государственный научный центр, г. Санкт-Петербург, заместитель генерального директора;

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

А. В. Юров, д-р физ.-мат. наук, проф., Институт физико-математических наук и информационных технологий БФУ им. И. Канта, г. Калининград, директор

Редакционная коллегия:

О. В. Агеев, канд. техн. наук, доц.; *Ю. Н. Антипов*, д-р физ.-мат. наук, проф.;
О. А. Анциферова, канд. с.-х. наук, доц.; *А. Г. Архипов*, д-р биол. наук, проф.;
О. М. Бедарева, д-р биол. наук, доц.; *В. Ф. Белей*, д-р техн. наук, проф.;
В. В. Брюханов, д-р физ.-мат. наук, проф.; *Р. Н. Буруковский*, д-р биол. наук,
проф.; *А. А. Герасимов*, д-р техн. наук, проф.; *С. В. Дятченко*, д-р техн. наук, доц.;
А. В. Иванов, д-р экон. наук, проф.; *В. П. Иванов*, д-р техн. наук, проф.;
И. П. Корнева, канд. физ.-мат. наук, проф.; *О. Я. Мезенова*, д-р техн. наук, проф.;
В. М. Минько, д-р техн. наук, проф.; *А. Г. Мнацаканян*, д-р экон. наук, проф.;
А. Б. Муромцев, д-р ветеринар. наук, проф.; *Е. Н. Науменко*, д-р биол. наук, доц.;
В. А. Наумов, д-р техн. наук, проф.; *В. И. Одинцов*, д-р техн. наук, проф.;
В. И. Панасин, д-р с.-х. наук, проф.; *А. И. Притыкин*, д-р техн. наук, проф.;
М. М. Розенштейн, д-р техн. наук, проф.; *Е. С. Роньжина*, д-р биол. наук, проф.;
В. И. Саускан, д-р биол. наук, проф.; *Л. И. Сергеев*, д-р экон. наук, проф.;
Г. Г. Серпунин, д-р биол. наук, проф.; *Н. Я. Синявский*, д-р физ.-мат. наук, проф.;
В. А. Слежкин, канд. хим. наук, доц.; *А. В. Соколов*, канд. биол. наук, доц.;
Т. Е. Степанова, д-р экон. наук, проф.; *В. И. Сутырин*, д-р техн. наук, проф.;
И. М. Титова, канд. техн. наук, доц.; *А. Б. Тристанов*, канд. техн. наук, доц.;
Ю. А. Фатыхов, д-р техн. наук, проф.; *С. В. Фёдоров*, д-р техн. наук, проф.;
В. А. Фунтиков, д-р хим. наук, проф.; *С. В. Шибаев*, д-р биол. наук, проф.;
В. Н. Эрлихман, д-р техн. наук, проф.; *А. Я. Яфасов*, д-р техн. наук

Выпускающий редактор С. В. Супрунова

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

© ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»,
2018



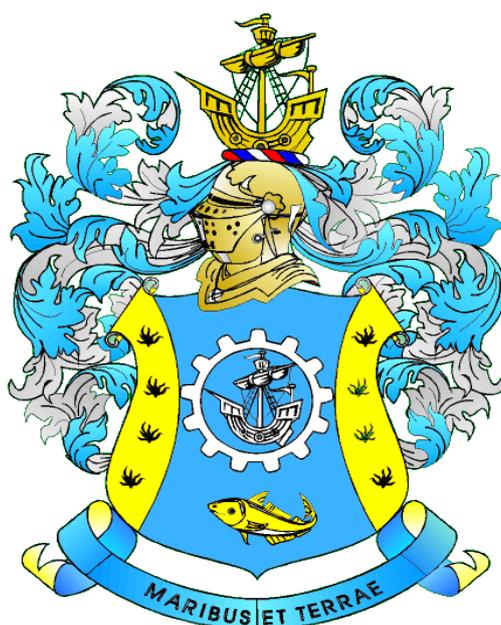
KSTU NEWS

2018

№ 51

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

SCIENTIFIC JOURNAL



Journal index, registration in databases
Russian Index of Scientific Citation (RISC)
Agricultural Research Information System (Agris)

Kaliningrad

СОДЕРЖАНИЕ

Биология, экология и рыбное хозяйство

<i>Науменко Е. Н., Ушакова А. Ю.</i> Спектры питания молоди рыб Вислинского залива Балтийского моря	13
<i>Пак Р. А., Архипов А. Г., Лидванов В. В.</i> Пространственное распределение различных экологических групп ихтиопланктона в северной и южной частях Марокко	25
<i>Тумилович О. А.</i> Формирование одонатофауны в одном из прудов Калининградской области	35

Техника и технология пищевых производств

<i>Байдалинова Л. С., Ляпустина Е. Е.</i> Выделение натуральных структурообразователей белковой природы из коллагенсодержащего вторичного рыбного сырья	45
<i>Воробьев В. И.</i> Использование осадка промывных вод рыбопереработки...	61
<i>Кузнецова Т. А., Базарнова Ю. Г., Боргоякова А. С.</i> Исследование влияния процесса автофлокуляции клеток микроводоросли <i>Chlorella sorokiniana</i> в аквакультуре на получение комплекса пигментов	69
<i>Самсонов М. В., Винокур М. Л.</i> Каротинопротеиновый концентрат как функциональный компонент рыборастворительных крипсов	81

Сельское хозяйство и природопользование

<i>Анциферова О. А.</i> Иттрий в почвообразующих породах и почвах гумидных ландшафтов Юго-Восточной Прибалтики	93
<i>Роньжина Е. С.</i> Озимая и яровая пшеница (<i>Triticum aestivum</i> L.) в агроклиматических условиях Калининградской области	100

Судостроение, машиностроение и энергетика

<i>Борисов Б. П., Карасёва Е. А.</i> Исследование формообразования кабашонов из янтаря методом горизонтальных секущих плоскостей	113
<i>Гуральник Б. С., Сирота А. К., Якута И. В.</i> К вопросу о безопасности балкера при разжижении груза	121
<i>Зайченко В. М., Соколущенко В. Н.</i> Особенности неустановившейся фильтрации при наличии предельного градиента давления	128
<i>Фёдоров С. В.</i> Модель диагностики истинной температуры смазки в судовых двигателях внутреннего сгорания	138
<i>Чижма С. Н., Молчанов С. В., Руднев Г. С.</i> Мониторинг и анализ электрических событий в судовых электроэнергетических системах	150

Естественные и математические науки

<i>Жукова Н. А., Подкорытов С. А., Водяхо А. И., Тристанов А. Б., Климов Н. В.</i> Программа многоуровневого синтеза процессов когнитивного мониторинга	161
<i>Пахнутов И. А.</i> Экономная интерполяция в R^n	174

Экономика и управление АПК

<i>Коноплина Ю. С.</i> Перспективы повышения производительности труда в экономике агропромышленного комплекса	183
---	-----

CONTENT

Biology, Ecology and Fishing Industry

<i>Naumenko E. N., Ushakova A. Yu.</i> Food spectra of young fish of the Vistula lagoon of the Baltic sea	13
<i>Pak R. A., Arkhipov A. G., Lidvanov V. V.</i> Spatial distribution of different environmental groups of ichthyoplankton in North and South Morocco	25
<i>Tumilovich O. A.</i> Formation of odonatofauna in a pond of the Kaliningrad region	35

Food Production Techniques and Technology

<i>Baydalinova L. S., Lyapustina E. E.</i> Obtaining of natural structure-formers of protein origin from collagen-containing secondary fish raw materials	45
<i>Vorobyov V. I.</i> The use of sludge wash water of fish processing	61
<i>Kuznetsova T. A., Bazarnova Yu. G., Borgoyakova A. S.</i> The effect of autoflocculation of <i>chlorella sorokiniana</i> microalgae cells in aquaculture on obtaining the pigment complex	69
<i>Samsonov M. V., Vinokur M. L.</i> Carotene-protein concentrate as a functional component of fish and vegetable crisps	81

Agriculture and Nature Management

<i>Antsiferova O. A.</i> Yttrium in the soil-forming rocks and soils of the humid landscapes of the South-Eastern Baltic	93
<i>Ronzhina E. S.</i> Winter and spring wheat (<i>Triticum aestivum</i> L.) in agroclimatic conditions of the Kaliningrad region	100

Ship Building, Machinery and Power-Engineering

<i>Borisov B. P., Karasyova E. A.</i> Shaping of cabochons from amber by the method of horizontal cutting planes	113
<i>Guralnik B. S., Sirota A. K., Yakuta I. V.</i> Revisiting some factors causing bulk cargo liquefaction	121
<i>Zaichenko V. M., Sokotushchenko V. N.</i> Features of unsteady filtration in the presence of the limiting pressure gradient	128
<i>Fyodorov S. V.</i> Diagnostic model for real lubricant temperature in ship's internal combustion engines	138
<i>Chizhma S. N., Molchanov S. V., Rudnev G. S.</i> Monitoring and analysis of electrical events in marine electric power systems	150

Earth and Mathematical Sciences

<i>Zhukova N. A., Podkorytov S. A., Vodyakho A. I., Tristanov A. B., Klimov N. V.</i>	
The program of multi-level synthesis of cognitive monitoring processes.....	161
<i>Pakhnutov I. A.</i> Cost-effective interpolation in R^n	174

Economy and Management of agribusiness industry

<i>Konoplina Yu. S.</i> Perspectives of labor productivity improvement in agricultural sector	183
---	-----

БИОЛОГИЯ, ЭКОЛОГИЯ И РЫБНОЕ ХОЗЯЙСТВО

УДК 597-153(261.245)

СПЕКТРЫ ПИТАНИЯ МОЛОДИ РЫБ ВИСЛИНСКОГО ЗАЛИВА
БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

Е. Н. Науменко, А. Ю. Ушакова

FOOD SPECTRA OF YOUNG FISH OF THE VISTULA LAGOON
OF THE BALTIC SEA

E. N. Naumenko, A. Yu. Ushakova

Объектом исследования послужила молодь рыб Вислинского залива Балтийского моря.

Изучение особенностей питания рыб необходимо при нахождении их скоплений, выполнении акклиматизационных мероприятий, исследовании факторов колебания численности и темпа роста, определении оптимального промыслового размера и выборе мероприятий по наилучшему рациональному эксплуатированию кормовых ресурсов водоемов.

В ходе работы проводилась таксономическая идентификация молоди рыб Вислинского залива, определялся количественный и качественный состав пищевых организмов, сравнивались спектры питания с уже имеющимися данными.

Материал для изучения питания рыб был собран в июне 2013, мае 2016 г. и в 2017 г. в ходе экспедиций ФГБНУ «АтлантНИРО» на девяти стандартных станциях. Всего обработано 517 мальков рыб.

Молодь рыб в Вислинском заливе за период изучения была представлена четырьмя промысловыми видами: балтийской сельдью (*Clupea harengus membras*), снетком (*Osmerus eperlanus eperlanus m. spirinchus*), окунем (*Perca fluviatilis*) и судаком (*Stizostedion lucioperca*).

В результате исследований установлено, что молодь рыб Вислинского залива питается как зоопланктонными, так и бентосными организмами. Больших различий в годы сбора материала в спектрах её питания обнаружено не было.

Авторами также получены новые данные, свидетельствующие об увеличении количества объектов питания в рационах молоди балтийской сельди, снетка, окуня и судака Вислинского залива, а также о том, что спектр питания её ранее был представлен в основном веслоногими ракообразными, в современный же период возросло значение ветвистоусых ракообразных и коловраток.

Вислинский залив, Балтийское море, зоопланктон, питание, молодь рыб, балтийская сельдь, снеток, судак, окунь

The object of the study – young fish of the Vistula lagoon of the Baltic Sea.

The study of the characteristics of fish feeding is used when finding their shoals, performing acclimatization measures, when studying factors of fluctuations in the number and growth rate, in determining the optimal fishing size and building measures for the best rational exploitation of feed resources in a water pond.

The present work involved taxonomic identification of young fish of the Vistula Lagoon, quantitative and qualitative composition of food organisms, and comparison of the food spectra of the young fish with the already available data.

The material for the study was collected in June 2013, May 2016 and 2017 during the expeditions of the SRI AtlantNIRO in 9 standard stations. A total of 517 young fish were processed.

During the study period, the young fish of the Vistula Lagoon were represented by 4 species: Baltic herring (*Clupea harengus membras*), smelt (*Osmerus eperlanus eperlanus m. spirinchus*), perch (*Perca fluviatilis*) and zander (*Stizostedion lucioperca*).

As a result of this research it has been discovered that young fish of the Vistula Lagoon feed on both zooplankton and benthic organisms. There have been no great differences in the years of research in the food spectra of the young fish from the Vistula Lagoon.

The main results of the research are as follows: in comparison with the data already available on the feeding habits of the young fish of the Vistula Lagoon, new data obtained by the author indicate an increase in the number of feed objects in the rations of the young Baltic herring, smelt, perch and zander in the Vistula Lagoon. In comparison with the previously available data, when the food spectrum of the young fish was mainly represented by copepods, in the modern period the value of branching cladocera and rotifers has increased.

Vistula lagoon, Baltic sea, zooplankton, feeding, young fish, Baltic herring, smelt, perch, zander

ВВЕДЕНИЕ

Вислинский залив, расположенный в восточной части южного побережья Балтийского моря, является лагуной эстуарного типа [1].

Он отделен от Балтийского моря устойчивым песчаным барьером, по которому проходит государственная граница между Польшей и Россией. Гидрологический режим залива определяется взаимодействием континентального стока и соленых вод Балтийского моря [2, 3].

Вислинский залив заселен пресноводными и солоновато-водными гидробионтами, которые приспособились к изменяющемуся режиму солености. Залив представляет собой особый интерес и как нагульный водоем для молодежи промысловых рыб – балтийской сельди (*Clupea harengus membras* (Linnaeus, 1761)), судака (*Stizostedion lucioperca* (Linnaeus, 1758)), леща (*Abramis brama* (Linnaeus, 1758)), плотвы (*Rutilus rutilus* (Linnaeus, 1758)), окуня (*Perca fluviatilis* (Linnaeus, 1758)), а также снетка (*Osmerus eperlanus eperlanus m. spirinchus* (Pallas, 1811)), угря (*Anguilla Anguilla* (Linnaeus, 1758)) и др. [4].

Для изучения процессов биологического продуцирования в водоемах большое значение имеет исследование питания водных организмов, особенно рыб, которые являются вершиной трофической цепи. Сам же процесс продуцирования в экосистемах совершается благодаря трофическим взаимоотношениям между организмами [5, 6].

Данные о спектрах питания молодежи рыб Вислинского залива, в частности балтийской сельди, в современный период отсутствуют. Полномасштабные исследования этой проблемы были проведены Н. Н. Янченко в 1980–1990 гг. В последние годы в экосистеме отмечаются изменения гидрологического режима [7], что поспособствовало увеличению биологических инвазий, в результате изменился состав кормовой базы молодежи сельди и других планктофагов. Этим и обусловлен интерес к изучению питания молодежи рыб в Вислинском заливе.

Цель работы – изучение спектров питания молодежи рыб Вислинского залива Балтийского моря.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Материал для исследования питания рыб был собран в июне 2013, мае 2016 г. и в 2017 г. в ходе экспедиций ФГБНУ «АтлантНИРО» на девяти стандартных станциях, равномерно расположенных в соответствии с морфологическим и гидрологическим районированием Вислинского залива. Мальковые съемки проводили по стандартной сетке станций, охватывающей всю российскую акваторию Вислинского (Калининградского) залива, в светлое время суток в мае, июне и ноябре. Применяемое орудие лова – экспериментальный пелагический рамный мальковый трал длиной 5 м с постоянным раскрытием $1,5 \times 3,0$ м, с ячейей в кутке 18 мм, оснащенный рубашкой из мельничного сита с ячейей 0,5 мм. Продолжительность траления в поверхностном горизонте составляла 5 мин [8].

Выловленную молодь фиксировали 4%-ным раствором формальдегида. Таксономическую идентификацию выполняли по определителю [9]. Длину молоди измеряли до основания хвостового плавника с точностью до 0,1 мм, взвешивали молодь с точностью до 0,01 г на весах ВЛТЭ-1100 [6].

Существуют два метода сбора и обработки материала по питанию: метод индивидуального сбора и обработки желудочно-кишечных трактов, при котором каждая рыба анализируется отдельно, и групповой метод, когда кишечники собираются от группы рыб и содержимое их обрабатывается вместе [5]. Авторы применяли первый из вышеназванных методов.

Этапы развития рыб определяли по В. В. Васнецову и С. Г. Крыжановскому [10, 11].

Извлечение желудочно-кишечного тракта проводили следующим образом: мальков вскрывали специальным тонким скальпелем по брюшной стороне от анального отверстия до головы, извлекали желудочно-кишечный тракт тонким пинцетом и иголками. При анализе пищи в кишечнике мальков рыб получали данные не только о видовом составе пищевых организмов, но и о количестве экземпляров и их размерах.

Всего обработано 517 мальков рыб, из них: балтийской сельди – 465 (в 2013 г. – 177, 2016 – 189, 2017 – 99); снетка – 7; окуня – 40 (в 2013 г. – 21, 2016 – 19); судака – 5 (табл. 1).

Таблица 1. Объем собранного и обработанного материала (экземпляров)

Table 1. Volume of collected and processed material (specimen)

Вид рыбы	Исследовано на питание, экз.			Итого
	2013 г.	2016 г.	2017 г.	
Балтийская сельдь	177	189	99	465
Снеток	7	0	0	7
Окунь	21	19	0	40
Судак	5	0	0	5
Итого	210	208	99	517

Средняя зоологическая длина: балтийской сельди – $3,6 \pm 0,22$ см; снетка – $3,4 \pm 0,21$; окуня – $2,6 \pm 0,58$; судака – $3,1 \pm 0,32$ см.

Средний вес исследуемых мальков: балтийской сельди – $0,186 \pm 0,05$ кг; снетка – $0,166 \pm 0,06$; окуня – $0,133 \pm 0,05$; судака – $0,163 \pm 0,03$ кг.

Статистическая обработка проводилась в Excel. В дальнейшем при средних оценках приведено среднеквадратическое отклонение.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В желудках исследуемых рыб было встречено: у балтийской сельди – 18 объектов, снетка – 7, окуня – 10 и у судака – 3 объекта (табл. 2).

Таблица 2. Объекты питания балтийской сельди, снетка, окуня и судака в Вислинском заливе в июне 2013, мае 2016 г. и в 2017 г.

Table 2. Food items of Baltic herring, smelt, perch and zander in the Vistula Lagoon in June 2013, in May 2016 and 2017

Объект питания	Вид рыбы			
	Балтийская сельдь	Снеток	Окунь	Судак
<i>Eurytemora affinis</i>	+	+	+	
Nauplii Copepoda	+	+		
<i>Acartia tonsa</i>	+		+	
<i>Cercopagis pengoi</i>	+	+	+	
<i>Daphnia longispina</i>	+	+		
<i>Eubosmina coregoni</i>	+			
<i>Keratella quadrata</i>	+	+		
<i>Filinia longiseta</i>	+	+		
<i>Chydorus sphaericus</i>	+		+	
Chironomidae	+		+	+
Яйца моллюсков	+	+	+	+
Mysidae	+		+	
Икра рыб	+		+	
Янтарь	+		+	+
Insecta sp.	+		+	
Велигеры	+			
Polychaeta	+			
Gastropoda	+			

Балтийская сельдь, или салака. Во все годы исследований основу спектров питания её молоди составляли планктонные организмы: коловратки, ветвистоусые и веслоногие ракообразные и планктонные яйца моллюсков.

В июне 2013 г. в рационе салаки доминировали яйца моллюсков (64%), копеподы *E. affinis* (14,9%), *A. tonsa* (8%) и клadoцера *C. pengoi* (6,9%). Среди прочей пищи, составлявшей 1%, наибольшее значение имели янтарь, икра рыб, Polychaeta и клadoцеры *E. coregoni* (табл. 3).

В мае 2016 г. в пищевом комке у балтийской сельди преобладали яйца моллюсков (25%), коловратки *K. quadrata* (16%), копеподы *E. affinis* (11%) и nauplii Copepoda (11%). Доля прочих объектов питания не превышала 2%. Наибольший процент составляли коловратка *F. longiseta*, Gastropoda, Chironomidae и имаго Insecta sp. (табл. 3).

В мае 2017 г. основной рациона балтийской сельди были копеподы *Acartia tonsa* (21%), *E. affinis* (7%), яйца моллюсков (18%) и nauplii Copepoda (7%). Доля остальных объектов в спектре её питания также не превышала 2%. Наибольший процент составляли клadoцеры *D. longispina*, *E. coregoni*, Chironomidae и икра рыб (табл. 3).

Таблица 3. Спектр питания балтийской сельди в июне 2013, мае 2016 г. и в 2017 г. (% от общей численности организмов)

Table 3. Food spectrum of Baltic herring in June 2013, May 2016 and in 2017 (% of total number of organisms)

Объект питания	Дата		
	14.06.2013	26.05.2016	25.05.2017
<i>Eurytemora affinis</i>	14,87	11,12	7,37
Nauplii Copepoda	1,79	10,90	7,20
<i>Acartia tonsa</i>	8,00	4,67	21,32
<i>Cercopagis pengoi</i>	6,87	0,06	0,00
<i>Daphnia longispina</i>	0,01	0,02	0,28
<i>Eubosmina coregoni</i>	0,04	0,00	0,25
<i>Keratella quadrata</i>	1,82	16,33	0,00
<i>Filinia longiseta</i>	0,01	0,53	0,00
<i>Chydorus sphaericus</i>	0,02	3,51	0,00
Chironomidae	1,19	0,19	0,18
Яйца моллюсков	63,98	25,10	18,51
Mysidae	1,05	0,05	0,05
Икра рыб	0,10	0,06	0,08
Янтарь	0,16	0,10	0,05
Insecta sp.	0,00	0,13	0,06
Велигеры	0,02	0,09	0,00
Polychaeta	0,05	0,10	0,07
Gastropoda	0,01	0,22	0,00

Сметок. В июне 2013 г. в рационе сметка доминировали веслоногие ракообразные *E. affinis* (70%), nauplii Copepoda (11%), яйца моллюсков (9%) и коло-вратки *K. quadrata* (5%) (табл. 4).

Таблица 4. Спектр питания сметка в июне 2013 г. (% от общей численности организмов)

Table 4. Food spectrum of smelt in June 2013 (% of total number of organisms)

Объект питания	Дата
	14.06.2013
<i>Eurytemora affinis</i>	70,1
nauplii Copepoda	10,98
<i>Keratella quadrata</i>	4,99
Яйца моллюсков	9,2
<i>Cercopagis pengoi</i>	1,76
<i>Daphnia longispina</i>	1,34
<i>Filinia longiseta</i>	1,63

В мае 2016 и в 2017 г. сметок в пробах отсутствовал.

Речной окунь. В июне 2013 и мае 2016 г. спектр питания молоди окуня был сходным. Основу рациона составляли хирономиды (33-36%), ветвистоусые ракообразные *Cercopagis pengoi* (19-32%) и яйца моллюсков (22-30%) (табл. 5).

В июне 2017 г. в пробах окунь отсутствовал.

Таблица 5. Спектр питания окуня в июне 2013 и мае 2016 г. (% от общей численности организмов)

Table 5. Food spectrum of perch in June 2013 and May 2016 (% of total number of organisms)

Объект питания	Дата	
	14.06.2013	25.05.2016
<i>Eurytemora affinis</i>	6,32	2,36
<i>Acartia tonsa</i>	0,74	0,11
<i>Cercopagis pengoi</i>	31,97	19,3
Chironomidae	33,09	35,64
<i>Chydorus sphaericus</i>	0	5,12
Яйца моллюсков	21,93	29,73
Икра рыб	4,09	5,37
Янтарь	1,12	3,64
Insecta sp.	0,74	0,69
Mysidae	0	1,87

Судак. В июне 2013 г. в рационе судака преобладали яйца моллюсков, численность которых составляла около 80%, а также встречались Chironomidae и кусочки янтаря – по 10% (табл. 6). В мае 2016 г. и в 2017 г. судак в пробах для изучения питания не встречался.

Таблица 6. Спектр питания судака в июне 2013 г. (% от общей численности организмов)

Table 6. Food spectrum of zander in June 2013 (% of total number of organisms)

Объект питания	Дата
	14.06.2013
Chironomidae	10,37
Яйца моллюсков	80,11
Янтарь	9,52

ОБСУЖДЕНИЕ

Балтийская сельдь. По данным Н. Н. Янченко, в 1978 и 1985 гг. молодь балтийской сельди питалась преимущественно копеподами (более 90 % потребляемой пищи), коловратки составляли около 5 %, клadoцеры - 2,1 % и только в 1978 г. [12, 13].

В настоящее время доля Copepoda сократилась и составляет от 24 до 36 %. Cladocera присутствовали во всех пищевых комках (от 0,5 до 7 %). Коловратки встречались в пищевом комке в 2013 и 2016 гг. (соответственно, 17 и 2 %). Кроме того, в желудках салаки были обнаружены Mysidacea и Chironomidae, а также яйца моллюсков, икра рыб, янтарь, имаго Insecta sp., Polychaeta, Gastropoda и велигеры. Доля этих объектов не превышала 2 %.

Подобная картина наблюдалась в Рижском заливе и Балтийском море [14]. Распространенными объектами питания балтийской сельди являлись планктонные ракообразные родов *Eurytemora*, *Limnocalanus*, *Acartia*, *Bosmina*. Мизиды и амфиподы также играли в питании балтийской сельди существенную роль, причем в Рижском заливе более значительную, чем в море.

Следует отметить, что, как и в Вислинском заливе, в Балтийском море салака потребляла донные организмы (*Chironomidae*, имаго *Insecta* sp., *Mysidae*). Также в пищевом комке молоди балтийской сельди присутствовали икра рыб, янтарь, песчинки. В целом можно заключить, что в Вислинском заливе в спектрах питания балтийской сельди произошли изменения в сторону увеличения доли ветвистоусых ракообразных. Особенно важно, что салака потребляла новый вид кладоцер *C. pengoi*, который сравнительно недавно появился в составе зоопланктона Вислинского залива [15].

При сравнении спектра питания балтийской сельди с составом планктона можно сделать вывод, что она потребляет в основном те организмы, которые преобладают в данное время, отдавая предпочтение крупным особям.

Снеток. В 1978 и 1985 гг. молодь снетка питалась преимущественно веслоногими ракообразными, которые составляли 100 % пищевого комка [13], в настоящее время – также в основном *Copepoda* (81,8 %). Однако в желудке были обнаружены *Cladocera* (3,1 %), в том числе *C. pengoi*, коловратки (6,9 %) и прочие виды (9,2 %).

В Рижском заливе основу пищи корюшки (снетка) составляли ракообразные *Mysis mixtra*, *Neomysis integer*, *Pontoporeia affinis* и зоопланктон – *Limnocalanus grimaldii*, *Eurytemora hirundoides*. По мере роста снетка значение мелких ракообразных и зоопланктона в питании снижалось. Взрослый снеток в Рижском заливе потребляет преимущественно мизиды и понтопореи [16].

В Куршском заливе личинки снетка питались мелким зоопланктоном: коловратками, науплиями. По мере роста в пищевом комке сеголетков снетка возросло значение *Cladocera Daphnia longispina*, р. *Bosmina*, р. *Diaphanosona*. Начиная с этапа Е, снеток может улавливать крупных зоопланктеров, например, лептодор [17, 18].

Таким образом, существенных изменений в спектрах питания снетка Вислинского залива не обнаружено. Как и во многих других водоемах, он питался преимущественно веслоногими ракообразными (*Copepoda*). Доля ветвистоусых ракообразных, коловраток и непланктонных организмов в пищевом комке снетка Вислинского залива не превышала 10 %.

Окунь. В 1978 г. в желудках молоди окуня обнаружены *Copepoda* (44,5 %) и *Cladocera* (55,5 %), в 1985 г. – *Mysidae* (80 %) и *Chironomidae* (20 %) [12, 13].

В настоящее время в желудках молоди окуня найдены: *Copepoda* (7 – 4 %); *Cladocera* (32 – 26 %); *Chironomidae* (30 – 35 %), *Mysidacea* (3 %) и прочие виды (28 – 34 %).

Речной окунь в водоемах Карелии (оз. Вохтозеро и р. Суна) питается практически всеми водными объектами – мелкими планктонными формами, зообентосом, рыбами, а также некоторыми представителями наземных позвоночных [19]. Чаще всего в заводи р. Суны и Вохтозере из зоопланктона в его пищевом комке встречались кладоцеры (босмины, *Daphnia cristata*), вторыми по значимости были копеподы (р. *Cyclops*). Воздушные *Insecta* в питании окуня преобладали в заводи, редко на течении Суны и в озере. Растительные остатки играли незначительную роль в питании, доминировала рыба. В рационе окуня часто преобладали бычок-подкаменщик и карповые (плотва, укляя) [19].

Питание речного окуня в озерах Калининградской области имеет большое сходство с таковым в других водоемах. Наиболее разнообразно оно в мезотрофном оз. Островном. Спектр питания здесь включает 85 видов, а самый скудный – в эвтрофном высококормном оз. Камышовом (63 вида). Как и в других водоемах, окунь переходит на питание рыбой в более кормном озере и, наоборот, продолжа-

ет потреблять зоопланктон и бентос в менее продуктивных озерах (Островное и Мариново) вплоть до пяти – шестилетнего возраста. Полный переход на хищничество в этих водоемах наступает при достижении окунем длины 15 – 16 см [20].

Таким образом, в спектрах питания речного окуня в Вислинском заливе отмечены изменения. Снизилась доля хирономид и мизид, но возросло значение ветвистоусых ракообразных.

Судак. В 1978 г., по данным Н. Н. Янченко [12, 13], в желудках молоди судака Вислинского залива обнаружены *Copepoda* (20,1 %), *Chironomidae* (9,4 %), а также *Mysidacea* (70,5 %). В 1985 г. в её пищевом комке также присутствовали *Copepoda* (1,6 %), *Chironomidae* и *Mysidae* (по 49,2 %).

В настоящее время в желудках судака были обнаружены *Chironomidae* (10,37 %), прочие виды составили 90 %.

В пище молоди судака в низовьях Дона встречаются низшие ракообразные (*Cladocera* и *Copepoda*) и представители бентоса (личинки хирономид и единично моллюски), но основной объект её питания здесь – мизиды (до 31 %). По мере роста судака доля мизид в рационе снижается и происходит переход на питание рыбой (в основном бычком) [21].

Молодь судака Куршского залива, как и многих других водоемов, питается зоопланктонными (циклопы, дафнии, коловратки) и бентосными (личинки хирономид, мизиды) организмами. Объектами питания судака длиной 5 – 8 см являются снеток, ерш и окунь. Причем снеток – предпочтительный кормовой объект. В годы низкой численности снетка в Куршском заливе судак переключается на ерша и других малоценных рыб [22].

Отмеченные изменения в спектрах питания молоди судака в современный период связаны, по мнению авторов, с низкой численностью мизид в Вислинском заливе. Их место в рационе заняли яйца моллюсков и прочие объекты.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Молодь рыб в Вислинском заливе в период исследований была представлена четырьмя промысловыми видами: балтийской сельдью (*Clupea harengus membras*), снетком (*Osmerus eperlanus eperlanus m. spirinchus*), окунем (*Perca fluviatilis*) и судаком (*Stizostedion lucioperca*). Спектры питания молоди этих рыб Вислинского залива включали зоопланктонные, бентосные организмы, а также прочие объекты (икра рыб, янтарь, песчинки).

Основными объектами питания балтийской сельди, имевшей среднюю зоологическую длину $3,6 \pm 0,22$ см, являлись веслоногие ракообразные (*Copepoda*), бентосные организмы (*Chironomidae*, имаго *Insecta* sp., *Mysidacea*), а также прочие объекты (икра рыб, янтарь, песчинки).

Снеток Вислинского залива, как и многих других водоемов, питался преимущественно веслоногими ракообразными (*Copepoda*). Доля ветвистоусых ракообразных, коловраток и прочих организмов в его пищевом комке не превышала 10%.

Основным объектом питания речного окуня в Вислинском заливе при средней зоологической длине $2,6 \pm 0,21$ см являлись личинки *Chironomidae*. Меньшую долю в спектре питания окуня составляли ветвистоусые ракообразные (*Cladocera*), *Mysidacea* и прочие объекты.

Судак в Вислинском заливе при средней зоологической длине $3,1 \pm 0,32$ см питался преимущественно личинками *Chironomidae* и планктонными организмами. Доля прочих объектов в его рационах была незначительной.

Спектр питания молоди рыб в Вислинском заливе в 1970-1980 гг. был представлен веслоногими ракообразными, в современный период возросло значе-

ние ветвистоусых ракообразных и коловраток. Данное явление связано с появлением в планктоне чужеродных крупных хищных кладоцер *C. pengoi*, под воздействием которых произошло изменение базы молоди рыб в Вислинском заливе.

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

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Шибин, А. И. Обзор определений лагунных систем и подходов к классификации прибрежных водоемов / А. И. Шибин, Б. В. Чубаренко // Ученые записки Русского географического общества (Калининградское отделение). – Калининград, 2003. – Т. 2. – С. 1 - 12.
2. Лазаренко, Н. Н. Гидрометеорологический режим Вислинского залива / Н. Н. Лазаренко, А. Маевский. – Ленинград: Гидрометеоздат, 1971. – 279 с.
3. Беренбейм, Д. Я. Гидрометеорологическое описание Вислинского залива / Д. Я. Беренбейм // Экологические рыбохозяйственные исследования в Вислинском заливе Балтийского моря: сб. науч. тр. – Калининград: Атлант. НИИ рыб. хоз-ва и океанографии, 1992. – С. 5-14.
4. Оценка современного состояния разнообразия ихтиофауны основных водоёмов Калининградской области / М. М. Хлопников [и др.] // Промыслово-биологические исследования АтлантНИРО в Балтийском море в 1996–1997 годах: сб. науч. тр. – Калининград: Атлант. НИИ рыб. хоз-ва и океанографии, 1998. – С. 129–152.
5. Методическое пособие по изучению питания и пищевых отношений рыб в естественных условиях / Е. В. Боруцкий [и др.]. – Москва: Наука, 1974. – 254 с.
6. Кублицкас, А. К. Методика сбора и обработки материала по питанию рыб / А. К. Кублицкас // Типовые методики исследования продуктивности видов рыб в пределах их ареалов. – Вильнюс: Минтис, 1974. – С. 72–78.
7. Chechko, V. A. Spatial structure and evolution of bottom sediments in the Vistula Lagoon / V. A. Chechko // Transboundary waters and basins in the South-East Baltic. – Kaliningrad: Terra Baltica. 2008. – P. 244-249.
8. Правдин, И. Ф. Руководство по изучению рыб (преимущественно пресноводных) / И. Ф. Правдин. – Москва: Пищевая промышленность, 1966. – 376 с.
9. Коблицкая, А. Ф. Определитель молоди пресноводных рыб / А. Ф. Коблицкая. – Москва: Лёгкая и пищевая промышленность, 1981. – 208 с.
10. Крыжановский, С. Г. Экологические группы рыб и закономерности их развития / С. Г. Крыжановский // Известия ТИНРО. – 1948. – Т. 27. – С. 3–27.
11. Васнецов, В. В. Этапы развития костистых рыб / В. В. Васнецов // Очерки по общим вопросам ихтиологии. – Москва-Ленинград: Изд-во АН СССР, 1953. – С. 207–217.
12. Янченко, Н. Н. Суточные рационы молоди массовых видов рыб Вислинского залива Балтийского моря / Н. Н. Янченко // V Всесоюзная конференция по раннему онтогенезу рыб: тез. докл. (Астрахань, 13 окт. 1991). – Москва, 1991. – С. 112–113.
13. Янченко, Н. Н. Трофические отношения молоди рыб в Вислинском заливе / Н. Н. Янченко // Экологические рыбохозяйственные исследования в Вислинском заливе Балтийского моря: сб. науч. тр. – Калининград: Атлант. НИИ рыб. хоз-ва и океанографии, 1992. – С. 151–165.

14. Сушкина, А. П. Питание салаки Балтийского моря и Рижского залива / А. П. Сушкина. – Москва: Пищепромиздат, 1954. – Т. 26. – С. 118–136.
15. Науменко, Е. Н. Сезонная и многолетняя динамика численности популяции вселенца *Cercoragis pengoi* (ostroumov, 1891) в Вислинском (Калининградском) заливе Балтийского моря / Е. Н. Науменко // Российский журнал биологических инвазий. – 2018. – №1. – С. 68–77.
16. Попов, А. Н. Питание корюшки восточной части Финского залива / А. Н. Попов // Известия ГосНИОРХ. – 1978. – Т. 129. – С. 53–63.
17. Иванова, М. Н. Популяционная изменчивость пресноводных корюшек / М. Н. Иванова // Рыбинск: Изд-во Ин-та биологии внутренних вод АН СССР. – 1982. – 145 с.
18. Носкова, Е. Д. Питание личинок снетка в зависимости от степени развития зоопланктона в Куршском заливе / Е. Д. Носкова // Рыбохозяйственные исследования в Атлантическом океане (Биология, распределение, динамика численности промысловых объектов). – Калининград: Атлант. НИИ рыб. хоз-ва и океаногр., 1973. – С. 112–115.
19. Лесонен, М. А. Пищевые взаимоотношения обыкновенного сига (*COREGONUS LAVARETUS*) и речного окуня (*PERCA FLUVIATILIS*) в Малом Лесном озере / М. А. Лесонен, В. В. Горбач, Ю. А. Шустов // Принципы экологии. – 2017. – № 4. – С. 37–45.
20. Тылик, К. В. Питание и пищевые взаимоотношения рыб в малых озерах Калининградской области: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.10 / Тылик Константин Владимирович / ФГНУ «ГосНИОРХ». – Санкт-Петербург. – 1987. – Вып. 266. – С. 46–58.
21. Фесенко, Е. А. Питание молоди судака и леща в низовье Дона / Е. А. Фесенко // Труды ВНИРО. – Москва, 1955. – Т.3 1. – Вып. 2. – С. 265–276.
22. Самохвалова, Л. К. Особенности питания судака Куршского залива Балтийского моря в весенний период / Л. К. Самохвалова // Питание и пищевые отношения рыб и беспозвоночных Атлантического океана: сб. науч. тр.– Калининград: Атлант. НИИ рыб. хоз-ва и океанографии, 1982. – С. 67–74.

REFERENCES

1. Shibin A. I. Chubarenko B. V. Obzor opredeleniy lagunnykh sistem i podkhodov k klassifikatsii pribrezhnykh vodoemov [Overview of the definitions of lagoon systems and approaches to the classification of coastal reservoirs]. *Uchenye zapiski Russkogo geograficheskogo obshchestva (Kaliningradskoe otdelenie)* [Scientific notes of the Russian Geographical Society (Kaliningrad Branch)]. Kaliningrad, 2003. Vol. 2, pp. 1-12.
2. Lazarenko N. N. Maevskiy A. *Gidrometeorologicheskii rezhim Vislinskogo zaliva* [Hydrometeorological regime of the Vistula Lagoon]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1971, 279 p.
3. Berenbeym D. Ya. *Gidrometeorologicheskoe opisanie Vislinskogo zaliva* [Hydrometeorological description of the Vistula Lagoon]. *Ekologicheskie rybokhozyaystvennye issledovaniya v Vislinskom zalive Baltiyskogo morya: sbornik nauchnykh trudov Atlanticheskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta rybnogo khozyaystva i okeanografii* [Ecological fisheries research in the Vistula Lagoon of the Baltic Sea: collection of scientific papers of the Atlantic Research Institute of Fisheries and Oceanography]. Kaliningrad, 1992, pp. 5-14.

4. Khlopnikov M. M., Keyda M. E., Karaseva E. M., Tylik K. V., Shibaev S. V. *Otsenka sovremennogo sostoyaniya raznoobraziya ikhtiofauny osnovnykh vodoemov Kaliningradskoy oblasti* [Estimation of the current state of diversity in the ichthyofauna of the main reservoirs of the Kaliningrad Region]. *Promyslovo-biologicheskie issledovaniya AtlantNIRO v Baltiyskom more v 1996–1997: sbornik nauchnykh trudov Atlanticheskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta rybnogo khozyaystva i okeanografii* [Field-biological research of AtlantNIRO in the Baltic Sea in 1996-1997: collection of scientific papers of the Atlantic Research Institute of Fisheries and Oceanography]. Kaliningrad, 1998, pp. 129-152.

5. *Metodicheskoe posobie po izucheniyu pitaniya i pishchevykh otnosheniy ryb v estestvennykh usloviyakh* [Methodological manual on the study of nutrition and food relations of fish in natural conditions]. Moscow, Nauka, 1974, 254 p.

6. Kublitskas A. K. *Metodika sbora i obrabotki materiala po pitaniyu ryb* [Method of collecting and processing material on fish nutrition]. *Tipovye metodiki issledovaniya produktivnosti vidov ryb v predelakh ikh arealov* [Typical methods for studying productivity of fish species within their range]. Vil'nyus, Mintis, 1974, pp. 72-78.

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

8. Pravdin I. F. *Rukovodstvo po izucheniyu ryb (preimushchestvenno presnovodnykh)* [Guide to the study of fish (mainly freshwater)]. Moscow, Pishch. prom-t, 1966, 376 p.

9. Koblitskaya A. F. *Opredelitel' molodi presnovodnykh ryb* [Manual for the identification of young freshwater fish]. Moscow, Leg. i pishch. prom-st, 1981, 208 p.

10. Kryzhanovskiy S. G. *Ekologicheskie gruppy ryb i zakonomernosti ikh razvitiya* [Ecological groups of fish and patterns of their development]. *Izvestiya TIN-RO*, 1948, vol. 27, pp. 3-27.

11. Vasnetsov V. V. *Etapy razvitiya kostistyykh ryb* [Stages of development of bony fish]. *Ocherki po obshchim voprosam ihtiologii* [Essays on general issues of ichthyology]. Moscow-Leningrad, 1953, pp. 207-217.

12. Yanchenko H. H. *Sutochnye ratsiony molodi massovykh vidov ryb Vislinskogo zaliva Baltiyskogo morya* [Daily rations of juveniles of mass fish species of the Vistula Lagoon of the Baltic Sea]. *5-ya Vsesoyuznaya konferentsiya po rannemu ontogenezu ryb: tez. dokl. (Astrakhan', 1-3 okt 1991)* [Abstracts of V All-Union Conference on Early Ontogeny of Fishes (Astrakhan, October 13, 1991)]. Moscow, 1991, pp. 112-113.

13. Yanchenko H. H. *Troficheskie otnosheniya molodi ryb v Vislinskom zalive* [Trophic relations of young fish in the Vistula Lagoon]. *Ekologicheskie rybokhozyaystvennye issledovaniya v Vislinskom zalive Baltiyskogo morya: sbornik nauchnykh trudov Atlanticheskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta rybnogo khozyaystva i okeanografii* [Ecological fisheries research in the Vistula Lagoon of the Baltic Sea: collection of scientific works of the Atlantic Research Institute of Fisheries and Oceanography]. Kaliningrad, 1992, pp. 151-165.

14. Sushkina A. P. *Pitanie salaki Baltiyskogo morya i Rizhskogo zaliva* [Feeding of Baltic herring of the Baltic Sea and the Gulf of Riga]. Moscow, Izd-vo "Pishchepromizdat", 1954. Vol. 26, pp. 118-136.

15. Naumenko E. N. *Sezonnaya i mnogoletnyaya dinamika chislennosti populyatsii vselentsa Cercopagis pengoi (Ostroumov, 1891) v Vislinskom (Kaliningradskom) zalive Baltiyskogo morya* [Seasonal and long-term dynamics of the population of the invader *Cercopagis pengoi* (Ostroumov, 1891) in the Vistula (Kaliningrad) Lagoon of the Baltic Sea]. *Rossiyskiy zhurnal biologicheskikh invaziy*. 2018, no. 1, pp. 68-77.

16. Popov A. N. Pitanie koryushki vostochnoy chasti Finskogo zaliva [Feeding of smelt in the eastern part of the Gulf of Finland.]. *Izvestiya GosNIORH*, 1978, vol. 129, pp. 53-63.

17. Ivanova M. N. *Populyatsionnaya izmenchivost' presnovodnykh koryushek* [Population variability of freshwater smelt]. Rybinsk, institut Biologii vnutrennikh vod AN SSSR. 1982, 145 p.

18. Noskova E. D. *Pitanie lichinok snetka v zavisimosti ot stepeni razvitiya zooplanktona v Kurshskom zalive* [Feeding of the larvae of smelt, depending on the degree of development of zooplankton in the Curonian Lagoon]. *Rybokhozyaystvennyye issledovaniya v Atlanticheskom okeane (Biologiya, raspredelenie, dinamika chislennosti promyslovykh ob"ektov): Sbornik nauchnykh trudov Atlanticheskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta rybnogo khozyaystva i okeanografii* [Fisheries research in the Atlantic Ocean (Biology, distribution, dynamics of the number of commercial objects). Collection of scientific papers of the Atlantic Research Institute of Fisheries and Oceanography]. Kaliningrad, 1973, vol. 53, pp. 112-115.

19. Lesonen M. A., Gorbach V. V., Shustov Yu. A. Pishchevye vzaimootnosheniya obyknovennogo siga (*Coregonus lavaretus*) i rechnogo okunya (*Perca fluviatilis*) v Malom Lesnom ozere [Food relations of the common whitefish (*Coregonus lavaretus*) and river perch (*Perca fluviatilis*) in lake Maloe Lesnoe]. *Printsipy ekologii*, 2017, no. 4, pp. 37-45.

20. Tylik K. V. *Pitanie i pishchevye vzaimootnosheniya ryb v malykh ozerakh Kaliningradskoy oblasti. Avtoreferat diss. dokt. biol. nauk* [Nutrition and food relationships of fish in small lakes of the Kaliningrad region. Abstract of dis. dr. sci.] Saint-Petersburg, 1987, vol. 266, pp. 46-58.

21. Fesenko E. A. Pitanie molodi sudaka i leshcha v nizov'e Dona [Feeding of the young pike perch and bream in the lower reaches of the Don]. *Trudy VNIRO*, Moscow, 1955, vol. 31, no. 2, pp. 265-276.

22. Samokhvalova L. K. Osobennosti pitaniya sudaka Kurshskogo zaliva Baltiyskogo morya v vesennyy period [Feeding habits of pike-perch of the Curonian lagoon of the Baltic sea in spring period]. *Pitanie i pishchevye otnosheniya ryb i bespozvonochnykh Atlanticheskogo okeana: Sbornik nauchnykh trudov Atlanticheskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta rybnogo khozyaystva i okeanografii* [Nutrition and food relations of fish and invertebrates of the Atlantic Ocean. Collection of scientific papers of the Atlantic Research Institute of Fisheries and Oceanography]. Kaliningrad, 1982, pp. 67-74.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Науменко Елена Николаевна – Атлантический научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии; ведущий научный сотрудник лаборатории лиманов, доктор биологических наук;
E-mail: elenan.naumenko@gmail.com

Naumenko Elena Nikolaevna – Atlantic Research Institute of Fisheries and Oceanography; leading researcher at the laboratory of estuaries, Doctor of Biology;
E-mail: elenan.naumenko@gmail.com

Ушакова Александра Юрьевна – Атлантический научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии; инженер;
E-mail: alex.ushakowa@gmail.com

Ushakova Alexandra Yurievna – Atlantic Research Institute of Fisheries and Oceanography; engineer; E-mail: alex.ushakowa@gmail.com

УДК: 597-152.412(261.74+64)

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ГРУПП ИХТИОПЛАНКТОНА В СЕВЕРНОЙ И ЮЖНОЙ ЧАСТЯХ МАРОККО

Р. А. Пак, А. Г. Архипов, В. В. Лидванов

SPATIAL DISTRIBUTION OF DIFFERENT ENVIRONMENTAL GROUPS OF ICHTHYOPLANKTON IN NORTH AND SOUTH MOROCCO

R. A. Pak, A. G. Arkhipov, V. V. Lidvanov

Воды, прилегающие к Марокко, в поверхностном слое (до 150-200 м) формируются в основном субтропической (средиземноморской) водной массой. В исследуемом регионе происходит интенсивный нерест и нагул молоди стайных неритических и мезопелагических рыб. В водах Марокко обитают в основном представители тропической и субтропической ихтиофауны. Здесь выделяется от 800 до 1000 видов рыб. В верхнем 100-метровом слое над шельфом отмечается более 100 видов пелагических икринок и личинок. С использованием многомерных методов анализа данных по численности различных экологических групп ихтиопланктона рассмотрены материалы по распределению икринок и личинок рыб в слое воды 0-100 м (0-дно), полученные в августе-сентябре 2014 и в октябре-ноябре 2015 гг. в ходе комплексных съемок в северной и южной частях Марокко. Для анализа распределения различных экологических групп ихтиопланктона желательно использовать данные по икринкам, так как выноса икры в процессе онтогенеза за пределы синоптических вихревых образований, как правило, не происходит ввиду короткого эмбрионального периода у рыб. Дрейфовые миграции более характерны для личиночной и мальковой фаз развития, но и для них наблюдаются определенные закономерности в распределении. Можно также рассматривать распределение икринок и личинок совместно. В северной и южной частях Марокко часто выделяются две самостоятельные экологические группы: мезопелагическая (удаленная от побережья) – сем. Mucrophidae, Gonostomatidae; неритическая (прибрежная) – сем. Clupeidae, Sparidae. Описанная методика анализа материала дает возможность получить наглядные результаты по распределению ихтиопланктона, позволяющие объективно оценить сходство видовой структуры массовых групп рыб на ранних стадиях их развития.

северная и южная части Марокко, икринки, личинки, ихтиопланктон, многомерные методы анализа, экологические группы

The waters adjacent to Morocco in the surface layer (up to 150-200 m) are formed mainly by subtropical (mediterranean) water mass. There is intensive spawning and feeding of juveniles of schooling neritic and mesopelagic fishes in the investigated area. Predominantly, representatives of the tropical and subtropical ichthyofauna live in the waters of Morocco. There are from 800 to 1000 fish species. In the upper 100-meter layer above the shelf there are more than 100 species of pelagic eggs and larvae. Using

multidimensional methods for analyzing data on the number of different ecological groups of ichthyoplankton, materials on the distribution of eggs and larvae of fish in the 0-100 m layer (0-bottom), obtained in August-September 2014 and in October-November 2015, were considered in the course of complex surveys in the northern and southern parts of Morocco. To analyze the distribution of various ecological groups of ichthyoplankton, it is advisable to use data on eggs, because the removal of caviar during ontogeny beyond the limits of synoptic vortex formations, as a rule, does not occur due to the short embryonic period of fish. Drift migration is more typical for larval and fry stages of development, but for them certain regularities in distribution are observed. You can also consider the distribution of eggs and larvae together. In the northern and southern parts of Morocco, two separate ecological groups are often distinguished: mesopelagic (remote from the coast) – Myctophidae, Gonostomatidae; neritic (coastal) - Clupeidae, Sparidae. The described technique of material analysis makes it possible to obtain visual results on the distribution of ichthyoplankton, that allow an objective assessment of the similarity of the species structure of the mass groups of fish in the early stages of their development.

North and South Morocco, eggs, larvae, ichthyoplankton, multidimensional methods for analysis, ecological groups

ВВЕДЕНИЕ

Прибрежные воды Марокко находятся под воздействием Канарского течения, которое следует вдоль берегов северо-западной Африки и у Канарских островов в юго-западном направлении. Возле мысов образуются круговороты, имеющие квазистационарный характер. Устойчивый северо-восточный пассат способствует возникновению апвеллинга, выносящего холодные глубинные воды на поверхность. На шельфе апвеллинг существует практически в течение всего года. Места наибольших скоплений ихтиопланктона у берегов северо-западного побережья Африки носят квазистационарный характер и привязаны к динамическим процессам, происходящим в этом районе. В водах Марокко (северная часть Центрально-Восточной Атлантики) обитают в основном представители тропической и субтропической ихтиофауны. Разными авторами здесь выделяется от 800 до 1000 видов рыб. В верхнем 100-метровом слое над шельфом отмечается более 100 видов пелагических икринок и личинок [1-6].

Акватория северной части Марокко (28-32° с. ш.) расположена в тропической климатической зоне Центрально-Восточной Атлантики (ЦВА). Состав ихтиопланктона в этой части Марокко отражает фаунистическую принадлежность района. Чаще всего здесь отмечались икринки и личинки рыб субтропической фауны, типичными представителями которой являются ранние стадии развития европейской сардины – *Sardina pilchardus* (сем. Clupeidae). Пик нереста сардины приходится на холодный сезон. Массовый представитель тропической фауны – круглая сардинелла (*Sardinella aurita* – сем. Clupeidae), ее икринки и личинки в основном встречались в пробах в теплые сезоны и были не столь многочисленны. Ранние стадии развития разных видов морских карасей (сем. Sparidae), миктофид (сем. Myctophidae) и гоностоматид (сем. Gonostomatidae) встречались в пробах практически круглый год, так как нерест у них растянут во времени [1, 2-7].

Шельф южной части Марокко, по сравнению с северной, более широкий, что способствует увеличению численности промысловых неритических рыб в этом районе на всех стадиях онтогенеза. Побережье южной части Марокко (21-28° с. ш.) также находится в тропической климатической зоне ЦВА. Состав ихтиопланктона в водах южной части Марокко несколько отличается от такового северной части. В теплые сезоны чаще всего здесь отмечаются икринки и личинки рыб тропической фауны, характерный представитель которой – круглая сардинелла (*S. aurita*). В холодные сезоны массово встречались ранние стадии развития представителя субтропической фауны – европейской сардины (*S. pilchardus*). Икринки и личинки морских карасей (сем. Sparidae), миктофид (сем. Mucrotophidae) и гоностоматид (сем. Gonostomatidae) отмечались в ихтиопланктоне круглогодично. Следует отметить, что в южной части Марокко происходит смешение субтропической и тропической ихтиофаун [1, 4-5].

Воды, прилегающие к Марокко, в поверхностном слое (до 150-200 м) формируются в основном субтропической (средиземноморской) водной массой. В исследуемом регионе происходит массовый нерест и нагул молоди стайных неритических и мезопелагических рыб [2-5].

Цель представленной работы – используя многомерные методы анализа данных по численности различных экологических групп ихтиопланктона, получить наглядные результаты, позволяющие объективно оценить особенности распределения семейств массовых рыб северной и южной частей Марокко в раннем онтогенезе.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Сбор материалов вели с помощью планктоносборщиков «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 уз [7]. Планктонные станции на акваториях съемок располагались над глубинами от 20 до 1000 м. Дальнейшая обработка материалов велась в лабораторных условиях под бинокулярными микроскопами МБС-10 (увеличение 8 x 2, 8 x 4). В ходе камеральной обработки определялись качественный и количественный составы икринок и личинок рыб. Нами рассмотрены материалы по распределению ихтиопланктона в слое воды 0-100 м (0-дно), полученные в августе-сентябре 2014 и в октябре-ноябре 2015 гг. в ходе комплексных съемок в северной и южной частях Марокко.

Для последующего анализа полученных материалов был выбран неметрический метод Краскала, имеющий среди многих методов многомерного анализа и шкалирования наибольшую популярность. Он рекомендован в экологических исследованиях и интегрирован в пакете программ PRIMER[®] 6 [8-10]. С использованием многомерных методов анализа данных численности различных экологических групп ихтиопланктона (кластерного анализа и многомерного шкалирования – MDS-анализ) можно получить наглядные результаты, позволяющие объективно оценить сходство видовой структуры основных комплексов, формирующихся в разные периоды исследований, типизировать структурные состояния и на этой основе оценить их сезонные и межгодовые изменения. Процедура многомерного шкалирования позволяет изобразить совокупность исследуемых объектов в виде набора точек в пространстве и вполне адекватно отражает исходное взаимоотношение между ними. В результате объекты, которым в рассматриваемой матрице

соответствуют меньшие меры сходств, должны находиться дальше друг от друга, а объекты, которым соответствуют большие меры сходств, – ближе. Такое их расположение в геометрическом пространстве дает возможность наглядного представления данных, удобного для визуального анализа, выявления определенных признаков и свойств объектов [8, 10].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Динамика вод в неритической зоне Канарского апвеллинга имеет большое значение для расположения нерестовых скоплений, переноса икринок и личинок и местонахождения молоди стайных пелагических рыб. «Пятнистость» распределения выметанной рыбами икры и развивающихся личинок обуславливается наличием синоптических вихрей разного знака в зоне Канарского апвеллинга. Эти пятна часто наблюдаются на периферии вихревых образований. Однако выноса икринок за пределы синоптических вихревых образований, как правило, не происходит ввиду их короткого эмбрионального периода развития (1,5-2 сут) при существующей в районе температуре воды. Дрейфовые миграции более характерны для личиночного и малькового периодов развития рыб [1, 4-5, 10-11].

Нами были проанализированы данные по распределению массовых видов ихтиопланктона, сгруппированных по семействам. Результаты анализа распределения икринок и личинок в августе-сентябре 2014 г. в южной части Марокко приведены на рис. 1 и 2.

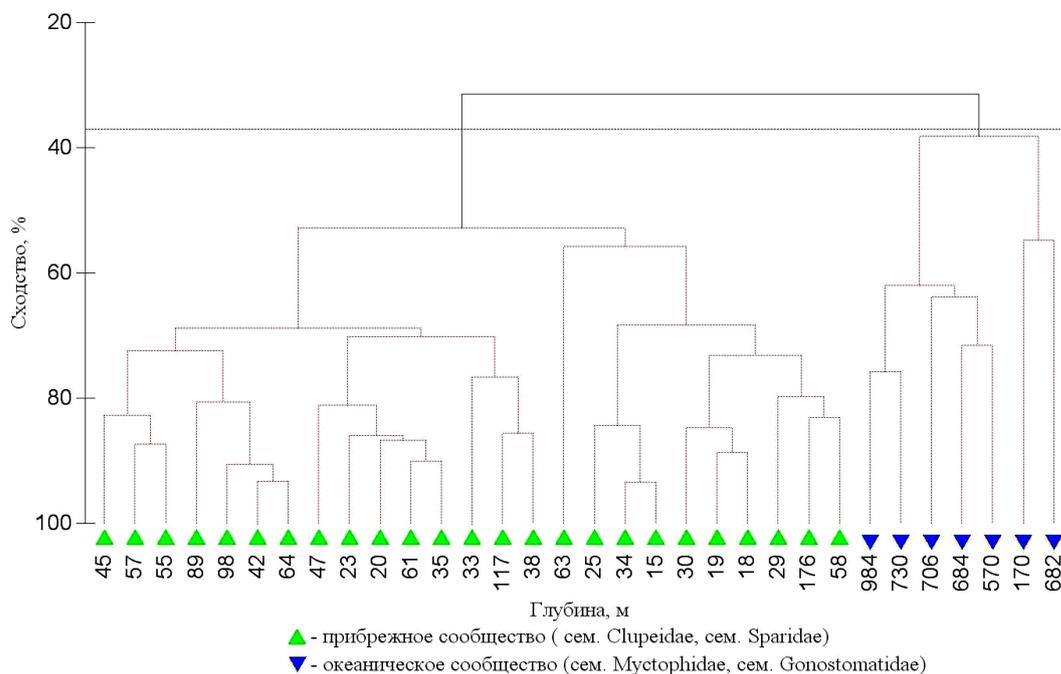


Рис. 1. Дендрограмма кластерного анализа данных распределения ихтиопланктона в августе-сентябре 2014 г.

Fig. 1. Dendrogram of cluster analysis of the data on ichthyoplankton distribution in August-September 2014

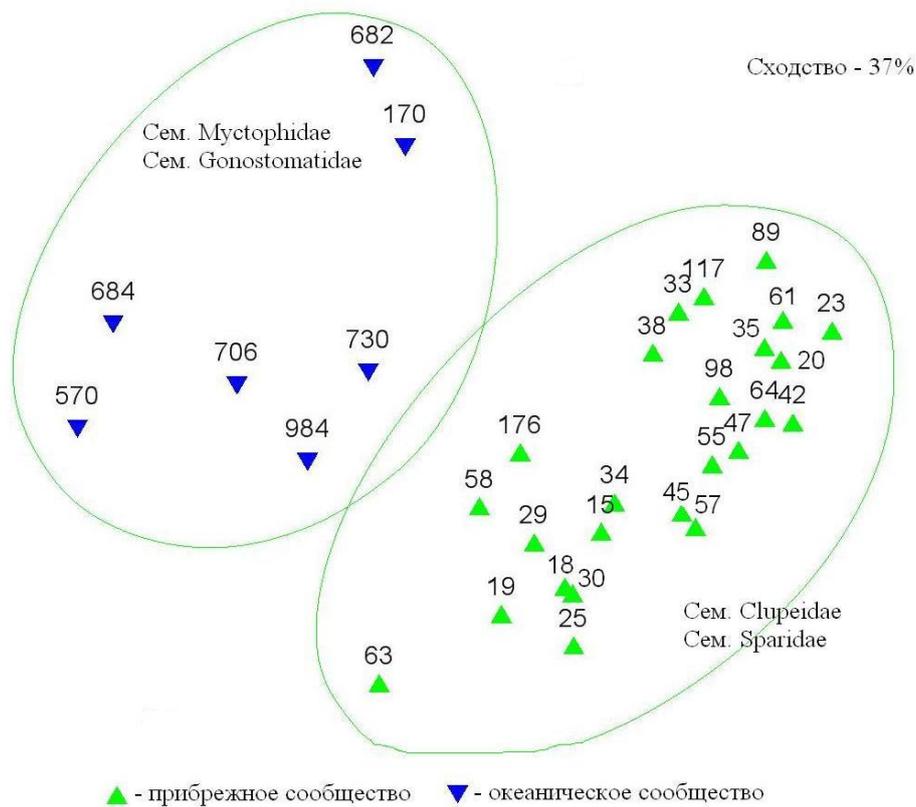


Рис. 2. Диаграмма MDS-анализа распределения ихтиопланктона в августе-сентябре 2014 г. (цифрами обозначена глубина в районе станции)
 Fig. 2. Diagram of MDS-analysis of the data on ichthyoplankton distribution in August-September 2014 (the numbers indicate the depth around the station)

В конце лета нерест тропических видов рыб в южной части Марокко идет на спад, в ихтиопланктоне преобладают икринки и личинки круглой сардинеллы. Нерест разных видов миктофид, гоностоматид и спаровых продолжается. На приведенных рисунках видно, что икринки и личинки сельдевых и спаровых в южной части Марокко в августе-сентябре 2014 г. распределялись на шельфе над глубинами до 100 м. Икринки и личинки светящихся анчоусов (миктофид) и гоностоматид отмечались за пределами континентального шельфа над свалом глубин (глубже 500 м). Индекс сходства в экологических группах составил около 40 % (рис. 2).

Данные по анализу распределения разных экологических групп икринок и личинок в октябре-ноябре 2015 г. в северной части Марокко представлены на рис. 3 и 4.

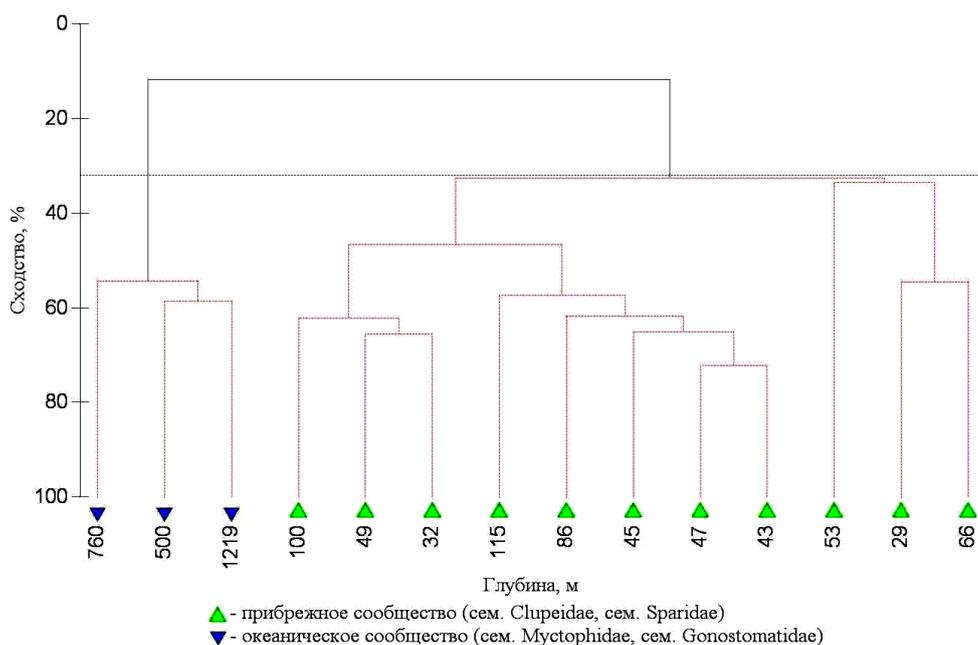


Рис. 3. Дендрограмма кластерного анализа распределения ихтиопланктона в октябре-ноябре 2015 г.
 Fig. 3. Dendrogram of cluster analysis on the data on ichthyoplankton distribution in October-November 2015

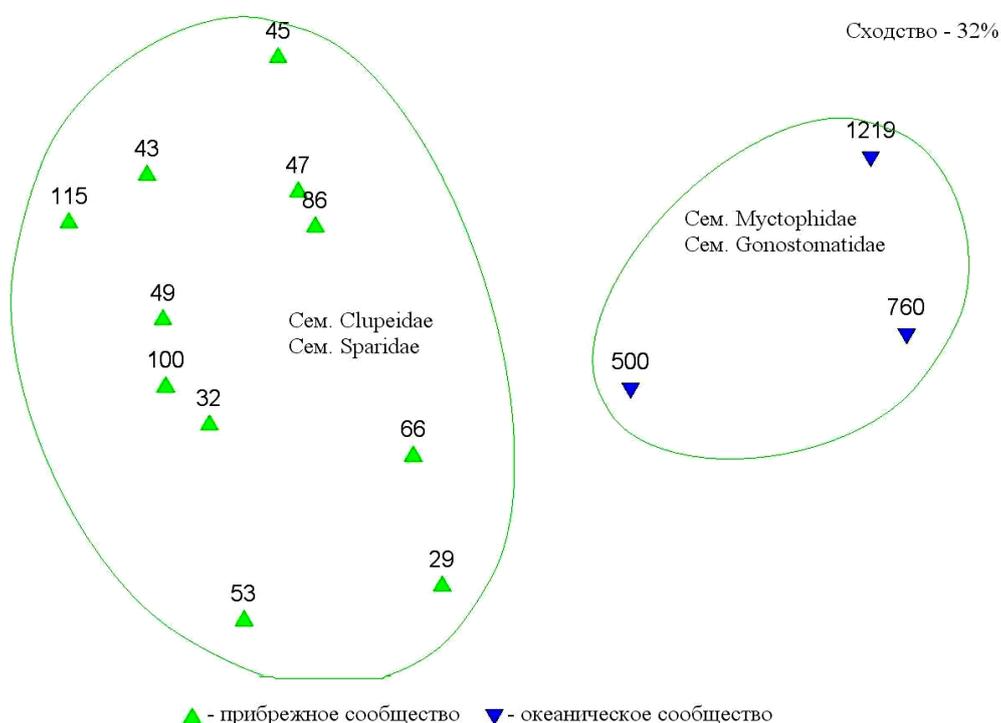


Рис. 4. Диаграмма MDS-анализа распределения ихтиопланктона в октябре-ноябре 2015 г. (цифрами обозначена глубина в районе станции)
 Fig. 4. Diagram of MDS-analysis of the data on ichthyoplankton distribution in October-November 2015 (the numbers indicate the depth around the station)

Осенью в северной части Марокко практически заканчивается нерест у тропических видов рыб и начинается у субтропических (в ихтиопланктоне преобладают ранние стадии развития европейской сардины). Продолжается нерест разных видов спаровых, миктофид и гоностоматид. Можно отметить, что икринки и личинки сельдевых и спаровых распределялись на шельфе, как правило, над глубинами до 100 м. Икринки и личинки миктофид и гоностоматид встречались в небольшом количестве за пределами континентального шельфа над свалом глубин (глубже 500 м). Индекс сходства в экологических группах ихтиопланктона составил немногим более 30 % (рис. 4).

Как видно из приведенных рисунков, икринки и личинки представителей сем. *Mystophidae* и *Gonostomatidae* в основном встречались в океанической части съемки на глубоководных станциях, ранние стадии развития сем. *Clupeidae* и *Sparidae* – в прибрежной части. Подтверждено представление о том, что мезопелагические виды рыб (миктофовые, гоностомовые) нерестятся на удалении от берегов, неретические (сельдевые и спаровые) – ближе к побережью.

Результаты многомерного анализа наглядно показали, что в районах исследований, как правило, можно выделить две самостоятельные экологические группы: мезопелагическую (удаленную от побережья) – сем. *Mystophidae*, *Gonostomatidae*; неритическую (прибрежную) – сем. *Clupeidae*, *Sparidae*.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для анализа распределения различных экологических групп ихтиопланктона желательно использовать данные по икринкам, так как выноса икры в процессе онтогенеза за пределы синоптических вихревых образований, как правило, не происходит ввиду короткого эмбрионального периода. Дрейфовые миграции более характерны для личиночной и мальковой фаз развития рыб, но и для этих фаз наблюдаются определенные закономерности в распределении. Либо можно рассматривать распределение икринок и личинок совместно.

Как показали наши исследования, в северной и южной частях Марокко часто выделяются две самостоятельные экологические группы: мезопелагическая (удаленная от побережья) – сем. *Mystophidae*, *Gonostomatidae*; неритическая (прибрежная) – сем. *Clupeidae*, *Sparidae*.

Описанная методика анализа материала дает возможность получить наглядные результаты по распределению икринок и личинок, позволяющие объективно оценить сходство видовой структуры массовых групп рыб на ранних стадиях их развития, комплексно описать ихтиопланктонное сообщество пелагиали северной и южной частей Марокканского побережья. Таким образом, предложенная методика характеризует не только состав и структуру ихтиофауны, но и выявляет особенности распределения разных экологических групп массовых видов рыб в раннем онтогенезе.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Калинина, Э. М. Ихтиопланктон района Канарского течения / Э. М. Калинина. – Киев: Наукова думка, 1981. – 116 с.

2. Доманевский, Л. Н. Рыбы и рыболовство в неритической зоне Центрально-Восточной Атлантики / Л. Н. Доманевский. – Калининград: АтлантНИРО, 1998. – 195 с.
3. Берников, Р. Г. Центрально-Восточная Атлантика / Р. Г. Берников [и др.] // Промыслово-океанологические исследования в Атлантическом океане и южной части Тихого океана (под ред. В. Н. Яковлева). – Калининград: АтлантНИРО, 2002. – Т. 1. – С. 146-195.
4. Архипов, А. Г. Динамика численности и особенности распределения ихтиопланктонных сообществ северной части Центрально-Восточной Атлантики и морей Средиземноморского бассейна / А. Г. Архипов. – Калининград: Изд-во АтлантНИРО, 2006. – 232 с.
5. 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.
6. 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.
7. Методические указания по сбору проб зоо- и ихтиопланктона планктонсборщиком «Бонго» и их обработке / Калининград: АтлантНИРО, 1983. – 36 с.
8. Лидванов, В. В. Мезозоопланктон в районе Канарского апвеллинга: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.02.10 / Лидванов Вячеслав Владиславович. – Санкт-Петербург, 2014. – 26 с.
9. Clarke, K. R. Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation (2nd edition) / K. R. Clarke, R. M. Warwick. – Plymouth: Plymouth Marine Laboratory, 2001. – 175 p.
10. Архипов, А. Г. Особенности пространственного распределения разных таксономических групп ихтиопланктона южной части Марокко / А. Г. Архипов, В. В. Лидванов, Р. А. Пак // Актуальные проблемы планктонологии: II Междунар. конф. (14-18 сент.): тез. докл. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2015. – С. 34-35.
11. Архипов, А. Г. Межгодовые и сезонные изменения численности и распределения ихтиопланктона у атлантического побережья Африки от мыса Спартель до мыса Кап-Блан / А. Г. Архипов, В. А. Седлецкая // Гидробиологические исследования в бассейне Атлантического океана: сб. науч. тр. – Калининград: Тр. АтлантНИРО, 2000. – Т. 2. Морская гидробиология. – С. 48-65.

REFERENCES

1. Kalinina E. M. *Ichthyoplankton rayona Kanarskogo techeniya* [Ichthyoplankton of the region of the Canary current]. Kiev, Naukova dumka, 1981, 116 p.
2. Domanevskiy L. N. *Ryby i rybolovstvo v neriticheskoy zone Tsentral'no-Vostochnoy Atlantiki* [Fishes and fishery in the neritic zone of Central East Atlantic]. Kaliningrad, AtlantNIRO, 1998, 195 p.
3. Bernikov R. G., Domanevskii L. N., Kuderskii S. K., Yakovlev V. N. *Tsentral'no-Vostochnaya Atlantika* [Central East Atlantic]. *Promyslovo-okeanologicheskie issledovaniya v Atlanticheskom okeane i yuzhnoi chasti Tikhogo okeana (pod red.*

V. N. Yakovleva) [Trade and oceanologic researches in the Atlantic Ocean and the southern part of the Pacific Ocean (under the editorship of V. N. Yakovlev)]. 2002, vol. 1, pp. 146-195.

4. Arkhipov A.G. *Dinamika chislennosti i osobennosti raspredeleniya ichthyoplanktonnykh soobshchestv severnoi chasti Tsentral'no-Vostochnoi Atlantiki i morei Sredizemnomorskogo basseina* [Abundance dynamics and distributional features of ichthyoplankton communities from the northern Eastern Central Atlantic and Mediterranean Basin Seas]. Kaliningrad, AtlantNIRO, 2006, 232 p.

5. Arkhipov A. G. *Dinamika chislennosti ikrinok i lichinok massovykh vidov ryb severnoi chasti Tsentral'no-Vostochnoi Atlantiki* [Population dynamics of eggs and larvae of mass species of fish in the northern part of Central East Atlantic]. *Voprosy ikhtiologii*, 2015, vol. 55, no. 2, pp. 173-179.

6. 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.

7. *Metodicheskie ukazaniya po sboru prob zoo- i ichthyoplanktona planktonosborshnikom «Bongo» i ih obrabotke* [Study guide on sampling of zoo- and an ichthyoplankton using "Bongo" plankton sampler and their processing]. Kaliningrad, AtlantNIRO, 1983, 36 p

8. Lidvanov V. V. *Mezozooplankton v rayone Kanarskogo apvellinga. Avtoreferat diss. kand. biol. nauk* [Mesozooplankton around the Canary upwelling. Abstract of dis. senior sci.]. Saint-Petersburg, 2014, 26 p.

9. Clarke K. R., Warwick R. M. *Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation* (2nd edition). Plymouth: Plymouth Marine Laboratory, 2001, 175 p.

10. Arkhipov A. G., Lidvanov V. V., Pak R. A. *Osobennosti prostranstvennogo raspredeleniya raznykh tamicheskikh grupp ichthyoplanktona v yuzhnoi chasti Marocco* [Features of a spatial distribution of different taxonomical groups of ichthyoplankton of the southern part of Morocco]. *Tezisy dokladov II Mezhdunarodnoy konferencii «Aktual'nye problemy planktologii»* [Abstracts of the II International conference "Current Problems of Planktology"]. Kaliningrad, 2015, pp. 34-35.

11. Arkhipov A. G., Sedlezkaya V. A. *Mezhgodovye i sezonnye izmeneniya chislennosti i raspredeleniya ichthyoplanktona u atlanticheskogo poberezhya Afriki ot mysa Spartel' do mysa Kap-Blan* [Interannual and seasonal changes of number and distribution of ichthyoplankton at the Atlantic coast of Africa from the cape Spartel to the cape Cap Blan]. *Gidrobiologicheskie issledovaniya v basseyne Atlanticheskogo okeana*, 2000, vol. 2, pp. 48-65.

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; Graduate Student of the Department of Ichthyology and Ecology; E-mail: pak.regina@bk.ru

Архипов Александр Геральдович – Атлантический научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (г. Калининград); доктор биологических наук; заместитель директора; E-mail: arkhipov@atlantniro.ru

Arkhipov Aleksandr Geral'dovich – Atlantic Research Institute of Marine Fisheries and Oceanography (Kaliningrad); Doctor of Biological Sciences, Deputy Director; E-mail: arkhipov@atlantniro.ru

Лидванов Вячеслав Владиславович – Атлантический научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (г. Калининград); кандидат биологических наук; старший научный сотрудник лаборатории гидробиологии; E-mail: slavalidvanov@mail.ru

Lidvanov Viacheslav Vladislavovich – Atlantic Research Institute of Marine Fisheries and Oceanography (Kaliningrad); PhD in Biological Sciences; Senior Research Officer of the Laboratory of Hydrobiology; E-mail: slavalidvanov@mail.ru

УДК 591.553.5

ФОРМИРОВАНИЕ ОДОНАТОФАУНЫ В ОДНОМ
ИЗ ПРУДОВ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

О. А. Тумилович

FORMATION OF ODONATOFAUNA IN A POND OF THE KALININGRAD
REGION

O. A. Tumilovich

Стрекозы — амфибиотические насекомые, существование которых тесно связано с водоемами, пригодными для их размножения. Вновь создаваемые искусственные пруды служат местообитаниями для гидробионтных и амфибиотических организмов, позволяя исследовать динамику их освоения. К числу животных, на видовое многообразие и численность которых появление новых водоемов оказывает большое влияние, относятся и стрекозы. Процесс заселения ими пруда можно рассматривать как в фаунистическом, так и в экологическом аспектах. При таком подходе обнаруживается, что становление фауны стрекоз пруда проходит три этапа. Первый этап — пионерный, второй — стабилизации, третий — редукции фауны. По частоте встречаемости (ЧВ) в первые два года доминируют *Enallagma cyathigerum*, *Erythromma najans* и *Lestes virens*. На третий год их ЧВ снижается с одновременным появлением в водоёме личинок стрекоз рода *Libellula*. Кроме того, растёт частота встречаемости стрекоз рода *Aeshna*. Через восемь лет мы вновь обнаружили резкое увеличение ЧВ личинок стрекоз *E. cyathigerum*, *L. quadrimaculata*, *Ae. cyanea* и *Ae. grandis* на фоне сильно изменившегося в сторону упрощения состава фитоценоза и увеличения покрытия водоема водной растительностью.

стрекозы, личинки стрекоз, динамика заселения водоема, частота встречаемости, водная растительность

Dragonflies are amphibiotic insects. Their existence is closely connected with waterbodies suitable for their reproduction. Newly created artificial ponds serve as new habitats for hydrobiontic and amphibiotic organisms that allow exploring their development dynamics. Dragonflies belong to those insects, which species diversity and abundance strongly depend on the appearance of new waterbodies. Dynamics of dragonflies' colonization in ponds can be considered in both faunistic and ecological aspects. In this way it becomes apparent that formation of the dragonfly fauna of this pond goes through three stages. The first stage is a pioneer. The second stage is stabilization. The third stage is the reduction of the fauna. By the frequency of occurrence within first two years the following three species dominate: *Enallagma cyathigerum*, *Erythromma najans* and *Lestes virens*. Within the third year, the occurrence of *Enallagma cyathigerum* and *Lestes virens* declines with simultaneous appearance in waterbodies of *Libellula* dragonfly larvae. In addition, the frequency of occurrence of *Aeshna* dragonflies was increasing. Eight years later, we again found a sharp increase in the occurrence of dragonfly larvae *E. cyathigerum*, *L. quadrimaculata*, *Ae. cyanea* and *Ae. grandis* against the background of the phytocenosis that was greatly changed in the direction of simplifying the composition and an increase in aquatic vegetation coverage.

dragonflies, dragonfly larvae, dynamics of settling the reservoir, frequency of occurrence, aquatic vegetation

ВВЕДЕНИЕ

Стрекозы — амфибиотические насекомые. Их существование тесно связано с водоемами, пригодными для их размножения. Эта способность сыграла ключевую роль в колонизации стрекозами антропогенных водоёмов [1].

Калининградская область относится к северо-западному озерному району России. В области насчитывается 150 озёр и прудов общей площадью 61 кв. км и более 200 мелких водоемов. Многие из них на протяжении длительного времени подвергаются антропогенной трансформации [2]. Вновь создаваемые искусственные пруды на первых этапах своего существования лишены этого пагубного воздействия. Они служат новыми местообитаниями для гидробионтных и амфибиотических организмов, позволяя исследовать динамику их освоения. К числу животных, на видовое многообразие и численность которых появление новых водоемов оказывает большое влияние, относятся и стрекозы.

В данной работе описаны результаты трехлетних наблюдений за формированием одонатофауны подобного вновь созданного пруда.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Материал собран в пруду, расположенном в центре пос. Верхний Бисер Славского района Калининградской области. Наблюдения велись с марта по ноябрь 2005-2007 гг. В течение этого времени совершено 65 экскурсий. Было поймано 764 личинки. После большого перерыва предпринято еще 17 экскурсий на этот водоем в 2015 г. (с марта по апрель, а также с июня по август). Одновременно проводилась оценка состояния и изменений водной растительности водоема: ее видового состава и покрытия по стандартным методикам [3]. Для определения степени покрытия водной растительностью мы брали квадрат 5х5 м возле берега. При оценке пруда как экосистемы учитывались следующие показатели:

- 1) состояние дна водоема. Для характеристики субстрата определяли визуально соотношение ила и песка в пробах грунта с точностью примерно до 10%;
- 2) степень развития водной и околотоводной растительности;
- 3) видовой состав стрекоз.

Фиксацию, хранение и этикетирование проводили по общепринятым методам [4, 5]. Личинок идентифицировали по определителям [4, 5].

Для качественной оценки относительной численности и особенностей распространения стрекоз в водных объектах области находили:

- 1) частоту встречаемости вида

$$V = \frac{M}{n} \cdot 100\%,$$

где M – число случаев нахождения данного вида; N – общее число экскурсий за данный год;

- 2) долю данного вида в общем количестве пойманных стрекоз

$$S = \frac{L}{N_{\text{tot}}} \cdot 100\%,$$

где L - количество экземпляров данного вида, отловленных за все время сборов; N_{tot} - общее количество особей всех видов, собранных за тот же период.

Среднее количество видов стрекоз в одном лове определяли, суммируя проценты частоты встречаемости и деля полученную сумму на 100. Среднее ко-

личество особей в одном лове получали при делении общего числа пойманных личинок в течение данного года на количество ловов.

РЕЗУЛЬТАТЫ

По сообщению местных жителей, пруд был вырыт летом 2004 г. Размеры изучаемого водоема составляют примерно 50х30 м. Результаты наших наблюдений сведены в табл. 1 и 2.

В первый год исследований проективное покрытие пруда растениями составило 30%. В водоеме росли камыш озёрный (10%), ситник скученный (11%), незабудка болотная (9%). Дно пруда было песчаным, с небольшим содержанием органики в виде ила. Из стрекоз здесь встречались: *Lestes virens*, *Enallagma cyathigerum*, *Erythromma najans*.

На следующий год проективное покрытие пруда достигло 40%, из них камыш озерный и ситник скученный составили по 15%, а незабудка болотная — 10%. Количество ила в грунте возросло примерно до 40%. Это уже илистый песок. К встреченным ранее видам добавились: *Libellula quadrimaculata*, *Lib. depressa*, *Lib. fulva*, *Aeshna cyanea*, *Ae. grandis*, *Lestes sponsa*.

На третий год наблюдений дно водоема можно считать илисто-песчаным (70% ила в грунте). Суммарное проективное покрытие пруда составило 69%, т. е. вся прибрежно-водная часть его была занята растительностью. К уже существующим видам присоединились частуха подорожниковая (7%) и стрелолист обыкновенный (2%). Камыш озёрный занял 30% площади, ситник скученный — 20, незабудка болотная — 10% проективного покрытия. Видовой состав стрекоз в водоеме остался прежним (табл. 1).

Таблица 1. Этапы формирования водоёма
Table 1. Stages of reservoir formation

Характеристика изменений водоема	Год			
	2005	2006	2007	2015
Состав дна	Песчаное, содержание ила примерно 20%	Песчаное, содержание ила примерно 40%	Илисто-песчаное, содержание песка 20%	Илистое, песка почти нет
Проективное покрытие	30%	50%	70%	70%
Видовой состав стрекоз	<i>Lestes virens</i> <i>Enallagma cyathigerum</i> <i>Erythromma najans</i>	<i>Lestes virens</i> <i>Enallagma cyathigerum</i> <i>Erythromma najans</i> <i>Libellula quadrimaculata</i> <i>Lib. depressa</i> <i>Lib. fulva</i> <i>Aeshna cyanea</i> <i>Ae. grandis</i> <i>L. sponsa</i>	<i>Lestes virens</i> <i>Enallagma cyathigerum</i> <i>Erythromma najans</i> <i>Libellula quadrimaculata</i> <i>Lib. depressa</i> <i>Lib. fulva</i> <i>Aeshna cyanea</i> <i>Ae. grandis</i> <i>L. sponsa</i>	<i>Enallagma cyathigerum</i> <i>Erythromma najans</i> <i>Libellula quadrimaculata</i> <i>Aeshna cyanea</i> <i>Ae. grandis</i>

Через восемь лет (в 2015 г.) уровень воды в пруду очень сильно снизился, видовое многообразие растительности сократилось, исчезла частуха подорожниковая, стрелолист, незабудка болотная. Камыш озёрный составил 40, а ситник скученный – 30%. Проективное покрытие пруда – 70%. Были встречены следующие виды стрекоз: *Libellula quadrimaculata*, *Aeshna cyanea*, *Ae grandis*, *Enallagma cyathigerum*, *Erythromma najans* (рисунок).

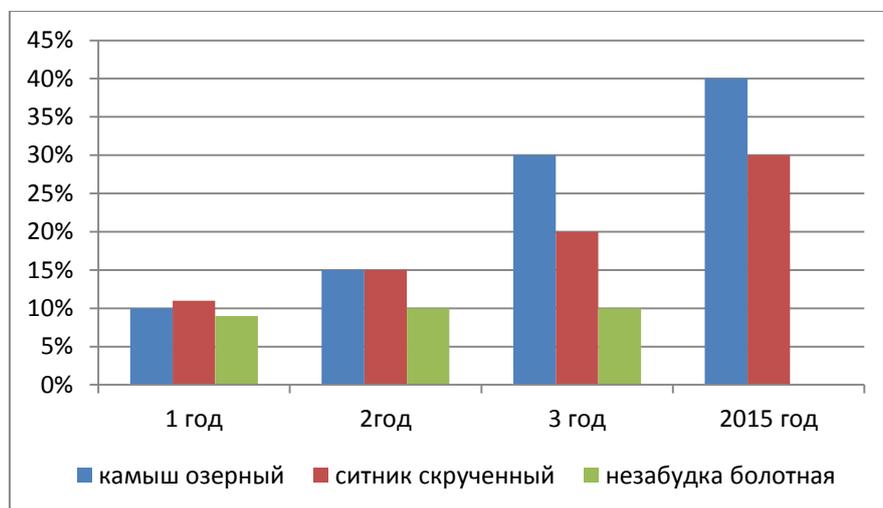


Рис. Динамика развития водной растительности в пруду пос. Верхний Бисер Славского района Калининградской области

Fig. Dynamics of the development of aquatic vegetation in the pond in the village of Verkhniy Biser of the Slavskiy district of the Kaliningrad region

В первый и второй годы наблюдений исследуемый пруд можно отнести к активно зарастающим водоемам, так как примерно $\frac{1}{4}$ часть его занята растительностью. Такая стабильность может свидетельствовать о том, что экосистема находится в состоянии климакса, т. е. замедленной сукцессии. На последнем этапе наблюдений видовое многообразие растительности снижается, что говорит о старении водоема.

Таблица 2. Этапы заселения стрекозами пруда пос. Верхний Бисер

Table 2. Stages of colonization of dragonflies in the pond in the village of Verkhniy Biser

Виды	Частота встречаемости, % / Доля данного вида, %			
	2005	2006	2007	2015
1	2	3	4	5
<i>Enallagma cyathigerum</i>	38,5/57,3	53,8/22,3	9,8/14,2	31,2/51,8
<i>Erythromma najans</i>	30,8/30,3	69,2/27,4	47,3/13,4	–
<i>Lestes virens</i>	23,1/12,4	43,1/12,2	19,2/8,1	–
<i>Libellula quadrimaculata</i>	–	23,1/11,3	55,2/23,1	42,3/31,1
<i>Lib. depressa</i>	–	16,9/8,5	56,8/16,3	–
<i>Lib. fulva</i>	–	15,4/7,6	53,1/5,4	–
<i>L. sponsa</i>	–	12,3/5,3	18,6/5,2	–
<i>Aeshna grandis</i>	–	10,8/3,1	21,3/7,1	15,2/8,0
<i>Ae. cyanea</i>	–	4,6/2,3	35,2/7,2	11,3/9,1
Количество ловов	110	114	105	112

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5
Общее количество личинок	255	254	255	245
Количество видов	3	9	9	4
Среднее количество видов стрекоз в одном улове	0,92	2,49	3,16	1,88
Среднее количество особей в одном улове	2,3	2,2	2,4	2,2

ОБСУЖДЕНИЕ

Динамику заселения стрекозами пруда пос. Верхний Бисер можно рассматривать как в фаунистическом, так и в экологическом аспектах. При таком подходе обнаруживается, что становление фауны стрекоз этого пруда проходит в три этапа. Первый – пионерный. Для него характерна беднота видового состава стрекоз (три вида стрекоз и в среднем примерно один вид на улов сачком). Вторым этапом можно назвать этап стабилизации (второй и третий год наблюдений). Теперь фауна стрекоз насчитывает девять видов, и новые не появляются. А вот причина этого – экологические условия пруда. Действительно, все годы наблюдений среднее количество особей на один улов, что можно считать минимальной удельной плотностью населения стрекоз в этом водоеме, колеблется около двух. Можно предположить: биотопическая емкость пруда исчерпана. На фоне малого расхождения количества ежегодных ловов и практического совпадения общего улова личинок эти выводы выглядят вполне репрезентативными. Третьим этапом формирования фауны стрекоз исследуемого пруда можно назвать этап редукации фауны. При примерном сохранении минимальной удельной плотности населения стрекоз количество видов упало более чем вдвое, а их среднее количество на один лов – почти в полтора раза. Подобные изменения видового состава одонатофауны пруда характерны для водных экосистем, подвергающихся антропогенному влиянию. Исчезновение видов стрекоз происходит в первую очередь из-за усиления хищничества по отношению друг к другу [6].

Описанный выше процесс характеризуется параллельными изменениями видового разнообразия водной и околородной растительности в водоёме, степени покрытия ею поверхности пруда и состава дна от песчаного до илистого.

Вероятно, именно это делало водоем доступным большому количеству видов стрекоз. По ЧВ в первые два года доминируют *Enallagma cyathigerum*, *Erythromma najans* и *Lestes virens*. На третий год частота встречаемости *Er. cyathigerum* и *L. virens* снижается с одновременным появлением в водоёме личинок стрекоз рода *Libellula*. Кроме того, растет ЧВ стрекоз рода *Aeshna*. Через восемь лет мы вновь обнаружили резкое увеличение частоты встречаемости личинок *E. cyathigerum*, *L. quadrimaculata*, *Ae. cyanea*, *Ae. grandis* на фоне сильно изменившегося в сторону упрощения состава фитоценоза и увеличения покрытия водоема водной растительностью.

Сменяющие друг друга виды стрекоз заметно отличаются друг от друга и экологически. В первый и второй год наблюдений среди них преобладают фитофилы (*E. cyathigerum*, *Er. najans* и *L. virens*), на третий год появляются бентосные личинки (из рода *Libellula*). Через семь лет и те, и другие продолжают доминировать в водоеме.

Среди встреченных девяти видов стрекоз по ЧВ на протяжении первых двух лет наблюдений доминировали *E. cyathigerum* и *Er. najans*, относящиеся к

массовым на территории Калининградской области [7] и сопредельных государств [8]. Однако на третий год происходит резкое снижение численности *E. cyathigerum*. Заселение и рост численности *L. quadrimaculata* и *L. depressa* происходили параллельно с увеличением количества ила в водоеме. В 2015 г. в водоёме были обнаружены личинки четырех видов (*L. quadrimaculata*, *E. cyathigerum*, *Er. najans*), которые относятся не только к массовым на территории Калининградской области, но и к наиболее эвритопным.

En. cyathigerum и *Er. najans* способны обитать и в проточных, и в стоячих водоёмах, а также мигрировать со стрекозами подотряда Anizoptera. Стрекоз этого подотряда мы видели фуражирующими над поверхностью пруда, однако в первый год наблюдения их личинок нами обнаружено не было, так как для успешного развития им необходимо илистое дно. Именно поэтому они появились в пруду лишь в следующем году, когда возросло количество ила в донных осадках. Среди стрекоз подотряда Anizoptera по частоте встречаемости преобладал массовый мигрирующий вид *L. quadrimaculata*, кроме того, появились стрекозы рода *Aeshna*, для которых одни из ключевых факторов успешного размножения – это илистое дно и обилие околоводной растительности.

На третий год одновременно со стабилизацией видового состава происходит перераспределение этих видов: снижается доля *E. cyathigerum*, что можно объяснить межвидовой конкуренцией с *Er. najans*. В результате каннибализма и возрастающей конкуренции происходит расселение *E. cyathigerum* и образование микростадий [4, 9]. По частоте встречаемости доминировали: *L. quadrimaculata*, *L. depressa*, *E. cyathigerum*, *Er. najans*. Их тоже относят к массовым и фоновым видам на территории Калининградской области [7]. По ЧВ преобладают *L. quadrimaculata*, *L. depressa*, *L. fulva*, *Er. najans*. Они наиболее эвритопные и часто встречающиеся в Калининградской области, из-за чего способны выдерживать длительное антропогенное воздействие.

На протяжении второго и третьего годов водоём не испытывал сильной антропогенной нагрузки: береговая линия не была повреждена, водная растительность занимала весь берег и большую часть водного зеркала, следы рекреационной нагрузки практически отсутствовали.

L. quadrimaculata, *L. depressa*, *L. fulva*, *Er. najans* относятся к видам, личинки которых способны заселять все типы водоемов, предпочитая имеющие развитую водную и околоводную растительность. *Ae. cyanea*, *Ae. grandis*, *L. sponsa*, *L. virens*, *E. cyathigerum* — виды, тяготеющие к озерам, прудам и болотам.

Через восемь лет, в 2015 г., антропогенная нагрузка на водоём осталась прежней, хотя уровень воды сильно упал и в составе дна обнаружен только ил. Поэтому снижение видового многообразия растительности можно объяснить «старением» водной экосистемы. Дальнейшее развитие экосистемы пруда, учитывая его глубину и гидрологические условия, должно идти по пути более сильного зарастания и заболачивания. Об этом же свидетельствует преобладание видов стрекоз, относящихся к торфоксенным формам, а также эвритопных видов, предпочитающих дистрофные водоёмы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Формирование одонатофауны в искусственных водоёмах сильно зависит от гидрометеорологических условий, состава дна и наличия водной и прибрежно-

водной растительности. Заселение стрекозами новых мест обитания, их численность определяются динамикой развития растительности, а также конкурентными взаимоотношениями между разными видами. Дальнейшая судьба многих антропогенных водоёмов сводится к снижению видового многообразия водной растительности, а следом и к снижению видового многообразия стрекоз. Все эти признаки свидетельствуют о «старении» водной экосистемы. Появление в исследуемой нами водной экосистеме торфоксенных видов свидетельствует о заболачивании водоёма.

БЛАГОДАРНОСТИ

Автор признателен А. И. Халаиму (ЗИН РАН, г. Санкт-Петербург), Др. Р. Бернарду (Dr. Rafal Bernard, Польша), Р. Н. Буруковскому (КГТУ, Калининград), В. В. Лаптиховскому (Департамент рыболовства, Фолклендские о-ва) за предоставленную литературу, ценные замечания и консультации в процессе написания статьи, а также Д. П. Филиппенко (ГАУКОДОКОДЮЦЭКТ, Калининград) за помощь в переводе аннотации статьи на английский язык.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Борисов, С. Н. Стрекозы (Insecta, Odonata) Средней Азии и их адаптивные стратегии: дис. ... докт. биол. наук: 03.00.09 / Борисов Сергей Николаевич; НГУ. – Новосибирск, 2007. – 374 с.
2. Схема охраны природы Калининградской области / под ред. Ю. А. Цыбина. – Калининград: TENAX MEDIA, 2004. – 136 с.
3. Ипатов, В. С. Фитоценология: учебник для студентов вузов, обучающихся по направлению и специальности «Биология» / В. С. Ипатов, Л. А. Кирикова. – Санкт-Петербург: Изд-во Санкт-Петербургского ун-та, 1997. – 315 с.
4. Попова, А. Н. К фауне стрекоз бассейна Телецкого озера / А. Н. Попова // Исслед. озер СССР. – 1933. – Вып. 3. – С. 131-134.
5. Скворцов, В. Э. Стрекозы Восточной Европы и Кавказа: атлас-определитель: моногр. / В. Э. Скворцов. – Москва: Тов-во научных изданий КМК, 2010. – 622 с.
6. Flenner I. Dragonfly community re-organisation in boreal forest lakes: rapid species turnover driven by climate change? / I. Flenner, G. Sahlén // Insect Conservation and Diversity. – 2008. – № 1. – P.169–179.
7. О фауне стрекоз Калининградской области / О. А. Тумилович // Ученые записки Казанского государственного университета. Сер. Естественные науки. – 2009. – Т. 151. – Кн. 2. – С. 192–197.
8. Piksa, K. Dragonflies (Odonata) of some small anthropogenic water bodies in Cracow City / K. Piksa, B. Wachowicz // Fragmenta faunistica. 2006. – Vol. 49 (2). – P. 81–89.
9. Бей-Биенко, Г. Я. Смена местообитания наземными организмами как биологический принцип / Г. Я. Бей-Биенко // Журн. общ. биол. – 1966. – Т. 27. – № 1. – С. 5–21.

REFERENCES

1. Borisov S. N. *Strekozy (Insecta, Odonata) Sredney Azii i ikh adaptivnyye strategii*. Diss. dokt. biol. nauk [Dragonfly (Insecta, Odonata) of Central Asia and their adaptive strategies. Diss. doct. biol. sciences]. Novosibirsk, 2007, 374 p.
2. *Skhema okhrany prirody Kaliningradskoy oblasti pod red. Yu. A. Tsybina*. [Scheme of nature protection of the Kaliningrad region, edited by Yu. A. Tsybina]. Kaliningrad, TENAX MEDIA, 2004, 136 p.
3. Ipatov V. S. *Fitotsenologiya. Uchebnik dlya studentov vuzov, obuchayushchikhsya po napravleniyu i spetsial'nosti "Biologiya"* [Phytocenology. Textbook for university students of "Biology" degree programme]. Saint- Petersburg, Izd-vo Sankt-Peterburgskogo un-ta, 1997, 315 p.
4. Popova A. N. *K faune strekoz basseyna Teletskogo ozera* [Towards the fauna of dragonflies of the basin of the Teletskoye Lake]. *Issled. ozer SSSR*, 1933, iss. 3, pp. 131-134.
5. Skvortsov V. E. *Strekozy Vostochnoy Yevropy i Kavkaza: atlas-opredelitel'* [Dragonflies of Eastern Europe and the Caucasus: atlas-determinant]. Moscow, Tov-vo nauchnykh izdaniy KMK, 2010, 622 p.
6. Flenner I., Sahlen G. Dragonfly community re-organisation in boreal forest lakes: rapid species turnover driven by climate change? *Insect Conservation and Diversity*. 2008, no. 1, pp. 169-179.
7. Tumilovich O. A. O faune strekoz Kaliningradskoy oblasti [On the fauna of dragonflies of the Kaliningrad region]. *Uchenyye zapiski Kazanskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Yestestvennyye nauki*. 2009, vol. 151, book 2, pp. 192-197.
8. Piksa K., Wachowicz B. Dragonflies (Odonata) of some small anthropogenic water bodies in Cracow City. *Fragmenta faunistica*. 2006, vol. 49 (2), pp. 81-89.
9. Bey-Biyenko G. YA. Smena mestoobitaniya nazemnymi organizmami kak biologicheskii printsip [Change of habitat by terrestrial organisms as a biological principle]. *Zhurn. obshch. Boil.* 1966, vol. 27, no. 1, pp. 5-21.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Тумилович Ольга Александровна – Государственное автономное учреждение Калининградской области дополнительного образования детей «Калининградский областной детско-юношеский центр экологии, краеведения и туризма»; педагог дополнительного образования; E-mail: Levente@rambler.ru

Tumilovich Olga Aleksandrovna – State autonomous institution of the Kaliningrad region for additional education of children "Kaliningrad Regional Children and Youth Center for Ecology, Local History and Tourism"; teacher of additional education; E-mail: Levente@rambler.ru

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

УДК 664.952/957

ВЫДЕЛЕНИЕ НАТУРАЛЬНЫХ СТРУКТУРООБРАЗОВАТЕЛЕЙ
БЕЛКОВОЙ ПРИРОДЫ ИЗ КОЛЛАГЕНСОДЕРЖАЩЕГО
ВТОРИЧНОГО РЫБНОГО СЫРЬЯ

Л. С. Байдалинова, Е. Е. Ляпустина

OBTAINING OF NATURAL STRUCTURE-FORMERS OF PROTEIN ORIGIN
FROM COLLAGEN-CONTAINING SECONDARY FISH RAW MATERIALS

L. S. Baydalinova, E. E. Lyapustina

Коллаген, выделяемый из вторичного коллагенсодержащего рыбного сырья (костей, чешуи, кожи, плавательных пузырей), известен как ихтиожелатин. Первоначально в качестве коллагенсодержащего сырья для производства употреблялись плавательные пузыри осетровых, кости, кожа и чешуя рыб. В настоящее время проводятся исследования по использованию для выделения коллагена прудовых рыб (толстолобик, белый амур, карп). Для его получения из этих объектов применяются различные технологические приемы. Намечились разнообразные пути использования рыбного коллагена.

По химической природе коллаген гидробионтов близок к коллагену сельскохозяйственных животных, для получения которого берутся кости, хрящи, кожа этих животных. Для деминерализации этого сырья производится обработка его минеральными или органическими кислотами с последующей нейтрализацией кислот щелочами. В состав рыбного коллагенсодержащего сырья входит меньше минеральных соединений и для его обработки возможно применение других приемов. Сырье (плавательные пузыри, чешуя и кожа рыб) неоднородно по химическому составу, который меняется в зависимости от жизненного цикла объектов. В Калининградском регионе для получения коллагена перспективным сырьем являются различные виды рыб, например лещ (*Abramis brama*) и судак (*Sander luciperca*). Изучен общий химический состав их плавательных пузырей, чешуи и кожи. Установлена перспективность производства желатина из рыбного сырья в Калининградском регионе. Предложена ферментативная технология выделения ихтиожелатина из вторичного коллагенсодержащего рыбного сырья. Обосновано применение протеолитического фермента алкалаза для частичной деструкции белково-углеводных и белково-липидных комплексов коллагена, а также комплексов его с минеральными веществами, биомодификации с целью перевода компонентов соединительной ткани в растворимое состояние, определены дозировка препарата, температурные условия и продолжительность стадии ферментализации исходного сырья. Установлены химический состав, характеристика и физико-химические свойства готового ихтиожелатина из плавательных пузырей, чешуи и кожи леща и судака.

вторичное рыбное сырье, плавательные пузыри, чешуя, кожа, ферментативная обработка, ихтиожелатин

Collagen which has been released from the secondary collagen-containing fish raw material: from bones, scale, skin and swim bladders is known as ichthyogelatin. Initially, swim bladders of sturgeon, fish bones, skin and scale were used as collagen-containing raw materials for production. Currently, studies are being conducted on the use of silver carp, white carp, and carp for the purpose of collagen extraction. Various techniques are used to obtain collagen from these objects. There are a number of ways how fish collagen can be used.

In terms of its chemical nature, the collagen of hydrobionts is close to the collagen of farm animals, which is produced of bones, cartilages, and skin of these animals. To demineralize this raw material, it is treated with mineral or organic acids, followed by neutralization of acids with alkalis. Fish collagen-containing raw materials contain less mineral compounds and other methods can be used for its processing. Fish collagen-containing raw materials (swim bladders, fish scale and skin) are different in chemical composition and its chemical composition varies depending on the life cycle. In the Kaliningrad region, such types of fish as bream (*Abramis brama*) and pike perch (*Sander lucioperca*) are promising raw materials for obtaining collagen. The general chemical composition of swim bladders, scale and skin of bream and pike-perch has been studied. The prospects for the production of gelatin from fish raw materials in the Kaliningrad region have been identified. Enzymatic technology for extraction of ichthyogelatin from secondary collagen-containing fish raw material has been proposed. The use of the proteolytic alcalase enzyme for partial degradation of protein-carbohydrate and protein-lipid complexes of collagen has been substantiated, as well as its complexes with mineral substances, biomodification with the purpose of transferring the components of connective tissue to a soluble state; the dosage of the preparation, temperature conditions and the duration of the enzymolysis stage of the feedstock have been found. The chemical composition, characteristics and physicochemical properties of the ready ichthyogelatin made of swim bladders, scale and skin of bream and pike perch have been determined.

secondary fish raw material, swim bladders, scale, skin, enzymatic treatment, ichthyogelatin

ВВЕДЕНИЕ

Рыба как пищевое и техническое сырье привлекает все больше внимания. Снижение объемов добычи рыбы требует эффективного использования всех ее частей для производства пищевых и других целевых продуктов. Перед перерабатывающей промышленностью стоят задачи глубокой переработки различного сырья, сокращения неиспользуемых отходов, расширения ассортимента и повышения качества выпускаемой продукции. Особенно это касается такого биологически ценного исчерпываемого, но возобновляемого при правильной эксплуатации сырья, как гидробионты.

Рыбные отходы становятся ценными сырьевыми источниками белков, в том числе коллагена и продуктов его гидролиза.

В последнее время интерес к рыбному коллагену возрос. Губчатая энцефалопатия (болезнь бешенства крупного рогатого скота) стала серьезной проблемой, вследствие которой использование коллагена из животного сырья становится весьма небезопасно. Никакой информации о возможности передачи опасных вирусов от рыбного сырья к людям не имеется. Кроме того, рыбный коллаген является гипоаллергенным (так как на 90 % он идентичен коллагену человека) [1].

Термин «коллаген» связывают с широко распространенной группой белков, встречающихся только в животном мире. Из коллагена образованы волокна соединительной ткани. Основными его характеристиками являются сопротивление изменению длины в физиологических условиях, химическая инертность, особый аминокислотный состав, способность растворяться и переходить в желатин или клей при нагревании в воде. Коллагеносодержащая соединительная ткань состоит из клеток, межклеточного вещества и коллагеновых волокон; она содержит незначительное количество эластиновых и ретикулиновых волокон. Соединительная ткань богата ценными минеральными веществами, содержит в достаточном количестве физиологически активные аминокислоты [2].

В зависимости от молекулярной массы продукты из коллагенового сырья делятся на желатин и клей. Чешуя, плавательные пузыри и кожа рыб, богатые коллагеном, занимают заметное место в отходах, исследования которых в настоящее время расширяются. В качестве вторичного сырья для производства коллагенового продукта ихтиожелатина многими исследователями рассматриваются отходы от разделки пресноводных рыб. В Калининградском регионе к ним можно отнести леща (*Abramis brama*) и судака (*Sander lucioperca*).

У наземных и морских животных на долю коллагеновых соединений приходится около одной трети азотистых веществ. Коллагеносодержащее сырье делится на мягкое – кожа, сухожилия и твердое – все виды костей. Коллаген подразделяют на волокнистый коллаген дермы шкур и сухожилий, гиалиновый коллаген костной ткани – оссеин, хондриновый коллаген хрящей, коллаген плавательных пузырей – ихтиокол и коллаген плавников рыб – ихтилепелин. Основные источники коллагена представлены на рисунке.

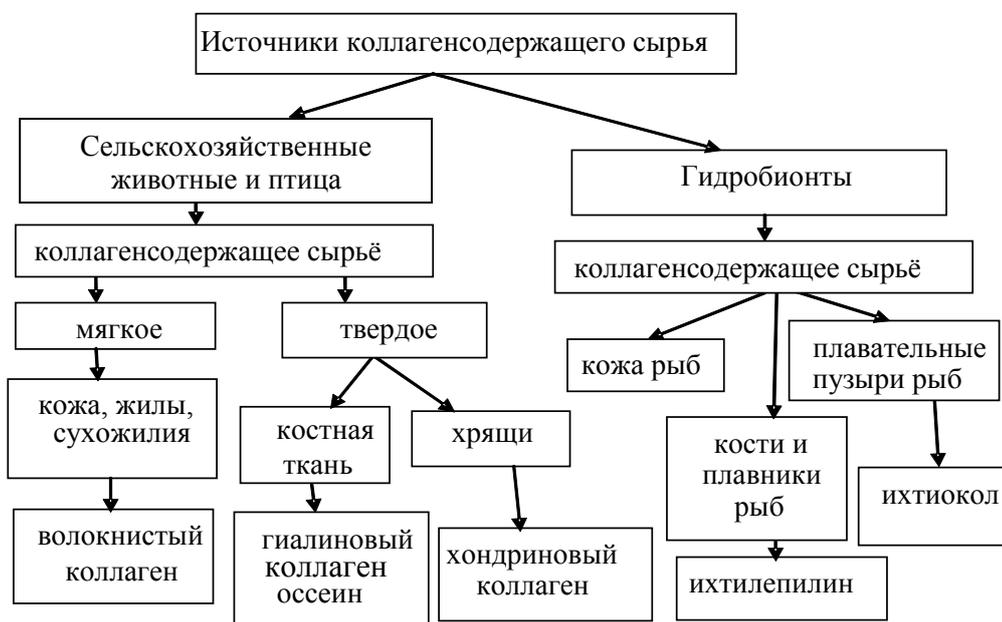


Рис. Основные источники коллагена
Fig. Main sources of collagen

Кожа рыб (5 % общей массы) подстиляется рыхлой соединительной прослойкой (подкожная соединительная ткань, подкожная клетчатка), в которой у

многих рыб откладывается жир. В соединительнотканном слое кожи образуется чешуя [2].

Плавательный пузырь – довольно крупное морфологическое образование. Стенки плавательного пузыря состоят из трех слоев: наружная оболочка из соединительной ткани содержит гладкие волокна, жировые клетки и кровеносные сосуды, срединный фибриллярный слой, состоящий из коллагеновых и эластиновых волокон, и внутренний эпителий [2].

Стенки плавательного пузыря преимущественно состоят из коллагена, получение желатина является одним из путей его рационального использования.

Количество коллагенсодержащих отходов на обрабатывающих предприятиях достаточно велико и требуются специальные технологии их переработки, основное направление которых – кормовые цели. В ходе производства предприятия сталкиваются с трудностями. В частности В. И. Воробьевым и Е. Н. Нижниковой показано, что у большинства рыбоперерабатывающих предприятий образуется значительное количество чешуи, которая не может использоваться для кормовых целей [3]. Продукты из чешуи могут найти эффективное применение в различных областях экономики, но без обработки утилизировать чешую невозможно.

В некоторых обзорах указывается, что в Норвегии, Финляндии и Японии эффективно функционируют заводы, перерабатывающие некондиционную рыбу и коллагенсодержащие вторичные рыбные ресурсы.

Исследования размерно-массовых характеристик и химических составов вторичного рыбного сырья прудовых рыб Волжско-Каспийского региона – белого амура, карпа, толстолобика – показали, что их костные ткани содержат до 40,5 % коллагена от общего количества белковых веществ, поэтому их целесообразно использовать для получения структурообразующих соединений [4]. Для выделения коллагена перспективны плавательные пузыри, кости и чешуя рыб. Согласно данным этих исследователей, 8,0-8,1 % от внутренних органов этих рыб составляют плавательные пузыри, в них содержатся 28,2-28,3 % белков. Негативным фактором с точки зрения производства желатина является высокое содержание в сырье жира. В плавательных пузырях указанных рыб оно практически одинаково (4,0-4,3 %).

Желатин рыбного происхождения может использоваться в различных отраслях промышленности взамен традиционного. По данным исследователей Воронежского государственного университета инженерных технологий, по аминокислотному составу желатин из чешуи и плавательных пузырей прудовых рыб (карп, карась, толстолобик, сазан и др.) практически идентичен животному. Свойства рыбного желатина и желатина животного происхождения по физико-химическим показателям также совпадают [5].

Ихтиоколлаген из чешуи рыб может служить основой съедобных пленочных покрытий для пищевых продуктов. Он соответствует пищевому желатину марки П-11, но имеет более низкую температуру плавления. В нем меньше пролина и оксипролина по сравнению с животным желатином. По уровню динамической вязкости он в 1,7 раза превосходит желатин П-11. Пленки из водных растворов с концентрацией желатина 5 и 10 % и с включением 30-40 % пластификатора глицерина могут использоваться как съедобные и обеспечивающие барьерные факторы при хранении продуктов [6].

Электрофоретические исследования показали, что клей из чешуи рыб является сложным набором фракций разной молекулярной массы в комплексе с α -цепями с массой от 110 до 169 кДа. Разные фракции различаются по функциональным свойствам и могут использоваться для различных целей. Представляют интерес хорошие результаты при предпосевной обработке раствором клея из чешуи рыб семян подсолнечника и хлопчатника [7].

Исследователи Астраханского государственного технического университета (Т. Х. Као, Р. Г. Разумовская) показали, что желатин из кожи рыб Волго-Каспийского бассейна обладает высокими физико-химическими (влага – 8,3; белок – 89,9; жир – 0,4; минеральные вещества – 1,1 %) и органолептическими показателями. Этот желатин имеет высокую молекулярную массу – около 100 кДа. Предельная степень набухания желатина, полученного из кожи щуки и окуня, высокая и составляет 978,11 и 964,32 % [8].

Товароведная характеристика клея из чешуи рыб исследована Е. А. Ивановой и О. С. Якубовой [АГТУ] по таким органолептическим, физико-химическим и микробиологическим показателям, как внешний вид, консистенция, цвет, содержание сухих веществ, золы, динамическая вязкость раствора с массовой долей клея 10 %, адгезия, величина рН. Авторами установлена эффективность использования клея из чешуи рыб при изготовлении декоративно-прикладных изделий из кожи рыб, он позволяет повысить эстетические свойства и устойчивость изделий в процессе хранения [9].

Процесс производства желатина из рыбного сырья (ихтиожелатина) может происходить намного быстрее, чем желатина из животного сырья, особенно из костей. При производстве ихтиожелатина могут быть исключены такие операции, как золка и деминерализация сырья, благодаря чему продолжительность процесса значительно сокращается. Достигается это за счет использования ферментных препаратов. При этом исключается использование щелочей и кислот, способствующих загрязнению окружающей среды.

Предложена технология переработки чешуи, плавательных пузырей и кожи рыб, включающая промывку сырья после вымачивания в воде анолитом электрохимически активированных (ЭХА) растворов (рН 4-6) [8].

Исследователями Калининградского государственного технического университета установлена возможность успешного использования низкомолекулярных пептидов из коллагенсодержащих тканей рыб, в частности чешуи, характеризующихся повышенным содержанием аминокислот пролина и оксипролина, при изготовлении продуктов спортивного питания, способствующих ускорению регенерации костных и соединительных тканей спортсменов при высоких физических нагрузках [10].

С. Ф. Ивановой и Н. Н. Петровой [11] рассматривалась возможность использования пленок из коллагена плавательных пузырей осетра, чира и омуля для сокращения площадей ран у человека и животных. Для применения в качестве медицинских материалов коллаген плавательных пузырей необходимо очистить от примесей с помощью щелочно-солевой обработки. Методом ИК-спектроскопии показано, что на всех этапах обработки коллагеновая природа этого материала сохраняется.

О. С. Якубовой и А. Л. Котенко [12] также показано, что чешуя, являющаяся структурно сложной многокомпонентной системой, состоящей в основном из

минеральных веществ и коллагена, может служить сырьем для получения как пищевого, так и технического ихтиожелатина, а отходы от его получения рационально использовать в качестве минеральной добавки.

На основе исследований по получению желатина из вторичного коллагенсодержащего сырья рыб были запатентованы различные способы получения этого продукта [13, 14].

Несмотря на проведенные исследования (О. С. Якубова, До Ле Хыу Нам, А. Б. Киладзе, О. Ф. Чернова, Л. В. Антипова, Д. М. Урманов, М. Е. Цибезева, О. В. Бредихина и др.), необходимо отметить недостаточную изученность вторичного рыбного сырья как источника желатина.

Патентно-информационный поиск и анализ результатов исследований, проведенных отечественными и зарубежными авторами, позволяют сосредоточить внимание на биотехнологических методах обработки сырья, в частности, на ферментных технологиях, известных интенсивностью, экологичностью, высоким технологическим эффектом и качеством конечных продуктов.

Целью настоящей работы являются изучение характеристик и разработка технологии изготовления ихтиожелатина из коллагенсодержащего вторичного сырья пресноводных рыб Калининградского региона с применением ферментных препаратов, вовлечение вторичного рыбного сырья в широкое использование для производства пищевой продукции. Для реализации данной цели необходимо было решить следующие задачи:

- провести анализ рынка возможного потребления рыбного желатина в Калининградской области;
- обосновать возможность использования вторичного рыбного пресноводного сырья промышленности Калининградской области для производства ихтиожелатина;
- обосновать регламенты биотехнологического процесса производства желатина из вторичного пресноводного рыбного сырья;
- определить характеристику готового продукта.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Возможный потребительский спрос на новый вид желатина выявлялся на основе маркетингового исследования путем опроса респондентов.

При выполнении работы объектами исследования являлись охлажденные плавательные пузыри, кожа и чешуя леща и судака, собиравшиеся вручную при разделке рыбы, которые могут соответствовать ТУ 9283-004-00471544-2016 «Сырье рыбное коллагенсодержащее мороженое и охлажденное». Сырье очищалось от посторонних примесей и остатков внутренностей, промывалось пресной водой от слизи и крови, охлаждалось или замораживалось. Плавательные пузыри и кожа разрезались на кусочки размерами 8×16 мм. Чешуя рыб использовалась без измельчения.

Общий химический состав сырья и готовой продукции определялся в соответствии с ГОСТ 7636-85 «Рыба, морские млекопитающие, морские беспозвоночные и продукты их переработки. Методы анализа» [15] с установлением массовых долей жира, белка, влаги, золы. В плавательных пузырях определялось содержание коллагена (по глютину по методу Лазаревского).

По стадиям технологического процесса проводился учет получаемых полуфабрикатов и готовых продуктов путем взвешивания.

Органолептическую оценку ихтиожелатина (внешний вид, цвет, запах, вкус), размер частиц, массовую долю мелких частиц, продолжительность растворения, температуру плавления студня, динамическую вязкость раствора, наличие посторонних примесей определяли в соответствии с ГОСТ 11293-89 [16] и ГОСТ 7631-2008 [17].

Хотя традиционно технологические процессы производства животного желатина осуществляются с использованием кислот, щелочей, солей, т.е. с применением агрессивных веществ, отрицательно влияющих на экологию, для обработки рыбного сырья более целесообразно применение протеолитических ферментов. Ферментативная деструкция тканей под действием биологических катализаторов происходит при мягких режимах. При решении вопроса подбора протеаз большое значение имеют их специфичность к определенной пептидной связи в гидролизуемом белке, а также активность и стабильность протеаз как функции рН и температуры, присутствие активаторов и ингибиторов, стоимость и возможность приобретения препаратов. Кроме того, применяемые ферментные препараты должны быть безвредными для человека.

При выборе ферментных препаратов для частичной деструкции при первичной обработке коллагенсодержащего рыбного сырья использовались протеолитические ферментные препараты в дозировках от 0,5 до 1,0 % к массе сырья, Ферментативная обработка проводилась в присутствии воды (соотношение сырье: вода установлено эмпирически и равнялось 1:2) при перемешивании.

Продолжительность ферментализации при температуре 45-50°C в естественной зоне рН (близкой к 7,0) колебалась от 2 до 4 ч при обработке плавательных пузырей, кожи и чешуи.

Инактивация ферментов по окончании процесса проводилась при температуре 85°C в течение 3-10 мин, после чего жидкая фракция отделялась декантацией. Из плотного остатка при добавлении воды в соотношении 1:1 экстрагировался желатин при 55-60°C в течение 2,5-3,0 ч. Полученный раствор отделялся и подвергался желированию при температуре 4-6°C, после чего высушивался при температуре 35-40°C.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Маркетинговый опрос показал, что рыбный желатин может обладать достаточным спросом у населения Калининградской области.

Данные по массовому содержанию коллагенсодержащих органов у некоторых рыб Калининградского региона представлены в табл. 1.

Масса указанных рыб различна и колеблется в пределах 0,15-2,6 кг. Более перспективными для сбора коллагенсодержащего сырья являются крупные рыбы судак и лещ. Кости составляют от 10 до 13,1 % от массы этих рыб, на долю кожи приходится от 3,8 до 5,9, чешуи у судака – 2,3, у леща – 4,6 %. Плавательный пузырь у судака – 0,9, у леща – 1,2-1,4 % от его массы. В среднем масса одного пузыря у судака – 15,3, у леща – 11,8 г.

Таблица 1. Содержание коллагенсодержащих органов в некоторых рыбах Калининградского региона

Table 1. Content of collagen-containing organs in some fish of the Kaliningrad region

Показатели	Судак	Лещ	Плотва	Окунь
Масса рыб, кг	0,5-2,6, в среднем 1,4	0,7-1,0	0,2-0,6	0,15-0,36
Внутренности, %	10,9	14,7	15,0	10,5
в том числе плавательный пузырь, %	0,9	1,2-1,4	1,2	–
Кости, %	10,0	13,1	10,0	11,2
Кожа, %	3,8	5,9	5,6	5,8
Чешуя, %	2,3	4,6	8,6	6,0

Общий химический состав вторичного коллагенсодержащего сырья (плавательных пузырей, чешуи и кожи леща) Калининградского региона в различные периоды года (сентябрь, февраль, март, май) представлен в табл. 2.

Таблица 2. Общий химический состав чешуи, плавательных пузырей и кожи леща в различные периоды года

Table 2. Overall chemical composition of scale, swim bladders and skin of bream in different months

Массовые доли	Содержание, %, при вылове леща в месяцы									
	Сентябрь		Февраль		Март			Май		
	чешуя	плавательные пузыри	чешуя	плавательные пузыри	чешуя	плавательные пузыри	кожа	чешуя	плавательные пузыри	кожа
Влаги	52,4	68,7	46,3	56,7	51,2	65,0	72,8	53,4	58,2	64,4
Жира	0,7	10,1	0,3	20,1	0,6	9,4	7,0	0,5	12,5	6,0
Белка	16,3	20,3	20,5	21,2	22,8	24,3	18,3	17,8	28,3	28,7
В том числе коллагена	-	-	-	-	-	2,2	3,1	-	-	-
Золы	30,3	0,7	32,2	1,5	24,6	0,9	1,3	28,3	1,0	0,9

Полученные данные позволяют рассматривать коллагенсодержащие части вторичного рыбного сырья судака и леща в качестве источника структурообразующих соединений, чешуя рыб может считаться также источником минеральных веществ и использоваться с целью улучшения минерального состава пищевых продуктов или в качестве самостоятельного продукта для профилактики у человека болезней опорно-двигательной системы. На основании данных табл. 2 химический состав вторичного коллагенсодержащего сырья леща отличается от состава прудовых рыб (карпа) Волго-Каспийского бассейна прежде всего по содержанию жира, массовая доля которого колеблется от 9,45 до 12,45 %, в то время как у карпа этот показатель, как было показано выше, 4,0-4,2 %. В весенний период отмечается заметное накапливание жира.

В чешуе жира относительно мало (0,5-0,7 %), а в коже его содержание – 6,0-7,0 %. Содержание белка в плавательных пузырях леща колеблется в пределах 20,3- 28,3 %. Меньше белка в чешуе (16,3-24,6 %) при большом количестве минеральных соединений (от 24,6 до 32,2 %). При массовой доле сухих веществ в коже выловленного в марте леща (27,17 %) содержание жира – 7,02, массовая доля минеральных веществ составила 1,31, а содержание белка – 18,34 %. Можно заключить, что химический состав коллагенсодержащего сырья Калининградского региона на протяжении года не является постоянным и меняется с изменением содержания жира.

Эксперименты показали более высокое содержание жира в плавательных пузырях леща в сентябре, марте и мае, т.е. весна-лето-осень. Это потребует обязательного обезжиривания сырья при использовании его для выделения коллагена.

Знание химического состава исходного сырья во многом определяет выбор ферментных препаратов, предназначенных для разрушения белково-углеводных и белково-липидных комплексов сырья и удаления сопутствующих углеводов, липидов и минеральных веществ. Гетерогенный характер общей белковой фракции при наличии небелковых веществ и особенности морфологического строения коллагенсодержащих тканей рыб обуславливают необходимость этапа специфической предварительной подготовки материала для очистки от балластных компонентов и разрыхления структуры тканей преимущественно за счет разрыва поперечных межфибриллярных связей. Учитывая значительную массовую долю суммарных белков, а также наличие липидных фракций в коллагенсодержащих объектах, нами выбраны ферментные препараты: Alcalase® 2.5L (Novozymes, Дания) и Протамекс (Novozymes, Дания). Они распространены, их стоимость приемлема по сравнению с другими ферментными препаратами протеолитического действия, в промышленных масштабах эти ферменты апробированы при получении кормовых и пищевых продуктов.

Alcalase® 2.5L (Novozymes, Дания) из *Bacillus subtilis* наибольшую активность проявляет в диапазоне температур 55-70 °С, рН – от 6,5 до 8,5. Для протамекса (Novozymes, Дания) оптимум температуры – от 60°С, рН – от 5,0 до 11,0.

При установлении эффективности ферментов прежде всего исследовалась зависимость выхода ихтиожелатина от вида и концентрации ферментов (табл. 3).

Таблица 3. Зависимость выхода сухого ихтиожелатина от типа и дозировки используемых ферментов

Table 3. Dependence of the yield of the dry ichthyogelatin on the type and dosage of the enzymes used

Фермент	Дозировка, % к массе сырья	Сырье, использованное для получения ихтиожелатина	Выход сухого ихтиожелатина (% от массы сырья)
Алкалаза	1,0	Чешуя леща	7,7
		Плавательные пузыри леща	10,1
		Чешуя судака	9,39
	0,5	Чешуя леща	3,9
		Плавательные пузыри леща	6,69
Протамекс	0,8	Чешуя леща	0,8

Из данных табл. 3 можно заключить, что выход продукции зависит как от вида, так и от дозировки используемых ферментов. Наибольший выход (10,1 %) получен при обработке плавательных пузырей леща алкалазой с дозой 1,0 %. Из чешуи судака выход сухого желатина тоже достаточно высокий – 9,39 %. Снижение дозировки алкалазы до 0,5 % сопровождается снижением выхода как при обработке чешуи, так и плавательных пузырей рыб. При использовании протамекса выход ихтиожелатина из чешуи леща получился совсем низкий, в связи с чем в последующих экспериментах протамекс не использовался.

Результаты исследования зависимости общего химического состава сухого ихтиожелатина от дозировки используемого фермента представлены в табл. 4.

Таблица 4. Зависимость химического состава сухого ихтиожелатина от дозировки используемых ферментов

Table 4. Dependence of the chemical composition of the dry ichthyogelatin on the dosage of the enzymes used

Дозировка фермента алкалазы (% от массы сырья)	Сырье, используемое для получения ихтиожелатина	Показатели для сухого ихтиожелатина, %			
		влага	жир	белок	зола
1,0	Чешуя леща	7,17	0,64	91,08	1,03
	Плавательные пузыри леща	8,26	2,84	86,77	1,93
	Чешуя судака	7,14	1,97	89,7	6,72
0,5	Чешуя леща	6,8	1,06	89,94	2,0
	Плавательные пузыри леща	7,8	2,93	87,36	1,56
Желатин животного происхождения (ГОСТ 11293-89)		13,1	0	85,5	1,4

Из данных табл. 4 видно, что сухой ихтиожелатин характеризуется высоким содержанием белка (87,36 и 86,77 % из плавательных пузырей леща). Животный желатин по требованию ГОСТ 11293-89 должен содержать не менее 85,5 % белка. Еще больше белка в продукте из чешуи (из чешуи леща 91,08 и судака 89,7 %). Со снижением дозировки фермента фиксируется снижение содержания белка – для чешуи леща до 89,94 % против 91,08 % (при 1,0 %). Под воздействием протеолитических ферментов наблюдается освобождение белковых веществ из комплексов с минеральными веществами, извлеченный коллаген из плавательных пузырей и чешуи содержит не более 2,0 % минеральных веществ. Исключением оказался ихтиожелатин из чешуи судака (6,72 %), по своей структуре отличающейся от чешуи леща. Вероятно, для этого вида сырья потребуются уточнение технологии. Для плавательных пузырей такой зависимости не выявлено. В желатине животного происхождения, получаемого с деминерализацией кислотами, содержание минеральных веществ не должно быть более 1,4 % (ГОСТ 11293-89).

Как негативный фактор следует отметить высокое содержание жира в желатине из плавательных пузырей (2,84-2,93 %). В желатине животного происхождения жир совсем не допускается. В исходном рыбном сырье (плавательные пузыри леща) содержание жира колебалось от 9,45 (март) до 20,13 % (февраль). При такой высокой

жирности сырья требуется решение вопроса по обезжириванию системы в ходе технологического процесса. Уже путем центрифугирования желатинсодержащего раствора удастся значительно снизить остаточное содержание жира.

Сравнительные исследования рыбного желатина из чешуи и плавательных пузырей и желатина животного происхождения по органолептическим и физико-химическим показателям представлены в табл. 5 и 6.

Таблица 5. Сравнительные характеристики органолептических показателей желатина рыбного и животного происхождения

Table 5. Comparative characteristics of organoleptic indicators of fish and animal gelatin

Наименование показателя	Характеристика ихтиожелатина		Желатин животного происхождения марки П-11 [16]
	из чешуи леща	из плавательного пузыря леща	
Внешний вид	Крупинки, порошок		Пластинки, крупинки, гранулы, порошок
Цвет	Светло-желтый	Светло-коричневый	От светло-желтого до темно-желтого, светло-коричневого
Запах	Без постороннего	Присутствие рыбного запаха	Без постороннего
Вкус	Пресный		Пресный

Исходя из полученных данных (табл. 5), по органолептическим показателям ихтиожелатин из чешуи леща можно считать близким желатину животного происхождения марки П-11. Ихтиожелатин из плавательных пузырей отличается от желатина из животного сырья по такому показателю, как специфический запах, связанный с остатками жира в продукте (табл. 4). За счет этого он, прежде всего, может быть рекомендован для использования в производстве продуктов на рыбной основе.

По физико-химическим характеристикам (табл. 6) ихтиожелатин данного способа обработки отличается от желатина животного происхождения марки П-11 более низкой температурой плавления студня с массовой долей желатина 10 % и меньшей динамической вязкостью этого раствора. Возможно, это потребует регламентации видов ихтиожелатина исходя от используемого сырья. Но и желатин животного происхождения в соответствии с ГОСТ 11293-89 разделяется на много марок в зависимости от его характеристик и объективных показателей.

Таблица 6. Сравнительные физико-химические показатели желатина рыбного и животного происхождения

Table 6. Comparative physical and chemical parameters of fish and animal gelatin

Наименование показателей	Физико-химические показатели ихтиожелатина		Физико-химические показатели желатина животного происхождения марки П-11 [16]
	из чешуи леща	из плавательных пузырей леща	
1	2	3	4
Размер частиц, мм, не более	3		10
Массовая доля мелких частиц, %, не более	6		30

Окончание табл. 6

1	2	3	4
Продолжительность растворения, мин, не более	3	16	25
Массовая доля влаги, %, не более	8	9	16
Массовая доля золы, %, не более	2		2
Температура плавления студня с массовой долей желатина 10 %, °С, не менее	20	25	30
Динамическая вязкость раствора с массовой долей желатина 10 %, мПа·с	15	16	18
Наличие посторонних примесей	Не допускается		Не допускается

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования показали, что в Калининградском регионе имеется перспективное неиспользуемое вторичное рыбное сырье, которое может обрабатываться с целью получения структурообразователей животного происхождения для пищевых и других целей. Потребность в производстве этого продукта подтверждается. Достаточные ресурсы пресноводных рыб в регионе позволяют обеспечивать производство сырьем.

Плавательные пузыри, кожа, чешуя рыб лещ и судак характеризуются высоким содержанием белков, в том числе коллагенового типа. В течение года химический состав этого сырья меняется в основном за счет колебаний в содержании жира.

Экспериментальные работы показали перспективность организации производства структурообразователей из вторичного рыбного сырья с применением плавательных пузырей, чешуи и кожи леща и судака. Наиболее целесообразным является технологический процесс с предварительной деструкцией белково-углеводных, белково-липидных и белково-минеральных комплексов сырья с использованием протеолитических ферментных препаратов.

Наилучший результат получен с помощью протеолитического фермента Alcalase® 2.5L. От вида и дозировки используемого фермента зависит выход и химический состав высушенной продукции. Наибольший выход при обработке плавательных пузырей, кожи и чешуи получается при дозе алкалазы 1,0 %. Снижение дозировки алкалазы до 0,5 % сопровождается снижением выхода как для чешуи, так и для плавательных пузырей рыб. Уменьшение дозы фермента сопровождается снижением содержания белка в готовом продукте, вероятно, за счет недостаточного выхода коллагена из комплексов. Негативным можно считать более высокое содержание минеральных веществ в ихтиожелатине из чешуи судака (6,72 %). Лучшая деминерализация происходит при более высокой концентрации фермента.

Ихтиожелатин, получаемый с использованием алкалазы, характеризуется высоким содержанием белка (87,36 и 86,77 % в ихтиожелатине из плавательных пузырей леща), что даже выше требований для животного желатина (не менее 85,5 % по ГОСТ 11293-89). Более высокое содержание белка в ихтиожелатине из чешуи рыб (91,08 % из чешуи леща и 89,7 % из чешуи судака).

В связи с высоким уровнем жира в исследуемом сырье (плавательные пузыри леща от 9,45 до 20,13 %) содержание жира в ихтиожелатине из плавательных пузырей оказалось высоким, что потребует включения в технологический процесс операции обезжиривания. При использовании чешуи содержание жира в ихтиожелатине значительно ниже.

Сравнение органолептических и физико-химических показателей рыбного желатина из чешуи и плавательных пузырей с желатином животного происхождения позволяет заключить, что по органолептическим показателям ихтиожелатин из чешуи леща можно считать близким желатину животного происхождения марки П-11.

Ихтиожелатин из плавательных пузырей уступает желатину из животного сырья по таким показателям, как повышенное содержание жира и специфический запах. Получаемый по данной технологии ихтиожелатин имеет также более низкую температуру плавления студня.

Потребуется проведение дополнительных исследований по уточнению параметров технологического процесса с целью снижения содержания жира в готовом продукте.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Биотехнология морепродуктов: учебники и учеб. пособия для студ. высш. учеб. завед. / Л.С. Байдалинова [и др.]. – Москва: МИР, 2006. – 560 с.
2. До Ле Хыу Нам. Получение желатина из коллагенсодержащих продуктов разделки прудовых рыб с использованием ферментных препаратов: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.18.04 / До Ле Хыу Нам. – Воронеж, 2012. – 24 с.
3. Воробьев, В. И. Исследование и применение рыбной чешуи в различных отраслях промышленности / В. И. Воробьев, Е. В. Нижникова // Известия Калининградского государственного технического университета. – 2017. – №45. – С. 147-159.
4. Самойлова, Д. А. Вторичные ресурсы рыбной промышленности как источник пищевых и биологически активных добавок / Д. А. Самойлова, М. Е. Цибизева // Вестник Астраханского государственного технического университета: Сер. Рыбное хозяйство. – 2015. – №2. – С. 129-136.
5. Способ получения желатина из чешуи прудовых рыб: пат. 2009146397/13 РФ / Л. В. Антипова, Ву Тхи Лоан; заявл. 14.12.2009; опубл. 27.06.2011.
6. Покусаева, О. А. Ихтиожелатин как основа съедобных пленочных покрытий для пищевых продуктов / О. А. Покусаева, Н. В. Долганова, О. С. Якубова // Вестник Астраханского государственного технического университета: Сер. Рыбное хозяйство. – 2015. – №2. – С. 123-128.
7. Иванова, Е. А. Эффективность использования полимерных композиций на основе клея из чешуи рыб для предпосевной обработки семян / Е. А. Иванова [и др.] // Вестник Астраханского государственного технического университета. Сер. Рыбное хозяйство. – 2015. – №1. – С. 99-106.

8. Као, Т. Х. Физико-химические характеристики желатина из кожи рыб / Т. Х. Као, Р. Г. Разумовская // Известия высших учебных заведений. Сер. Пищевая технология. – Краснодар, 2011. – №2. – С. 27-29.
9. Иванова, Е. А. Товароведная характеристика клея, получаемого из чешуи рыб / Е. А. Иванова, О. С. Якубова // Вестник Астраханского государственного технического университета. Сер. Рыбное хозяйство. – 2013. – №3. – С. 162-168.
10. Мезенова, Н. Ю. Гидролизаты рыбной чешуи в составе базового специализированного питания спортсменов / Н. Ю. Мезенова, Л. С. Байдалинова, О. Я. Мезенова // Известия высших учебных заведений. Сер. Пищевая технология. – Краснодар. – 2014. – № 4. – С. 62-65.
11. Иванова, С. Ф. Исследование коллагена из плавательного пузыря осетровых (ACIPENSERIDAE) и сиговых (COROGENIDAE) пород рыб / С. Ф. Иванова, Н. Н. Петрова // Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М. К. Аммосова. – Якутск: Изд-во ФГАОУ ВО «СВФУ». – 2015. – С. 51-58.
12. Якубова, О. С. Чешуя как источник получения ихтиожелатина / О. С. Якубова, А. Л. Котенко // Вестник Астраханского государственного технического университета. Сер. Рыбное хозяйство. – 2004. – № 4. – С. 130-136.
13. Способ производства желатина: пат. 2487152. 2012 РФ / Дяченко Э. П., Као Тхи Хуе; заявл. 15.10.2012; опубл. 10.07.2013.
14. Зарубина, Н. Ю. Получение сухих высококачественных рыбных гидролизатов с использованием вакуумной сублимационной сушки / Н. Ю. Зарубина [и др.] // Вестник Астраханского государственного технического университета. Сер. Рыбное хозяйство. – 2016. – №3. – С. 138-143.
15. ГОСТ 7636-85 Рыба, морские млекопитающие, морские беспозвоночные и продукты их переработки. Методы анализа. – Москва: Стандартинформ, 2010. – 123 с.
16. ГОСТ 11293-89 Желатин. Технические условия. – Москва: ИПК Издательство стандартов. – 2001. – 25 с.
17. ГОСТ 7631-2008 Рыба, нерыбные объекты и продукция из них. Методы определения органолептических и физических показателей. – Москва: Стандартинформ. – 2011. – 15 с.

REFERENCES

1. Baydalinova L. S., Lysova A. S., Mezenova O. Ja., Sergeeva N. T., Slutskaia T. N., Stepancova G. E. *Biotekhnologiya moreproduktov: uchebniki i ucheb. posobiya dlja stud. vyssh. ucheb. zaved* [Biotechnology of seafood: textbooks for students of higher educational establishment]. Moscow, MIR, 2006, 560 p.
2. Do Le Hyu Nam. *Poluchenie zhelatina iz kollagensoderzhashchih produktov razdelki prudovyh ryb s ispol'zovaniem fermentnyh preparatov. Avtoreferat diss. kand tehn. nauk* [Gelatin production from collagen-containing processed pond fish products using enzyme preparations. Abstract of dis. cand. of techn. sci.]. Voronezh, 2012, 24 p.
3. Vorob'ev V. I., Nizhnikova E. V. *Issledovanie i primenienie rybnog cheshui v razlichnyh otrasljah promyshlennosti* [Research and application of fish scale

in various industries]. *Izvestija Kaliningradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2017, no. 45, pp. 147-159.

4. Samojlova D. A., Cibizeva M. E. Vtorichnye resursy rybnoj promyshlennosti kak istochnik pishchevyh i biologicheski aktivnyh dobavok [Secondary resources of the fishing industry as a source of food and biologically active additives]. *Vestnik Astrahanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta: Ser. Rybnoe hozjajstvo*, 2015, no. 2, pp.129-136.

5. Antipova L. V., Vu Thi Loan. Sposob polucheniya zhelatina iz cheshui prudovyh ryb [Method of obtaining gelatin from pond fish scale]. *Patent RF no.2009146397/13*. Data podachi zajavki 14.12.2009. Data publikacii patenta 27.06.2011.

6. Pokusaeva O. A., Dolganova N. V., Jakubova O. S. Ihtiozhelatin kak osnova s"edobnyh plenochnyh pokrytij dlya pishchevyh produktov [Ichthyogelatin as a basis of edible film coatings for food products]. *Vestnik Astrahanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta: Ser. Rybnoe hozjajstvo*, 2015, no 2, pp. 123-128.

7. Ivanova E. A., Jakubova O. S., Bajrambekov Sh. B., Poljakova E. V. Effektivnost' ispol'zovaniya polimernyh kompozicij na osnove kleja iz cheshui ryb dlja predposevnoj obrabotki semjan [Efficiency of using polymer compositions based on fish scale for pre-sowing seed treatment]. *Vestnik Astrahanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta: Ser. Rybnoe hozjajstvo*, 2015. no. 1, pp. 99-106.

8. Kao T. H. Fiziko-himicheskie harakteristiki zhelatina iz kozhi ryb [Physico-chemical characteristics of gelatin from fish skin]. *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Pishchevaja tekhnologija*, Krasnodar, 2011. no. 2. pp. 27-29.

9. Ivanova E. A., Jakubova O. S. Tovarovednaya harakteristika kleja, poluchaemogo iz cheshui ryb [Commodity characteristics of glue obtained from fish scale]. *Vestnik Astrahanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta: Ser. Rybnoe hozjajstvo*, 2013, no. 3, pp. 162 - 168.

10. Mezenova N. Ju., Baydalinova L. S., Mezenova O. Ja. Gidrolizaty rybnoj cheshui v sostave bazovogo specializirovannogo pitaniya sportsmenov [Fish hydrolyzates in the basic specialized nutrition of athletes]. *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Pishchevaja tekhnologija*. Krasnodar, 2014, no. 4, pp. 62-65.

11. Ivanova S. F., Petrova N. N. Issledovanie kollagena iz plavatel'nogo puzyrja osetrovyh (Acipenseridae)i sigovyh (Corogenidae) porod ryb [Study of collagen from the swim bladder of sturgeon (Acipenseridae) and whitefish (Corogenidae)]. *Vestnik Severo-Vostochnogo federal'nogo universiteta im. M. K. Ammosova*. Jakutsk, 2015, pp. 51-58.

12. Jakubova O. S., Kotenko A. L. Cheshuja kak istochnik polucheniya ihtiozhelatina [Scale as a source of ichthyogelatin]. *Vestnik Astrahanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta: Ser. Rybnoe hozjajstvo*, 2004, no. 4, pp. 130-136.

13. Djachenko E. P., Kao Thi Hue. Sposob proizvodstva zhelatina [A method of gelatin production]. *Patent RF no. 2487152*. 2012. Data podachi zajavki 15.10.2012. Data publikacii patenta 10.07.2013.

14. Zarubina N. Ju., Bredihina O. V., Semenov G. V., Krasnova I. S. Poluchenie suhih vysokokachestvennyh rybnyh gidrolizatov s ispol'zovaniem vakuumnoj sublimacionnoj sushki [Preparation of dry high quality fish hydrolyzates using vacuum freeze drying]. *Vestnik Astrahanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta: Ser. Rybnoe hozjajstvo*, 2016, no. 3, pp. 138-143.

15. *GOST 7636-85. Ryba, morskije mlekopitajushchie, morskije bespozvochnnye i produkty ih pererabotki. Metody analiza* [Fish, marine mammals, marine invertebrates and products of their processing. Methods of analysis]. Moscow, Standartinform, 2010, 123 p.

16. *GOST 11293-89. Zhelatin. Tekhnicheskie usloviya* [Gelatin. Technical specifications]. Moscow, ИПК, Izdatel'stvo standartov, 2001, 25 p.

17. *GOST 7631-2008. Ryba, nerybnye ob"ekty i produkcija iz nih. Metody opredelenija organolepticheskikh i fizicheskikh pokazatelej* [Fish, nonfish objects and products made of them. Methods for determining organoleptic and physical parameters]. Moscow, Standartinform, 2011, 15 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Байдалинова Лариса Степановна – Калининградский государственный технический университет; кандидат технических наук, доцент; профессор кафедры пищевой биотехнологии; E-mail: larisa.baydalinova@klgtu.ru

Baydalinova Larisa Stepanovna – Kaliningrad State Technical University; PhD in Engineering, Associate Professor; Professor at the Department of Food Biotechnology; E-mail: larisa.baydalinova@klgtu.ru

Ляпустина Елизавета Евгеньевна – Калининградский государственный технический университет; бакалавр; E-mail: liza.lyapustina@bk.ru

Lyapustina Elizaveta Evgenievna – Kaliningrad State Technical University; Bachelor degree holder; E-mail: liza.lyapustina@bk.ru

УДК 628.3:639.2/.3(06)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОСАДКА ПРОМЫВНЫХ ВОД РЫБОПЕРЕРАБОТКИ

В. И. Воробьев

THE USE OF SLUDGE WASH WATER OF FISH PROCESSING

V. I. Vorobyov

Цель исследований – вовлечение неиспользуемого осадка промывных вод (ОПВ) рыбопереработки в производственный цикл получения натурального органического удобрения на основе рыбного сырья. Проведены физико-химические и токсикологические исследования ОПВ, образующегося в процессе предварительной обработки промывных вод рыбопереработки (коагуляции и осаждения) перед их направлением на биологическую очистку. Отмечено, что по содержанию токсичных элементов ОПВ отвечает требованиям нормативных документов (НД) и относится к первой группе осадков, которые после предварительной обработки (компостирования), гарантирующей гибель патогенных бактерий и яиц гельминтов, могут быть использованы в качестве удобрения под все виды сельскохозяйственных культур, кроме овощных, грибов, зеленных и земляники. Необходимость предварительного компостирования ОПВ ограничивает его применение в качестве удобрения. Технология муки кормовой на основе рыбной чешуи, внедрённая в ООО НПП «Прок-М» (Калининградская область), может быть адаптирована для переработки ОПВ с целью получения натурального органического удобрения на основе рыбного сырья. С применением данной технологии была изготовлена опытная партия сухого органического удобрения с использованием ОПВ. Полученный высушенный готовый продукт относится к дефицитным фосфорно-азотным органическим удобрениям (массовая доля фосфора – 21,2, азота – 5,8, калия – 0,08 %) и по содержанию токсичных элементов отвечает требованиям НД. Полевой опыт с применением сухого органического удобрения на основе рыбного сырья показал более высокую урожайность свеклы, картофеля, капусты, моркови по сравнению с контролем, где в качестве органического удобрения использовался перегной (навоз) крупного рогатого скота.

рыбная чешуя, осадок промывных вод рыбопереработки, цинк, токсичные элементы, органическое удобрение

The aim of the research is to involve unused wash water sludge (WWS) of fish processing in the production cycle of natural organic fertilizer based on fish raw materials. The work involved carrying out physical-chemical and toxicological studies of WWS formed in the process of pre-treatment of wash water of fish processing (coagulation and deposition) before they are sent to biological treatment. It has been noted that the content of toxic elements of WWS meets the requirements of normative documents (ND) and refers to the 1st group of precipitation which, after pre-treatment (compost-

ing) ensuring destruction of pathogenic bacteria and helminth eggs, can be used as fertilizer for all types of crops except vegetables, mushrooms, herbaceous and strawberry. The need for pre-composting of WWS, limits its use as a fertilizer. The technology of feed meal on the basis of fish scales introduced in LLC RPE "Prok-M" (Kaliningrad region), can be adapted for processing of WWS in order to obtain a natural organic fertilizer based on fish raw materials. On the basis of this technology, a pilot batch of dry organic fertilizer was made using WWS. The dried finished product belongs to the deficit phosphorus-nitrogen organic fertilizers (mass fraction of phosphorus-21.2%, nitrogen-5.8%, potassium-0.08%) and the content of toxic elements meets the requirements of ND. Field experience with the use of dry organic fertilizer based on fish raw materials has showed higher yields of beet, potatoes, cabbage, carrots, compared with the control, where humus (manure) of cattle was used as organic fertilizer.

fish scale, fish processing wash water sludge, zinc, toxic elements, organic fertilizer

ВВЕДЕНИЕ

В процессе производства рыбных консервов используются значительные объёмы пресной воды, необходимой для промывки рыбного сырья. По данным проведённых исследований вместе с промывными водами при производстве 1 т консервов теряется 79 кг сухих веществ рыбного сырья, 40 кг водорастворимых веществ, 5 кг общего азота [1]. В настоящее время данные отходы практически не применяются и являются источниками загрязнения окружающей среды.

На рыбоконсервном комплексе ООО «РосКон» (г. Пионерский, Калининградская область), перерабатывающем 60-80 т рыбного сырья в сутки, применяется биологическая очистка промывных вод, где предварительно из них отделяются (коагуляция, осаждение) нерастворимые твердые органические вещества, которые в настоящее время практически не используются.

Цель исследований – вовлечение неиспользуемого осадка промывных вод (ОПВ) рыбопереработки в производственный цикл получения натурального органического удобрения на основе рыбного сырья.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектами исследования являлись ОПВ, образующийся в процессе предварительной обработки промывных вод рыбопереработки (коагуляция и осаждение) перед поступлением на станцию биологической очистки рыбоконсервного комплекса ООО «РосКон» (г. Пионерский, Калининградская обл.), а также чешуя сардины (*Sardina pilchardus*) и сардинеллы (*Sardinella aurita*), полученные на данном предприятии при разделке рыбы. Переработку данного рыбного сырья с целью получения натурального высушенного органического удобрения осуществляли на производственной базе ООО НПП «Прок-М» (пос. Павлинино, Калининградская область). Исследования химического состава исходного рыбного сырья и сухого органического удобрения проводили в ФГБУ «Центр агрохимической службы «Калининградский» в соответствии с нормативными документами (НД), указанными в табл. 1, 2.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

С целью очистки промывных вод от органических веществ применяются различные способы их обработки (физические, химические, биологические) [2, 3]. Перед биологической очисткой из них предварительно отделяют твёрдые взвешенные частицы (осадок). Химический состав пробы образующегося осадка представлен в табл. 1.

Таблица 1. Химический состав осадка промывных вод (ОПВ)
Table 1. Chemical composition of wash water sludge (WWS)

Наименование показателей, единицы измерения	НД на методы испытаний	Значение характеристики	
		по ГОСТ Р 17.4.3.07-2001	при испытании
Массовая доля влаги, %	ГОСТ 26713-85	-	85,0±0,5
Кислотность (рН _{KCL}), ед. рН	ГОСТ 27979-88	5,5-8,5	6,4±0,3
Массовая доля на сухое вещество, %:		Не менее	-
органического вещества	ГОСТ 26213-91	20	85,1±0,4
золы	ГОСТ 26712-94	-	14,9±0,9
общего азота	ГОСТ 26715-85	0,6	6,9±0,5
общего фосфора (P ₂ O ₅)	ГОСТ 26717-85	1,5	5,05±1,1
общего калия (K ₂ O)	ГОСТ 26718-85	-	0,48±0,01
Токсичные элементы, мг/кг	СП 1.2.1170-02	Не более	-
медь	РД 52.18.191-89	750	6,1±1,7
цинк	ГОСТ Р 53218-2008	1750	135±1,9
никель		200	5,1±0,7
свинец		250	1,4±1,9
кадмий		15	0,33±0,14
хром		500	6,7±2,5
ртуть	Атомно-абсорбционный метод определения ртути в почвах, 1989 г.	7,5	0,044±0,010
мышьяк	МУ по определению мышьяка в почвах фотометрическим методом. – М., 1993 г.	10	0,5±0,1

Из табл. 1 видно, что полученный ОПВ по содержанию токсичных элементов отвечает требованиям НД и относится к первой группе осадков, которые могут быть использованы в качестве удобрения под все виды сельскохозяйственных культур, кроме овощных, грибов, зеленных и земляники, а также применяться в промышленном цветоводстве, зелёном строительстве, лесных и декоративных питомниках для биологической рекультивации нарушенных земель и полигонов ТБО [4].

В качестве удобрения можно использовать ОПВ, который предварительно был подвергнут обработке (компостированию), гарантирующей гибель патогенных бактерий и яиц гельминтов.

Дозы внесения зависят от содержания токсичных элементов в удобрении и почве, а также вида сельскохозяйственных культур.

Учитывая необходимость предварительного компостирования (длительность и наличие неприятного запаха при проведении процесса), ОПВ не находит применения в качестве удобрения.

В настоящее время одним из ключевых трендов АПК России является органическое сельское хозяйство, о чём свидетельствует принятый проект федерального закона «О производстве органической продукции», разработанный Минсельхозом России [5]. За последние 15 лет объем мирового рынка органических продуктов вырос почти в пять раз – до 100 млрд. долл., и сегодня он составляет 10 % от общего объема мирового рынка продовольствия. По прогнозам экспертов, к 2022 г. рынок органической продукции превысит 200 млрд. долл. [6]. Дефицит экологически чистых органических удобрений в России оценивается в объеме не менее 300 тыс. т в год [7].

С учетом значительных объёмов потерь твёрдых органических веществ при промывке рыбного сырья возникает необходимость в разработке экономически эффективных способов максимального извлечения органических веществ из промывных вод с целью их использования в качестве натурального удобрения.

Визуально основная масса твёрдых частиц ОПВ состоит из чешуи, рыбных костей и тканей. Учитывая значительную массовую долю влаги ОПВ (85 %) и, соответственно, возможность его быстрой порчи, необходимо проводить его обработку с целью получения конечного продукта с массовой долей влаги не более 12 %.

На ООО НПП «Прок-М» (пос. Павлинино, Калининградская обл.) внедрена экономически эффективная технология муки кормовой на основе рыбной чешуи, где чешуя предварительно очищается от органических примесей при помощи растительного сырья и далее смешивается с другими рыбными отходами, измельчается и высушивается за счёт тепла, выделяемого при трении рыбной смеси в сушильной установке [8, 9].

Данная технология может быть адаптирована для получения сухого рыбного органического удобрения с использованием ОПВ. На производственной базе данного предприятия были изготовлены опытные партии органического удобрения с использованием ОПВ, полученного от ООО «РосКон». Химический состав высушенного органического удобрения представлен в табл. 2.

Таблица 2. Химический состав высушенного органического удобрения на основе рыбного сырья

Table 2. Chemical composition of dried organic fertilizer based on fish raw materials

Наименование показателей, единицы измерения	Наименование НД на методы испытаний	Значение характеристики	
		по НД	при испытании
1	2	3	4
Массовая доля влаги, %	ГОСТ 26713-85	-	11,7±0,3
Кислотность (рНКЛ), ед. рН	ГОСТ 27979-88	6,0-8,5	7,1±0,3
Массовая доля органического вещества (на сухое вещество), %	ГОСТ 26213-91	-	52,0±0,3
Массовая доля золы, %	ГОСТ 26714-85	-	48,0±0,8

Окончание табл. 2

1	2	3	4
Массовая доля в удобрении с исходной влажностью, %		-	
общего азота	ГОСТ 26715-85	-	5,8±0,7
общего фосфора (P ₂ O ₅)	ГОСТ 26717-85	-	21,2±1,5
общего калия (K ₂ O)	ГОСТ 26718-85	-	0,08±0,005
Токсичные элементы (валовое содержание) в сухом веществе, мг/кг	СП 1.2.1170-02	ПДК (ОДК) не более	-
медь	ГОСТ Р 53218-2008	33	1,3±0,3
цинк		55	67,0±14,1
никель		20	4,6±1,6
свинец		32	3,5 ±1,2
кадмий		0,5	0,06±0,02
хром		100	6,2±2,2
ртуть	Атомно-абсорбционный метод определения ртути в почвах, 1992 г.	2,1	0,016±0,005
мышьяк	МУ по определению мышьяка в почвах фотометрическим методом. – М., 1993 г.	2,0	1,7±0,5

Как видно из табл. 2, полученный готовый продукт относится к наиболее дефицитным фосфорно-азотным органическим удобрениям [7].

Повышенное содержание фосфора в органическом удобрении (табл. 2) связано со значительным количеством рыбных костей в исходном рыбном сырье, а также чешуи сардинеллы и сардины, о чём свидетельствует несколько повышенное содержание цинка (но не более 95 мг/кг, при коэффициенте не более 0,8 от максимального значения 55 мг/кг), что позволяет использовать полученный продукт в качестве натурального органического удобрения на основе рыбного сырья.

Химический состав высушенного органического удобрения зависит от вида и способа разделки рыбного сырья. Кроме того, технология его получения позволяет получать комплексное органическое удобрение путём добавления различных органических составляющих (животного и растительного происхождения) в процессе высушивания сырья.

Добавление мелассы (отход сахарного производства) позволяет сбалансировать конечный продукт по одному из трёх основных элементов удобрений (НРК) – калию. Применение в качестве компонента удобрения шелухи семечек, оболочек бобовых, сухой барды (отход спиртового производства) позволит разрыхлить грунт, улучшить химический состав почвы, а также её проницаемость и аэрацию.

Преимуществами разработанной технологии являются кратковременность тепловой обработки при высушивании исходного сырья, гарантирующие гибель патогенных бактерий и яиц гельминтов, а также возможность вовлечения в производственный цикл недоиспользуемого органического сырья с целью получения натуральных комплексных органических удобрений.

Опытная партия сухого органического удобрения на основе ОПВ и рыбной чешуи была использована при выращивании свеклы, картофеля, капусты, моркови на сельскохозяйственных землях ООО «ФСК» (пос. Городково, Калининградская обл.). Полевой опыт показал более высокую урожайность указанных культур при применении органического удобрения на основе рыбного сырья по сравнению с контролем, где в качестве органического удобрения употреблялся перегной (навоз) крупного рогатого скота. Эксперимент показал перспективность использования ОПВ в качестве компонента натурального органического удобрения на основе рыбного сырья.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Отмечено, что по содержанию токсичных элементов ОПВ отвечает требованиям нормативных документов (НД) и относится к первой группе осадков, которые после предварительной обработки (компостирования), гарантирующей гибель патогенных бактерий и яиц гельминтов, могут быть использованы в качестве удобрения под все виды сельскохозяйственных культур, кроме овощных, грибов, зеленных и земляники.

Необходимость предварительного компостирования ОПВ ограничивает его применение в качестве удобрения.

Технология муки кормовой на основе рыбной чешуи была адаптирована для получения опытной партии сухого органического удобрения с использованием ОПВ. Полученный готовый продукт относится к дефицитным фосфорно-азотным органическим удобрениям (массовая доля фосфора – 21,2, азота – 5,8, калия – 0,08 %) и по содержанию токсичных элементов соответствует требованиям НД.

Полевой опыт с применением сухого органического удобрения на основе рыбного сырья показал более высокую урожайность свеклы, картофеля, капусты, моркови по сравнению с контролем, где в качестве органического удобрения употребляли перегной (навоз) крупного рогатого скота, что говорит о перспективности использования ОПВ в составе натуральных комплексных органических удобрений.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Usydus, Z. U. Chemical characteristics of wastewater in the fish processing industry. / Z. U. Usydus, P. J. Bykowski // Bulletin of the Sea Fisheries Institute. – 1998. – №1 (143). – P. 63-73.
2. Usydus, Z. U. The utilization of waste and raw materials contained in wastewater from the fish processing industry. Z. U. Usydus, P. J. Bykowski // Bulletin of the Sea Fisheries Institute. – 1998. – №1 (143). – P. 17-28.

3. Cristovão R. Chemical and biological treatment of fish canning wastewaters. / R. Cristóvão, C. Botelho, R. Martins, R. Boaventura // International Journal of Bioscience, Biochemistry and Bioinformatics. – 2012. – Vol. 2, No.4. – P. 237-242.
4. ГОСТ Р 17.4.3.07-2001 Охрана природы (ССОП). Почвы. Требования к свойствам осадков сточных вод при использовании их в качестве удобрений. [Электронный ресурс]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200017708>.
5. Производителей органической продукции внесут в Госреестр [Электронный ресурс]. – URL: <https://pronedra.ru/proizvoditelej-organicheskoy-produkcii-vnesut-v-gosreestr-266360.html> (дата обращения 29.07.2018).
6. Правительством одобрен законопроект об органическом сельском хозяйстве 18 января 2018 [Электронный ресурс]. – URL: <http://sozrf.ru/pravitelstvom-odobren-zakonoproekt> (дата обращения 29.07.2018).
7. Органические удобрения: перспективы производства и применения в современных агротехнологиях [Электронный ресурс]. – URL: <http://svetich.info/publikacii/agronauka/organicheskie-udobrenija-perspektivy-pro.html> (дата обращения 29.07.2018).
8. Пат. (Россия), № 2621028 С1 А23К 10/38. Способ получения кормовой добавки или удобрения / В. И. Воробьев; опубл. 30.05.2017. Бюл. 16. – С. 4.
9. Воробьев, В. И. Технология муки кормовой на основе рыбной чешуи: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.04 / Воробьев Виктор Иванович; КГТУ. – Калининград, 2018. – 242 с.

REFERENCES

1. Usyduş Z. U., Bykowski P. J. Chemical characteristics of wastewater in the fish processing industry. Bulletin of the Sea Fisheries Institute, 1998, no. 1 (143), pp. 63-73.
2. Usyduş Z. U., Bykowski P. J. The utilization of waste and raw materials contained in wastewater from the fish processing industry. Bulletin of the Sea Fisheries Institute, 1998, no. 1 (143), pp. 17-28.
3. Cristovão R., Botelho C., Martins R., Boaventura R. Chemical and biological treatment of fish canning wastewaters. International Journal of Bioscience, Biochemistry and Bioinformatics. 2012, vol. 2, no. 4, pp. 237-242.
4. GOST R 17.4.3.07-2001 *Okhrana prirody (SSOP). Pochvy. Trebovaniya k svoystvam osadkov stochnykh vod pri ispolzovanii ikh v kachestve udobreniy* [Nature Protection (JMPR). Soils. Requirements for the properties of sewage sludge when used as a fertilizer]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200017708> (Accessed 29 July 2018).
5. *Proizvoditeley organicheskoy produktsii vnesut v gosreestr* [Producers of organic products will make the state register]. Available at: <https://pronedra.ru/proizvoditelej-organicheskoy-produkcii-vnesut-v-gosreestr-266360.html> (Accessed 29 July 2018).
6. *Pravitelstvom odobren zakonoproekt ob organicheskom selskom khozyaystve 18 yanvarya 2018* [The government has approved the bill on organic agriculture on January 18, 2018]. Available at: <http://sozrf.ru/pravitelstvom-odobren-zakonoproekt> (Accessed 29 July 2018).

7. *Organicheskie udobreniya: perspektivy proizvodstva i primeneniya v sovremennykh agrotekhnologiyakh* [Organic fertilizers: prospects of production and application in modern agricultural technologies]. Available at: <http://svetich.info/publikacii/agronauka/organicheskie-udobrenija-perspektivy-pro.html> (Accessed 29 July 2018).

8. Vorobev V. I. Sposob polucheniya kormovoy dobavki ili udobreniya [A method of producing a feed additive or fertilizer]. Pat. RU 2621028 S1 A23K 10/38. Publ 30. 05. 2017. Bul. 16, pp. 4.

9. Vorobyov V. I. *Tekhnologiya muki kormovoy na osnove rybnoy cheshui. Dis. kand. tekhn. nauk* [Technology of feed meal on the basis of fish scale. Dis. kand. techn. sci.]. Kaliningrad, 2018, 242 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Воробьёв Виктор Иванович – Калининградский государственный технический университет; доцент кафедры химии; E-mail: mobi.dik.10@mail.ru

Vorobyov Victor Ivanovich – Kaliningrad State Technical University; Associate Professor of the Department of Chemistry; E-mail: mobi.dik.10@mail.ru

УДК 608.2

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРОЦЕССА АВТОФЛОКУЛЯЦИИ КЛЕТОК
МИКРОВОДОРОСЛИ *CHLORELLA SOROKINIANA* В АКВАКУЛЬТУРЕ
НА ПОЛУЧЕНИЕ КОМПЛЕКСА ПИГМЕНТОВ

Т. А. Кузнецова, Ю. Г. Базарнова, А. С. Боргоякова

THE EFFECT OF AUTOFLOCCULATION OF *CHLORELLA SOROKINIANA*
MICROAIGAE CELLS IN AQUACULTURE ON OBTAINING THE PIGMENT
COMPLEX

T. A. Kuznetsova, Yu. G. Bazarnova, A. S. Borgoyakova

Культивирование микроводорослей *Chlorella* для получения продуктов с высокой добавленной стоимостью является перспективным направлением аква-биотехнологии ввиду высокой скорости роста биомассы. Биомасса вида *C. sorokiniana* – перспективный сырьевой источник для производства кормов, а также получения эссенциальных липидов, пигментов, белков, растительных волокон. До сих пор не найдено дешевого и эффективного способа концентрирования биомассы, позволяющего снизить общую себестоимость продуктов из *C. sorokiniana* и при этом максимально эффективно извлечь ценные компоненты. *Цель работы* – исследовать процесс автофлоркуляции микроводорослей *C. sorokiniana* и установить влияния рН на динамику и эффективность процесса, а также на выход комплекса пигментов. Установлено, что эффективность автофлоркуляции при рН 11 составляет 95,4 % при минимальном времени седиментации 30 мин. Увеличение рН более 11 приводит к частичной гибели клеток популяции. Показано, что продолжительность седиментации флоркулятов зависит от фазы роста популяции и увеличивается в фазе интенсивного роста. Выход суммы пигментов из биомассы, седиментированной путем автофлоркуляции, составил 32,58 мг/г сухой биомассы. В пигментный комплекс входит хлорофилл а и b (12,93 и 9,51 мг/г соответственно). Выход каротиноидов в экстракты составил 6,49 мг/г сухой биомассы. Данные показатели сопоставимы с выходом пигментов из биомассы, осаждаемой традиционными механическими способами: центрифугированием и фильтрацией.

Chlorella sorokiniana, автофлоркуляция, клеточная суспензия, седиментация, экстракция, пигментный комплекс, хлорофилл, каротиноиды

Cultivation of *Chlorella sorokiniana* microalgae in order to obtain products with high added value is a promising direction of aqua-biotechnology due to the high rate of biomass growth. The biomass of *C. sorokiniana* is a promising source of raw materials for feed production, as well as for obtaining essential lipids, pigments, proteins, and plant fibers. Until now, there has not been discovered a cheap and effective method of concentrating biomass, allowing to reduce the total cost of products from *C. sorokiniana* and, at the same time, to extract valuable components as efficiently as possible.

The aim of the work is to study the process of autoflocculation of *C. Sorokiniana* microalgae and the effect of the pH of the suspension on the dynamics and efficiency of the process, as well as on the output of the complex of pigments. It has been established that the efficiency of autoflocculation at pH 11 is 95.4% with a minimum sedimentation time of 30 minutes. An increase in pH of more than 11 leads to a partial death of the population cells. It is shown that the duration of the sedimentation of the floccules depends on the phase of population growth and increases in the phase of intensive growth. Determination of the amount and components of the pigment complex in ethanol extracts has been performed spectrophotometrically. The output of the amount of pigments from the biomass of the precipitated autoflocculation was 32.58 mg / g of dry biomass. The pigment complex includes chlorophyll a and b (12.93 and 9.51 mg / g, respectively). The output of carotenoids in the extracts was 6.49 mg / g of dry biomass. These figures are comparable with the output of pigments from biomass deposited by traditional energy-intensive mechanical methods: centrifugation and filtration.

Chlorella sorokiniana, autoflocculation, cell suspension, sedimentation, pigment complex, spectrophotometry, chlorophyll, carotenoids

ВВЕДЕНИЕ

Культивирование микроводорослей *Chlorella sorokiniana* для получения продуктов с высокой добавленной стоимостью является перспективным направлением аквабиотехнологии ввиду высокой скорости роста биомассы [1, 2], содержащей значительное количество ценных компонентов [3], а также низких затрат на культивирование [4].

Биомасса микроводорослей *C. sorokiniana* является перспективным сырьевым источником для производства кормов, а также получения эссенциальных липидов, пигментов, белков, растительных волокон [5].

Незначительная масса клеток водорослей *C. sorokiniana* и отрицательный заряд на их поверхности создают проблемы концентрирования биомассы и ее отделения от культуральной среды [6].

Сбор биомассы микроводорослей в аквакультуре чаще всего проводят методом центрифугирования, который является весьма энергозатратным, что увеличивает общую себестоимость продуктов из микроводорослей на 30 % [7].

Таким образом, разработка эффективного способа концентрирования биомассы является весьма актуальной для снижения затрат и более успешной коммерциализации продуктов переработки микроводорослей.

Флокуляция рассматривается как перспективный способ концентрирования биомассы микроводорослей, позволяющий заметно сократить затраты. Увеличение размера частиц путем образования флоков позволяет повысить скорость осаждения биомассы за счет гравитационных сил (рис. 1) [8].

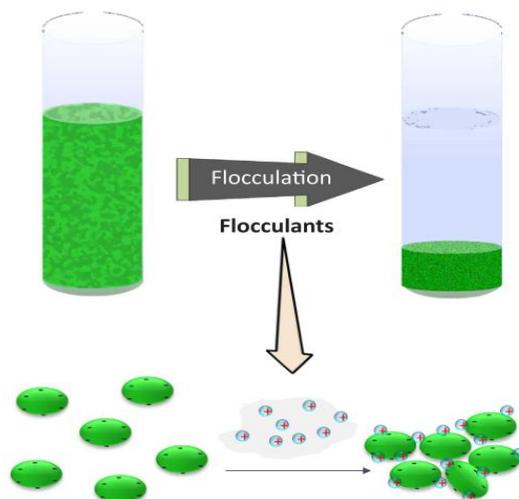


Рис. 1. Схема флокуляции отрицательно заряженных клеток одноклеточных водорослей при нейтрализации их заряда с помощью катионных флокулянтов [9]
 Fig. 1. Scheme of flocculation of negatively charged cells of unicellular algae while neutralizing their charge with the help of cationic flocculants [9]

На сегодняшний день изучено несколько методов флокуляции одноклеточных водорослей, в том числе химические, физические, биологические, автофлокуляция и флокуляция, вызываемая генетической модификацией [8]. Известен опыт использования коагулянтов, таких как сульфат магния, хлорид железа [10], алюминиевые квасцы [9], а также флокулянтов – хитозана, полиакриламида [11].

Стоит отметить ряд недостатков использования химических коагулянтов и флокулянтов. В их числе загрязнение биомассы катионами металлов, оказывающее негативное влияние на обменные процессы в клетках, отсутствие возможности рециклинга питательных сред, а также риск попадания токсичных примесей в питательную среду. В качестве флокулянтов предпочтительны природные биополимеры, однако в этом случае определяющими факторами являются кислотность среды и присутствие посторонних электролитов, оказывающих влияние на целостность клеток. Избыточная кислотность растворов хитозана, используемых в технологиях очистки сточных вод от нефтяных и других органических загрязнений, приводит к стрессу клеток и деградации ценных фитохимических веществ [8].

Биофлокуляция является альтернативным способом концентрирования биомассы микроводорослей за счет сочетанного использования симбиотических микроорганизмов или полярных по заряду микроводорослей, который пока не изучен полностью и требует дополнительных затрат на культивирование микроорганизмов-флокулянтов [7, 12].

Одним из новых способов концентрирования биомассы является электрофлокуляция. Она не предполагает использования дополнительных флокулянтов, поэтому может быть перспективной [13].

Известно, что в биомассе микроводорослей при повышении pH более 9 может спонтанно возникать автофлокуляция [14], что связано с образованием осадка гидроксидов кальция или магния, частицы которых обладают поверхностным зарядом и могут выполнять роль коагулянтов [8].

Цель настоящей работы – исследование процесса автофлокуляции микроводорослей *C. sorokiniana* и влияния pH и концентрации клеток в суспензии на его динамику и эффективность.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

В качестве прекультуры *C. sorokiniana* использовали штамм 211-8k из коллекции водорослей университета Гёттингена (Германия), который культивировали в лабораторных условиях [2] в пилотном фотобиореакторе.

Для освещения клеточной суспензии использовали светодиодные светильники со световым потоком 700 лм, коррелированной цветовой температурой (К) 2900÷3200 (теплый дневной свет). Температура культивирования составляла $(23\pm 1)^\circ\text{C}$; интенсивность аэрации смеси – 1,5 л/мин. Культуральную среду, сбалансированную по содержанию макро- и микроэлементов, готовили в соответствии с рекомендациями авторов [15]. Продолжительность культивирования до достижения максимальной концентрации клеток в суспензии в лабораторных условиях составляла 9-10 сут.

Для изучения процесса автофлокуляции суспензию помещали в стеклянные цилиндры объемом 100 мл, в каждом из которых варьировали pH в диапазоне от 7 до 12 путем внесения 0,1 н растворов NaOH или HCl при постоянном перемешивании. Контроль pH осуществляли на приборе Mini pH Meter (АКВА-ЛАБ, Россия).

Эффективность флокуляции определяли по оптической плотности клеточной суспензии при длине волны 750 нм на спектрофотометре UVmini-1240 (SHIMADZU), по отношению к раствору культуральной среды.

Эффективность флокуляции ЭФ (%) рассчитывали по формуле:

$$\text{ЭФ}(\%) = \frac{OD_{750(\tau_0)} - OD_{750(\tau)}}{OD_{750(\tau_0)}} 100,$$

где $OD_{750(\tau_0)}$ – оптическая плотность суспензии в момент времени τ_0 ; $OD_{750(\tau)}$ – оптическая плотность осветленного слоя суспензии в момент времени τ ($\tau > \tau_0$).

Микроскопирование прижизненных препаратов суспензии микроводорослей, окрашенных метиленовым синим для выявления мертвых клеток, проводили с помощью микроскопа МИКМЕД-6 с системой визуализации (АО «ЛОМО», Санкт-Петербург). Для обработки микрофотографий использовали программу Микроанализ FOTO (АО «ЛОМО», Санкт-Петербург) и Levenguk (производитель «Levenhuk LabZZ»).

Для количественного анализа пигментов (хлорофиллов и каротиноидов) в экстрактах биомассы использовали полосы поглощения пигментов в области 440, 649 и 664 нм и методику авторов [16, 17]. Характеристики состава пигментного комплекса в полученных экстрактах определяли по сумме пигментов и содержанию хлорофиллов и каротиноидов, а также соотношению хлорофиллов а и b.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Кривая роста биомассы *C. sorokiniana* описывается S-образной кривой (рис. 2, а), на которой можно выделить участки, соответствующие лаг-фазе, фазе экспоненциального роста и стационарной фазе (фазе истощения). Максимальная концентрация клеток биомассы 41×10^6 клеток/мл достигалась на девятые сутки культивирования, удельная скорость линейной фазы роста биомассы составляла $\mu = 0,26 \text{ сут}^{-1}$.

Наращение щелочности в процессе культивирования микроводорослей происходит за счет истощения культуральной среды, что является вполне естественным (рис. 2, б). Увеличение значения рН связано с потреблением клетками анионов солей питательной среды [18].

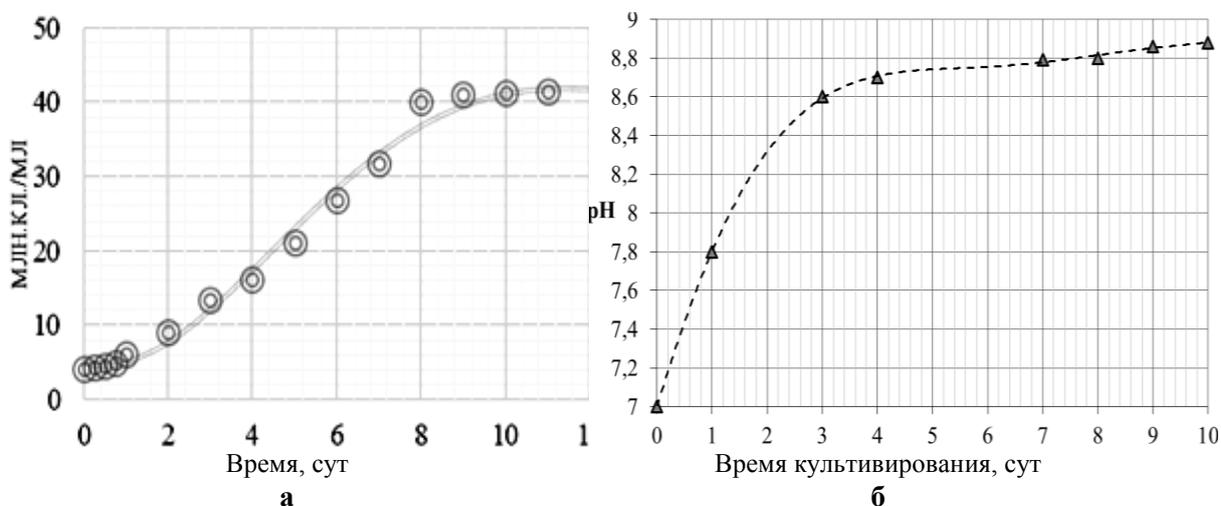


Рис. 2. Характеристика роста биомассы микроводорослей *C. sorokiniana*: а – кривая роста биомассы микроводорослей; б – динамика рН в процессе культивирования

Fig. 2. Characteristics of the growth of the biomass of *C. sorokiniana* microalgae: а – growth curve of the microalgae biomass; б – pH dynamics during cultivation

По мере истощения среды, примерно на шестые-седьмые сутки, когда рН достигает значений около 8-9, происходит автофлокуляция. Эффект ее несколько снижен за счет аэрации суспензии. В процессе культивирования рН может достигать 11 [19], однако оптимальное для синтеза биомассы значение рН, согласно литературным данным, находится в пределах 6-8 [18].

Увеличение рН приводит к осаждению ионов Mg^{+2} и Ca^{+2} из культуральной среды в виде гидроксидов на поверхности клеток, что нейтрализует поверхностный заряд последних [20].

Влияние рН на процесс автофлокуляции микроводорослей и эффективность этого процесса иллюстрирует рис. 3. Установлено, что в интервале рН от 7 до 10 происходит скрытая флокуляция, соответствующая стадии, при которой каких-либо внешних изменений не отмечается. В области рН 11 наблюдается порог перехода от скрытой флокуляции к явной, соответствующий концентрации электролитов, снижающих ξ -потенциал поверхности клеток до критической величины. Дальнейшее увеличение концентрации электролитов выше порога коагуляции

приводит к резкому повышению скорости флокуляции клеток, что в нашем случае соответствует рН 12.

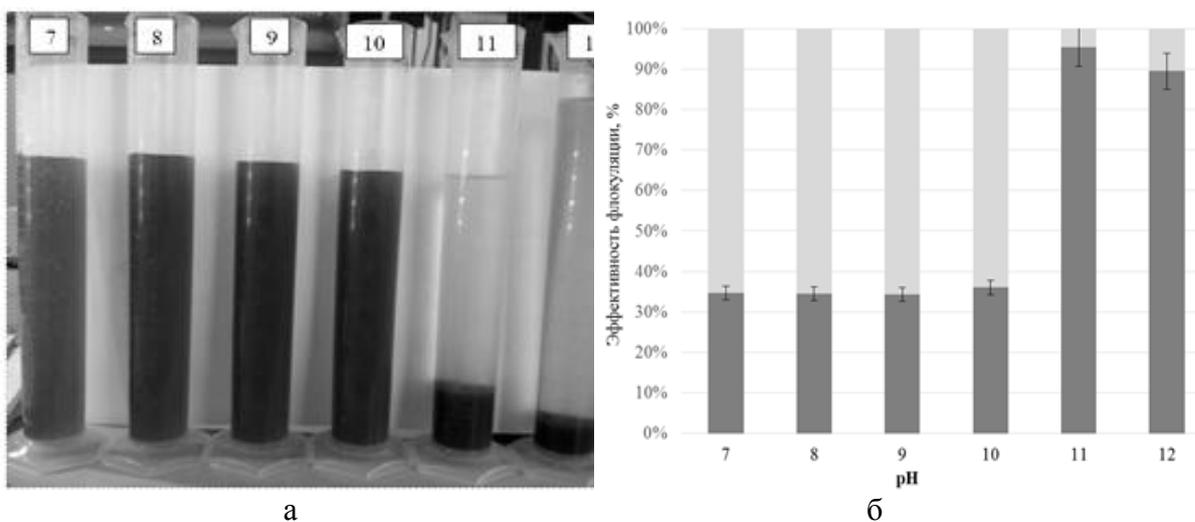


Рис. 3. Влияние рН: а) на процесс автофлокуляции микроводорослей *C. sorokiniana* (цифры на фотографии соответствуют значению рН); б) на эффективность автофлокуляции

Fig. 3. The influence of pH: a) on the process of autoflocculation of *C. sorokiniana* microalgae (the numbers in the photo correspond to pH value); b) on the effectiveness of autoflocculation

Интенсивность автофлокуляции зависит от нескольких факторов, в том числе от концентрации клеток в суспензии: при небольшой концентрации клеток (до 10 млн.кл./мл) автофлокуляция проходит менее интенсивно, что связано с большим расстоянием между клетками. Установлено, что процесс автофлокуляции популяции *C. sorokiniana* в фазе истощения происходит интенсивнее и заканчивается в течение 30 мин, в то время как в фазе интенсивного роста он протекает от 1,5 до 3,0 ч.

При достижении рН 12 снижение эффективности автофлокуляции от 96 до 90 % связано с началом гибели клеток, вызванной нарушением целостности клеточной оболочки и выходом окрашенных компонентов клетки в раствор, что подтверждают результаты микроскопирования прижизненных препаратов (рис. 4).

Микроскопирование биомассы микроводоросли позволило выявить образование единичных флоков при рН 10 (рис. 4). Количество флоков и их размер увеличивается при достижении рН 11. Дальнейшее увеличение щелочности (рН 12) приводит к уплотнению флоков, однако сопровождается появлением мертвых клеток.

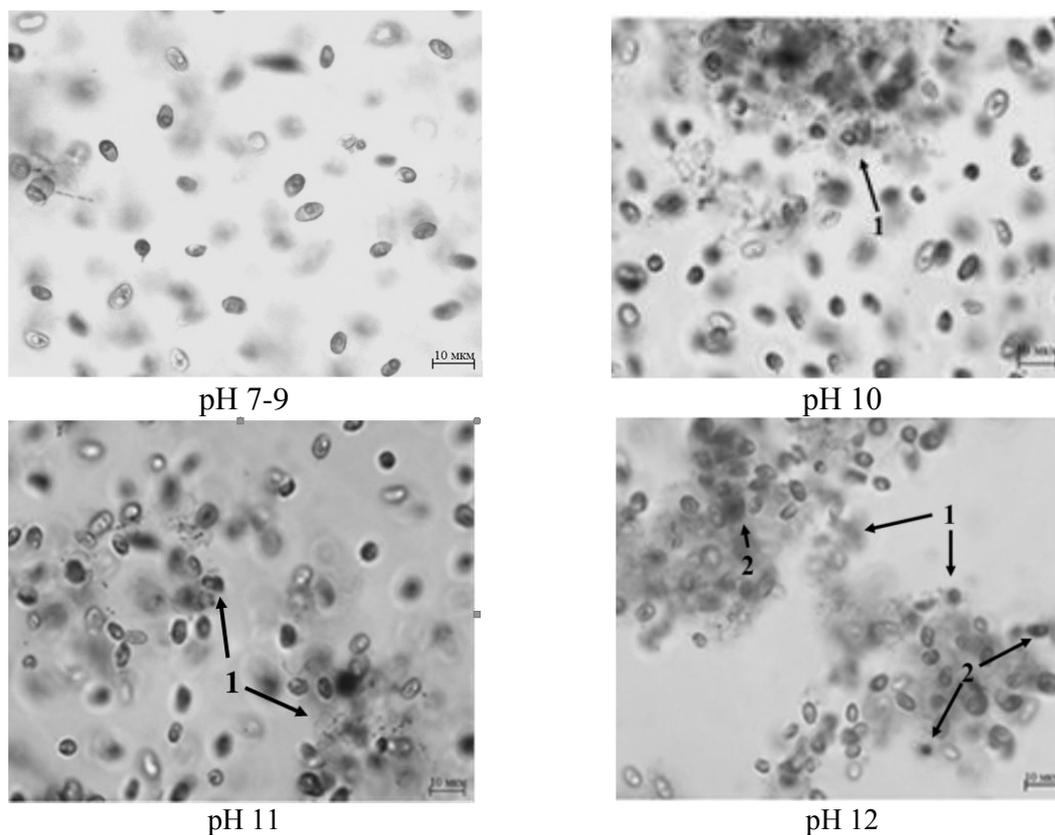


Рис. 4. Микроскопическая картина прижизненных препаратов *C. sorokiniana* при разных значениях pH суспензии: 1 – флоксы; 2 – мертвые клетки, окраска метиленовым синим

Fig. 4. Microscopic picture of *C. sorokiniana* intravital preparations at different pH values of the suspension: 1 – flocks; 2 – dead cells, stained with methylene blue

В таблице приведены сводные данные по влиянию способов концентрирования клеточной суспензии на выход пигментов из биомассы *C. sorokiniana*.

Установлено, что используемые способы концентрирования клеточной суспензии позволили выделить суммарное количество пигментов от 29,58 до 35,4 мг из 1 г сухой биомассы.

Таблица. Влияние способов концентрирования клеточной суспензии на выход пигментов из биомассы *C. sorokiniana*

Table. The effect of methods for concentration cell suspension on the output of pigments from *C. sorokiniana* biomass

Способ концентрирования	Σ пигментов, мг/г сухой биомассы	Chlorophyll, мг/г сухой биомассы			Carotenoids	
		<i>Cha</i>	<i>Chb</i>	<i>Cha/Chb</i>	мг/г сухой биомассы	% от Σ пигментов
Центрифугирование	29,58±1,48	10,01±0,50	10,11±0,51	0,99±0,27	5,49±0,27	21,45±1,07
Фильтрация через мембранный фильтр	35,44±1,52	15,95±0,79	12,93±0,65	1,64±0,08	5,99±0,31	18,93±1,02
Автофлокуляция	32,58±1,73	12,93±0,65	9,51±0,48	1,36±0,07	6,48±0,32	22,41±1,12

Наибольшее количество суммы пигментов соответствует способу концентрирования – фильтрация через мембранный фильтр, так как этот способ не предполагает повышения температуры и использования различных коагулянтов, а хлорофиллы и каротиноиды достаточно чувствительны к влиянию повышения температур, изменению pH [21, 22]. При центрифугировании наблюдается снижение содержания пигментов в экстрактах в среднем на 8,5 %, что связано с повышением температуры в процессе отделения жидкой фазы.

Отделение биомассы методом автофлокуляции позволяет удешевить технологию получения пигментов: снижение их содержания относительно показателя, соответствующего фильтрации биомассы, составляло 8,0 %. Содержание каротиноидов в исследуемых образцах варьировалось от 5,49 (центрифугирование) до 6,48 мг/г сухой биомассы (автофлокуляция).

ВЫВОДЫ

Автофлокуляция является эффективным способом концентрирования биомассы *C. sorokiniana*. Показано, что эффективность процесса флокуляции при pH 11 составляет 95,4 %. Установлено, что минимальная продолжительность седиментации флокулятов при pH 11 соответствует фазе стабилизации роста, когда концентрация клеток достигает максимума (41×10^6 клеток/мл). Увеличение pH до 12 приводит к гибели культуры вследствие разрушения клеточной оболочки.

При сравнении механических методов концентрирования биомассы микроводорослей и автофлокуляции по показателю выхода суммы пигментов в этанольные экстракты результат оказался сопоставимым. Выход суммы пигментов из биомассы, осаждаемой автофлокуляцией, составлял 32,58 мг/г сухой биомассы. Пигментный комплекс включает хлорофилл а и b (12,93 и 9,51 мг/г соответственно). Выход каротиноидов в экстракты составил 6,49 мг/г сухой биомассы.

Таким образом, автофлокуляцию можно использовать для промышленного концентрирования биомассы микроводорослей *C. Sorokiniana* из клеточной суспензии с целью получения пигментного комплекса.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследования проводились в рамках реализации федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы» по теме проекта: «Разработка и внедрение инновационных биотехнологий переработки микроводорослей *Chlorella sorokiniana* и ряски *Lemna minor*» (Соглашение № 14.587.21.0038). Уникальный идентификатор проекта RFMEFI58717X0038.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Franco, M. C. Batch cultivation of microalgae in the Labfors 5 Lux Photobioreactor with LED Flat Panel Option / M. C. Franco [Электронный ресурс]. – URL: [http://www.inforsht.com/images/downloads/application_notes_photosynthesis_biofuel/Batch_cultivation_of_microalga_in_the_Labfors_5_Lux_photobioreactor_\(en\).pdf](http://www.inforsht.com/images/downloads/application_notes_photosynthesis_biofuel/Batch_cultivation_of_microalga_in_the_Labfors_5_Lux_photobioreactor_(en).pdf) (дата обращения: 20.02.2017)

2. Politaeva, N. Impact of various physical exposures on *Chlorella Sorokiniana* microalgae cultivation / N. Politaeva, T. Kuznetsova, et al. // *International Journal of Applied Engineering Research*. – 2017. – Volume 12. – Number 21. – Pp. 11488-11492.
3. Дворецкий, Д. С. Технология получения липидов из микроводорослей: монография / Д. С. Дворецкий, С. И. Дворецкий. – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2015. – 103 с.
4. Xu, Yanan Algal biomass and diesel emulsions: An alternative approach for utilizing / Yanan Xu, Paul Hellier, et al. // *Applied Energy*. – 2016. – №172. – Pp. 80-95.
5. Kari, Skja BioCO₂ – A multidisciplinary, biological approach using solar energy to capture CO₂ while producing H₂ and high value products / Kari Skja, Peter Lindblad, et al. // *Biomolecular Engineering*. – 2007. – №24. – Pp. 405-413.
6. Amrit, Lal Das Biomass production and identification of suitable harvesting technique for *Chlorella* sp. MJ 11/11 and *Synechocystis* PCC 6803 / Lal Amrit // *Bio-tech*. – 2016. – №6. – P. 41.
7. Salim, Sina Harvesting of microalgae by bio-flocculation / Sina Salim, Rouke Bosma, et al. // *J Appl Phycol*. – 2011. – № 23. – Pp. 849–855.
8. Vandamme, D. Flocculation based harvesting processes for microalgae biomass production Dissertation presented in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor in Bioscience Engineering / D.Vandamme. – Areberg Doctoral School. – May 2013. – 123 p.
9. Rastogia, R. P. Algal Green Energy – R & D and technological perspectives for biodiesel production / R. P. Rastogia, Pandey A., et al. // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Article in *Renewable and Sustainable Energy Reviews* November. – 2017. – Pp. 1-24.
10. Wyatt, N. B. Critical Conditions for High Efficiency Flocculation of Freshwater Algae with Ferric Chloride / N. B. Wyatt, L. M. Gloe, et al. // *Biotechnology and Bioengineering*. – 2011. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.osti.gov/servlets/purl/1106656> (дата обращения: 08.04.2017)
11. Pradana, Y. S. Chitosan Flocculation-sedimentation for Harvesting Selected Microalgae Species Grown in Monoculture and Mixed Cultures / Y. S. Pradana, Y. Kusumastutia, et al. // *Chemical engineering transactions*. – 2017. –Vol. 56. – Pp. 1549-1554.
12. Watanabe, K. Composition of the sheath produced by the green alga *Chlorella sorokiniana* / K. Watanabe, M. Imase, et al. // *Journal compilation. The Society for Applied Microbiology, Letters in Applied Microbiology*. – 2006. – № 42. – Pp. 538-543.
13. Matos, K. T. Microalgae biomass harvesting by electrocoagulation / K. T. Matos, M. Santos, et al. // *Energy for Sustainability 2013 Sustainable Cities: Designing for People and the Planet*. (8 to 10 September). – Coimbra, 2013. – Pp. 1-6.
14. Spilling, K. Inducing autoflocculation in the diatom *Phaeodactylum tricorutum* through CO₂ regulation / K. Spilling, J. Seppälä, and T. Tamminen // *Journal of Applied Phycology*. – 2011. – 23(6). – Pp. 959–966.
15. Crofcheck, C. Influence of media composition on the growth rate of *Chlorella vulgaris* and *Scenedesmus acutus* utilized for CO₂ mitigation / C. Crofcheck, A. Shea, et al. // *J Biochem Tech*. – 2012. – 4(2). – Pp. 589-594.

16. Selen, Hande Effect of heat treatment on chlorophyll degradation and color loss in green peas / Hande Selen, Feryal Karadenz, Nuray Koca, Yeflim Soer // Research Article (Arafltırma Makalesi). – 2008. – 33 (5). – Pp. 225-233.
17. Sumanta, Nayek Spectrophotometric Analysis of Chlorophylls and Carotenoids from Commonly Grown Fern Species by Using Various Extracting Solvents / Nayek Sumanta // Research Journal of Chemical Sciences. – 2014. – Vol. 4(9). – Pp. 63-69.
18. Yao, L. Mixed Wastewater Coupled with CO₂ for Microalgae Culturing and Nutrient Removal / L. Yao L., J. Shi, et al. // Plose one. – September 29 2015. – Pp. 1-16.
19. Andrade, C. J., Andrade L. M. An overview on the application of genus *Chlorella* in biotechnological processes / C. J. Andrade, L. M. Andrade // Journal of Advanced Research in Biotechnology. 2017. [Электронный ресурс]. – URL: www.symbiosisonlinepublishing.com (дата обращения: 27.04.2017)
20. Morales, V. Flocculation of Microalgae via pH Change in a Turbulent Medium and Subsequent Filtration / V. Morales, R. Ramírez, et al // Int. J. Environ. Res. – 2016. – 10(4). – Pp. 593-600.
21. Родригес, С. Инновационные технологии переработки плодоовощной продукции / С. Родригес, Ф. А. Фернандес: пер. с англ. / под ред. Ю. Г. Базарновой. – Санкт-Петербург: Профессия, 2014. – 456 с. [Rodrigues S., Fernandes F.A.N. (Eds.) *Advances in Fruit Processing Technologies*, CRC Press, Taylor & Francis Group, 2012. – 439 p.]
22. Бриттон, Г. Биохимия природных пигментов / Г. Бриттон: пер. с англ. / под ред. М. Н. Запрометова. – Москва: Мир, 1986. – 422 с. [Britton G. *The biochemistry of natural Pigments*, 1983. – 244 p.]

REFERENCES

1. Franco M. C. Batch cultivation of microalgae in the Labfors 5 Lux Photobioreactor with LED Flat Panel Option, available at: [http://www.inforsht.com/images/downloads/application_notes_photosynthesis_biofuel/Batch_cultivation_of_microalgae_in_the_Labfors_5_Lux_photobioreactor_\(en\).pdf](http://www.inforsht.com/images/downloads/application_notes_photosynthesis_biofuel/Batch_cultivation_of_microalgae_in_the_Labfors_5_Lux_photobioreactor_(en).pdf) (Accessed 20 February 2017).
2. Politaeva N., Kuznetsova T. Impact of various physical exposures on *Chlorella Sorokiniana* microalgae cultivation. *International Journal of Applied Engineering Research*, 2017, vol. 12, no. 21, pp. 11488-11492.
3. Dvoreckij D. S., Dvoreckij S. I. *Tekhnologiya polucheniya lipidov iz mikrovodoroslej* [Technology for obtaining lipids from microalgae]. Tambov, Izdatel'stvo FGBOU VPO «TGTU», 2015, 103 p.
4. Xu Y., Hellier P. Algal biomass and diesel emulsions: An alternative approach for utilizing. *Applied Energy*, 2016, no. 172, pp. 80-95.
5. Skja K. Lindblad P. Bio CO₂ – a multidisciplinary, biological approach using solar energy to capture CO₂ while producing H₂ and high value products. *Biomolecular Engineering*, 2007, no. 24, pp. 405-413.
6. Amrit L. Das Biomass production and identification of suitable harvesting technique for *Chlorella* sp. MJ 11/11 and *Synechocystis* PCC 6803. *Biotech*, 2016, no. 6, p. 41.

7. Salim S., Bosma R. Harvesting of microalgae by bio-flocculation. *J. Appl Phycol*, 2011, no. 23, pp. 849-855.
8. Vandamme D. Flocculation based harvesting processes for microalgae biomass production Dissertation presented in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor in Bioscience Engineering. Arenberg, 2013, 123 p.
9. Rastogia R. P., Pandey A. Algal Green Energy – R & D and technological perspectives for biodiesel production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Article in *Renewable and Sustainable Energy Reviews* November, 2017, pp. 1-24.
10. Wyatt N. B., Gloe L. M. Critical Conditions for High Efficiency Flocculation of Freshwater Algae with Ferric Chloride. *Biotechnology and Bioengineering*, 2011, available at: <https://www.osti.gov/servlets/purl/1106656> (Accessed 08 April 2017).
11. Pradana Y. S., Kusumastutia Y. Chitosan Flocculation-sedimentation for Harvesting Selected Microalgae Species Grown in Monoculture and Mixed Cultures. *Chemical engineering transactions*, 2017, vol. 56, pp. 1549-1554.
12. Watanabe K., Imase M. Composition of the sheath produced by the green alga *Chlorella sorokiniana*. *Journal compilation. The Society for Applied Microbiology, Letters in Applied Microbiology*, 2006, no. 42, pp. 538-543.
13. Matos K. T., Santos M. Microalgae biomass harvesting by electrocoagulation. *Energy for Sustainability 2013 Sustainable Cities: Designing for People and the Planet*. (8 to 10 September). Coimbra, 2013, pp. 1-6.
14. Spilling K., Seppälä J., Tamminen T. Inducing autoflocculation in the diatom *Phaeodactylum tricornutum* through CO₂ regulation. *Journal of Applied Phycology*, 2011, iss. 23(6), pp. 959-966.
15. Crofcheck C., Shea A. Influence of media composition on the growth rate of *Chlorella vulgaris* and *Scenedesmus acutus* utilized for CO₂ mitigation. *J. Biochem Tech.*, 2012, iss. 4(2), pp. 589-594.
16. Selen H., Karadeniz F., Koca N., Soer Y. Effect of heat treatment on chlorophyll degradation and color loss in green peas. *Research Article (Araflıtrma Makalesi)*, 2008, iss. 33 (5), pp. 225-233.
17. Nayek S. Spectrophotometric Analysis of Chlorophylls and Carotenoids from Commonly Grown Fern Species by Using Various Extracting Solvents. *Research Journal of Chemical Sciences*, 2014, vol. 4(9), pp. 63-69.
18. Yao L., Shi J. Mixed Wastewater Coupled with CO₂ for Microalgae Culturing and Nutrient Removal. *Plouse one*. September 29, 2015, pp. 1-16.
19. Andrade C. J., Andrade L. M. An overview on the application of genus *Chlorella* in biotechnological processes. *Journal of Advanced Research in Biotechnology*, 2017, available at: www.symbiosisonlinepublishing.com (Accessed 27 April 2017).
20. Morales V., Ramírez R. Flocculation of Microalgae via pH Change in a Turbulent Medium and Subsequent Filtration. *Int. J. Environ. Res.*, 2016, no. 10(4), pp. 593-600.
21. Rodriguez S., Fernandez F.A. Innovative technologies for fruit and vegetable processing, 2012, 439 p. (Russ. Ed.: Rodriguez S., Fernandez F.A. Innovative technologies for fruit and vegetable processing. SPb, Professiya, 2014, 456 p.).
22. Britton G. The biochemistry of natural Pigments, 1983. 244 p. (Russ. Ed.: Britton, G. Biohimiya prirodnyh pigmentov. Moscow, Mir, 1986, 422 p.).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Кузнецова Татьяна Алексеевна – Санкт-Петербургский университет Петра Великого, Высшая школа биотехнологии и пищевых технологий; кандидат биологических наук, доцент; E-mail: kuznetsova.ta1@spbstu.ru

Kuznetsova Tatyana Alekseevna – Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University; Graduate School of Biotechnology and Food Science; Ph.D. in Biology; Associate Professor; E-mail: kuznetsova.ta1@spbstu.ru

Базарнова Юлия Генриховна – Санкт-Петербургский университет Петра Великого, Высшая школа биотехнологии и пищевых технологий; профессор; доктор технических наук; E-mail: jbazarnova@spbstu.ru

Bazarnova Yulia Genrikhovna – Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University; Graduate School of Biotechnology and Food Science Professor; Doctor of Technical Sciences; E-mail: jbazarnova@spbstu.ru

Боргоякова Анастасия Сергеевна – Санкт-Петербургский университет Петра Великого, Высшая школа биотехнологии и пищевых технологий; магистрант; E-mail: a_borgoyakova@mail.ru

Borgoyakova Anastasia Sergeevna – Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University; Graduate School of Biotechnology and Food Science; Master's Degree Student; E-mail: a_borgoyakova@mail.ru

УДК 612.398, 641.561

КАРОТИНОПРОТЕИНОВЫЙ КОНЦЕНТРАТ КАК ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ КОМПОНЕНТ РЫБОРАСТИТЕЛЬНЫХ КРИПСОВ

М. В. Самсонов, М. Л. Винокур

CAROTENE-PROTEIN CONCENTRATE AS A FUNCTIONAL COMPONENT OF FISH AND VEGETABLE CRISPS

M. V. Samsonov, M. L. Vinokur

Производство пищевого продукта из комбинированного рыборастительного сырья, обладающего функциональными свойствами, является сложным технологическим процессом. В статье опубликованы результаты исследований по возможному применению обезвоженного каротинопротеинового концентрата как функциональной составляющей при выработке рыборастительных крипсов. В качестве растительной основы использовались пасты красной фасоли, зелёной чечевицы и белой фасоли. В работе показано, что белковый комплекс содержит 0,05 г неизменённого астаксантина на 100 г концентрата, что соответствует функциональному ингредиенту с антиоксидантным эффектом. Определено лучшее соотношение в рецептуре для растительной составляющей и белкового концентрата. Предложенная комбинированная технологическая модель приготовления рыборастительных крипсов позволяет сохранить значительную концентрацию астаксантина в конечном продукте. Это достигается за счёт предварительной тепловой и механической обработки бобового сырья, получение конечных органолептических и реологических показателей осуществляется при вакуумной сушке. Результаты общехимического анализа всех образцов показывают содержание среднесуточной нормы астаксантина для взрослого человека в 100 г продукта. Рекомендуемая дневная норма крипсов составляет 40 г, что покрывает до 40 % нормы потребления астаксантина. При помощи профильного метода органолептической оценки проведены сравнительные оценки основных показателей (вкус, запах, цвет и консистенция). По полученным результатам видно, что по многим основным показателям крипсы, произведённые с использованием зелёной чечевицы, обладают более нейтральными органолептическими значениями, чем изготовленные с красной или белой фасолью.

рыборастительные крипсы, каротинопротеиновый концентрат, вакуумная сушка, астаксантин

Production of food products from combined fish and vegetable raw materials with functional properties is a complex technological process. The article presents the research results on the possible use of dehydrated carotene-protein concentrate as a functional component in production of fish and vegetable crisps. As a vegetable base, red bean, green lentil and white bean paste have been used. It is shown that the protein complex contains 0.05 grams of unmodified astaxanthin per 100 grams of epy concen-

trate, which corresponds to the functional ingredient with antioxidant effect. The optimal ratio in the formulation for the vegetable component and protein concentrate has been determined. The proposed combined technological model of making fish and vegetable crisps allows maintaining a significant concentration of astaxanthin in the final product. This is achieved by pre-heat and mechanical processing of raw beans, while achieving the final organoleptic and rheological parameters is carried out by vacuum drying. The results of the general chemical analysis of all samples show the content of the average daily rate of astaxanthin for an adult in 100 grams of the product. Recommended daily amount of crisps is 40 grams, which covers up to 40 percent of consumption of astaxanthin. Using the profile method of organoleptic evaluation, comparative assessments of the main indicators (taste, smell, color and consistency) have been carried out. The results have showed that according to main indicators, crisps produced using green lentils have more neutral organoleptic values than those produced with red or white beans. The organoleptic comparisons allow us to recommend the use of crisps, made of green lentils.

fish-vegetable crisps, carotene-protein concentrate, vacuum drying, astaxanthin

ВВЕДЕНИЕ

Государственная программа развития пищевой промышленности в России подразумевает широкое внедрение в производственные мощности научно обособленных технологий выработки пищевой продукции с заданными свойствами. Продвижение подобной концепции невозможно осуществить без использования функциональной составляющей выпускаемых пищевых систем. Применение пищевых комплексов с заданными органолептическими и биологическими свойствами в классических технологических рецептурах позволяет достичь востребованные медико-профилактические цели [1].

Однако использование традиционного сырья для выработки функциональных добавок связано с растущими экономическими издержками, что, в свою очередь, снижает доступность пищевого изделия. При этом также снижается конкурентоспособность по отношению к традиционно потребляемой продукции [2].

Решение проблемы высоких ценообразований заключается в использовании в качестве функционального ингредиента биомолекул, выделенных в результате биомодификаций некондиционного рыбного сырья или отходов переработки ВБР, где особый интерес представляет панцирьсодержащее сырьё. Это обуславливается наличием в достаточном количестве каротиноидов, в частности астаксантина, как в свободном виде, так и в составе белково-липидных комплексов [3, 4]. Присутствие астаксантина в пищевом гомогенизированном субстрате замедляет окислительные процессы липидов в организме [5-7], что связывается с особенностями формирования свободных радикалов и их нейтрализацией астаксантином. Это обуславливается формированием активных форм кислорода с последующей его диффузией в липидный слой. При нейтрализации свободных радикалов происходит погружение молекул астаксантина в толщу липидных мембран с последующим изменением полиеновых цепей в организме [8, 9]. Однако основным технологическим ограничением массового внедрения астаксантина в пищевые системы является его низкая термостойкость, так как процесс необратимого изменения начальной формы происходит при 55-60°C [10].

Использование протеолиза при выделении каротинопротеинового концентрата (КПК) из панцирных отходов позволяет получать биологические комплексы с необходимой концентрацией неизменённого астаксантина. Однако значительная часть вырабатываемых белковых концентратов характеризуется повышенной концентрацией липидов (до 5-7 %), что отрицательно влияет на вкусоароматическую составляющую конечного продукта, а также его хранимоспособность [11]. Исследования отечественных и зарубежных учёных показали, что при пищевом применении обезвоженных белковых концентратов установленные значения липидов, без ухудшения органолептики, не должны превышать 2,5 % (от массы сухого вещества) [12].

Предложенная усовершенствованная модель двухступенчатой биомодификации панцирьсодержащего сырья с использованием дополнительного осаждающего агента позволяет достичь приемлемую концентрацию липидов [13]. Современные тенденции производства функциональных продуктов питания направлены в первую очередь на многокомпонентность и сложный композиционный состав. При выработке комбинированного продукта ряд отечественных и зарубежных авторов предлагают использовать термообработанные, гомогенные смеси некоторых растительных культур, в том числе бобовых [14]. Применение бобовых обуславливается, в первую очередь, значительным содержанием протеинов (на сухое вещество), жирорастворимых витаминов, микро- и макроэлементов и пищевых волокон. Липидная составляющая представлена до 3,6 % на сухое вещество (кроме рапса), однако наличие в составе изофлавоноидов положительно влияет на сохранность астаксантина.

Цель: разработать технологию применения каротинопротеинового концентрата в качестве биологической составляющей рыборастворительного продукта.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Органолептические исследования проводились с использованием профильного и балльного метода оценки. Основа этого метода оценки состоит в выражении объединяющих оценки свойств пищевого продукта в заданном диапазоне качества с применением установленных числовых значений.

Белковый комплекс выработан в соответствии с требованиями ТУ10.89.14-295-00472093-2018 «Концентрат каротинопротеиновый пищевой» (табл. 1).

Таблица 1. Общехимический состав КПК
Table 1. General chemical composition of CPC

Наименование показателей	Содержание в КПК, %
Белок	85,6
Липиды	2,4
Минеральные вещества	2,1
Влага	8,05
Каротиноиды	0,05
Хитин/хитозан	1,4

Химический состав вырабатываемого каротинопротеинового комплекса характеризуется значительной концентрацией астаксантина, что позволяет использовать концентрат в качестве ингредиента с антиоксидантными свойствами.

Небольшие остаточные значения хитина-хитозана обеспечивают дополнительные биологические значения конечному изделию [15].

В качестве растительной основы функционального продукта использовалась чечевица зелёная и два вида фасоли (табл. 2).

Таблица 2. Химический состав растительного сырья
Table 2. Chemical composition of vegetable raw material

Сырье	Протеин, %	Липиды, %	Зола, %	Клетчатка, %
Чечевица зелёная	23-25	1,6-2,4	2,6-2,8	5,6-8,6
Фасоль белая	20-22	1,1-1,6	3,5-3,7	5,5-7,8
Фасоль красная	20-22	1,7-1,9	3,5-3,7	5,8-8,0

Применение белковых концентратов в комбинации с растительным сырьём позволяет вырабатывать продукт с желаемыми технологическими и органолептическими значениями [16, 17].

В качестве дополнительных компонентов рецептуры использовались: поваренная соль йодированная (ГОСТ Р 51574-2000), растительный жир (масло) (ГОСТ 21314-75), сахар (ГОСТ 33222-2015) и специи (ГОСТ ISO 927-2014).

Разработка рецептуры осуществлялась с использованием компьютерной программы Generic 2.1.

Сушка крипсов происходила в вакуумной установке на базе лаборатории АтлантНИРО. Приготовление бобовых паст производилось в куттере Rimak 5 lt.

Очистка каротиноидов по ГОСТ 54058-2010, содержание астаксантина определялись на фотоэлектроколориметре (ФЕК) модели 2МК. Массовая доля влаги – по ГОСТ 13496.3-92 (ИСО 6496-83), массовая доля липидов – по ГОСТ 13496.15-2016. Определение содержания протеинов осуществлялось по ГОСТ Р 54607.7-2016, ГОСТ 26313 и ГОСТ 26671.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОСУЖДЕНИЕ

Проектируемый продукт будет представлен в виде рыборастворимых крипсов, соотношение КПК к бобовой основе 40 на 59 %. Оставшийся процент используется для внесения неосновных компонентов (специи, сахар и соль). Растительный жир применяется только при формовании изделий.

Сохранность астаксантина белкового концентрата в неизменённом состоянии не предусматривает интенсивной тепловой обработки. Однако использование растительного сырья без предварительной кулинарной обработки нецелесообразно с технологической и пищевой точки зрения. Предложенная комбинированная схема выработки крипсов включает в себя как тепловую обработку, так и вакуумную сушку (рис. 1). Для проведения исследований было выработано три образца с различным растительным основанием: крипсы с зелёной чечевицей (КЗЧ), крипсы с белой фасолью (КБФ) и крипсы с красной фасолью (ККФ).

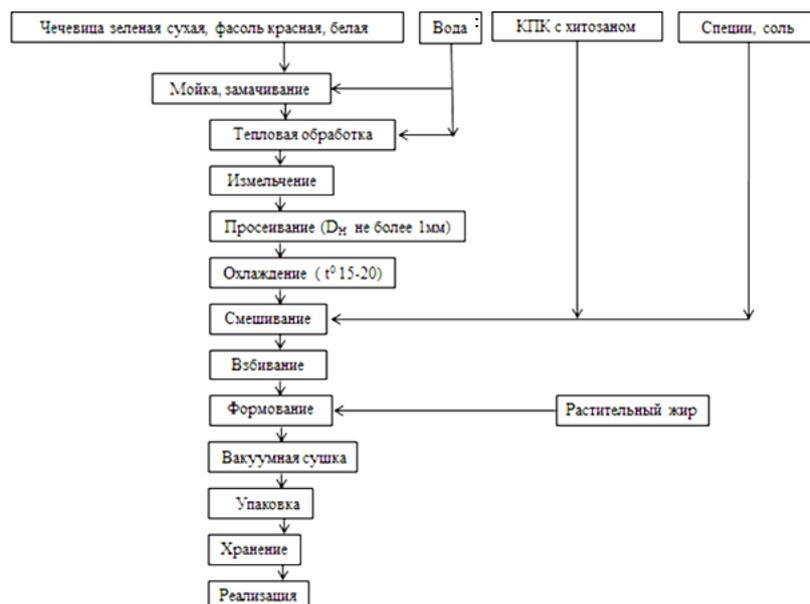


Рис. 1. Технологическая схема производства рыборастворительных крипсов
 Fig. 1. Process flow chart of production of fish and vegetable crisps

Разработанная технология позволяет достичь кулинарной готовности для растительного сырья на начальном технологическом этапе. Внесение КПК осуществлялось в охлаждённую, просеянную бобовую пасту.

Необходимые структурно-реологические значения конечного изделия приобретаются за счёт вакуумной обработки. Процесс сушки осуществлялся при температуре не более 50°C в вакуумной установке (рис. 2). Для равномерного удаления влаги в качестве технологической ёмкости использовались специальные металлические формы с равномерно распределённым белковым концентратом.

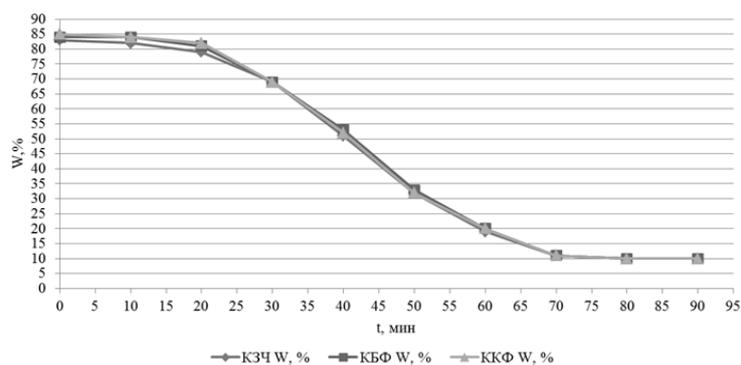


Рис. 2. Кривые вакуумной сушки рыборастворительных крипсов
 Fig. 2. Curves of vacuum drying of fish and vegetable crisps

Результаты по кривым вакуумной сушки позволяют разделить процессы обезвоживания на несколько этапов. Первые этапы соответствуют временным интервалам от 0 до 20 мин и характеризуются минимальной потерей W (влаги), что соответствует начальному процессу прогрева полуфабриката. Вторые этапы

определяются отрезками времени от 20 до 60 мин, где происходит значительное удаление W до критической точки в 60 мин. Третьи этапы соответствуют интервалам от 60 до 80 мин и характеризуются снижением интенсивности десорбции с последующим достижением точки равновесия W . Следовательно, рекомендованное время вакуумной обработки в 80 мин позволяет достичь необходимых реологических значений в конечном продукте, сохраняя астаксантин в неизменной форме.

Биологическая ценность крипсов основывалась на массовой концентрации неизмененного астаксантина (табл. 3).

Таблица 3. Общехимический состав рыборастворительных крипсов
Table 3. General chemistry composition of fish and vegetable crisps

Наименование показателей	Содержание в 100 г продукта, г		
	КЗЧ	КБФ	ККФ
Белок	50	48	47
Липиды	4	3	4
Углеводы	34	37	37
Влажность	10	10	10
Минеральные вещества	1	1	1
Астаксантин (в неизменной форме)	0.00391	0.00388	0.00389

По белковому соотношению и концентрации астаксантина незначительно лучшие показатели у КЗЧ (существующие различия могут варьироваться в пределах погрешности в 3 %). Общехимические значения рыборастворительных крипсов показывают, что потребление 100 г данного изделия соответствует суточной потребности взрослого организма в данном каротиноиде. Следовательно, суточное потребление крипсов в качестве функционального продукта составляет 40 г, что эквивалентно 40 % от дневной нормы астаксантина.

При выборе функционального изделия потребитель руководствуется органолептическими характеристиками. Значит, помимо количественного содержания астаксантина, необходимо учитывать превалирование органолептических показателей по таким критериям, как вкус, внешний вид, запах, консистенция и цвет. Для органолептической оценки использовался профильный метод, где для каждого показателя были разработаны соответствующие дискриты (рис. 3, 4).

Характеристика основополагающих дискритов показывает, что образец КЗЧ обладает более нейтральными вкусоароматическими и оптико-механическими характеристиками по сравнению с ККФ и КБФ, что позволяет рекомендовать его к потреблению широкой потребительской аудитории.

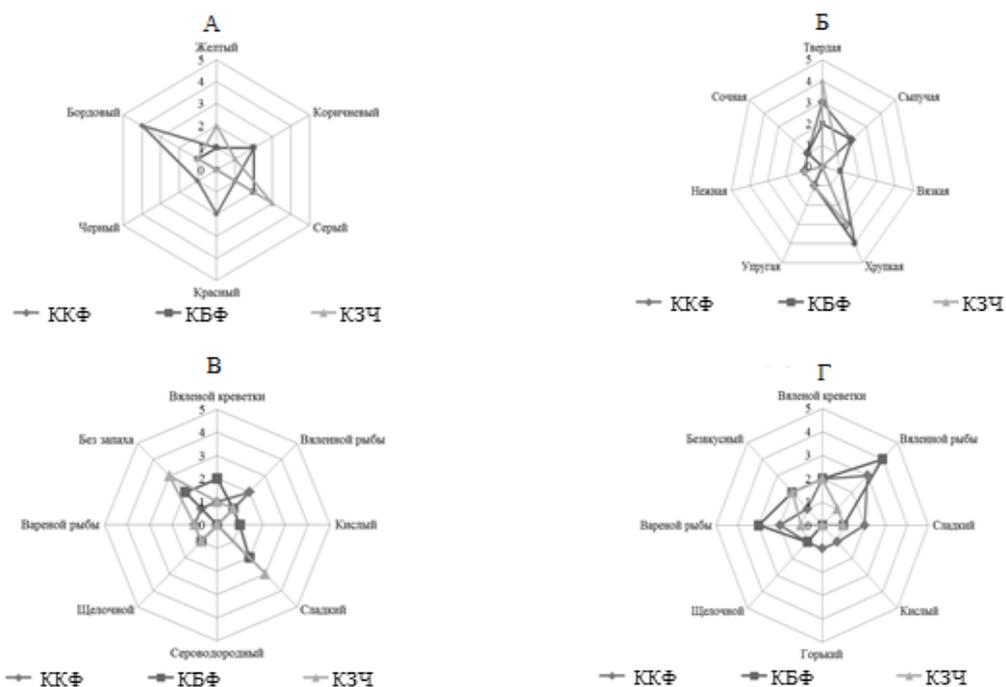


Рис. 3. Сравнительные характеристики органолептических оценок по соответствующим дискритам: А – показатели цвета; Б – показатели консистенции; В – показатели запаха; Г – показатели вкуса
 Fig. 3. Comparative characteristics of organoleptic evaluations according to the relevant descreets: A – color indicators; B – consistency indicators; C – smell indicators; D – taste indicators

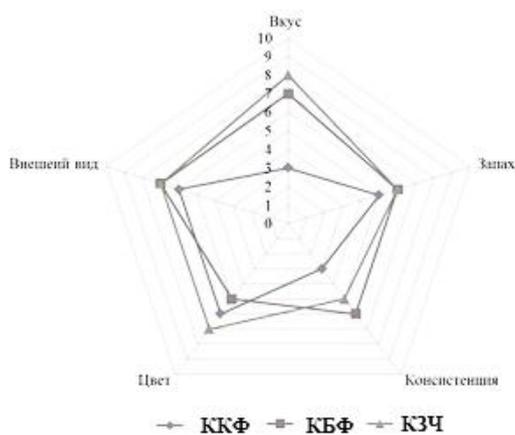


Рис. 4. Профилограмма органолептических исследований
 Fig. 4. Profile diagram of organoleptic studies

Результаты органолептических оценок образцов показали, что по цвету и вкусу КЗЧ превосходит два других образца. По показателям внешнего вида и запаха образец КЗЧ имеет равнозначные значения с КБФ, однако незначительно

уступает по такому значению, как консистенция. Самые низкие органолептические показатели у ККФ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведённые экспериментальные данные показывают целесообразность изготовления функционального продукта на основе зеленой чечевицы и концентрированного каротинопротеинового комплекса при комбинированной кулинарной обработке.

Определена продолжительность вакуумной обработки, позволяющая достичь необходимых реологических значений в конечном продукте (80 мин при температуре не более 50°C).

Показано, что потребление 40 г крипсов компенсирует суточную потребность взрослого организма в астаксантине до 40 %, при этом нейтральные органолептические показатели крипсов позволяют рекомендовать их к употреблению широким слоям населения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Тутельян, В. А. Микронутриенты в питании здорового и больного человека: моногр. / В. А. Тутельян. – Москва: Колос, 2002. – 424 с.
2. Токаев, Э. С. Современный опыт и перспективы использования препаратов сывороточных белков в производстве функциональных продуктов / Э. С. Токаев // Молочная промышленность. – 2007. – № 10. – С. 55-56.
3. Артюхова, С. А. Технология продуктов из гидробионтов / С. А. Артюхова, В. Д. Богданов, В. М. Дацун. – Москва: Колос, 2001. – 496 с.
4. Сафронова, Т. М. Сырье и материалы рыбной промышленности / Т. М. Сафронова. – Москва: Агроромиздат, 1991. – 191с.
5. Truscott, T. G. New trends in photobiology: the photophysics and photochemistry of the carotenoids. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*. – 1990. – V. 6, № 4. – P. 359-371.
6. Gutteridge, J. M. The measurement and mechanism of lipid peroxidation in biological systems / J. M. Gutteridge, B. Halliwell // *Trends in Biochemical Sciences*. – 1990. – V. 15, № 4. – P. 129-135.
7. Krichnavaruk S., Shotipruk A. M., Goto P. Pavasant Supercritical carbon dioxide extraction of astaxanthin from *Haematococcus pluvialis* with vegetable oils as co-solvent. *Bioresource Technology*. – 2008. – V. 99, № 13. – P. 5556-5560.
8. Hussein, G., Sankawa, U., Goto, H., Matsumoto, K., Watanabe, H. Astaxanthin, a carotenoid with potential in human health and nutrition. *Journal of Natural Products*. – 2006. – V. 69, № 3. p. – 354.
9. Gutteridge, J. M., Halliwell B. The measurement and mechanism of lipid peroxidation in biological systems. *Trends in Biochemical Sciences*. – 1990. – V. 15, № 4. – P. 129-135.
10. Simpson, B.K. The use of proteolytic enzymes to extract Carotenoproteins from shrimp wastes / B. K. Simpson // *Journal of Applied Biochemistry*. – 1985. – V.44, No 1. – Pp. 212 – 222
11. Родина, Т. Г. Сенсорный анализ продовольственных товаров / Т. Г. Родина. – Москва: Издательский центр «Академия», 2004. – 208 с.

12. Родина, Т. Г. Дегустационный анализ продуктов / Т. Г. Родина, Г. А. Вукс. – Москва: Колос, 1994. – С. 54-180.
13. Самсонов, М. В. Использование протосубтилина Г3х для предотвращения образований микроэмульсий при гидролизе панцирных отходов северной креветки / М. В. Самсонов // Известия КГТУ. – 2017. – № 47 – С. 123-134.
14. Неклюдов, А. Д. Свойства и применение белковых гидролизатов (обзор): Прикладная биохимия и микробиология / А. Д. Неклюдов. – 2000. – Т. 30, № 4. – С. 225-334.
15. Сафронова, Т. М. Исследование изменений лечебных свойств хитозана, включённого в пищевые системы совместно с другими функциональными добавками / Т. М. Сафронова, С. Н. Максимова, О. Н. Быканова // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2007. – № 4. – С. 18–20.
16. Беликов, И. Ф. Аминокислотный состав белков семян различных сортов сои и соевой сеной муки: Биология возделывания сои / И. Ф. Беликов // Биология возделывания сои. – Владивосток, 1971. – 134 с.
17. Колесникова, Н. Г. Разработка технологии и оценка потребительских свойств продуктов питания на основе зерновой фасоли для детей школьного возраста: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.01, 05.18.15. / Колесникова Н. Г. – Краснодар, 2006. – 237 с.

REFERENCES

1. Tutelyan V. A. *Mikronutrienty v pitanii zdorovogo i bol'nogo cheloveka* [Micronutrients in the diet of a healthy and sick person]. Moscow, Kolos, 2002, 424 p.
2. Tokaev E. S., Bazhenova E. N. *Sovremennyy opyt i perspektivy ispol'zovaniya preparatov syvorotochnyh belkov v proizvodstve funktsional'nyh napitkov* [Modern experience and prospects of the use of whey protein preparations in production of functional beverages]. *Molochnaya promyshlennost'*, Moscow, no. 10, 2007, pp. 55-56.
3. Artyukhova S. A. *Tehnologija produktov iz gidrobiontov* [Technology of products from hydrobionts]. Moscow, Kolos, 2001, 496 p.
4. Safronova T. M. *Syr'e i materialy rybnoj promyshlennosti* [Raw materials and materials of the fishing industry]. Moscow, Agropromizdat, 1991, 191p.
5. Truscott T. G. New trends in photobiology: the photophysics and photochemistry of the carotenoids. *Photochemistry and Photobiology: Biology*, 1990, vol. 6, no. 4, pp. 359-371.
6. Gutteridge J. M., Halliwell B. The measurement and mechanism of lipid peroxidation in biological systems. *Trends in Biochemical Sciences*, 1990, vol. 15, no. 4, pp. 129-135.
7. Krichnavaruk S., Shotipruk A. M., Goto P. Pavasant Supercritical carbon dioxide extraction of astaxanthin from *Haematococcus pluvialis* with vegetable oils as co-solvent. *Bioresource Technology*. 2008, vol. 99, no. 13, pp. 5556-5560.
8. Hussein G., Sankawa, U., Goto, H., Matsumoto K., Watanabe H. Astaxanthin, a carotenoid with potential in human health and nutrition. *Natural Products*. 2006, vol. 69, no. 3, 354 p.
9. Gutteridge J. M., Halliwell B. The measurement and mechanism of lipid peroxidation in biological systems. *Trends in Biochemical Sciences*, 1990, vol. 15, no. 4, pp. 129-135.

10. Simpson B. K. The use of proteolytic enzymes to extract Carotenoproteins from shrimp wastes. *Journal of Applied Biochemistry*, 1985, vol. 44, pp. 212-222.
11. Rodina T. G. *Sensornyj analiz prodovol'stvennyh tovarov* [Sensory analysis of food products]. Moscow, 2004, 208 p.
12. Rodina T. G. *Degustatsionnyj analiz produktov* [Degustation analysis of products]. Moscow, Kolos, 1994, pp. 54-180.
13. Samsonov M. V. Ispol'zovanie protosubtilina G3h dlja predotvraschenija obrazovaniy mikro'emul'sij pri gidrolize pantsirnyh othodov severnoj krevetki [The use of protosubtilin G3h to prevent the formation of microemulsions in hydrolysis of the Northern shrimp waste]. Kaliningrad, *Izvestiya KGTU*, 2017, no. 47, pp. 123-130.
14. Neklyudov A. D. Svoystva i primeneniye belkovykh gidrolizatov [Properties and applications of protein hydrolysates]. *Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya*. Moscow, 2000, vol. 30, no. 4, pp. 225-334.
15. Safronova T. M. Issledovanie izmenenij lechebnykh svoystv hitozana, vkljuchjonnogo v pischevye sistemy sovместno s drugimi funktsional'nymi dobavkami [Study of changes in the therapeutic properties of chitosan included in the food system together with other functional additives]. *Storage and processing of agricultural raw materials*. Moscow, 2007, no. 4, pp. 18-20.
16. Belikov I. F. *Aminokislotnyj sostav belkov semjan razlichnykh sortov soi i soevoj sennoj muki: biologiya vozdeleyvaniya soi* [Amino acid composition of seed proteins of different soybean varieties and soybean hay flour: the biology of soybean cultivation]. Vladivostok, 1971, 134 p.
17. Kolesnikova N. G. *Razrabotka tehnologii i otsenka potrebitel'skih svoystv produktov pitaniya na osnove zernovoj fasoli dlja detej shkol'nogo vozrasta. Diss. kand. tekhn. nauk* [Development of technology and assessment of consumer properties of food products based on grain beans for school-age children. Dis. cand. Tekhn. Sci.]. Krasnodar, 2006, 237 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Самсонов Максим Вячеславович – Калининградский государственный технический университет; аспирант кафедры «Технология продуктов питания»;
E-mail: Samsonov-Sk@ya.ru

Samsonov Maxim Vyacheslavovich – Kaliningrad State Technical University;
Postgraduate student of the Department of Food Products Technology;
E-mail: Samsonov-Sk@ya.ru

Винокур Михаил Леонидович – Калининградский государственный технический университет; кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология продуктов питания»; E-mail: VinokurML@mail.ru

Vinokur Michail Leonidovich – Kaliningrad State Technical University;
PhD, Associate Professor of the Department of Food Products Technology;
Email: VinokurML@mail.ru

СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

УДК 631.4: 631.41

ИТТРИЙ В ПОЧВООБРАЗУЮЩИХ ПОРОДАХ И ПОЧВАХ
ГУМИДНЫХ ЛАНДШАФТОВ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ПРИБАЛТИКИ

О. А. Анциферова

YTTRIUM IN THE SOIL-FORMING ROCKS AND SOILS OF THE
HUMID LANDSCAPES OF THE SOUTH-EASTERN BALTIC

O. A. Antsiferova

Исследования проведены в пределах моренных, водно-ледниковых, озерно-ледниковых и аллювиальных ландшафтов Калининградской области. Изучались почвы и породы под смешанными и лиственными лесами и на сельскохозяйственных угодьях. Территория региона не была опробована ни в BSS (Baltic Soil Survey), ни в GEMAS (Geochemical Mapping of Agricultural and Grazing Land soil of Europe). Среднее содержание валового иттрия в почвообразующих породах составляет $20,3 \pm 0,8$ мг/кг. Минимальное количество элемента характерно для песчаных пород эоловых и древнеаллювиальных отложений (около 10 мг/кг). Максимальное количество обнаружено в карбонатных озерно-ледниковых и озерно-морских отложениях преимущественно глинистого состава. Установлена сильная связь иттрия с илистой частью пород ($r = 0,7$) и «физической глиной» ($r = 0,77$). В гумусовом горизонте лесных почв содержится в среднем 15,7 мг/кг, а почв сельскохозяйственных угодий – 17,0 мг/кг. Количество иттрия по общей выборке всех почв составляет в среднем 17,2 мг/кг. Нижняя граница содержания элемента в почвах – 6 – 7 мг/кг и характерна для почв песчаного состава (подзолы и некоторые буроземы). Верхняя граница находится на уровне 32 – 34 мг/кг и типична для почв тяжелосуглинистого и глинистого состава (аллювиальные, дерново-глеевые) или иллювиальных горизонтов с повышенным содержанием ила (дерново-подзолистые почвы и буроземы). Максимальное количество иттрия (45 мг/кг) выявлено в единичном образце осушенной болотной низинной почвы. Обнаружен слабо выраженный элювиально-иллювиальный характер распределения иттрия по профилю почв. Полученные данные будут использованы для почвенно-экологического картографирования и мониторинга почв.

иттрий, среднее содержание, пределы варьирования, почвообразующие породы, почвы

The investigations were carried out within the moraine, water-glacial, limno-glacial and alluvial landscapes of the Kaliningrad region. Soils and rocks under mixed and deciduous forests and agricultural lands were studied. The area has been tested neither in BSS (Baltic Soil Survey), nor in the GEMAS (Geochemical Mapping of Agricultural and Grazing Land soil of Europe). The average content of gross yttrium in soil-forming rocks is 20.3 ± 0.8 mg / kg. The minimum amount of the element is customary for sand rocks of eolian and ancient alluvial deposits (about 10 mg/kg). The maximum amount was found in calcareous limno-glacial and lacustrine-marine sediments of predominantly clay composition. A strong connection of yttrium with the silt part of rocks ($r = 0,7$) and "physical clay" ($r = 0,77$) was established. The humus horizon of forest

soils contains an average of 15.7 mg/kg, and the soils of agricultural lands – 17.0 mg/kg. The amount of yttrium on the total sample of all soils averages 17.2 mg / kg. The lower limit of the element content in soils is 6-7 mg / kg and is typical for soils of sandy composition (podzols and some burozems). The upper limit is at the level of 32-34 mg / kg and is typical for the soil of heavy loamy and clay composition (alluvial, sod-gley) or illuvial horizons with a high content of silt (sod-podzolic soils and burozems). The maximum amount of yttrium (45 mg/kg) was detected in a single sample of drained marsh lowland soil. Mild eluvial-illuvial character of yttrium distribution on the soil profile was found. The obtained data will be used for soil-ecological mapping and soil monitoring.

yttrium, average content, variation limits, soil-forming rocks, soils

ВВЕДЕНИЕ

В геохимической классификации элементов по особенностям гипергенной миграции (автор А.И. Перельман) Y относится к группе малоподвижных элементов-комплексообразователей и гидролизатов, мигрирующих с органическими комплексами, частично подвижным в сильнокислых и сильнощелочных условиях. Обогащены иттрием карбонатные воды щелочных массивов (Кольский п-ов), он осаждается из вод на кислых геохимических барьерах. Иттрий относится к элементам слабого и очень слабого биологического захвата. [1, с. 596 - 598].

Геохимия редкоземельных элементов и иттрия изучалась Ю.А. Балашовым, который указывает, что при анализе образцов послекембрийского осадочного чехла Русской платформы получены данные о сорбировании иттрия преимущественно глинами; отмечается тенденция увеличения Y в фациях морских осадков по сравнению с континентальными в условиях гумидного климата [2].

А.П. Виноградов приводит примерный кларк Y в почвах $5 \cdot 10^{-3} \%$ или 50 мг/кг [3, с. 212 - 213], Lindsay дает такую же концентрацию с интервалом варьирования 25 – 250 мг/кг [4]. Н. J. M. Bowen считает, что кларк элемента составляет 40 мг/кг [5]. А. Кабата-Пендиас приводит для почв США содержание элемента в среднем 25 мг/кг с варьированием менее 10 – 250 мг/кг. В почвах Великобритании содержится иттрия 22 мг/кг, Австрии – 17, в песчаных почвах Польши – 10 мг/кг [6, с. 211]. В почвообразующих породах Европы среднее содержание иттрия 24,1 (23), а в почвах – 22,7 (21) мг/кг. В скобках даны значения медианы [7]. В.А. Алексеенко установил, что количество иттрия в почвах населенных пунктов варьирует от 17,5 до 36,5 мг/кг [8]. А.Т. Савичев пришел к выводу, что в почвах гумидного климата иттрий подвергается выщелачиванию, что связано с разрушением глинистых минералов в подзолистых почвах. Также указывается на поступление Y в почвы из аэральных выбросов предприятий черной металлургии [9]. Фоновое значение для почвообразующих пород Северо-Западного региона России составляет 21 мг/кг (интервал от 10 до 24) [10].

Для условий Калининградской области данные о количестве и поведении иттрия в почвах отсутствуют. Территория региона не была опробована ни в BSS (Baltic Soil Survey), ни в GEMAS (Geochemical Mapping of Agricultural and Grazing Land soil of Europe). Поэтому наши данные расширяют знания о геохимии элементов в почвах Юго-Восточной Прибалтики. В задачи исследования входило: 1) изучить содержание иттрия в разных группах почвообразующих пород западной части Калининградской области; 2) установить среднее содержание иттрия в

преобладающих и сопутствующих типах почв; 3) выяснить особенности распределения по профилю почв.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Отбор образцов почв осуществлялся в моренных, водно-ледниковых, озерно-ледниковых и аллювиальных ландшафтах Замландского полуострова в ходе почвенного обследования. Для диагностики почв закладывались разрезы глубиной 150 – 220 см. Названия почв даны по классификации 1977 г. [11].

Содержание иттрия определено рентгенфлуоресцентным энергодисперсионным методом в Почвенном институте им. В.В. Докучаева (г. Москва) на приборах ТЕФА-6111 и РеСПЕКТ. Погрешность анализа соответствует требованиям третьей категории точности согласно правилам Научного совета по аналитическим методам.

Статистическая обработка данных проведена в программе Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Среднее содержание иттрия в породах очень близко к кларку пород Европы и Северо-Западного региона России. Как и отмечал А. Кабата-Пендиас, содержание Y довольно постоянно в породах и почвах разных стран. Распределение Y по разным типам пород Замландского полуострова закономерно: песчаные содержат меньше, чем суглинистые, а выщелоченные меньше, чем карбонатные (но в последнем случае это статистически недостоверно) (табл. 1).

Таблица 1. Статистические показатели содержания валового иттрия в почвообразующих породах западной части Калининградской области
Table 1. Statistical indicators of total yttrium content in soil-forming rocks of the west part of the Kaliningrad region

Породы	n	M		m, мг/кг	lim (мг/кг)	V
		Y, %	Y, мг/кг			
Водно-ледниковые пески и супеси	28	$1,2 \cdot 10^{-3}$	12,4	1,2	4 - 31	49,6
Моренные супеси и пески	18	$1,7 \cdot 10^{-3}$	16,6	1,5	7 - 25	34,2
Выщелоченные моренные суглинки	50	$2,6 \cdot 10^{-3}$	26,0	0,9	14 - 38	20,8
Карбонатные моренные суглинки	15	$2,9 \cdot 10^{-3}$	28,7	2,5	20 - 43	30,2
Выщелоченные озерно-ледниковые и озерно-морские	16	$2,9 \cdot 10^{-3}$	28,5	1,3	23 - 34	13,4
Карбонатные озерно-ледниковые и озерно-морские	15	$3,0 \cdot 10^{-3}$	29,9	1,7	25 - 43	18,1
Древнеаллювиальные пески и супеси	20	$1 \cdot 10^{-3}$	10,3	0,9	6 - 24	49,5
Аллювиальные	20	$1,6 \cdot 10^{-3}$	15,5	1,5	6 - 30	50,6
Эоловые пески кос	6	$1 \cdot 10^{-3}$	10,0	0,5	9 - 12	9,5
Все породы (без кос)	181	$2 \cdot 10^{-3}$	20,3	0,8	4 - 43	45,5

Корреляционный анализ общей выборки показал довольно сильную связь иттрия с илистой частью пород ($r = 0,7$) и «физической глиной» ($r = 0,77$). Из дру-

гих элементов выявилась связь с цирконием (в среднем $r = 0,61$). В общей выборке коэффициент корреляции Y с фосфором $-0,11$, т. е. фактически корреляция отсутствует. Однако этот показатель резко возрастает в группах озерно-ледниковых и озерно-морских пород до $0,5$. Следовательно, подтверждается указание на то, что фосфаты могут сорбировать иттрий [2].

По нашим данным, среднее содержание Y в почвах полуострова $17,2$ мг/кг ($1,7 \cdot 10^{-3} \%$). По группам распределение следующее:

- в гумусовых горизонтах (среднее по всем почвам) – $16,5$ мг/кг;
- в гумусовом горизонте лесных почв – $15,7$ мг/кг;
- в гумусовом горизонте почв сельскохозяйственных угодий – $17,0$ мг/кг.

Следовательно, содержание иттрия ниже кларка почв мира и ниже кларка в почвах Европы. Распределение иттрия по отдельным группам почв отражено в табл. 2.

Таблица 2. Статистические показатели содержания валового иттрия (мг/кг) в гумусовых горизонтах почв

Table 2. Statistical indicators of the content of gross yttrium (mg/kg) in humus horizons of soils

Почвы	Угодье	n	M	m	lim	V
Подзолы и дерново-подзолистые песчаные и супесчаные	Лес	22	9,5	0,5	7 - 13	18,5
Дерново-подзолистые песчаные и супесчаные окультуренные	С/х	25	11,3	1,0	6 - 19	31,5
Дерново-подзолистые суглинистые	С/х	22	20,6	1,5	14 - 26	20,1
Буроземы песчаные и супесчаные	Лес	30	15,9	0,9	9 - 26	27,6
	С/х	22	13,8	1,1	5 - 17	37,0
Буроземы суглинистые	Лес	20	21,5	1,6	14 - 33	35,8
	С/х	22	17,8	1,3	9 - 26	27,4
Дерново-глеевые	Лес	10	21,8	2,0	10 - 33	43,2
	С/х	14	23,5	2,0	16 - 34	27,4
Аллювиальные	Лес	12	20,3	1,5	14 - 26	20,1
	С/х	12	24,7	2,0	16 - 32	32,7
Болотные низинные осушенные	С/х	20	20,5	2,1	3 - 45	55,1

В песчаных и супесчаных подзолах и дерново-подзолистых почвах содержание иттрия низкое. Тенденция слабого накопления проявляется в горизонтах лесной подстилки и перегнойных (до 11 , реже 13 мг/кг). В подзолистых горизонтах $7 - 11$ мг/кг. Не выявлено влияния степени оглеения почв на содержание иттрия. В альфегумусовых горизонтах в среднем содержится $10,8$ мг/кг Y.

Корреляционный анализ показал отчетливую связь Y с железом в гумусовых горизонтах ($r = 0,7$), а в гор. Vfh эта связь значительно ослабляется ($r = 0,44$).

Окультуренные дерново-подзолистые песчаные и супесчаные почвы содержат больше Y по сравнению с лесными. Возможно причина в интенсивном фосфоритовании почв на отдельных полях. В иллювиальных горизонтах количество иттрия сходно с лесными почвами – $10,1$ мг/кг. В окультуренных почвах также обнаруживается связь иттрия с полуторными окислами, прежде всего, с Fe_2O_3 (в гор. A1 $r = 0,65$, в Vfh и B $0,7$).

В дерново-подзолистых окультуренных суглинистых почвах наблюдается слабое элювиально-иллювиальное распределение иттрия по профилю: в А1 20,6, а в иллювиальных горизонтах в среднем 21,7 мг/кг. При этом в гумусовом горизонте наиболее отчетливо проявляется связь с «физической глиной» ($r = 0,75$) при отсутствии корреляции с илом, а в иллювиальных горизонтах резко увеличивается коэффициент корреляции иттрия с илистой фракцией до 0,63 и 0,6 с железом.

Лесные буроземы в гумусовых горизонтах содержат иттрия несколько больше, чем окультуренные. В буроземах разной степени оглеения выявились определенные различия в количестве и распределении иттрия по профилю (табл. 3).

Таблица 3. Распределение иттрия (мг/кг) в супесчаных и суглинистых буроземах
Table 3. Distribution of yttrium (mg / kg) in sandy loam and loamy burozems

Горизонт	Неоглеенные	Глееватые	Глеевые
Лесные почвы (n = 42)			
A1	15,9	19,2	18,0
B	19,4	17,8	20,0
Почвы сельскохозяйственных угодий (n = 35)			
A1	15,3	17,1	Не определяли
B	18,9	16,9	

Элювиально-иллювиальный характер распределения иттрия заметен в автоморфных и глеевых буроземах. В лесных глееватых почвах наблюдается слабое его накопление в гумусовом горизонте, а в окультуренных распределение равномерное.

Корреляционная связь с илом в автоморфных лесных почвах сильнее выражена в А1 ($r = 0,57$), для железа более четкая связь (в гор. А1 $r = 0,7$, в гор. В $r = 0,84$).

В глееватых буроземах коэффициент корреляции иттрия с железом в А₁ высокий ($r = 0,82$) и снижается в иллювиальных горизонтах до 0,45. По илу связь незначительная. В глеевых буроземах в гумусовых горизонтах отсутствует связь с илом, а с железом – она средней силы (0,44). В иллювиальных горизонтах выявляется сильная связь с илом и железом (0,85 и 0,8).

Такой характер взаимосвязей позволяет предположить латеральное перемещение части иттрия в сорбированном состоянии с илом и закрепление на гидроокисях железа.

В буроземах не обнаружено достоверной корреляции иттрия с гумусом (органическим углеродом). Исключение составляет группа окультуренных глееватых почв, в которой проявилась сильная связь с гумусом и валовым фосфором. Однако этот факт требует тщательной проверки на большей по объему выборке.

В дерново-глеевых почвах сельскохозяйственных угодий обнаруживается в среднем небольшое увеличение количества иттрия. При этом усиливается связь с органическим веществом ($r = 0,7$). Аналогичная закономерность характерна для аллювиальных почв.

Болотные осушенные почвы отличаются большим разбросом в содержании иттрия. Именно в этой группе почв выявлено максимальное содержание 45 мг/кг в осушенной болотной почве польдеров в Полесском районе.

Адсорбция иттрия гидратами окисей железа подтверждается при рассмотрении коэффициентов накопления в новообразованиях. Ранее нами установлен факт, что иттрий относится к группе элементов преимущественного накопления в трех группах новообразований (ортштейны, железистые окисленные горизонты, красные непрочные шаровидные скопления гидроокиси железа) [12, с. 380]. Коэффициент накопления в среднем составляет 1,1 – 2,0. Наибольшие коэффициенты накопления

отмечаются в железистых корочках (2,5 – 3), образующихся в осушенных почвах. Установлено, что в ортштейнах и других конкрециях с ведущей ролью марганца (где K_H железа 2 – 3) иттрий проявляет минимальные коэффициенты накопления (0,6 – 1,3). В марганцево-железистых ортштейнах и конкрециях (жерства, дерновая руда) коэффициенты накопления железа свыше 6, а иттрия 2,0 - 2,4. Корреляционная связь иттрия с валовым фосфором в новообразованиях слабая (0,4).

ВЫВОДЫ

1. Среднее содержание валового иттрия в почвообразующих породах составляет $20,3 \pm 0,8$ мг/кг. Минимальное количество элемента характерно для песчаных пород эоловых и древнеаллювиальных отложений (около 10 мг/кг). Максимальное количество обнаружено в карбонатных озерно-ледниковых и озерно-морских отложениях преимущественно глинистого состава.

2. Установлена сильная связь иттрия с илистой частью пород ($r = 0,7$) и «физической глиной» ($r = 0,77$).

3. В гумусовом горизонте лесных почв содержится в среднем 15,7 мг/кг, а почв сельскохозяйственных угодий – 17,0 мг/кг. Количество иттрия по общей выборке всех почв в среднем 17,2 мг/кг.

4. Нижняя граница содержания элемента в почвах составляет 6 – 7 мг/кг и характерна для почв песчаного состава (подзолы и некоторые буроземы). Верхняя граница находится на уровне 32 – 34 мг/кг и типична для почв тяжелосуглинистого и глинистого состава (аллювиальные, дерново-глеевые) или иллювиальных горизонтов с повышенным содержанием ила (дерново-подзолистые почвы и буроземы). Максимальное количество иттрия (45 мг/кг) выявлено в единичном образце осушенной болотной низинной почвы.

5. Обнаружен слабо выраженный элювиально-иллювиальный характер распределения иттрия по профилю почв.

6. Полученные данные будут использованы для почвенно-экологического картографирования и мониторинга почв.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Перельман, А. И. Геохимия ландшафта / А. И. Перельман, Н. С. Касимов. – Москва, 1999. – 610 с.
2. Балашов, Ю. А. Геохимия редкоземельных элементов / Ю. А. Балашов. – Москва: Наука, 1976. – 267 с.
3. Алексеенко, В. А. Экологическая геохимия / В. А. Алексеенко. – Москва, 2000. – 627 с.
4. Lindsay, W. L. Chemical equilibria in soils / W. L. Lindsay. - 1979. – 449 p.
5. Bowen, H. J. M. Environmental chemistry of elements. / H. J. Bowen. - N.Y.: Acad. Press, 1979. - 333 p.
6. Кабата-Пендиас, А. Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас. – Москва: Мир, 1989. – 439 с.
7. Geochemical Atlas of Europe [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.gtk.fi/publ/foregsatlas/>.
8. Алексеенко, В. А. Химические элементы в геохимических системах. Кларки почв селитебных ландшафтов / В. А. Алексеенко, А. В. Алексеенко. – Ростов - на - Дону: Изд-во Южного федерального университета, 2013. – 380 с.
9. Савичев, А. Т. Редкие тяжелые металлы в почвах гумидного климата по данным рентгенофлуоресцентного анализа: автореф. дис.... докт. с.-х. наук: 03.02.13 / А. Т. Савичев. – Москва, 2012. – 43 с.

10. Сапрыкин, Ф. Я. Геохимия почв и охрана природы. Геохимия, повышение плодородия и охрана почв / Ф. Я. Сапрыкин. – Ленинград: Недра, 1984. – 231 с.
11. Классификация и диагностика почв СССР / сост. В. В. Егоров [и др.]. – Москва: Колос, 1977. – 224 с.
12. Анциферова, О. А. Почвы Замландского полуострова и их антропогенное изменение: в 2 ч. / О. А. Анциферова. – Калининград, 2008. – Ч. 2. Дерново-глеевые, аллювиальные, болотные, постпланировочные, городские почвы. Структура почвенного покрова. – 424 с.

REFERENCES

1. Perel'man A. I., Kasimov N. S. *Geohimiya landshafta* [Geochemistry of landscape]. Moscow, 1999, 610 p.
2. Balashov Y. A. *Geohimiya redkozemel'nyh elementov* [Geochemistry of rare earth elements]. Moscow, Nauka, 1976, 267 p.
3. Alekseenko V. A. *Ekologicheskaya geokhimiya* [Ecological geochemistry]. Moscow, 2000, 627 p.
4. Lindsay W. L. *Chemical equilibria in soils*. New York, Wiley, 1979 449 p.
5. Bowen H. J. M. *Environmental chemistry of elements*. New York, Acad. Press, 1979, 333 p.
6. Kabata-Pendias A., Pendias H. *Mikroelementy v pochvah i rasteniyah* [Microelements in soils and plants]. Moscow, World, 1989, 439 p.
7. *Geochemical Atlas of Europe*. Available at: <http://www.gtk.fi/publ.foregsatlas> (Accessed 23.01.2013).
8. Alekseenko V. A., Alekseenko A. V. *Himicheskie elementy v geohimicheskikh sistemah. Klarki pochv selitebnyh landshaftov* [Chemical elements in geochemical systems. Percentage abundance of soils of residential landscape]. Rostov-na-Donu, izdatelstvo Yuzhnogo federalnogo universiteta, 2013, 380 p.
9. Savichev A. T. *Redkie tyazhelye metally v pochvah gumidnogo klimata po dannym rengenofluorescentnogo analiza. Avtoref. diss. dokt. sel'hoz. nauk* [Rare heavy metals in soils of humid climate according to roentgenofluorescent analysis. Abstract of dis. dr. sci.]. Moscow, 2012, 43 p.
10. Saprykin F. Ya. *Geohimiya pochv i ohrana prirody. Geohimiya, povyshenie plodorodiya i ohrana pochv* [Soil geochemistry and nature protection. Geochemistry, fertility and soil conservation]. Leningrad, Nedra, 1984, 231 p.
11. *Klassifikatsiya i diagnostika pochv SSSR* [Classification and diagnostics of soils of the USSR]. Sost. V. V. Egorov i dr. Moscow, Kolos, 1977, 224 p.
12. Antsiferova O. A. *Pochvy Zamlandskogo poluostrova i ih antropogennoe izmenenie. Chast' 2. Dernovo-gleevye, allyuvial'nye, bolotnye, postplanirovochnye, gorodskie pochvy. Struktura pochvennogo pokrova* [Soils of the Samland Peninsula and their anthropogenic change. Part 2. Sod-gley, alluvial, marsh, post-planning, urban soils. The structure of the soil cover]. Kaliningrad, 2008, 424 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 in Agricultural Sciences, Associate Professor; E-mail: anciferova@inbox.ru

УДК 633.11

ОЗИМАЯ И ЯРОВАЯ ПШЕНИЦА (*Triticum aestivum* L.)
В АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Е. С. Роньжина

WINTER AND SPRING WHEAT (*Triticum aestivum* L.) IN AGROCLIMATIC
CONDITIONS OF THE KALININGRAD REGION

E. S. Ronzhina

Проведен сравнительный анализ эффективности и целесообразности возделывания озимой и яровой пшеницы в агроклиматических условиях Калининградской области. Подчеркивается, что в структуре посевов преобладает озимая пшеница благодаря ее большей урожайности и высокой рентабельности производства. Однако из-за участившихся в последние два десятилетия неблагоприятных агроклиматических явлений каждые три-пять лет в регионе происходит массовая гибель посевов озимых культур вследствие различных причин: вымокания, вызванного переувлажнением почвы обильными осадками, вымерзания из-за низких температур в зимне-весенний период при отсутствии снежного покрова, выпирания, ледяной корки. Обсуждается целесообразность возделывания яровой пшеницы, в том числе для пересева после гибели озимых. Заключено, что в условиях Калининградской области предпочтительно использовать озимую форму пшеницы, яровая же может являться резервной культурой в случае гибели посевов озимой. Однако целесообразность ее производства должна оцениваться индивидуально, в зависимости от возможностей и задач конкретного сельскохозяйственного предприятия и запаса продуктивной влаги в почве. Разработан комплекс системных мероприятий на государственном, региональном уровне, уровне предприятий и организаций структуры агропромышленного комплекса, позволяющий уменьшить последствия негативных явлений, связанных с неблагоприятными условиями перезимовки озимых культур.

Triticum aestivum, яровая и озимая формы, биоэкологические особенности, рост, развитие, урожай, агроклиматические условия

The comparative analysis of efficiency and expediency of winter and spring wheat growing in agroclimatic conditions of the Kaliningrad region has been carried out. It is underlined that winter wheat dominates in the structure of acreage because of its higher productivity and profitability. However various negative agroclimatic phenomena coming every three-five years cause massive failure of winter crops owing to various reasons: drenching crops, caused by soil overmoistening with abundant precipitation, freezing because of the absence of snow in combination with low temperatures during the winter and spring period, bulging plants and plant death under the ice crust. The paper discusses expediency of spring wheat growing, including for the purpose of replanting after the failure of winter crops. It has been concluded that it is preferable to

use a winter wheat form in conditions of the Kaliningrad region. Spring wheat form can be used as a reserve in case of winter wheat death. However the expediency of its growing must be estimated individually depending on opportunities and tasks of a particular agricultural enterprise and a reserve of productive water in soil. The complex of system actions reducing the negative effects of winter agroclimatic factors has been developed at different levels (state, regional, agricultural enterprises and organizations).

Triticum aestivum, spring and winter forms, bioecological features, growth, development, crop, agroclimatic conditions

ВВЕДЕНИЕ

На долю растениеводства приходится половина сельскохозяйственной продукции Калининградской области, что делает эту отрасль стратегическим направлением функционирования регионального агропромышленного комплекса. Одним из его ключевых сегментов является производство зерна. В структуре посевных площадей первое-второе место традиционно отводится пшенице.

Высокая культура земледелия, современные технологии в сочетании с благоприятными почвенно-климатическими условиями позволяют нашему региону в последние годы быть одним из лидеров по урожайности пшеницы не только по Северо-Западному федеральному округу, но и по Российской Федерации в целом.

В Калининградской области основой урожая этой культуры является озимый сев. Более продолжительный вегетационный период озимых культур позволяет им сформировать большую биомассу и накопить ее в хозяйственно-ценной части растений. Дополнительными позитивными факторами являются удобное размещение в севообороте и возможность перевода части сельскохозяйственных работ на осенний период.

При этом соблюдение технологии возделывания в сочетании с использованием районированных сортов дает возможность получать стабильные урожаи и яровой пшеницы. В среднем по области они составляют около 3 т/га, что меньше, чем при возделывании озимой формы, но сопоставимо со средней урожайностью пшеницы в Российской Федерации. Однако место яровой пшеницы в системе земледелия Калининградской области и целесообразность ее возделывания до сих пор однозначно не определены.

Поэтому целью настоящей работы явилось проведение сравнительного анализа эффективности и целесообразности возделывания озимой и яровой пшеницы в агроклиматических условиях Калининградской области.

В задачи работы входило:

- 1) определить место озимой и яровой пшеницы в системе растениеводства Калининградской области;
- 2) оценить экономическую эффективность возделывания озимой и яровой пшеницы в условиях Калининградской области;
- 3) выявить причины и частоту гибели посевов озимой пшеницы в Калининградской области;
- 4) разработать рекомендации по повышению зимостойкости озимой пшеницы в условиях Калининградской области;
- 5) наметить пути решения основных проблем, возникающих при возделывании пшеницы в Калининградской области.

ОЗИМАЯ И ЯРОВАЯ ПШЕНИЦА В СИСТЕМЕ РАСТЕНИЕВОДСТВА
КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

В структуре посевных площадей Калининградского региона доля пшеницы составляет около 1/3. В различных муниципальных образованиях Калининградской области на пшеницу приходится от 30 до 100% (в среднем по области – порядка 60%) производимого зерна [1].

Для возделывания пшеницы практически на безальтернативной основе используется озимая форма. Доля посевов яровой пшеницы незначительна, хотя и варьирует в разные годы (табл. 1).

Таблица 1. Доля пшеницы в структуре посевных площадей Калининградской области (по [1], с изменениями)

Table 1. The share of wheat in the structure of acreage in the Kaliningrad region (according to [1], with changes)

Форма пшеницы	Год						
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
<i>Площадь, га</i>							
Озимая и яровая	45932,0	41101,4	46199,2	50214,8	68051,3	86315,3	82743,4
Озимая	39266,0	31074,9	32942,2	34454,2	42730,6	69075,9	47402,2
Яровая	6666,0	10026,5	13257,0	15760,6	25320,7	17239,4	35341,2
<i>Структура, % из всей посевной площади</i>							
Озимая и яровая	31,0	28,6	27,8	27,4	30,6	35,1	31,6
Озимая	26,5	21,6	19,8	18,8	19,2	28,1	18,1
Яровая	4,5	7,0	8,0	8,6	11,4	7,0	13,5

В 2017 г. вследствие неблагоприятных погодных явлений посевная площадь в регионе сократилась примерно на 4,5%. Зерновыми и зернобобовыми культурами было засеяно 125,2 тыс. га (50,1% посевных площадей), что на 6,2% меньше, чем в 2016 г. Сельхозпроизводители увеличили крен в сторону озимых культур. Их посевы занимали 61 тыс. га (на 20,2% больше, чем в 2016 г.), тогда как посевы яровых – 64,2 тыс. га (на 22,4% меньше) [2].

В 2018 г., по данным регионального Министерства сельского хозяйства, площадь посевов озимых зерновых культур в Калининградской области составила более 62 тыс. га, яровых зерновых – порядка 82 тыс. Из них, как следует из Полевой сводки на 27 сентября 2018 г., под озимой пшеницей находится порядка 58 тыс. га (94,8%), под яровой – чуть менее 36 тыс. (43,4%) [3].

Основная часть посевов пшеницы приходится на долю малых сельскохозяйственных предприятий, отдающих предпочтение озимой форме (табл. 2).

Например, в 2015 г. эти предприятия яровую пшеницу в области практически не сеяли, во многие другие годы ее использовали только для пересева.

Особенностью растениеводства Калининградской области, выгодно отличающей ее от других регионов нашей страны, является широкое использование современных интенсивных, в том числе адаптивно-ландшафтных, технологий возделывания сельскохозяйственных культур, ресурсосберегающих технологий

обработки почвы, что при благоприятных агроклиматических условиях дает возможность получать в регионе высокие урожаи пшеницы (табл. 3).

Таблица 2. Посевные площади под урожай 2016 г. по категориям хозяйств в Калининградской области (по [1], с изменениями и дополнениями)

Table 2. Crop area depending on farm categories in the Kaliningrad region in 2016 (according to [1], with changes and additions)

Единица измерения	Хозяйства всех категорий	Сельскохозяйственные организации:			
		все	малые предприятия	хозяйства населения	К(Ф)Х и индивидуальные предприниматели
<i>Пшеница озимая и яровая</i>					
га	82743,4	71031,6	51034,0	825,0	10886,8
<i>Пшеница озимая</i>					
га	47402,2	42058,4	28904,9	494,0	4849,8
% от всей посевной площади по данной категории хозяйств	57,3	59,2	56,6	59,9	44,5
<i>Пшеница яровая</i>					
га	35341,2	28973,2	22129,1	331,0	6037,0
% от всей посевной площади по данной категории хозяйств	42,7	40,8	43,4	40,1	55,5

Примечание. В табл. 2 и далее в таблицах и тексте: К(Ф)Х - крестьянское (фермерское) хозяйство.

Таблица 3. Урожайность пшеницы в хозяйствах всех категорий (зерно, в весе после доработки, т/га убранной площади) в Калининградской области [1]

Table 3. Wheat yield in all category farms (grain mass after processing, t/ha of harvested area) in the Kaliningrad region in 2016 [1]

Форма пшеницы	Год						
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Озимая и яровая	3,47	2,51	3,18	3,55	3,86	4,77	3,18
Озимая	3,58	2,55	3,59	3,84	4,24	4,96	3,22
Яровая	2,75	2,39	2,15	2,92	3,21	3,91	3,13

Данные табл. 3 позволяют проследить положительную динамику урожайности этой культуры в период с 2011 по 2015 г. Снижение урожайности в следующем, 2016 г. было связано с неблагоприятными погодными условиями (см. далее табл. 6).

В 2017 г., несмотря на сложные погодные условия, средняя урожайность пшеницы в Калининградской области составила 3,98 т/га (для сравнения: по Северо-Западному федеральному округу она была равна 3,30, в Российской Федерации – 3,12 т/га) [2].

Высокие показатели урожайности обеспечивают малые сельскохозяйственные предприятия и К(Ф)Х. Урожайность пшеницы в хозяйствах населения остается на низком уровне, как правило, из-за использования экстенсивных технологий. К тому же в большинстве случаев производимая в этих хозяйствах пшеница имеет низкое качество и используется с кормовыми целями (табл. 4).

Таблица 4. Урожайность пшеницы по категориям хозяйств в 2016 г. (зерно, в весе после доработки, т/га убранной площади) в Калининградской области [1]

Table 4. Wheat yield depending on farm category (grain mass after processing, t/ha of harvested area) in the Kaliningrad region in 2016 [1]

Форма пшеницы	Хозяйства всех категорий	Сельскохозяйственные организации			
		все	малые предприятия	хозяйства населения	К(Ф)Х и индивидуальные предприниматели
Озимая и яровая	3,18	3,22	3,37	1,78	3,00
Озимая	3,22	3,25	3,43	1,52	3,16
Яровая	3,13	3,19	3,31	2,18	2,86

Максимальная на данное время урожайность пшеницы (озимой формы) – в среднем 9,63 т/га, на отдельных полях – до 11,0 т/га – получена в нашей области в 2015 г. в К(Ф)Х «Калина» Черняховского муниципального района [4]. По нашим сведениям, ежегодно в число предприятий, демонстрирующих высокие показатели урожайности озимой пшеницы, также входят ЗАО «Залесское молоко», ООО «Агросистема», ЗАО «Правдинское СвиноПроизводство», сельскохозяйственное предприятие «Агро-Нова» и др. [4-6].

Большие посевные площади в сочетании с высокой урожайностью позволяют малым сельхозпредприятиям и К(Ф)Х обеспечивать положительный баланс производства и потребления пшеницы (главным образом за счет выращивания озимой формы) в Калининградской области (табл. 5). Это полностью согласуется с доктриной продовольственной безопасности нашего эксклавного региона.

Мы провели расчет экономической эффективности возделывания озимой и яровой пшеницы в условиях Калининградской области. В первом случае рентабельность составляет порядка 25%, во втором - в два раза меньше.

Все вышесказанное позволяет рекомендовать озимую пшеницу при выборе яровой или озимой формы. Целесообразность же возделывания яровой пшеницы в почвенно-климатических условиях региона является дискуссионным вопросом.

Таблица 5. Валовые сборы озимой и яровой пшеницы в Калининградской области в 2016 г. по категориям хозяйств (по [1], с изменениями и дополнениями)
Table 5. Gross winter and spring wheat harvest depending on farm category in the Kaliningrad region in 2016 (according to [1], with changes and additions)

Единица измерения	Хозяйства всех категорий	Сельскохозяйственные организации			
		все	малые предприятия	хозяйства населения	К(Ф)Х и индивидуальные предприниматели
<i>Пшеница озимая и яровая</i>					
т	242952,87	213502,34	163888,63	1470,98	27979,55
<i>Пшеница озимая</i>					
т	138397,66	123705,28	93309,51	750,88	13941,50
% от валового сбора по данной категории	5,70	5,79	5,69	5,10	4,98
<i>Пшеница яровая</i>					
т	104555,22	89797,07	70579,12	720,10	14038,05
% от валового сбора по данной категории	4,30	4,21	4,31	4,90	5,02

Примечание. Собственная потребность Калининградской области в зерне составляет около 220 тыс. т [7].

ОЗИМАЯ ПШЕНИЦА В АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Проведенный нами анализ показал, что почвенно-климатические условия Калининградской области в целом соответствуют биоэкологическим требованиям как яровой, так и озимой пшеницы.

Однако участвовавшие в последние десятилетия нестабильные погодные условия Калининградского региона нередко приводят к гибели посевов озимых культур. Согласно данным нашего двадцатилетнего мониторинга, эта негативная ситуация повторяется с периодичностью один раз в три-пять лет, а иногда и чаще (табл. 6).

Так, массовая гибель озимых культур с начала нынешнего столетия происходила в 2003, 2006, 2010, 2011, 2016 и 2017 гг. В 2016 и 2017 гг. в регионе был объявлен режим чрезвычайной ситуации из-за вымокания посевов вследствие критического переувлажнения почвы, вызванного чрезмерным количеством осадков. В другие годы относительно низкие температуры в зимне-весенний период при отсутствии устойчивого снежного покрова приводили к вымерзанию

посевов. За весь период наблюдений мы зарегистрировали и другие причины гибели озимой пшеницы: выпирание, гибель под ледяной коркой.

Таблица 6. Гибель посевов озимой пшеницы в Калининградской области в 2003-2017 гг. (результаты собственного мониторинга в сочетании с данными [4; 8-10])

Table 6. Failure of winter wheat crops in the Kaliningrad region within the period of 2003-2017 (according to the results of our monitoring combined with the data of [4; 8-10])

Год	Причины гибели посевов	Доля погибших посевов
2003	Вымерзание, выпирание, гибель под ледяной коркой	Около 50%
2006	Вымерзание	Около 34%
2010	Вымерзание	Около 10%
2011	Вымерзание	Около 34%
2016	Вымерзание; вымокание вследствие критического переувлажнения почвы	Около 50%
2017	Вымокание вследствие критического переувлажнения почвы	1,078 тыс. га

Выпревание, еще одна причина гибели озимых культур, по нашим наблюдениям, в последнее двадцатилетие в регионе проявлялось незначительно.

Полный перечень и критерии опасных явлений при возделывании озимых культур на территории региона перечислены в официальной информации [11].

Все они приводят к снижению урожая озимой пшеницы, валового сбора зерна и более низкой рентабельности сельскохозяйственного производства в целом. Например, снижение валового сбора зерна пшеницы на 20-25% в неблагоприятном по погодным условиям 2016 г. было обусловлено вымерзанием половины посевов. Ситуацию усугубило переувлажнение почвы из-за обильных осадков [9].

В 2017 г. земледелие в регионе также велось в крайне сложных погодноклиматических условиях. Обильные осадки в мае-июне и октябре привели к переувлажнению почвы, что послужило причиной для введения режимов чрезвычайных ситуаций дважды в течение года. Вследствие неблагоприятных погодных явлений посевная площадь в регионе сократилась на 4,5%, крайне сложными были уборочные работы: лишь немногие предприятия справились с уборкой озимых культур, с уборкой яровых трудности испытывали все сельхозтоваропроизводители. Зафиксирована гибель посевов примерно на 20 тыс. га [8; 10].

При наступлении весеннего периода по результатам оценки состояния посевов озимой пшеницы после перезимовки принимают решение о необходимости пересева яровой формой.

Вследствие часто наблюдающихся в последние годы неблагоприятных агроклиматических условий, приводящих к гибели посевов, некоторые сельхозтоваропроизводители начали рассматривать перспективы введения яровой пшеницы в систему севооборота.

Однако целесообразность возделывания этой формы, даже при пересеве после гибели озимых, является дискуссионным вопросом, поскольку сельхозтоваропроизводители сталкиваются с целым комплексом проблем:

1) дополнительными затратами на посевной материал, горюче-смазочные материалы, протравливание семян и выполнение технологических операций по

посеву (известно, что пересев увеличивает затраты примерно в полтора раза, ориентировочно с 20 тыс. до 30 тыс. руб./га);

2) нехваткой семенного материала из-за отсутствия семенного фонда яровой пшеницы в Калининградской области и невозможности экстренной поставки посевного материала из других регионов. Поэтому сельхозтоваропроизводители вынуждены использовать семена с истекшим сроком хранения и реализации либо с неподтвержденными документально сортовыми и посевными качествами, неизвестного происхождения, некондиционные;

3) дополнительными весенними полевыми работами;

4) более низкой урожайностью яровой пшеницы по сравнению с озимой.

Такая ситуация приводит к снижению рентабельности сельхозпроизводства, вплоть до отрицательных значений, когда затраты не покрываются выручкой от реализации продукции и компенсационными выплатами государства и страховых компаний за погибшие посевы. Например, в 2016 г. убытки от гибели озимых культур в Калининградской области составили десятки миллионов рублей, в 2017 – 221 млн. [9; 10].

Эти многочисленные проблемы требуют обязательного решения, которым может быть комплекс мероприятий на уровне:

1) государства: совершенствование страхового законодательства, оптимизация системы компенсационных выплат за погибшие посевы;

2) региона: введение дополнительной региональной программы компенсации затрат на пересев; создание общерегионального семенного фонда яровой пшеницы;

3) предприятий агропромышленного комплекса: строгое соблюдение сроков сева озимых культур и технологии их возделывания; использование высококачественного семенного материала; проведение мелиоративных мероприятий; предпосевное закаливание семян озимых культур; диверсификация рисков за счет выращивания других культур;

4) научных учреждений и организаций структуры агропромышленного комплекса: выведение новых устойчивых сортов; проведение исследований для оценки возможности использования в технологии возделывания культуры биологически активных веществ протекторного или полифункционального действия со свойствами криопротекторов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты проведенной работы свидетельствуют о том, что экономические условия и геополитическое положение Калининградской области указывают на предпочтительное использование озимой формы пшеницы для получения более высокой урожайности.

Яровая пшеница может являться резервной культурой в случае гибели посевов озимой. Однако пересев яровой формы существенно снижает рентабельность сельскохозяйственного производства в силу целого комплекса причин. Поэтому целесообразность производства яровой пшеницы должна оцениваться индивидуально, в зависимости от возможностей и задач конкретного сельскохозяйственного предприятия и запаса продуктивной влаги в почве.

Для снижения негативных явлений, связанных с неблагоприятными условиями перезимовки озимых культур, требуется проведение системных мероприя-

тий на всех уровнях – государственном, региональном, на уровне предприятий и организаций структуры агропромышленного комплекса и конкретных сельхозтоваропроизводителей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Посевные площади и валовые сборы сельскохозяйственных культур в Калининградской области в 2016 году. Статистические таблицы / отв. за выпуск А. Г. Шагун, В. Н. Грибанова, Г. С. Зиновьева. – Калининград, 2017. – 146 с.
2. Информация о социально-экономическом положении. Сельское хозяйство // Официальный портал Правительства Калининградской области [Электронный ресурс]. URL: <https://gov39.ru/ekonomy/situation/selskoe-khozyaustvo.php> (дата обращения 01.09.2018).
3. Полевая сводка на 27.09.2018 г. // Официальный сайт Министерства сельского хозяйства Калининградской области [Электронный ресурс]. URL: <http://mcx39.ru/rastenevodstvo/o-xode-polevux-rabot-i-vvode-zemel-v-oborot/polevaya-svodka-na-27-09-2018-g/> (дата обращения 28.09.2018).
4. В Калининградской области отмечается рекордная урожайность зерновых // Официальный Интернет-портал Министерства сельского хозяйства Российской Федерации [Электронный ресурс]. URL: <http://old.mcx.ru/news/news/show/42337.htm> (дата обращения 10.09.2018).
5. В Калининградской области продуктивность зерновых выходит на уровень лучших мировых результатов. 28.08.2015 // Официальный портал Правительства Калининградской области [Электронный ресурс]. URL: <https://gov39.ru/news/101/91533/> (дата обращения 01.09.2018).
6. Правительство: сельское хозяйство поставило рекорд. 04.09.2015 // Русский запад [Электронный ресурс] - URL: <http://ruwest.ru/news/46879/> (дата обращения 01.09.2018).
7. На пути к продовольственному самообеспечению // Официальный сайт Министерства сельского хозяйства Калининградской области [Электронный ресурс]. URL: <http://mcx39.ru/press-centr/novosti/na-puti-k-prodovolstvennomu-samoobespecheniyu/> (дата обращения 02.10.2018).
8. Министр: ЧС в сельском хозяйстве области продолжалась практически весь год // РБК Калининград. Калининград, 23 нояб. 2017 [Электронный ресурс]. URL: <https://kaliningrad.rbc.ru/kaliningrad/freenews/5a16b32b9a79479f748720bf> (дата обращения 20.09.2018).
9. Всепогодный успех // Официальный сайт фирмы Avgust [Электронный ресурс]. URL: <http://www.avgust.com/newspaper/topics/detail.php?ID=5599> (дата обращения 01.09.2018).
10. Гоменюк-Кравцова, М. Ущерб от гибели озимых культур в регионе составил 221 млн. рублей / М. Гоменюк-Кравцова // Клопс. Главный новостной портал Калининграда. Новости Калининграда, России, мира. 09 июня 2017 [Электронный ресурс]. URL: <https://klops.ru/news/obschestvo/157063-materialny-uscherb-ot-gibeli-ozimyh-kultur-v-regione-sostavil-221-mln-rublej> (дата обращения 01.10.2018).

11. Перечень и критерии опасных явлений при возделывании озимых культур по району ответственности Калининградского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды – филиалу ФГБУ «Северо-Западное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» (КЦГМС) (агрометеорологические опасные явления, Калининградская область) // Официальный сайт Калининградского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды – филиалу ФГБУ «Северо-Западное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды») [Электронный ресурс]. URL: <http://meteo39.ru/kriterii-oya.html> (дата обращения 02.09.2018).

REFERENCES

1. Posevnye ploshhadi i valovye sbory sel'skhozajstvennykh kul'tur v Kaliningradskoj oblasti v 2016 godu. Statisticheskie tablicy. Otv. za vypusk A. G. Shagun, V. N. Gribanova, G. S. Zinov'eva. Kaliningrad, 2017, 146 p.
2. Informacija o social'no-jekonomicheskom polozenii. Sel'skoe hozjajstvo [Information on economic and social situation. Agriculture]. *Oficial'nyj portal Pravitel'stva Kaliningradskoj oblasti*, available at: <https://gov39.ru/ekonomy/situation/selskoe-khozyaystvo.php> (Accessed 01 September 2018).
3. Polevaja svodka na 27.09.2018 g [The field report of 9.27.2018]. *Oficial'nyj sajt Ministerstva sel'skogo hozjajstva Kaliningradskoj oblasti*, available at: <http://mcx39.ru/rastenevodstvo/o-xode-polevyx-rabot-i-vvode-zemel-v-oborot/polevaya-svodka-na-27-09-2018-g> (Accessed 28 September 2018).
4. V Kaliningradskoj oblasti otmechaetsja rekordnaja urozhajnost' zernovykh [Unprecedented grain productivity has been recorded in the Kaliningrad region]. *Oficial'nyj Internet-portal Ministerstva sel'skogo hozjajstva Rossijskoj Federacii*, available at: <http://old.mcx.ru/news/news/show/42337.htm> (Accessed 10 September 2018).
5. V Kaliningradskoj oblasti produktivnost' zernovykh vyhodit na uroven' luchshih mirovykh rezul'tatov. 28.08.2015 [Grain efficiency in the Kaliningrad region has come to the level of the best world results. 28.08.2015]. *Oficial'nyj portal Pravitel'stva Kaliningradskoj oblasti*, available at: <https://gov39.ru/news/101/91533/> (Accessed 01 September 2018).
6. Pravitel'stvo: sel'skoe hozjajstvo postavilo rekord. 04.09.2015 [Government: agriculture has made a record. 04.09.2015]. *Russkij zapad*, available at: <http://ruwest.ru/news/46879/> (Accessed 01 September 2018).
7. Na puti k prodovol'stvennomu samoobespečeniju [On the way to food self-sufficiency]. *Oficial'nyj sajt Ministerstva sel'skogo hozjajstva Kaliningradskoj oblasti*, available at: <http://mcx39.ru/press-centr/novosti/na-puti-k-prodovol'stvennomu-samoobespečeniju/> (Accessed 02 October 2018).
8. Ministr: ChS v sel'skom hozjajstve oblasti prodolzhalas' praktičeski ves' god [Minister: Emergency situation in regional agriculture lasted almost all year]. *RBK Kaliningrad*. Kaliningrad, 23 nojabrya 2017, available at: <https://kaliningrad.rbc.ru/kaliningrad/freenews/5a16b32b9a79479f748720bf> (Accessed 20 September 2018).
9. Vsepegodnyj uspeh [All-weather success]. *Oficial'nyj sajt firmy Avgust*, available at: <http://www.avgust.com/newspaper/topics/detail.php?ID=5599> (Accessed 01 September 2018).
10. Gomenjuk-Kravcova M. Ushherb ot gibeli ozimyh kul'tur v regione sostavil 221 mln. rublej [The damage from winter crops death in the region was 221 million ru-

bles]. Klops. Glavnyj novostnoj portal Kaliningrada. Novosti Kaliningrada, Rossii, mira. 09 ijunja 2017, available at: <https://klops.ru/news/obschestvo/157063-materialnyy-uscherb-ot-gibeli-ozimyh-kultur-v-regione-sostavil-221-mln-rublej> (Accessed 01 October 2018).

11. Perechen' i kriterii opasnyh javlenij pri vozdelyvanii ozimyh kul'tur po rajonu otvetstvennosti Kaliningradskogo centra po gidrometeorologii i monitoringu okružhajushhej sredy – filialu FGBU «Severo-Zapadnoe upravlenie po gidrometeorologii i monitoringu okružhajushhej sredy» (KCGMS) (agrometeorologicheskie opasnye javlenija, Kaliningradszkaja oblast') [The list and criteria of the dangerous phenomena for cultivation of winter crops on the area of responsibility of the Kaliningrad Center for Hydrometeorology and Monitoring of the Environment – the Kaliningrad branch of the Federal State Institution “Northwest Directory on Hydrometeorology and Monitoring of the Environment (KTsGMS) (agrometeorological dangerous phenomena, the Kaliningrad region)]. Oficial'nyj sajt Kaliningradskogo centra po gidrometeorologii i monitoringu okružhajushhej sredy – filialu FGBU «Severo-Zapadnoe upravlenie po gidrometeorologii i monitoringu okružhajushhej sredy»), available at: <http://meteo39.ru/kriterii-oja.html>] (Accessed 02 September 2018).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Роньжина Елена Степановна – Калининградский государственный технический университет; доктор биологических наук, профессор;
зав. кафедрой агрономии; E-mail: elena.ronzhina@klgtu.ru

Ronzhina Elena Stepanovna – Kaliningrad State Technical University;
Doctor of Biological Sciences, Professor; Head of the Department of Agronomy;
E-mail: elena.ronzhina@klgtu.ru

СУДОСТРОЕНИЕ, МАШИНОСТРОЕНИЕ И ЭНЕРГЕТИКА

УДК 621.7.09 (06)

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ КАБОШОНОВ ИЗ ЯНТАРЯ
МЕТОДОМ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СЕКУЩИХ ПЛОСКОСТЕЙ

Б. П. Борисов, Е. А. Карасёва

SHAPING OF CABOCHONS FROM AMBER BY THE METHOD
OF HORIZONTAL CUTTING PLANES

B. P. Borisov, E. A. Karasyova

Установлен основной метод обработки заготовок из янтаря. Показаны главные направления повышения эффективности шлифования янтарных изделий. Представлены известные классы янтарной продукции. Предложен метод горизонтальных секущих плоскостей для исследования процесса формообразования сложнопрофильной поверхности кабошона. Установлена взаимосвязь ее геометрии с основными формообразующими движениями станка. Разработана кинематическая структура станка с расширенными технологическими возможностями для обработки кабошонов из янтаря.

янтарь, кабошон, формообразование, метод, кинематическая структура

The main method for processing amber blanks has been established. The main directions of improving the efficiency of grinding amber products are shown. Some known classes of amber products are presented. A method of horizontal sectional planes is proposed for studying the process of forming a complex-shaped cabochon surface. Interrelation of the geometry of the complex cabochon surface with the main shape-generating movements of the machine has been established. Kinematic structure of the machine for processing cabochons from amber with advanced technological capabilities has been developed.

amber, cabochon, shaping, method, kinematic structure

ВВЕДЕНИЕ

Янтарь – окаменевшая аморфная просвечивающаяся смола древних вымерших хвойных деревьев. Цвет янтаря от ярко-желтого (янтарного) до бурокоричневого. Это мягкий камень. Его твердость по шкале Мооса равна 2-3, плотность 1-1,1г/см³. Он легко поддается обработке, плавится в пламени свечи (250-300°С) [1].

Как известно, шлифование янтарных заготовок и их элементов является единственным методом получения изделий из янтаря нужной формы по заданным габаритам. Технологические процессы шлифования составляют около 60% всей трудоемкости изготовления продукции из янтаря.

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ШЛИФОВАНИЯ ЯНТАРНЫХ ИЗДЕЛИЙ И КЛАССЫ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ЯНТАРЯ

К основным направлениям повышения эффективности шлифования янтарных изделий относятся: 1) автоматизация процесса, повышение производительности и точности шлифования; 2) разработка принципиально новых технологий и оборудо-

вания для шлифования янтаря, в том числе автоматизация процессов огранки янтарных изделий; 3) разработка технологий изготовления алмазных и алмазозаменяющих шлифовальных кругов и импортозамещения оборудования [2].

По [2] продукцию из янтаря можно разделить на два класса:

- 1) изделия, представляющие собой художественные произведения и произведения искусства, требующие творческого подхода к оформлению;
- 2) изделия, изготавливаемые массовым порядком, как самостоятельные, так и детали, являющиеся элементами янтарных изделий.

Для реализации основных направлений повышения эффективности шлифования янтарных изделий в первую очередь необходимо исследовать закономерности формообразования.

КАБОШОНЫ ИЗ ЯНТАРЯ

Кабошоны относят ко второму классу продукции из янтаря по [2], который характеризуется серийным и массовым производством. Соответственно, изделия из янтаря ежегодно миллионами штук изготавливает мировая янтарная отрасль.

Кабошон – это сложнопрофильное тело, криволинейные участки которого плавно сопрягаются друг с другом [1]. Наиболее распространены кабошоны, представляющие собой геометрическое тело, ограниченное сложнопрофильной поверхностью и плоскостью, которая служит базой при обработке заготовки и называется базовой плоскостью. Пересечением профильной поверхности и базовой плоскости получают базовое сечение, ограниченное по периметру базовым профилем, что показано на рис. 1. Из года в год изготавливать, например, круглые кабошоны диаметром 3-10 мм вручную утомительно, трудоемко и экономически неэффективно. Поэтому процессы шлифования требуют механизации и автоматизации, особенно при решении вопроса себестоимости янтарного изделия, его качества и конкурентоспособности на мировом рынке.

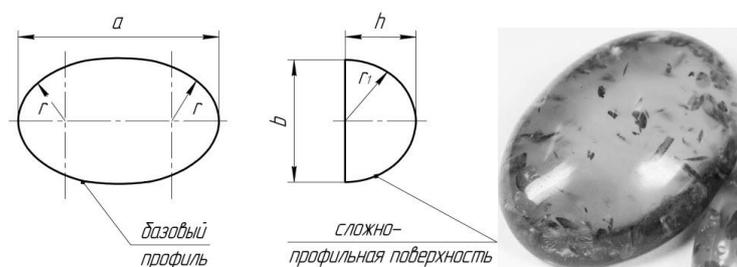


Рис. 1. Кабошон из янтаря с базовым профилем в виде овала
 Fig. 1. A cabochon from amber with base profile in the form of an oval

При усовершенствовании, приводящем к автоматизации типовых технологических операций и, как следствие, повышению эффективности всего технологического процесса изготовления янтарного украшения – росту производительности труда и точности обрабатываемой янтарной заготовки и, соответственно, расширению технологических возможностей оборудования, возникает ряд проблем, обусловленных более сложной кинематикой оборудования для шлифования профильной поверхности кабошона.

ФОРМООБРАЗОВАНИЕ КАБОШОНОВ ИЗ ЯНТАРЯ

Как известно, первоначальная база любого станка выражается кинематической схемой, или кинематикой станка. Назначением такого станка является создание относительных движений режущего инструмента и заготовки, необходимых для получения в процессе резания заданных поверхностей. В связи с этим после выбора метода формообразования янтарного кабошона в первую очередь надо определить и исследовать упомянутый процесс при обработке профильной поверхности, установив взаимосвязи геометрии профиля кабошона с основными формообразующими движениями с целью разработки кинематики относительных движений режущего инструмента и заготовки для получения в процессе резания заданных поверхностей. Следовательно, при конструировании, дальнейшей пуско-наладке и эксплуатации необходимо, прежде всего, разработать основную кинематическую структуру станка для обработки кабошонов из янтаря и собрать по ней действующий его макет, детально изучить процесс формообразования профильной поверхности, в данном случае – кабошона с базовым профилем в виде овала (рис. 1).

В нашем исследовании поверхность кабошонов формируется по методу касания, который заключается в том, что переменная образующая линия получается в результате касания заготовкой торца алмазного абразивного круга, как показано на рис. 2.

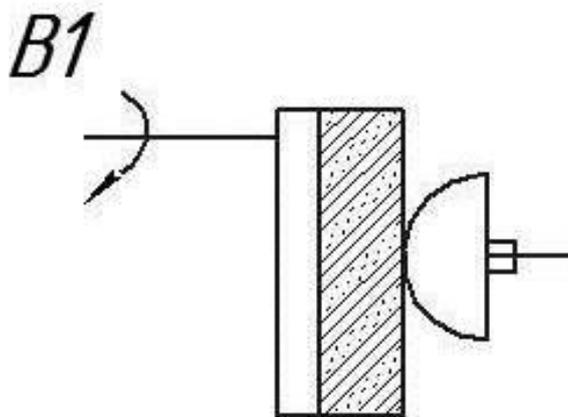


Рис. 2. Формообразование янтарного кабошона по методу касания:

B_1 – вращение алмазного абразивного круга

Fig. 2. Shaping of cabochons from amber by the method of tangency:

B_1 – rotation of the diamond abrasive wheel

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ КАБОШОНОВ ИЗ ЯНТАРЯ МЕТОДОМ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СЕКУЩИХ ПЛОСКОСТЕЙ

При обработке янтарного кабошона по методу касания целесообразно исследовать процесс формообразования выпуклой профильной поверхности с помощью метода горизонтальных секущих плоскостей. При этом устанавливаются взаимосвязи геометрии профиля кабошона с основными формообразующими движениями с целью разработки кинематики относительных движений режущего инструмента и заготовки, необходимых для получения в процессе резания задан-

ных поверхностей. В качестве объекта анализа используем наиболее массово тиражируемый янтарный кабошон с базовым профилем «овал», состоящий из плавно сопрягаемых участков различной кривизны. При рассечении профильной поверхности горизонтальными плоскостями получают горизонтальные профильные сечения, ограниченные соответствующими профильными линиями, начиная с базового профиля, что показано на рис. 3.

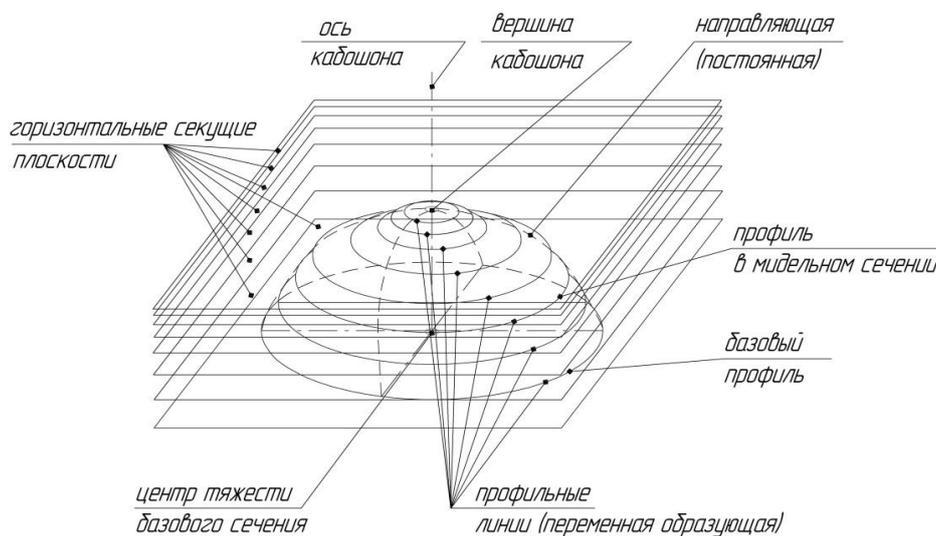


Рис. 3. Исследование формообразования янтарного кабошона методом горизонтальных секущих плоскостей

Fig. 3. Research of the amber cabochons shaping by the method of horizontal cutting planes

Согласно каркасно-кинематической теории формообразования поверхностей деталей при обработке их на станках получаемая профильная поверхность кабошона может быть представлена как след, оставляемый в пространстве при движении одной производящей линии (образующей) по другой производящей линии (направляющей) [3, 4].

В ряде случаев для одной и той же поверхности образующая и направляющая линии могут меняться местами, причем каждая из них может иметь либо постоянную геометрическую форму, либо переменную форму с изменяемыми геометрическими параметрами по мере перемещения одной линии другой.

Таким образом, согласно рис. 3 профильную поверхность кабошона можно рассматривать как совокупность профильных линий в горизонтальных сечениях, отстоящих друг от друга на бесконечно малом расстоянии. Каждое такое сечение, начиная с базового, ограничено своей профильной линией и имеет центр тяжести на пересечении большой (продольной) и малой (поперечной) осей. Площадь и габаритные размеры горизонтальных профильных сечений закономерно уменьшаются по мере приближения секущих плоскостей к вершине профильной поверхности. За ось кабошона принимаем вертикальную прямую, перпендикулярную базовой плоскости и проходящую через центр тяжести базового профильного сечения. При рассечении профильной поверхности вертикальной плоскостью, проходящей через ось кабошона и продольную максимальную по длине ось базового

профиля, получают профиль кабошона в мидельном сечении. Для кабошонов с овальным базовым профилем профиль в мидельном сечении чаще всего представляет собой плавное сочетание двух или трех дуг с различными радиусами. В целом профильная поверхность таких кабошонов носит куполообразный характер, причем вершина «купола» может как совпадать, так и не совпадать с осью кабошона.

ВЗАИМОСВЯЗЬ ПРОЦЕССА ФОРМООБРАЗОВАНИЯ КАБОШОНОВ ИЗ ЯНТАРЯ С КИНЕМАТИКОЙ ШЛИФОВАЛЬНОГО СТАНКА

Как было отмечено ранее, при конструировании, пуско-наладке и эксплуатации станка для обработки кабошонов из янтаря необходимо, прежде всего, разработать его основную кинематическую структуру, после чего собрать по ней действующий его макет. Затем детально исследовать на вышеупомянутом станке процесс формообразования сложнопрофильной поверхности, в данном случае – кабошона с базовым профилем в виде овала, методом горизонтальных секущих плоскостей.

Оказалось, что для реализации процесса шлифования сложнопрофильной поверхности янтарного кабошона [5, 6] надо совершить шесть формообразующих движений. Вследствие необходимости осуществления большого количества таких движений выполнение требования особо точного изготовления кабошонов и шаров из янтаря становится проблематичным [7]. Как отмечено в [2], килограмм шаров диаметром 12 мм, изготавливаемых с допуском 0,02 мм, на мировом рынке стоит на 6000-7000 руб. дороже килограмма таких же шаров, но выполненных с допуском 0,2 мм. Такие же требования предъявляются и к точности изготовления кабошонов. Основная проблема ювелиров заключается в том, что (касты), т. е. оправки для кабошонов, могут изготавливаться одной фирмой (даже в другой стране), а кабошоны – другой. Тем не менее кабошон должен войти в каст без повреждений: с одной стороны, без зазоров, чтобы избежать его болтанки в оправе, а с другой – без превышения допуска на его изготовление, в противном случае он может не войти в «каст». Попытки втиснуть его в «каст» чаще всего заканчиваются поломкой кабошона или его раскалыванием, поскольку янтарь – весьма хрупкий материал. Таким образом, вопрос точности изготовления янтарных кабошонов, которые являются элементами янтарных украшений, чрезвычайно важен. Формирование выпуклой поверхности кабошона по методу касания и исследование процесса формообразования его профильной поверхности методом горизонтальных секущих плоскостей дают все необходимые данные для разработки универсальной кинематической схемы станка с расширенными технологическими возможностями для обработки кабошонов из янтаря.

Сложность процесса шлифования профильной поверхности кабошона заключается в большом количестве необходимых формообразующих движений и, естественно, более многообразной кинематике автоматизированной новой техники.

Таким образом, кинематика процесса формообразования и, соответственно, кинематика будущего станка для обработки янтарного кабошона жестко связаны с геометрией профиля кабошона и главными формообразующими движениями. Чем длиннее кинематическая связь от двигателя до заготовки, тем больше формообра-

зующих движений, чем сложнее профиль янтарного кабошона, тем больше требований к этим движениям.

Не удивителен тот факт, что за всю историю янтарной отрасли так и не было создано ни одного станка-автомата для обработки кабошонов и гранения янтарных изделий. Как показывает практика, имеются погрешности угла поворота изделия относительно шлифовального круга при шлифовании, например граней, что существенно снижает потребительскую и эстетическую ценность граненого янтарного изделия. Такие погрешности возникают именно за счет ручной обработки и низкой степени жесткости шарнирно-рычажной кинематики. Еще хуже обстоит дело при сложнофасонной огранке янтарных изделий [8, 9], для реализации которой требуется выполнить пять движений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итак, можно сделать вывод, что модернизация процессов шлифования приведет к повышению эффективности янтарной отрасли в целом, так как именно эти процессы занимают до 90% всей трудоемкости производства любых изделий из янтаря.

Анализ литературных источников показал, что проблеме совершенствования процессов шлифования янтаря при изготовлении янтарных изделий не уделялось никакого внимания [10, 11]. Исследование формообразования кабошонов из янтаря методом горизонтальных секущих плоскостей дает возможность реализовать основные направления повышения эффективности их шлифования: повышение точности, возможность автоматизации процесса шлифования кабошонов из янтаря, снижение себестоимости янтарных изделий, разработка принципиально новых технологий и оборудования для шлифования кабошонов из янтаря.

Применение двух методов, а именно: метода формообразования по касанию для формирования профиля янтарного кабошона и метода горизонтальных секущих плоскостей для исследования этого профиля, позволяет достичь цели работы – расширить технологические возможности станка для шлифования кабошонов, повысить его универсальность и точность.

Таким образом, в статье определен основной процесс получения янтарных изделий нужной формы по заданным габаритам – это процесс шлифования янтарной заготовки. Показаны главные направления повышения эффективности шлифования и основные классы изделий из янтаря. Для исследования формообразования сложнопрофильной поверхности кабошона предложен метод горизонтальных секущих плоскостей. Разработана кинематическая структура станка, которая позволяет реализовать на нем патентуемый способ обработки кабошонов из янтаря [6].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Телесов, М. С. Изготовление и ремонт ювелирных изделий / М. С. Телесов, А. В. Ветров. – Москва: Легпромбытиздат, 1986. – 192 с.
2. Тилипалов, В. Н. Шлифование янтаря: исследования, технологии, оборудование / В. Н. Тилипалов, В. А. Макаровский. – Калининград: Изд-во ФГОУ ВПО КГТУ, 2008. – 273 с.

3. Дружинский, И. А. Сложные поверхности / И. А. Дружинский. – Ленинград: Машиностроение, 1985. – 264 с.
4. Федотенок, А. А. Кинематическая структура металлорежущих станков / А. А. Федотенок. – Москва: Машиностроение, 1970. – 408 с.
5. Карасева, Е. А. Кинематическая структура специализированных станков для обработки кабошонов из янтаря / Е. А. Карасёва, Б. П. Борисов // Вестник молодежной науки. – 2016. - № 4 (6). – С. 1-5.
6. Борисов, Б. П. Способ формообразования кабошонов со сложно-профильной поверхностью из полудрагоценных камней и устройство для его осуществления // Б. П. Борисов, Е. А. Карасёва // Заявка на патент № 2018129816 от 15.08.2018.
7. Макарский, В. А. Шлифование прецизионных янтарных шаров / В. А. Макарский, В. Н. Тилипалов // Сборник научных трудов ВАМЕ: материалы. – Калининград: Изд-во ФГОУ ВПО КГТУ, 2007. – С. 88 - 92.
8. Тилипалов, В. Н. Формирование сложно-фасонного профиля поверхностей янтарных изделий / В. Н. Тилипалов, В. А. Макарский // БАЛТТЕХМАШ-2006: междунар. науч.-техн. конф.: материалы. – Калининград: Изд-во ФГОУ ВПО КГТУ, 2006. – С. 136 -142.
9. Тилипалов, В. Н. Анализ кинематики механизмов привода полуавтомата фигурной огранки янтарных изделий / В. Н. Тилипалов, А. В. Курнев // БАЛТТЕХМАШ-2006: междунар. науч.-техн. конф.: материалы. – Калининград: ФГОУ ВПО КГТУ, 2006. – С. 152 - 155.
10. Тилипалов, В. Н. Принципы высокопроизводительной обработки янтарных изделий при сверлении / В. Н. Тилипалов, Р. О. Яксон, И. В. Вуккерт // Сборник научных трудов ВАМЕ: материалы. – Калининград: Изд-во ФГОУ ВПО КГТУ, 2006. – С. 8 – 10.
11. Тилипалов, В. Н. Повышение эффективности технологических процессов янтарного производства конструкторско-технологическими методами / В. Н. Тилипалов // Вестник Балтийского научного центра РАЕН. – Вып. № 10. – 2005. – С. 46 – 49.

REFERENCES

1. Telesov M. S., Vetrov A.V. *Izgotovlenie i remont yuvelirnyh izdelij* [Manufacture and repair of jewelry]. Moscow, Legprombytizdat, 1986, 192 p.
2. Tilipalov V. N., Makarskij V. A. *Shlifovanie yantarya: issledovaniya, tekhnologii, oborudovanie* [Amber grinding: research, technology, equipment]. Kalinin-grad, FGOU VPO KGTU, 2008, 273 p.
3. Druzhinskij I. A. *Slozhnye poverhnosti* [Difficult surfaces]. Leningrad, Mashinostroenie, 1985, 264 p.
4. Fedotenok A. A. *Kinematicheskaya struktura metallovezhushchih stankov* [Kinematic structure of metal-cutting machines]. Moscow, Mashinostroenie, 1970, 408 p.
5. Karaseva E. A., Borisov B. P. Kinematicheskaya struktura specializirovannyh stankov dlya obrabotki kaboshonov iz yantarya [Kinematic structure of specialized machines for processing cabochons from amber]. *Vestnik molodezhnoy nauki*, 2016, no. 4 (6), pp. 1-5.

6. Borisov B. P., Karasyova E. A. Sposob formoobrazovaniya kaboshonov so slozhno-profil'noj poverhnost'yu iz poludragocennyh kamnej i ustrojstvo dlya ego osushchestvleniya [Method of forming cabochons with a complex-shaped surface of semi-precious stones and a device for its implementation]. *Zayavka na patent*, 2018, no. 2018129816 ot 15.08.2018.

7. Makarskij V. A., Tilipalov V. N. Shlifovanie precinziionnyh yantarnyh sharov [Grinding of fine-line amber balls]. *Sb. Nauchn. trudov VAME: materialy, Kaliningrad, FGOU VPO KGTU*, 2007, pp. 88-92.

8. Tilipalov V. N., Makarskij V. A. Formirovanie slozhno-fasonnogo profilya poverhnostej yantarnyh izdelij [Formation of a complex profile of the surfaces of amber products]. *Mezhdunar. nauchn.-tekhn. konf. «BALTTEKHMASH-2006»: materialy. Kaliningrad, FGOU VPO KGTU*, 2006, pp. 136-142.

9. Tilipalov V. N., Kurnev A. V. Analiz kinematiki mekhanizmov privoda polu-avtomata figurnoj ogranki yantarnyh izdelij [Analysis of the kinematics of the drive mechanisms of a semi-automatic machine for shaped-cut amber products]. *Mezhdunar. nauchn.-tekhn. konf. «BALTTEKHMASH-2006»: materialy. Kaliningrad, FGOU VPO KGTU*, 2006, pp. 152-155.

10. Tilipalov V. N., Yakson R. O., Vukkert I. V. Principy vysokoproizvoditel'noj obrabotki yantarnyh izdelij pri sverlenii [Principles of high-performance processing of amber products when drilling]. *Sb. nauchn. trudov VAME, Kaliningrad, FGOU VPO KGTU*, 2006, pp. 8-10.

11. Tilipalov V. N. Povyslenie ehffektivnosti tekhnologicheskikh processov yantarnogo proizvodstva konstruktorsko-tekhnologicheskimi metodami [Improving the efficiency of technological processes of amber production by design-technological methods]. *Vestnik Baltijskogo nauchnogo centra RAEN*, 2005, no. 10, pp. 46-49.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Борисов Борис Петрович – Калининградский государственный технический университет; кандидат технических наук; доцент кафедры «Автоматизированное машиностроение»; E-mail: b.borisov@klgtu.ru

Borisov Boris Petrovich – Kaliningrad State Technical University; PhD in Engineering; Associate Professor of the Department of Automated Machine Engineering; E-mail: b.borisov@klgtu.ru

Карасёва Екатерина Александровна – Калининградский государственный технический университет; аспирант кафедры «Автоматизированное машиностроение»; E-mail: ekaterinakaraseva39@gmail.com

Karasyova Ekaterina Alexandrovna – Kaliningrad State Technical University; postgraduate student of the Department of Automated Machine Engineering; E-mail: ekaterinakaraseva39@gmail.com

УДК 656.614 (73)

К ВОПРОСУ О БЕЗОПАСНОСТИ БАЛКЕРА
ПРИ РАЗЖИЖЕНИИ ГРУЗА

Б. С. Гуральник, А. К. Сирота, И. В. Якута

REVISITING SOME FACTORS CAUSING BULK
CARGO LIQUEFACTION

B. S. Guralnik, A. K. Sirota, I. V. Yakuta

В статье показано, что при перевозке некоторых навалочных грузов случаются аварии, связанные с опрокидыванием судов. Их причинами являются фильтрация влаги внутри штабеля груза, выделение влаги в верхних слоях и на поверхности штабеля, вызывающие смещение груза. Отмечено, что зачастую у судна прежде развивается начальный крен $4-15^{\circ}$, после чего он очень быстро возрастает, что и ведёт к опрокидыванию судна.

навалочные грузы, влажность груза, разжижение, аварии судов, свободные поверхности, потеря остойчивости

The paper presents the fact that when transporting some bulk cargo, there are accidents related to capsizing of a ship. The causes of accidents are the filtration of moisture inside the stack of the cargo, the release of moisture in the upper layers and on the surface of the stack and, as a result, its displacement. It is shown that a ship typically first develops an initial list of $4-15^{\circ}$, after which the list increases very quickly and leads to capsizing of a ship.

bulk cargoes, cargo humidity, liquefaction, ship accidents, loose surfaces, loss of stability

ВВЕДЕНИЕ

Из всех перевозимых морем грузов навалочные способны разжижаться при транспортировке. Процесс их разжижения в настоящее время исследован недостаточно, и поэтому деление грузов на разжижающиеся и неразжижающиеся сегодня сделано на основе предыдущего опыта их перевозок и не имеет теоретического обоснования. В связи с этим до сих пор при перевозке навалочных грузов случаются аварийные происшествия, аварии, которые заканчиваются катастрофами.

ВЛИЯНИЕ РАЗЖИЖЕНИЯ ГРУЗА НА БЕЗОПАСНОСТЬ БАЛКЕРА

В таблице приведены сведения о судах, потерпевших аварии вследствие разжижения грузов, учитывающие некоторые особенности развития инцидентов.

При рассмотрении всех данных аварийных случаев [1–8] можно отметить следующие общие признаки.

Таблица. Данные об аварийных судах
Table. Data on vessels in distress

№ п/п	Судно / Источник	Вид груза	Начальный аварийный крен	Опрокидывание/ Убежище О/У
1	Витимлес [1]	Цинковый концентрат	5 ⁰	У
2	Умань [1]	Железорудный концентрат	7 ⁰ -10 ⁰	О
3	Тикси [1]	Цинковый концентрат	8 ⁰ -15 ⁰	Порт погрузки
4	N [1]	Цинковый концентрат	4 ⁰ ,8 ⁰	У
5	Посьет [1]	Железорудный концентрат	8 ⁰	У
6	Ургенч [1]	Железорудный концентрат	12 ⁰	У
7	m/v 6007 [1]	Пирит	12 ⁰ ,15 ⁰	У
8	Кремзертор [1]	Железорудный концентрат	20 ⁰ , 25 ⁰	О
9	Магадан [1]	Железорудный концентрат	5 ⁰	У
10	Hui Long [2]	Флюорит	15 ⁰	О
11	Bulk Jupiter [3]	Бокситы	45 ⁰	О
12	Orchid Island [3]	Бокситы		У
13	Medi Okinawa [3]	Бокситы		У
14	Harita Bauxite [5]	Никелевая руда		О
15	Juan Fu Star [4]	Никелевая руда		О
16	Nasko Diamond [4]	Никелевая руда		О
17	Hong Wei [4]	Никелевая руда		О
18	Vinalines Queen [5]	Никелевая руда	18 ⁰	О
19	Black Rose [4]	Железная руда		О
20	Balker [6]	Никелевая руда	20 ⁰	О
21	Balker [7]	Никелевая руда		У
22	Stellar Daisi [8]	Железная руда		О
23	Asian Forest [4]	Железная руда		О
24	Changda 216 [4]	Магнетит		О
25	Sun Spirit [4]	Железная руда		О
26	Changguing 16[4]	Железная руда		О

После завершения погрузки груз в трюмах имел обычный вид, и при оформлении отхода остойчивость судна не вызывала сомнений. Оно, как правило, сидело на ровный киль или имело незначительный крен – менее 1,0⁰.

Во всех этих авариях часть судов опрокинулась, а другие получили аварийный крен и спаслись, зайдя в порт-убежище. По результатам расследований причиной данных инцидентов и аварий является разжижение перевозимого груза.

В описаниях и материалах расследований аварий отмечается, что во многих из приведённых в таблице случаях на суда помещался груз, влажность которого или определялась некорректно, или не контролировалась и превышала допустимый транспортный предел.

Все перечисленные в таблице суда перед началом процесса разжижения совершали переход от нескольких часов до нескольких суток, а когда попадали в районы со значительным или штормовым волнением, груз на них начинал разжижаться. В это время все аварийные суда испытывали качку с амплитудами до 10–35⁰, с периодом 7–15 с.

Таким образом, причиной процесса разжижения обычно является фильтрация влаги в штабеле груза вследствие судовой вибрации и качки судна.

При полной штивке груз в трюмах разравнивается от борта до борта. В случае загрузки балкера без штивки штабель груза имеет форму, близкую к усечённому конусу или двум трёхугольным призмам, простирающимся от борта до борта. При частичной штивке разравнивается «блюдец» штабеля в просвете грузовых люков.

В таком случае при загрузке трюма без штивки или при штивке блюдца влага может скапливаться в нижней части скосов штабеля у бортов и в блюдце. При полной штивке груза она выступает на поверхности штабеля.

Глубина увлажнённого груза в текучем состоянии, как зафиксировано на аварийных судах [1], составляла от 50–70 см до одной трети или 40% штабеля груза в зависимости от его начального влагосодержания. Эти данные можно отнести и к современным балкерам дедвейтной группы «Панамакс». Например, после гибели м/в «Bulk Jupiter» капитан м/в «Orchid Island», загрузившегося и вышедшего в рейс вслед за ним [3], получил указание проверить состояние груза. В результате инспекции грузовой помощник сообщил, что груз в трюме № 4 разжиженный, верхняя часть перемещается с борта на борт и имеются также скопления воды в каждом углу на поверхности груза.

Заход в порт-убежище не всегда позволяет судну спастись. Балкер [4], который укрылся в недостаточно надёжном убежище, дрейфовал вместе с якорем и в конечном итоге опрокинулся из-за разжижения никелевой руды.

На рисунке показаны графики возрастания крена нескольких аварийных судов по мере развития аварий и аварийных происшествий. Как видно из рисунка, на некоторых судах вначале медленно развивался начальный крен до $4-10^{\circ}$, а на больших балкерах до 20° , а затем, если судну не удалось укрыться в убежище, крен быстро возрастал до углов $40^{\circ}-50^{\circ}$ и в результате приводил к его опрокидыванию. Как следует из таблицы, на ряде судов либо неожиданно появлялся значительный крен, либо судно опрокидывалось за считанные минуты.

Из приведённых на рисунке данных видим, что судно «Т» грузилось на рейде в порту Тетюха в условиях зыби 4-5 балл. Но из-за улучшения погоды разжижение груза на «Т» не привело к тяжелым последствиям.

Получив крен из-за разжижения груза, судно «N» тоже смогло укрыться в порту-убежище.

Суда «У», «ВJ», «HL» и «Б», показанные на рисунке, погибли. Первое из опрокинувшихся, т/х «У», имело водоизмещение 11400 т. Дедвейт балкера «Б» составлял около 53000 т.

Балкер «ВJ» с грузом 46400 т бокситов находился в рейсе до опрокидывания около 56 ч, проведя часть времени в условиях ветра и волнения 4-6 балл. По свидетельству единственного спасшегося члена экипажа, в 06:00 2 января 2015 г. он отметил более сильную качку, чем в предыдущий день, в 06:40 прозвучал сигнал тревоги, через некоторое время судно накренилось на 45° , а в 06:54 японская береговая охрана получила сигнал об аварии. Предположительно судно затонуло в период между 06:54 и 07:00.

М/в «Hui Long» при переходе по Индийскому океану в условиях ветра 5 балл неожиданно получил крен 15° на левый борт, который быстро увеличился до 40° и продолжал расти. Через 27 мин после появления начального крена экипаж был вынужден оставить судно.

Как следует из анализа аварийной статистики, если судно не опрокидывается в первые минуты после разжижения груза, то авария развивается по времени, как показано на рисунке. Время появления начального крена составляло на аварийных судах от тридцати минут до нескольких часов. После получения начального крена опрокидывание судна, как правило, происходит примерно за 10 – 30 мин.

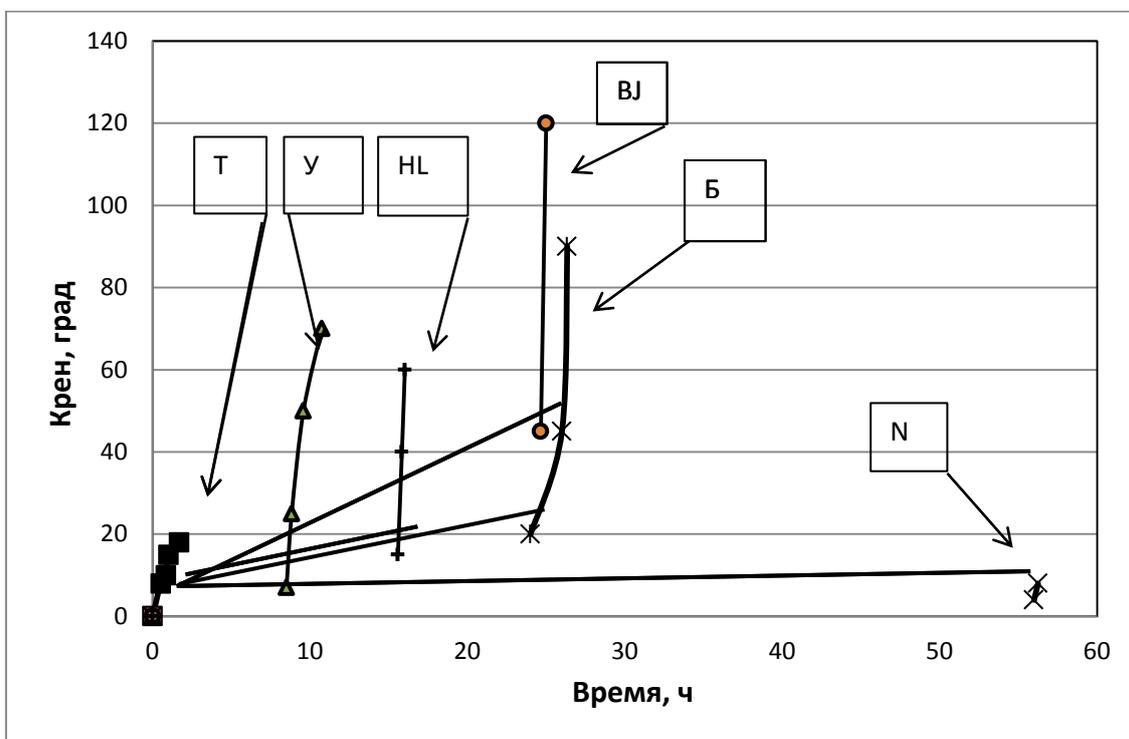


Рис. Рост крена судов при развитии аварии
Fig. The list increase in accident development

Для выработки рекомендаций по исключению и предупреждению подобных аварий необходимо понять физические причины, вызывающие неожиданное опрокидывание судна или появление начального крена, и оценить время его развития.

Из имеющихся материалов по расследованию данных аварий можно считать, что в случае разжижения штабель груза имеет трёхфазную структуру. Верхняя часть представляет собой выделившуюся на поверхности фильтрационную воду с взвесью из вымытых из штабеля пылевидных и мелких частиц, средняя состоит из глиноподобной вязкой массы, а нижняя включает остальные твёрдые частицы груза.

Выделившаяся на поверхности штабеля вода с взвесью при качке перемещается вместе с судном, глиноподобная масса медленно перетекает в сторону опущенного борта, а в некоторых случаях обрушивается в сторону наклонённого. Большое количество воды, выступившее на поверхности груза одновременно в нескольких трюмах, может значительно ухудшить остойчивость судна и даже привести к появлению у него отрицательной начальной остойчивости. Указанные

причины в итоге приводят к опрокидыванию судов с грузом в состоянии разжижения.

В этих условиях нас должны интересовать время, которым располагает экипаж для борьбы за живучесть, возможности экипажа по спасению аварийного судна и предельное состояние, после наступления которого необходимо оставить судно.

Очевидно, что в случае появления начального крена судовая администрация может принять или перекачать балласт на противоположный борт, выполнить во время авральных работ обратную штивку груза в сторону поднятого борта. Как показывают материалы расследования аварий, из-за наличия крена экипажу часто не удавалось запустить насосы для операций с балластом.

Оценим возможности экипажа по устранению аварийного крена.

Расчёты с использованием диаграммы статической остойчивости показывают, что для получения первоначального крена 15^0 на *m/v* «Hui Long» должны были сместиться около 330 т груза. Для последующего возрастания крена до 40^0 за 27 мин должны были сместиться примерно 1220 т груза, или 45 т/мин.

Для создания крена 20^0 на опрокинувшемся балкере *m/v* «Б» дедвейтом около 53000 т должно было произойти смещение примерно 15700 т груза.

Большие расчётные значения сместившихся масс свидетельствуют о том, что в данных авариях мы, вероятнее всего, имеем дело с совместным влиянием смещения груза и больших свободных поверхностей, образовавшихся в трюмах судов. Разделить их влияние сегодня возможно только гипотетически.

По оценкам специалистов, один человек за час может перебросить на расстояние около 4 м примерно 2 т груза.

В таком случае перемещение 100 т сместившегося груза поперёк судна *m/v* «Hui Long» (~ 15,2 м) займёт 10 ч непрерывной работы всех 23 членов экипажа, а на перемещение 300 т потребуется 30 ч авральной работы. С учетом времени, требуемого на аварийную штивку груза, возможность реализации и эффективность этих работ вызывают большие сомнения.

На балкере дедвейтной группы «Панамакс» такие работы займут ещё более длительное время.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данные примеры показывают, что ограниченные возможности замедлить или остановить развитие аварии при разжижении груза существуют только в период развития начального крена и при условии его достаточной продолжительности. Это подчёркивает важность корректного определения фактической влажности и транспортбельного предела влажности, предъявляемого для перевозки груза береговыми службами, и контроля загружаемого груза судовой администрацией с использованием «Can Test».

Процессы разжижения навалочных грузов, в свою очередь, требуют теоретического и экспериментального исследования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Аксютин, Л. Р. Аварии судов от потери остойчивости / Л. Р. Аксютин, С. Н. Благовещенский. – Ленинград: Судостроение, 1975. – 197 с.
2. Report of Investigation into the Sinking of m/v «Hui Long» on May 2005. The Hong Kong Special Administrative Region Marine Department. 2006.– 21 p.
3. Report of the marine safety investigation into the loss of a bulk carrier in the South China Sea on January 2nd 2015. – Bahamas Marine Authority. 2015. – 64 p.
4. Иванов, Ю. М. Безопасность морской перевозки разжижающихся и самовозгорающихся навалочных грузов / Ю. М. Иванов, О. Н. Буров, М. А. Глебова. – Москва: Транспорт Российской Федерации. – № 6(43), 2012.– С.12–13.
5. John Poulsen. The Deadliest Cargo. The International Journal of The Nautical Institute «SEAWAYS». December 2013.– P. 13–15.
6. Unsafe cargo + unsafe anchorage = lost ship. MARS Report No, 277, November 2015. The International Journal of The Nautical Institute «SEAWAYS». January 2016.– P. 17.
7. Paul Walton. Liquefaction: a Master's perspective. The International Journal of The Nautical Institute «SEAWAYS». February 2017. – P. 12–14.
8. Maritime Bulletin.net. Daily accident reports from 03 April 2017 .

REFERENCES

1. Aksyutin L. R., Blagoveshchenskij S. N. *Avarii sudov ot poteri ostojchivosti* [Ship wrecks due to stability loss]. L., Sudostroenie, 1975, 197 p.
2. Report of Investigation into the Sinking of m/v «Hui Long» on May 2005. The Hong Kong Special Administrative Region Marine Department. 2006, 21 p.
3. Report of the marine safety investigation into the loss of a bulk carrier in the South China Sea on January 2nd 2015. Bahamas Marine Authority, 2015, 64 p.
4. Ivanov Yu. M., Burov O. N., Glebova M. A. Bezopasnost' morskoj perevozki razzhizhayushchihsya i samovozgorayushchihsya navalochnyh грузов [Security of maritime transportation of liquescent and self-igniting bulk cargoes]. Moscow, *Transport Rossijskoj Federacii*, 2012, no. 6 (43), pp.12–13.
5. John Poulsen. The Deadliest Cargo. *The International Journal of the Nautical Institute «SEAWAYS»*. December 2013, pp. 13–15.
6. Unsafe cargo + unsafe anchorage = lost ship. MARS Report No, 277, November 2015. *The International Journal of The Nautical Institute «SEAWAYS»*. January 2016, pp. 17.
7. Paul Walton. Liquefaction: a Master's perspective. *The International Journal of The Nautical Institute «SEAWAYS»*. February 2017, pp. 12–14.
8. Maritime Bulletin.net. Daily accident reports from 03 April 2017.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Гуральник Борис Самуилович – Балтийская государственная академия
ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»;
кандидат технических наук, доцент; E-mail: kaf-bm@bga.gazinter.net

Guralnik Boris Samuilovich – Baltic Fishing Fleet State Academy;
PhD in Engineering, Associate Professor; E-mail: kaf-bm@bga.gazinter.net

Сирота Александр Константинович – Балтийская государственная академия
ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»;
доцент, капитан дальнего плавания; E-mail: kaf-bm@bga.gazinter.net

Sirota Alexandr Konstantinovich – Baltic Fishing Fleet State Academy;
Associate Professor, Master Mariner; E-mail: kaf-bm@bga.gazinter.net

Якута Ирина Владимировна – Балтийская государственная академия
ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»;
кандидат технических наук, доцент; E-mail: kaf-bm@bga.gazinter.net

Yakuta Irina Vladimirovna – Baltic Fishing Fleet State Academy;
PhD in Engineering, Associate Professor; E-mail: kaf-bm@bga.gazinter.net

УДК 356.22

ОСОБЕННОСТИ НЕУСТАНОВИВШЕЙСЯ ФИЛЬТРАЦИИ
ПРИ НАЛИЧИИ ПРЕДЕЛЬНОГО ГРАДИЕНТА ДАВЛЕНИЯ

В. М. Зайченко, В. Н. Сокотущенко

FEATURES OF UNSTEADY FILTRATION
IN THE PRESENCE OF THE LIMITING PRESSURE GRADIENT

V. M. Zaichenko, V. N. Sokotushchenko

При эксплуатации реальных скважин месторождений геотермальных вод и газоконденсата, а также в результате экспериментальных исследований процесса фильтрации двухфазных смесей углеводородов метанового ряда наблюдается возникновение неустойчивости расхода и колебательного режима фильтрации. Полученные авторами в рамках модели локального термодинамического равновесия результаты качественно описывают эти неустойчивости. Существуют альтернативные методы описания процесса фильтрации, основанные на представлении о принципах неравновесности фазовых переходов пар-жидкость [1-3].

Известны экспериментальные исследования и теоретические результаты, показывающие возможность возникновения неустойчивостей течения и периодических режимов фильтрации двухфазных флюидов (пар-вода, смесь углеводородов, газонасыщенные жидкости и т. д.) в пористой среде. Подобные режимы возникают при фильтрации двухфазных флюидов в определенном диапазоне термодинамических условий, газосодержащих жидкостей вблизи линии насыщения, пароводяных смесей и т. д. Существует также комбинация термодинамических и гидравлических условий (проницаемость пористого пространства, вязкость газовой и жидкой фаз, область фазовой диаграммы исследуемой смеси или чистого вещества, скорость образования газовой и конденсации жидкой фаз), при которой возбуждаются автоволны расходов и содержания пара-жидкости в общем расходе флюида.

В данной статье рассмотрена одномерная задача неуставившейся прямолинейно-параллельной фильтрации неньютоновской жидкости в упругой пористой среде, на примере течения двухкомпонентной углеводородной смеси и получено решение на подвижной границе фильтрации – фронте перемещения жидкости в пласте. Это решение по времени оказывается не монотонным. Одной из причин возникновения колебательного характера на фронте фильтрации может быть неравновесность неуставившегося фильтрационного течения, когда давление до фронта и после не успевает выровняться и относительно подвижной системы координат обнаруживается режим биений (пульсаций) [4-6].

фазовые равновесия, углеводородная смесь, конденсация углеводородов, подвижная граница

During the operation of real wells of geothermal waters and gas condensate, as well as as a result of experimental studies of the filtration process of two-phase mixtures of hydrocarbons of the methane series, instability of flow and oscillatory mode of filtration is observed. The results obtained by the authors in the framework of the model of local thermodynamic equilibrium qualitatively describe these instabilities. There are alternative methods for describing the filtration process, based on the concept of the non-equilibrium principle of vapor-liquid phase transitions [1-3].

There are experimental studies and theoretical results showing the likelihood of flow instabilities and periodic filtration modes of two-phase fluids (steam-water, a mixture of hydrocarbons, gas-saturated liquids, etc.) in a porous medium. Such regimes arise when filtering two-phase fluids in a certain range of thermodynamic conditions, gas-containing liquids near the saturation line, steam-water mixtures, etc. There is also a combination of thermodynamic and hydraulic conditions (permeability of the porous space, viscosity of the gas and liquid phases, the area of the phase diagram of the mixture under investigation or of a pure substance, the rate of formation of gas and condensation of the liquid phases), at which the autowaves of the flow and the vapor-liquid content are excited in the total fluid rate.

The paper discusses a one-dimensional problem of unsteady straight-linear-parallel filtration of non-Newtonian fluid in the elastic porous medium, using the example of a two-component hydrocarbon mixture flow, and a solution has been obtained at the mobile filtration boundary – the front of the fluid movement in the reservoir. Time-wise, the solution is not monotonous. One of the reasons for the occurrence of oscillatory nature at the filtering front can be a non-equilibrium of an unsteady filtration flow, when the pressure before and after the front does not have time to even out, and the mode of beats (pulsations) is detected relative to the moving coordinate system [4-6].

phase equilibria, hydrocarbon mixture, hydrocarbon condensation, moving boundary

ВВЕДЕНИЕ

Экспериментально установлено, что при малых скоростях фильтрации сила трения значительно меньше сил межфазного взаимодействия, не зависящие от скорости и определяются только свойствами контактирующих фаз [1, 2, 7]. В результате такого взаимодействия жидкость в пористой среде образует на её свободной поверхности пленки, которые частично перекрывают поры. Для существования фильтрационного течения необходим отличный от нуля перепад давления, соответствующий такой скорости фильтрации, с которой флюид смог бы преодолеть закупорку пор. Таким образом, флюиды в пористых средах при малых скоростях фильтрации могут образовывать неньютоновские системы. При этом вне контакта с пористой средой жидкость может не проявлять аномальных свойств.

ОСНОВНОЕ УРАВНЕНИЕ НЕЛИНЕЙНОЙ ТЕОРИИ УПРУГОГО РЕЖИМА ФИЛЬТРАЦИИ

Наличие предельного градиента давления ΔP_0 , при достижении которого начинается фильтрация флюидов в пористой среде, обнаружено и сформулировано в виде закона А. Х. Мирзаджанзаде в виде [7]:

$$\begin{aligned} grad P &= -\frac{\mu}{k} \cdot w - \Delta P_0 \cdot \frac{w}{w} \text{ при } w > 0; \\ grad P &\leq \Delta P_0 \text{ при } w = 0, \end{aligned} \quad (1)$$

где P – давление; w – скорость фильтрации; μ – коэффициент динамической вязкости; k – проницаемость.

Причем параметр ΔP_0 определяется в лабораторных и промысловых экспериментах.

Используя (1), уравнение неразрывности рассматриваемого фильтрационного потока, а также уравнение состояния, основное уравнение упругого режима примем в виде [7]:

$$\frac{\partial P}{\partial t} = \kappa \cdot div \left(1 - \frac{\Delta P_0}{\Delta P_0} \cdot grad P \right), \quad grad P > \Delta P_0, \quad \kappa = k \mu \cdot \beta, \quad (2)$$

где β – коэффициент упругости пласта.

ЗАДАЧА ФИЛЬТРАЦИИ

Рассматривается прямолинейно-параллельная фильтрация жидкости при упругом режиме пласта (рис. 1). В начальный момент времени $t = 0$ на границе пласта $x = 0$ начинает происходить закачка флюида с заданным расходом Q_0 . При этом в пласте образуются две области: область фильтрации и невозмущенная область, где течение отсутствует, граница раздела между которыми перемещается со временем по закону $l \sim t$, причем $l(0) = 0$. Вне области фильтрации при $x > l(t) : P(x, t) = P_{\text{вых}}$.

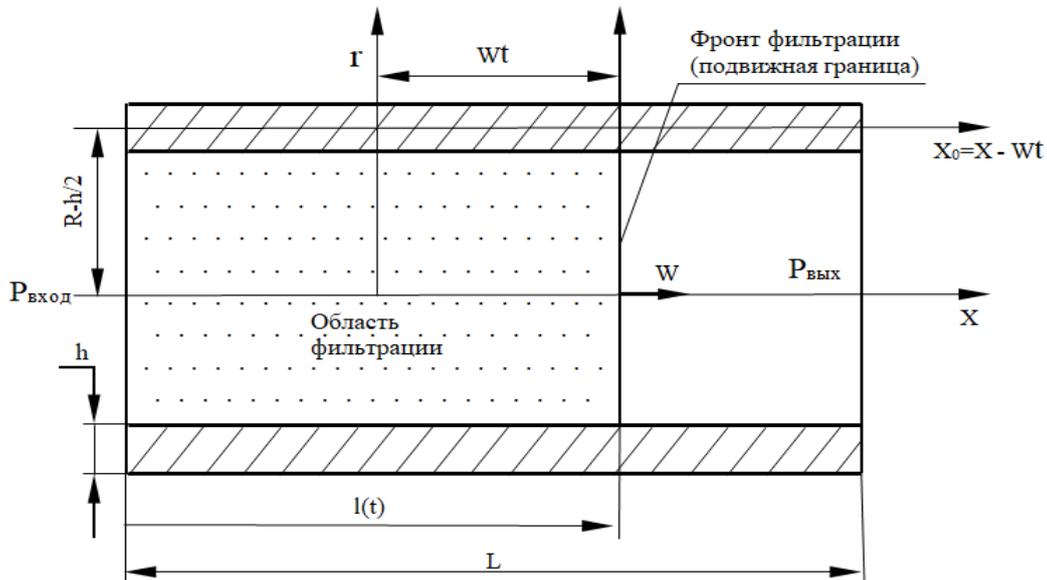


Рис. 1. Схема движения флюида в ядре. Область фильтрации и невозмущенная область

Fig. 1. Flow pattern of the fluid in the core. Filtering area and unperturbed area

Давление в области фильтрации удовлетворяет уравнению (2). В рассматриваемой задаче уравнение (2) примет вид:

$$\frac{\partial P}{\partial t} = \kappa \cdot \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial P}{\partial x} \right) - \Delta P_0, \quad 0 < x < l(t). \quad (3)$$

На границе $x = l(t)$ выполняются условия:

$$\begin{aligned} P(l, t) &= P_{\text{ВЫХ}}, \\ \frac{\partial P(l, t)}{\partial x} &= \Delta P_0. \end{aligned} \quad (4)$$

В области $0 < x < l(t)$ требуется найти решение уравнения (3), определить расход $Q(t)$ и закон изменения $l(t)$ при условиях (4) на подвижной границе фильтрации и начальном и граничном условиях:

$$\begin{aligned} P(x, 0) &= P_{\text{ВЫХ}}, \quad P_{\text{ВЫХ}} < P_{\text{ВХОД}}; \\ P(0, t) &= P_{\text{ВХОД}}. \end{aligned} \quad (5)$$

Решение уравнения (3), удовлетворяющее условиям (4) и (5), имеет вид:

$$P(x, t) = P_{\text{ВЫХ}} - \Delta P_0 \cdot l - x + P_{\text{ВХОД}} - P_{\text{ВЫХ}} + \Delta P_0 \cdot l \cdot \left(1 - \frac{x}{l}\right)^2, \quad (6)$$

при этом расход определяется по формуле:

$$Q(x, t) = -\frac{k}{\mu} \cdot A \cdot \frac{\partial P}{\partial x} = -\frac{k}{\mu} \cdot A \cdot \left[\Delta P_0 - 2 \cdot \frac{P_{\text{ВХОД}} - P_{\text{ВЫХ}} + \Delta P_0 \cdot l}{l} \cdot \left(1 - \frac{x}{l}\right) \right], \quad (7)$$

где A – площадь поперечного сечения керн.

Для определения $l(t)$ воспользуемся интегральным соотношением, характеризующим условие материального баланса [2]:

$$\int_0^{l(t)} \frac{\partial P}{\partial t} dx = \kappa \cdot \left[\frac{\partial P(x, t)}{\partial x} - \Delta P_0 \right]_{x=0}^{x=l(t)}. \quad (8)$$

С учетом (6) и (8), а также удовлетворяя условию $l(0) = 0$, находим трансцендентное уравнение относительно $l(t)$:

$$\begin{aligned} 3 \cdot \kappa \cdot t &= \frac{P_{\text{ВХОД}} - P_{\text{ВЫХ}}}{\Delta P_0} \cdot \ln \frac{P_{\text{ВХОД}} - P_{\text{ВЫХ}}}{P_{\text{ВХОД}} - P_{\text{ВЫХ}} + \Delta P_0 \cdot l(t)} + \\ &+ \frac{P_{\text{ВХОД}} - P_{\text{ВЫХ}} + \Delta P_0 \cdot l(t)}{\Delta P_0} - \frac{l(t)}{4} \cdot l(t), \end{aligned} \quad (9)$$

корни которого получаем численно на каждом шаге по времени.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

В качестве модельной смеси для расчета взята смесь метан–бутан с мольными долями: 0,78/0,22 (рис. 2). При этом из термодинамической части задачи находим:

критическая точка: 291,72 (К), 14,288 (МПа), 279,39 (kg/m³);
 крикондентерм: 341,09 (К), 8,1384 (МПа), 94,539 (kg/m³);
 криконденбар: 297,04 (К), 14,334 (МПа), 267,07 (kg/m³).

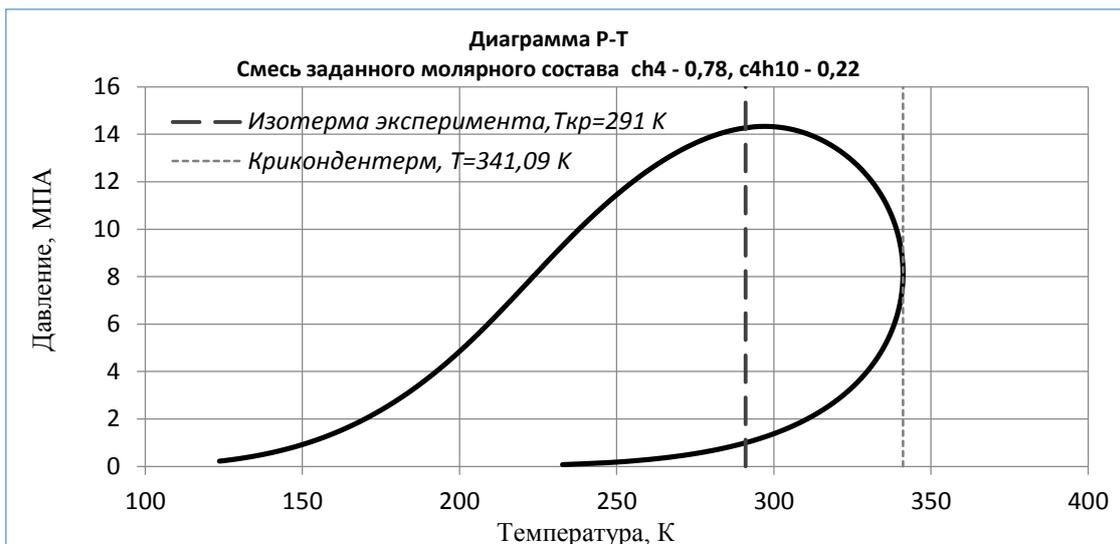


Рис. 2. Фазовая диаграмма P-T
Fig. 2. Phase diagram P-T

Далее, задавая параметры керна и смеси $CH_4-C_4H_{10}$ (табл. 1), получим характер изменения давления, расхода на фронте фильтрации в кернах за время одной прокачки (рис. 3, 4), а также молярные доли компонентов смеси на движущейся границе фильтрации (рис. 5, 6) и насыщенность жидкой фазы (рис. 7) во время эксперимента.

Таблица 1. Параметры керна и смеси
Table 1. Core and mixture parameters

Параметры	Значения
Длина керна L , м	3
Диаметр поперечного сечения керна d , м	0,01
Пористость m , idem	0,3
Проницаемость k , m^2	$1E-13$
Начальная температура T , К	291
Давление на входе $P_{вх}$, Па	$1,317E+07$
Давление на выходе $P_{вых}$, Па	$8,106E+06$
Коэффициент сжимаемости смеси на входе β , $1/Па$	$9,86923E-06$
Коэффициент динамической вязкости смеси на входе μ , Па*сек	$1,00E-05$
Массовый расход смеси поступающей (закачиваемой) на входе в керн $Q_{вход\ масс.}$, кг/сек	$2,00E-05$

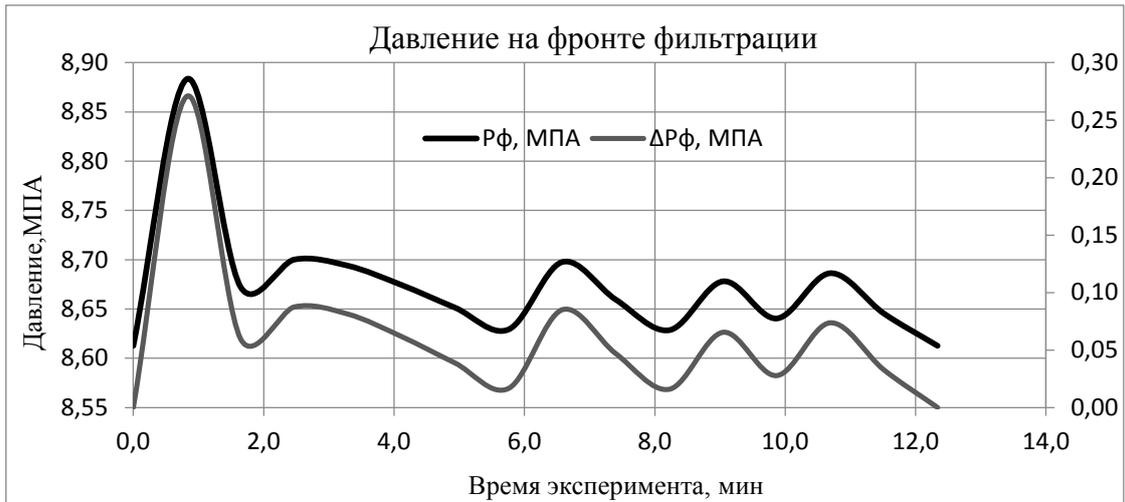


Рис. 3. Давление на фронте фильтрации и разность давлений до и после фронта
 Fig. 3. The pressure at the filtration front and the difference in pressures before and after the front

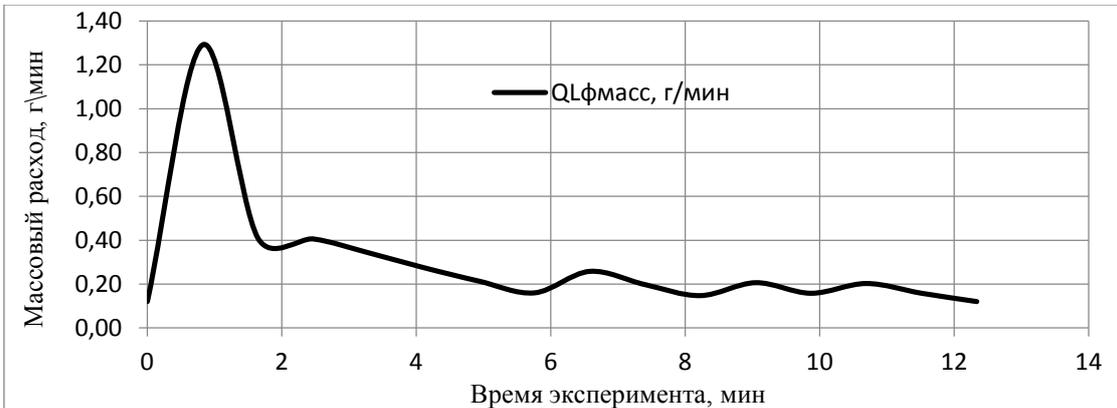


Рис. 4. Расход жидкой фазы на движущейся границе фильтрации
 Fig. 4. The flow rate of the liquid phase at the moving boundary of the filtration

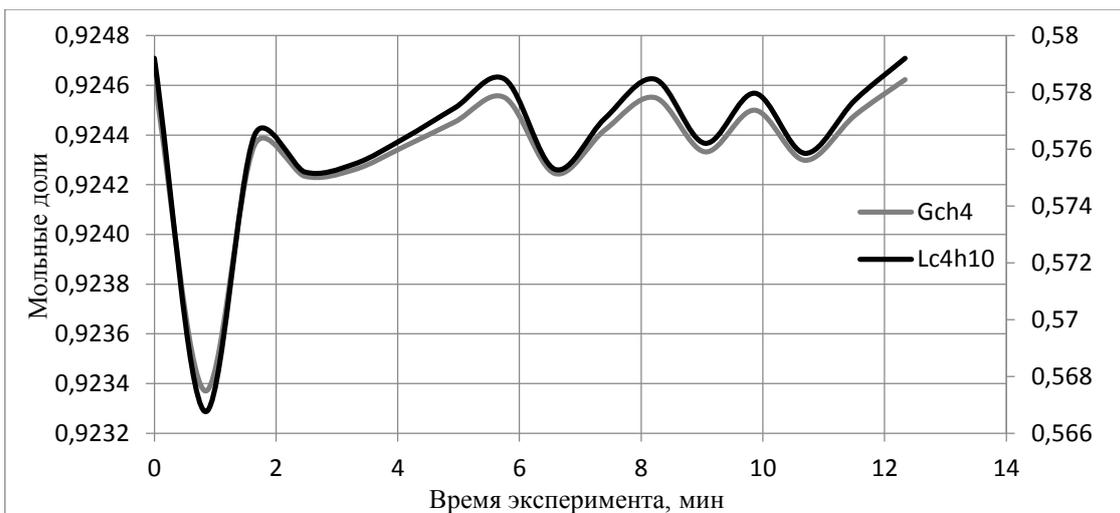


Рис. 5. Мольные доли Gch4 и Lc4h10 на движущейся границе фильтрации
 Fig. 5. Mole fractions of Gch4 and Lc4h10 at the moving boundary of the filtration

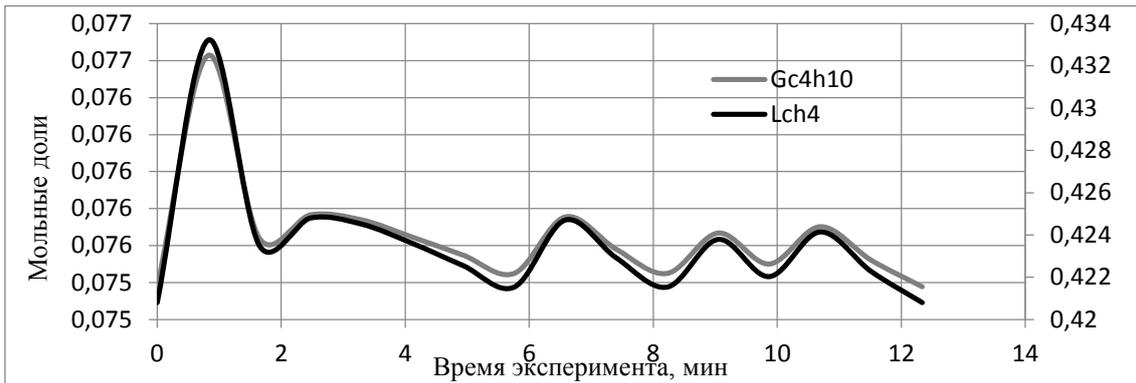


Рис. 6. Мольные доли Gc4h10 и Lch4 на движущейся границе фильтрации
 Fig. 6. Mole fractions of Gc4h10 and Lch4 at the moving boundary of the filtration

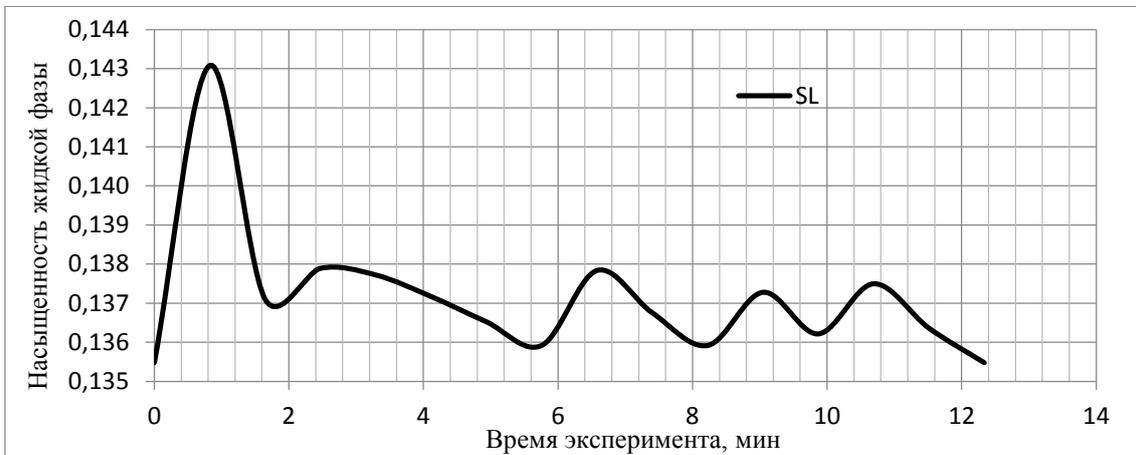


Рис. 7. Насыщенность жидкой фазы на движущейся границе фильтрации
 Fig. 7. Saturation of the liquid phase at the moving boundary of the filtration

Время одной прокачки в данной задаче равно времени перемещения подвижной границы (фронта) области фильтрации x от 0 до 3 м. При заданных параметрах смеси и режиме подачи смеси в керн время одной прокачки составило 12,34 мин. Эти пульсации фиксируют датчики давления на установке в процессе первой, второй и последующих прокачек смеси при фильтрации.

Уравнения с учетом подвижной границы, которые были использованы при решении задачи, дают подобные колебания и при $t > 12,34$ мин, т. е. при второй и последующих прокачках смеси через керн (рис. 8, 9).

Фронт движения границы области фильтрации представлен в виде ступенчатой матрицы (табл. 2).

Таблица 2. Распределение давления (МПа) по длине установки (м) и времени (мин)

Table 2. Pressure distribution (MPa) along the length of the installation (m) and time (min)

T, мин\X, м	0,0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,20	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0
0,00	8,61															
0,82	13,1	11,1	9,73	8,88												
1,64	13,1	11,7	10,5	9,62	9,0	8,67										
2,47	13,1	11,9	10,9	10,1	9,4	8,98	8,7									
3,29	13,1	12,1	11,2	10,4	9,8	9,28	8,92	8,69								
4,11	13,1	12,2	11,3	10,6	10	9,54	9,15	8,85	8,6							
4,93	13,1	12,3	11,5	10,8	10,2	9,76	9,35	9,03	8,7	8,65						
5,76	13,1	12,3	11,6	11,0	10,4	9,95	9,54	9,19	8,93	8,74	8,6					
6,58	13,1	12,4	11,7	11,1	10,5	10,1	9,70	9,35	9,06	8,85	8,6					
7,40	13,1	12,4	11,8	11,2	10,7	10,2	9,84	9,49	9,19	8,96	8,7	8,6				
8,22	13,1	12,5	11,9	11,3	10,8	10,3	9,97	9,62	9,32	9,07	8,8	8,7	8,6			
9,05	13,1	12,5	11,9	11,4	10,9	10,4	10,0	9,741	9,43	9,17	8,9	8,7	8,6			
9,87	13,1	12,5	12,0	11,4	11,0	10,5	10,1	9,849	9,54	9,27	9,0	8,8	8,7	8,6		
10,69	13,1	12,5	12,0	11,5	11,0	10,6	10,2	9,949	9,64	9,37	9,1	8,9	8,8	8,6		
11,51	13,1	12,6	12,1	11,6	11,1	10,7	10,3	10,04	9,73	9,46	9,2	9,0	8,8	8,7	8,6	
12,34	13,1	12,6	12,1	11,6	11,2	10,8	10,4	10,12	9,82	9,55	9,3	9,1	8,9	8,7	8,6	8,6



Рис. 8. Давление на движущейся границе фильтрации при $t > 12,34$ мин
 Fig. 8. Pressure at the moving boundary of the filtration at $t > 12,34$ min

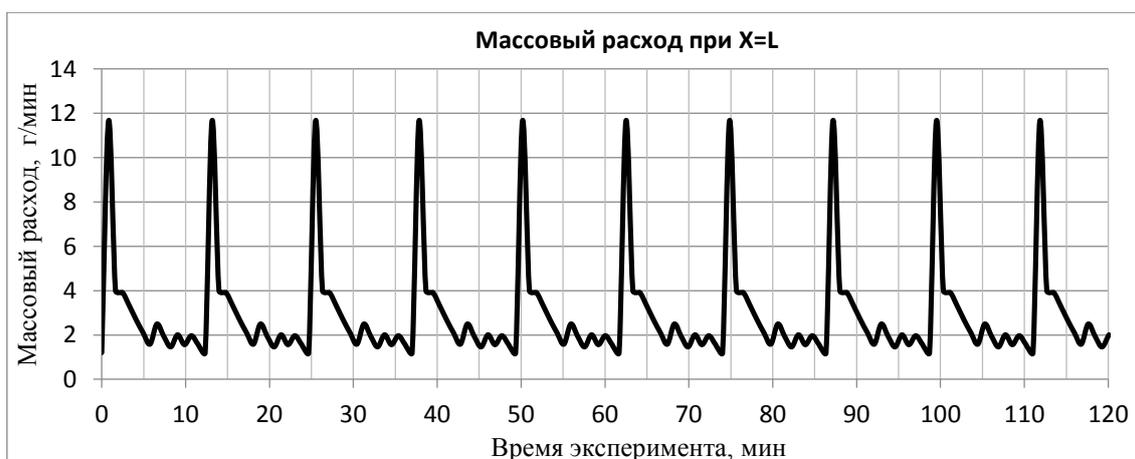


Рис. 9. Массовый расход на движущейся границе фильтрации при $t > 12,34$ мин
 Fig. 9. Mass flow at the moving boundary of the filtration at $t > 12,34$ min

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При наличии предельного градиента давления фильтрация флюида между двумя точками пласта отсутствует, если перепад давления между этими точками меньше предельного. В связи с этим, если при отборе газа через скважину из пласта, находившегося первоначально при давлении $P_{\text{вых}}$, прекратить отбор, то давление восстановится не до пластового, а до более низкого значения, которое определяется тем, что вблизи скважины распределение давления соответствует достижению предельного градиента. Для того чтобы началось фильтрационное движение, приложенный перепад (на единицу длины образца) должен превысить некоторое критическое значение ΔP_0 . Время одной прокачки в данной задаче равно времени перемещения подвижной границы (фронта) области фильтрации x от 0 до 3 м. При заданных параметрах смеси и режиме подачи смеси в керн время одной прокачки в лабораторном эксперименте составило 12,34 мин. Уравнения с учетом подвижной границы, которые были использованы при решении задачи, дают подобные колебания и при $t > 12,34$ мин, т. е. при второй и последующих прокачках смеси через керн.

Таким образом, решение задачи на подвижном фронте фильтрации закачиваемой смеси в керн с учетом предельного градиента давления является немонотонным. Колебания возникают на подвижной границе подаваемой в керн смеси, при этом амплитуда и частота колебаний зависит от ее параметров и режима. Одной из причин возникновения колебательного характера на фронте фильтрации может быть неравновесность неустановившегося фильтрационного течения, когда давление до фронта и после не успевает выровняться и относительно подвижной системы координат обнаруживается режим биений (пульсаций).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Басниев, К. С. Подземная гидромеханика / К. С. Басниев, И. Н. Кочина, В. М. Максимов. – Москва: Недра, 1993. – 416 с.
2. Вяхирев, Р. И. Разработка и эксплуатация газовых месторождений / Р. И. Вяхирев, А. И. Гриценко, Р. М. Тер-Саркисов. – Москва: Недра, 2002. – 880 с.
3. Де Грот, С. Неравновесная термодинамика / С. де Грот, П. Мазур. – Москва: Мир, 1964. – 456 с.
4. Директор, Л. Б. Одномерная нестационарная модель двухфазной фильтрации газоконденсатной смеси / Л. Б. Директор [и др.]; препринт // ОИВТ РАН. – Москва, 2000 – № 2 (441). – 46 с.
5. Зайченко, В. М. Особенности фильтрации углеводородных смесей в пористых средах / В. М. Зайченко, И. Л. Майков, В. М. Торчинский // Теплофизика высоких температур. – 2013. – Т. 51, № 6. – С. 855–863.
6. Зайченко, В. М. Моделирование процессов фильтрации углеводородов в газоконденсатном пласте / В. М. Зайченко [и др.] // Теплофизика высоких температур. – 2009. – С. 701-706.
7. Мирзаджанзаде, А. Х. Математическая теория эксперимента в добыче нефти и газа / А. Х. Мирзаджанзаде, Г. С. Степанова. – Москва: Недра, 1970. – 335 с.

REFERENCES

1. Basniev K. S., Kochina I. N., Maksimov V. M. *Podzemnaya gidromekhanika* [Underground hydromechanics]. Moscow, Nedra, 1993, 416 p.
2. Vyakhirev R. I., Gritsenko A. I., Ter-Sarkisov R. M. *Razrabotka i ekspluatatsiya gazovykh mestorozhdeniy* [Development and operation of gas fields]. Moscow, Nedra, 2002, 880 p.
3. De Grot S., Mazur P. *Neravnovesnaya termodinamika* [Non-equilibrium thermodynamics]. Moscow, Izd-vo "Mir", 1964, 456 p.
4. Direktor L. B., Kachalov V. V., Maykov I. L. *Odnomernaya nestatsionarnaya model' dvukhfaznoy fil'tratsii gazokondensatnoy smesi* [One-dimensional nonstationary model of two-phase filtration of a gas-condensate mixture]. Moscow, OIVT RAN, 2000, no. 2, 46 p.
5. Zaychenko V. M., Maykov I. L., Torchinskiy V. M. Osobennosti fil'tratsii uglevodorodnykh smesey v poristykh [Features of filtration of hydrocarbon mixtures in porous media]. *Teplofizika vysokih temperatur*, 2013, vol. 51, no. 6, pp. 855–863.
6. Zaychenko V. M., Maykov I. L., Torchinskiy V. M. Modelirovanie protsessov fil'tratsii uglevodorodov v gazokondensatnom plaste [Modeling of filtration processes of hydrocarbons in a gas-condensate reservoir]. *Teplofizika vysokih temperatur*, 2009, vol. 51, no. 6, pp. 701–706.
7. Mirzadzhanzade A. Kh. *Matematicheskaya teoriya eksperimenta v dobyche nefi i gaza* [Mathematical theory of experiment in oil and gas production]. Moscow, Nedra, 1970, 335 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Зайченко Виктор Михайлович – Объединенный институт высоких температур РАН (г. Москва); доктор технических наук, заведующий отделом «Распределенных энергетических систем»; E-mail: zaitch@oivtran.ru

Zaichenko Viktor Mikhailovich – Joint Institute for High Temperatures of the Russian Academy of Sciences (Moscow); Doctor of Technical Sciences, Head of the Division of Distributed Energy Systems; E-mail: zaitch@oivtran.ru

Сокотущенко Вадим Николаевич – Объединенный институт высоких температур РАН (г. Москва); кандидат технических наук, ведущий инженер, лаборатория распределенной генерации; E-mail: sokotushenko@mail.ru

Sokotushchenko Vadim Nikolayevich – Joint Institute for High Temperatures of the Russian Academy of Sciences (Moscow); PhD in Technical Sciences, Lead Engineer, Distributed Generation Laboratory; E-mail: sokotushenko@mail.ru

УДК 536.621.891, 536.532

МОДЕЛЬ ДИАГНОСТИКИ ИСТИННОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ СМАЗКИ
В СУДОВЫХ ДВИГАТЕЛЯХ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

С. В. Федоров

DIAGNOSTIC MODEL FOR REAL LUBRICANT TEMPERATURE IN SHIP'S
INTERNAL COMBUSTION ENGINES

S. V. Fyodorov

Предложены энергетическое условие разрушения смазочной пленки при трении и энергетический критерий схватывания трущихся поверхностей. Для случая гидродинамической смазки в подшипниках скольжения получены экспериментальные результаты, подтверждающие энергетический критерий разрушения смазки. Рассмотрен оригинальный метод оценки истинной температуры смазки в подшипниках двигателей внутреннего сгорания (ДВС). Разработана методика эксплуатационной оценки предаварийного состояния трибосистем коленчатого вала судового ДВС.

двигатель, смазка, разрушение, баланс энергии, плотность энергии

An energy condition of lubricant oil fracture at friction and energy criterion for rubbing surfaces seizure is proposed. Experimental result for sliding bearings hydrodynamic lubrication is given. It result is correlated with the energy criterion of lubricant fracture. An original method for estimation of real oil temperature at Internal Combustion Engine bearings is considered. For crank-shaft tribosystems of ship's engines the maintenance methodic for critical state diagnosis has worked out.

engine, lubricant, failure, energy balance, energy density

ВВЕДЕНИЕ

Высокий уровень качества работы судового ДВС – его долговечность, функциональная и эксплуатационная энерго- и материалоемкость – напрямую связан с системой смазки подшипников скольжения двигателя.

Традиционно тепловое состояние смазки в ДВС оценивается термодатчиками, расположенными достаточно далеко от наиболее нагруженных узлов трения – подшипников коленчатого вала, т. е. мест, где происходит собственно разогрев этой смазки. Естественно, что такая оценка теплового состояния смазки косвенная и не позволяет судить о ее истинных температурах в зоне трения, например, в системе вал – вкладыши.

В то же время устойчивый и оптимальный режим гидродинамического трения в этой паре является как бы физическим индикатором, по которому можно

судить об эффективности энергетических потерь и вести работу по их минимизации до разумно возможных пределов.

В связи с этим весьма актуальна задача оценки истинного теплового состояния смазки в зоне трения. Возможность ее оценки – один из путей управления всей системой в направлении оптимизации как работы самой системы (например, оптимизация мощности маслососов), так и ее энергопотерь от трения. Оптимальная температура смазки всегда находится в диапазоне между повышенным вязким трением самой смазки и повышенным трением от нарушения гидродинамики вследствие разрушения (термодеструкции) смазочной пленки.

Оценить истинное тепловое состояние масляной пленки в зоне трения пары вал – вкладыши достаточно сложная процедура, так как она всегда сопряжена с оценкой в первую очередь теплового состояния фрикционного контакта. Даже если преодолены чисто технические сложности, например, установки термодатчиков в подповерхностный слой трущейся пары, то остаются теоретико-расчетные проблемы сопоставления объемной температуры (а именно лишь эта температура будет замерена термодатчиком) с истинной температурой вспышки на фрикционном контакте. Объем трения (размером порядка 3 мкм), в котором продуцируется тепло трения (вспышка), на несколько порядков отличается от размера до места замера температуры, где возможно размещение, от поверхности трения термодатчиков (например, в лучшем случае, 1 мм).

Для возможного решения поставленной задачи предлагается метод, основанный на энергетической модели разрушения масляной пленки [1] и результатах экспериментального обоснования этой модели на натурном стенде, имитирующем работу реальных подшипников ДВС, с оригинальной моделью замера температуры смазки в подшипниках вала ДВС [1].

При трении смазанных поверхностей объем масла, прокачиваемого через зону контакта трущихся тел, во многом определяет их работоспособность. Традиционные смазочные материалы (масла), обладая свойством жидкотекучести, хорошо снижают (пассивируют) энергетическое (активированное) состояние поверхностей трения в результате интенсивного взаимодействия молекул смазки с атомами активированных поверхностей трения. Момент наступления непосредственного контакта материалов пары трения связан с исчерпанием смазывающей способности масел вследствие разрушения масляной пленки при ее нагреве выше критической температуры $T_{кр}$ [2]. Известно также более общее правило, определяющее необходимое условие схватывания, связанное с достижением приповерхностным (граничным) слоем критической плотности микродефектов структуры [3].

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ КРИТЕРИЙ ПРЕДЕЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ

В соответствии с современными энергетическими (термодинамическими) представлениями о прочности и разрушении материалов [4, 5], имеющих фундаментальную природу, разрушение объема материала (критическая дефектность) наступает, когда плотность внутренней энергии u (потенциальной (u_e) и тепловой (u_T) составляющих) в этом объеме достигнет критического значения u^* , постоянного для данного материала. Критерий u^* является однозначной и интегральной характеристикой предельной повреждаемости (дефектности) материала. Тепловое

разрушение материала является частным случаем этого условия, когда изменение потенциальной энергии различного рода дефектов структуры материала ничтожно мало и им можно пренебречь. Температура, как известно, является количественной мерой макроскопического проявления изменения плотности тепловой (кинетической) составляющей u внутренней энергии материала.

Термодинамическое условие разрушения [4, 5] имеет вид

$$u = u_0 + \Delta u = u^* . \quad (1)$$

Здесь u_0 – плотность внутренней энергии материала в исходном состоянии $u_0 = u_{e0} + u_{T0}$ (u_{e0} , u_{T0} – потенциальная и тепловая составляющие при $t=0$); Δu – изменение плотности внутренней энергии материала в процессе трения, $\Delta u = \Delta u_e + \Delta u_T$ (Δu_e , Δu_T – изменение потенциальной и тепловой составляющих).

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ КРИТЕРИЙ РАЗРУШЕНИЯ МАСЛЯНОЙ ПЛЕНКИ ПРИ ТРЕНИИ

Если учесть кинетические особенности накопления внутренней энергии жидкими материалами (маслами), т. е. величины u_{e0} и Δu_e с достаточной для практических целей точностью принять равными нулю, то условие разрушения (1) примет вид

$$u_T = u_{T0} + \Delta u_T = u_T^* . \quad (2)$$

Условие (2) является энергетическим условием разрушения масляной пленки в контакте, согласно которому пленка разрушается, когда плотность тепловой (кинетической) энергии u_T в ее объеме достигает критического значения u_T^* . При этом масло теряет свою смазывающую способность и трение со смазкой переходит в режим трения без смазки.

За условие отсутствия схватывания вследствие разрушения смазочной пленки принимается соотношение

$$u_T = u_{T0} + \Delta u_T < u_T^* . \quad (3)$$

Полученное энергетическое условие схватывания хорошо согласуется с современными температурными представлениями о схватывании и имеет, например, возможность трансформироваться в известное соотношение Х. Блока [6] для критической температуры T_{KP} заедания:

$$T^* = T_0 + \Delta T < T_{KP} , \quad (4)$$

$$\text{где } \Delta u_T = \rho \cdot \bar{c}_p \Delta T = \int_{T_0}^{T_{hp}} \rho \cdot c_p dT ;$$

$$u_{T0} = \rho \cdot \bar{c}_p T_0 = \int_0^{T_0} \rho \cdot c_p dT ;$$

$$u_T^* = \rho \cdot \bar{c}_p T_* = \int_0^{T_*} \rho \cdot c_p dT .$$

В табл. 1 подсчитаны значения u_T^* по известным значениям T_{KP} для минеральных масел [2].

Таблица 1. Энергетические характеристики минеральных масел
Table 1. Energy characteristics of mineral oils

Масло	$\rho, \text{кг/м}^3$	$T_{KP}, ^\circ\text{C}$	$u_T^*, \text{МДж/м}^3$
Вазелиновое приборное, ГОСТ 1805-51 (МВП)	878	100	617
Трансформаторное, ГОСТ 982-50	880	180	751,6
Веретенное, ГОСТ 1642-50 (АУ)	891	165	756
Компрессорное, ГОСТ 5546-54 (ХФ-12)	–	160	727,4
Турбинное, ГОСТ 32-53 (Л)	895	120	663,2
Вазелиновое медицинское, ГОСТ 3164-52	875	20	483,4
Турбинное, ГОСТ 32-53 (ЗОУТ)	–	140	693
Индустриальное, ГОСТ 5829-51 (50)	906	140	705,5
Диффузионное, ГОСТ 7904-56 (Д1)	–	20	491,7
Автотракторное, ГОСТ 1862-42 (АК-10)	920	150	733,6
Автотракторное, ГОСТ 1862-42 (АК-15)	930	140	724,2
Нафтенопарафиновая фракция масла МС-20 (НПФ МС-20)	–	155	718,2
Авиационное, ГОСТ 1013-49 (МЗС)	890	140	693
Авиационное из грозненской нефти, ГОСТ 1013-29 (МКЗ)	905	210	824,2
Цилиндровое, ТУМ НП 233-47 (Брайсток)	–	140	693
Этиленгликоль	1110	125	833

СООТНОШЕНИЯ ПРЕДЕЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ТРИБОСИСТЕМЫ СО СМАЗКОЙ

Для установления взаимной связи между энергетическими характеристиками разрушения масляной пленки в контакте трущихся поверхностей и параметрами процесса трения можно использовать соотношения Дж. Егера для расчета среднего подъема температуры в зоне трения скользящего контакта. Поскольку при трении со смазкой температура тонкой смазочной пленки отражает тепловое состояние поверхностей трения, то с достаточной для практических целей точностью расчетные значения температуры поверхности можно отнести и к масляной пленке. Например, при больших скоростях скольжения условие схватывания (2) с учетом соотношений Дж. Егера [7] можно представить в виде

$$\Delta u_T = (1,064 \omega_{cp}^* \rho \cdot \bar{c}_p / \lambda_1) (2\alpha_1 l / v)^{1/2}; \quad (5)$$

$$u_T^* = u_{T0} + (1,064 \omega_{cp}^* \rho \cdot \bar{c}_p / \lambda_1) (2\alpha_1 l / v)^{1/2}. \quad (6)$$

Решая уравнения (6) относительно удельной мощности трения ω_{cp}^* , соответствующей моменту, когда плотность внутренней энергии масляной пленки достигает критического значения, получаем

$$\omega_{cp}^* = \left[(u_T^* - u_{T0}) \lambda_1 / 1,064 \rho \cdot \bar{c}_p \right] / (2\alpha_1 l)^{1/2}, \quad (7)$$

где α_1, λ_1 – температуро- и теплопроводность материала подшипника; l – длина контактной зоны в направлении движения контртела (вала).

Как следует из уравнения (7), критическое значение удельной мощности трения ω_{zp}^* определяет момент перехода трения со смазкой в режим гранично-сухого трения вследствие разрушения смазочной пленки.

Анализ уравнений (5)-(7) показывает, что критерий схватывания ω_{zp}^* существенно зависит от критической плотности внутренней энергии масла u_T^* и от скорости скольжения v (при прочих равных условиях). Чем выше плотность u_T^* , тем при большей удельной мощности трения ω_{zp}^* разрушается масляная пленка и начинается контактирование сухих несмазанных поверхностей. Влияние повышения скорости скольжения v на рост мощности ω_{zp} вызвано увеличением объема смазки, находящегося в зоне трения, и ее расхода, что приводит к улучшению теплообмена и снижению температуры в зоне трения и параметра u_{T0} . На мощность ω_{zp}^* оказывают также влияние параметры подшипникового материала α_1, λ_1 .

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА КРИТИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СМАЗКИ ПРИ ТРЕНИИ

Экспериментальная оценка энергетического условия разрушения масляной пленки была проведена на натурном стенде с пульсирующей нагрузкой [1], создаваемой гидравлическим способом, которая позволяет имитировать условия работы шатунных подшипников скольжения дизелей. Пульсирующая нагрузка обеспечивалась за счет эксцентриситета (0,4 мм) оси шатунной шейки по отношению к осям коренных шеек вала.

Испытания проводились на подшипниках скольжения (вкладышах) дизеля 6ЧРН 36/45, изготовленных из сплавов АО20-1 и БрС30, нанесенных на стальное основание диаметром 80, высотой 34 и толщиной 2,5 мм. Контртелом служил вал из стали 40ХНМА после обработки ТВЧ на твердость HRC 50-55. Для смазки подшипников использовалось дизельное масло М14В. Трение осуществлялось при скорости скольжения вала 4 м/с по методу ступенчатого нагружения сопряжения до момента наступления схватывания, который определялся по резкому возрастанию мощности трения W и температуры масла T_M , вытекающего из подшипника. Температура T_M измерялась термомпарами, расположенными на расстоянии 0,5 мм сбоку и ниже от рабочей поверхности подшипника (рис. 1) в зоне струи смазки, вытекающей из подшипника скольжения.

По полученным экспериментальным данным (ω_{zp}^*, l, v) определялись:

- изменение плотности внутренней энергии масляной пленки в контакте вал-вкладыш в момент схватывания

$$\Delta u_T = (1,064 \omega_{zp}^* \rho \cdot \bar{c}_p / \lambda_1) (2\alpha_1 l / v)^{1/2},$$

- температурная вспышка в объеме смазки на поверхности трения

$$\Delta T_M = \Delta u_T / \rho \cdot \bar{c}_p,$$

- текущее значение плотности внутренней энергии масляной пленки

$$u_{Tf} = T_M \rho \cdot \bar{c}_p,$$

- критическое значение плотности внутренней энергии масляной пленки u_T^* и температура поверхности трения в момент схватывания T_{hp}

$$u_T^* = u_{Tf} + \Delta u_T; T_{KP} = u_T^* / \rho \cdot \bar{c}_p.$$

Расчетные результаты представлены в табл. 2.

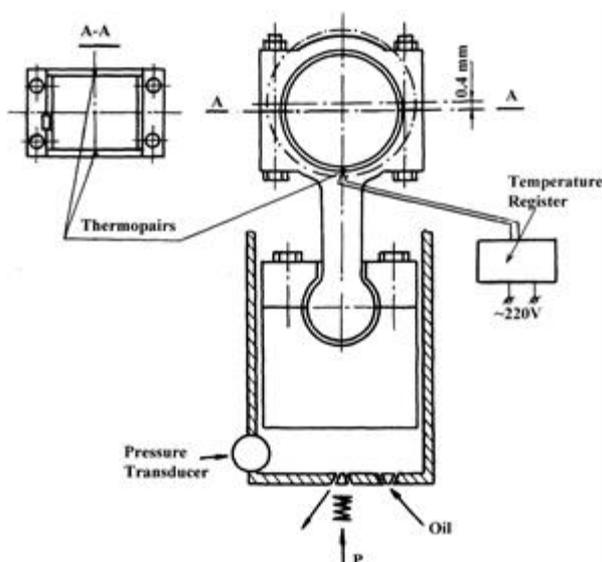


Рис. 1. Схема расположения термопар для измерения температуры масла T_M , вытекающего из шатунного подшипника

Fig. 1. The disposition of thermopairs for measuring of temperature T_{oil} of the oil leaving the connecting rod bearing

Таблица 2. Расчетные результаты

Table 2. Calculation results

Материал подшипника	u_T	Δu_T^*	u_T^*	T_M	ΔT_M	T_{KP}
	МДж/м ³			°C		
Сплав АО20-1	682	43	725	120	25,5	145,5
Бронза БрС30	673	54	727	115	31,0	146,0

Для данного сорта масла из табл. 1 следует, что параметры T_{KP} и u_T^* должны быть равны примерно $140 - 150^{\circ}C$ и $705,5 - 733,6$ МДж/м³ соответственно.

Таким образом, результаты эксперимента подтверждают предложенное энергетическое условие схватывания (2): критическая плотность внутренней энергии масляной пленки для исследуемого минерального инактивного масла не зависит от материала пары и условий трения и является физической константой процесса схватывания трибосистемы.

Полученные результаты хорошо согласуются с положениями термодинамической теории прочности [4], согласно которой интегральной мерой повреждаемости материалов является критическое, постоянное для данного материала значение плотности внутренней энергии, а также с гипотезой Х. Блока [6] о постоянстве суммарной температуры заедания для данного сорта минерального инактивного масла.

Полученные теоретические зависимости (1)-(7), описывающие момент наступления схватывания, позволяют выявить закономерности схватывания при внешнем трении. Совместное рассмотрение энергетического условия схватывания (1)-(7) с предложенным ранее [8] условием и критерием схватывания при трении без смазки показывает (рис. 2), что в области, ограниченной участком I, разрушение смазочной пленки (выполнение необходимого условия схватывания ω_{cp}^*) не приведет к развитию схватывания двух поверхностей по всей площади номинального контакта, так как не выполняется достаточное условие схватывания ω^* [1, 8], т. е. в данном случае еще не превышен энергетический порог [9], достаточный для образования соединения двух металлов. Образующиеся на поверхности в отдельных точках участки схватывания «самозалечиваются»; на поверхности трения преобладает вид фрикционного взаимодействия, отличный от схватывания [10].

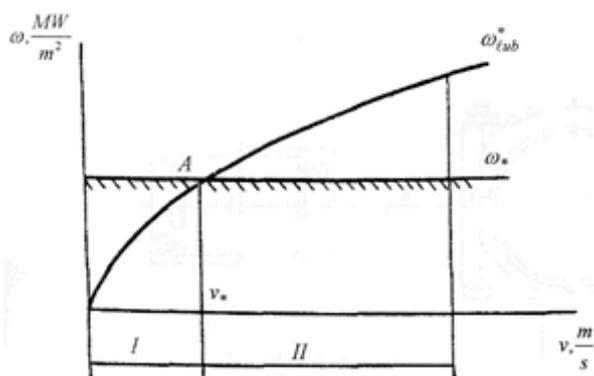


Рис. 2 Закономерности схватывания при внешнем трении
Fig. 2. Scuffing relationships in external friction

В области, ограниченной участком II, разрушение масляной пленки автоматически приведет к развитию схватывания по всей площади, ограниченной номинальным контуром, так как в этом случае достаточное условие схватывания ω^* может быть превышено в несколько раз. Так, к примеру, участок II характерен для работы сопряжений современных тяжело нагруженных быстроходных дизелей. Достижение в сопряжении устойчивого режима граничного трения и соблюдение условия $\omega_{cp} = \omega_{cp}^*$ приводят к схватыванию и в дальнейшем к задиру.

СООТНОШЕНИЯ ПРЕДЕЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ СМАЗКИ В ДВС

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования процесса схватывания (задира) металлов и сплавов при трении позволяют выявить соотношения, устанавливающие взаимную связь критических характеристик работы

трибосистемы с параметрами трения ($l = f(\mathcal{P}) \cdot v$), свойствами материалов подшипника и смазки (k) и конструктивными параметрами узла трения D , $l = f(\mathcal{E}) \cdot H$. Эти соотношения имеют вид

$$\omega_{KP}^* = k \cdot v^{1/2} \cdot l^{-1/2}, \quad (8)$$

$$W_T^* = k \cdot l^{3/2} \cdot H, \quad (9)$$

$$\tau^* = k \cdot l^{3/2}, \quad (10)$$

$$F^* = k \cdot v^{-1/2} \cdot l^{1/2} \cdot H, \quad (11)$$

где

$$k = \frac{\Delta T_M^* \cdot \lambda_1}{1,064 \sqrt{2a_1}} = const, \quad (12)$$

$$\Delta T_M^* = T_{KP} - T_M'^* = const. \quad (13)$$

Величина ΔT_M^* в зависимости (12) образована разностью двух постоянных параметров – критического значения температуры термодеструкции масла T_{KP} и значения предельной рабочей температуры масла $T_M'^*$, при котором достигается устойчивый режим граничного трения. По физическому смыслу критический параметр $T_M'^*$ есть значение температуры масла на температурно-вязкостной зависимости Вальтера, при которой достигается минимальная (с достаточной для практических целей точностью) вязкость масла. Например, для дизельного масла М14В значение $T_M'^*$ равно 115–120°С (табл. 2). Достижение в сопряжении минимальной вязкости масла означает исчерпание гидродинамических свойств масляного слоя и переход к устойчивому режиму граничного трения и далее к схватыванию и задиру.

Таким образом, по существу, $T_M'^*$ представляет собой нижнюю критическую температуру смазки и совместно с верхней критической температурой смазки – температурой термодеструкции масла T_{KP} – образует критериальную разницу температур, постоянную для данного сорта минерального моторного масла (рис. 3).

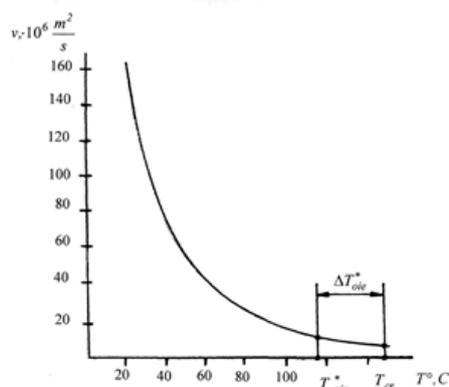


Рис. 3. Область двух критических температур минеральных смазочных масел
 Fig. 3. The field of two critical temperatures of lubricating oils

Факт наличия критериальной температуры T_M^* и критериальной разницы температур ΔT_M^* позволил использовать их для разработки инженерной экспресс-методики [1] расчета предельной нагрузочной способности тяжело нагруженных трибосистем, которая была использована на заводе им. Малышева для обоснования выбора материалов подшипников тяжело нагруженных дизелей и червячных редукторов.

Теоретически и экспериментально расчетно-обоснованные обобщенные энергетические критерии предельного состояния масляной пленки при трении положены в основу эксплуатационной диагностической модели Двигатель – Лаборатория [1]. Эта диагностическая модель реализуется технически несложной навесной установкой элементарных термодатчиков в определенных местах трибосистемы вал – вкладыши ДВС и позволяет определять и контролировать истинную температуру смазки именно в тех зонах, где трением продуцируется ее теплота. В данном случае нижняя критическая температура смазки T_M^* как раз будет являться тем физическим индикатором оптимального состояния данной трибосистемы, по которому возможно будет осуществлять диагностику и управление этой системой.

О ДВУХ КРИТИЧЕСКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ СМАЗКИ В ТРИБОСИСТЕМЕ ДВС

Экспериментальные результаты показали (рис. 3), что момент достижения критической температуры термодеструкции масла T^* связан с эффектом температурной вспышки ΔT^* от некоторой постоянной рабочей температуры масла T_p^* . Анализ величины температуры T_p^* показывает, что по физическому смыслу этот параметр есть значение температуры масла на температурно-вязкостной зависимости Вальтера, при которой достигается минимальная (с достаточной для практических целей точностью) вязкость масла. Например, для дизельного масла М14В значение T_p^* равно 115-120⁰С (см. табл. 2). Достижение в сопряжении минимальной вязкости масла означает исчерпание гидродинамических свойств масляного слоя и переход к устойчивому режиму смешанного (и граничного) трения и далее к схватыванию и задиру.

Следовательно, температура T_p^* действительно представляет собой нижнюю критическую температуру T_M^* и совместно с верхней критической температурой – температурой термодеструкции масла $T^* = T_{KP}$ – образует критериальную разницу температур, постоянную для данного сорта минерального масла. Факт существования на температурно-вязкостной зависимости моторных масел двух критических температур (и критериальной разницы температур) позволяет предложить метод [1] оценки критической рабочей температуры моторного масла для систем гидродинамического трения.

К ОЦЕНКЕ КРИТИЧЕСКИХ ТЕМПЕРАТУР МИНЕРАЛЬНОГО МАСЛА

Известно, что взаимная связь вязкости и температуры масла, обуславливающая гидродинамические свойства моторных масел, описывается уравнением Вальтера:

$$\lg \lg(\nu + 0,8) = A + B \lg T. \quad (14)$$

Решая это уравнение относительно двух критических температур T_M^* и T_{KP} и пренебрегая изменением параметров A и B в области критериальной разницы температур ΔT_M^* , где имеет место практически нулевой градиент вязкости по температуре ($\nu^* = \nu^{**}$), возможно рассмотреть константу C_M для данного сорта моторного масла (например, $M14B$), а именно:

$$\begin{aligned} \frac{\lg \lg(\nu^* + 0,8) - A}{B} &= \lg T_M^* \text{ и} \\ \frac{\lg \lg(\nu^{**} + 0,8) - A}{B} &= \lg T_{KP}, \text{ т. е.} \\ \frac{\lg \lg(\nu^{**} + 0,8) - A}{\lg \lg(\nu^* + 0,8) - A} &= \frac{\lg T_{KP}}{\lg T_M^*} = C_M = \text{const}. \end{aligned} \quad (15)$$

Зная константу C_M для одного сорта моторного масла, далее возможно определить предельную рабочую температуру смазки T_M^* для любого другого сорта моторного масла. Для этого достаточно знать только критическую температуру масла T_{KP} , которая определяется стандартным методом на трибометре четырехшарикового типа. Таким образом,

$$\lg T_{M_i}^* = \frac{\lg T_{KPi}}{C_M} \text{ или} \quad (16)$$

$$T_{M_i}^* = 10^{\frac{T_{KPi}}{C_M}}. \quad (17)$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В целом, используя указанный выше метод, возможна разработка мехатронной диагностической модели оценки и контроля истинной предельной температуры смазки систем гидродинамического трения (ДВС и тяжелонагруженных редукторов).

Предлагаемая модель позволяет осуществлять:

- постоянную оценку истинного теплового состояния смазки в наиболее нагруженных трибосистемах;
- индикацию предкритического и критического состояний (режимов) в условиях текущей эксплуатации;
- контроль режима приработки трибосистемы с возможностью проведения и управления ускоренными режимами приработки (например, на грани заедания);
- накопление исследовательской информации о работе трибосистемы по схеме натурных испытаний и др.

Одновременно предоставляется возможность оценки предельных энергосиловых характеристик трибосистемы вал – вкладыши скольжения по температурным (энергетическим) критериям смазки.

В дополнение к замеру истинной температуры смазки в системе вал – вкладыши предлагаемая диагностическая модель может быть расширена измерением температур смазки и износа в других трибосистемах ДВС, например, в трибосистеме поршневое кольцо – зеркало цилиндра (система Силдет непрерывного контроля параметров рабочего процесса [11]) и др. Применение современных компьютерных систем сбора и обработки информации неограниченно расширяет возможности этой модели в современной практике и позволяет рекомендовать ее как мехатронные системы в судовых, локомотивных и тяжелонагруженных автомобильных ДВС.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Федоров, С. В. Энергетические аспекты процесса схватывания трибосистем с различными подшипниковыми сплавами: моногр. / С. В. Федоров. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2005. – 268 с.
2. Матвеевский, Р. М. Температурная стойкость граничных смазочных слоев и твердых покрытий при трении металлов и сплавов: моногр. / Р. М. Матвеевский. – Москва: Наука, 1971. – 227 с.
3. Буше, Н. А. Совместимость трущихся поверхностей. моногр. / Н. А. Буше, В. В. Копытько. – Москва: Наука, 1981. – 127 с.
4. Федоров, В. В. Термодинамические аспекты прочности и разрушения твердых тел: моногр. / В. В. Федоров. – Ташкент: Фан, 1979. – 168 с.
5. Федоров, В. В. Кинетика повреждаемости и разрушения твердых тел: моногр. / В. В. Федоров. – Ташкент: Фан, 1985. – 186 с.
6. Blok, H. Les Temperatures de Surface dans des Conditions de Graffsage Sour Extreme Pression / H. Blok // Proceeding of Materials on Second Cong. Mondial du Petrole, Paris, France, 1937. – Pp. 111-114.
7. Егер, Д. Движущиеся источники теплоты и температура трения / Д. Егер // Прикладная механика и машиностроение. – Москва: АН СССР, 1952. – № 6. – С. 17-22.
8. Федоров, С. В. Термодинамические представления о процессе схватывания при трении без смазки / С. В. Федоров // Трение и износ. – 1986. – № 2. – С. 240-249.
9. Семенов, А. П. Исследование схватывания металлов при совместном пластическом деформировании: моногр. / А. П. Семенов. – Москва: АН СССР, 1953. – 120 с.
10. Крагельский, И. В. Основы расчетов на трение и износ: моногр. / И. В. Крагельский, М. Н. Добычин, В. С. Комбалов. – Москва: Машиностроение, 1977. – 526 с.
11. Справочник судового механика по теплотехнике / А. П. Пимошенко [и др]. – Ленинград: Судостроение, 1987. – 480 с.

REFERENCES

1. Fyodorov S. V. *Energeticheskie aspekty protsessa skhvatyvaniya tribosistem s razlichnymi podshipnikovymi splavami* [Energy aspects of the process of setting tribosystems with different bearing alloys]. Kaliningrad, izd-vo FGBOU VPO «KGTU», 2005, 268 p.
2. Matveevskiy R. M. *Temperaturnaya stoykost granichnykh smazochnykh sloyov i tverdykh pokrytiy pri trenii metallov i splavov* [Temperature resistance of boundary lubricating layers and hard coatings during friction of metals and alloys]. Moscow, Nauka, 1971, 227 p.
3. Bushe N. A., Kopytko V. V. *Sovmestimost trushchikhsya poverkhnostey* [Compatibility of rubbing surfaces]. Moscow, Nauka, 1981, 127 p.
4. Fyodorov V. V. *Termodinamicheskie aspekty prochnosti i razrusheniya tverdykh tel* [Thermodynamic aspects of strength and destruction of solids]. Tashkent, Fan, 1979, 168 p.
5. Fyodorov V. V. *Kinetika povrezhdayemosti i razrusheniya tverdykh tel* [Kinetics of damage and destruction of solids]. Tashkent, Fan, 1985, 186 p.
6. Blok H. Les Temperatures de Surface dans des Conditions de Graffsage Sour Extreme Pression. Proceeding of Materials on Second Cong. Mondial du Petrole, Paris, France, 1937, pp. 111-114.
7. Eger D. Dvizhushchiesya istochniki teploty i temperatura treniya [Moving sources of heat and friction temperature]. *Prikladnaya mekhanika i mashinostroyenie*, Moscow, AN SSSR, 1952, no. 6, pp. 17-22.
8. Fyodorov S. V. *Termodinamicheskie predstavleniya o protsesse skhvatyvaniya pri trenii bez smazki* [Thermodynamic concepts of the process of setting under friction without lubrication]. *Trenie i iznos*, 1986, no. 2, pp. 240-249.
9. Semyonov A. P. *Issledovanie skhvatyvaniya metallov pri sovmestnom plasticheskom deformirovanii* [The study of the setting of metals in joint plastic deformation]. Moscow, AN SSSR, 1953, 120 p.
10. Kragelskiy I. V., Dobychin M. N., Kombalov V. S. *Osnovy raschetov na trenie i iznos* [Basics of calculations for friction and wear]. Moscow, Mashinostroenie, 1977, 526 p.
11. Pimoshenko A. P. [i dr.] *Spravochnik sudovogo mekhanika po teplotekhnike* [Reference book of ship mechanics on heat engineering]. Leningrad, Sudostroenie, 1987, 480 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Фёдоров Сергей Васильевич – Калининградский государственный технический университет; доктор технических наук, профессор; зав. кафедрой теории механизмов и машин и деталей машин; E-mail: fedorov@klgtu.ru

Fyodorov Sergey Vasilievich – Kaliningrad State Technical University; Doctor of Engineering, Professor; Head of the Department of Theory of Mechanisms and Machines and Machine Parts; E-mail: fedorov@klgtu.ru

УДК 621.3.018.78

МОНИТОРИНГ И АНАЛИЗ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ В СУДОВЫХ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

С. Н. Чижма, С. В. Молчанов, Г. С. Руднев

MONITORING AND ANALYSIS OF ELECTRICAL EVENTS IN MARINE
ELECTRIC POWER SYSTEMS

S. N. Chizhma, S. V. Molchanov, G. S. Rudnev

В работе описан метод определения различных типов возмущения сигналов в сетях электроснабжения: прерываний, провалов, выбросов, флуктуаций, долговременных вариаций напряжений, импульсных и осциллирующих помех, шумов и гармонических искажений с помощью дискретного вейвлет-преобразования. Приводится классификация типичных возмущений сигналов в судовых электроэнергетических сетях, рассматриваются методы идентификации типов и параметров возмущений сигналов, метод дискретного вейвлет-преобразования сигнала, приводятся аналитические выражения, описывающие типовые возмущения сигналов, проведено моделирование возмущений сигналов и их обработка с помощью дискретного вейвлет-преобразования. Показано разбиение полученных результирующих данных на аппроксимирующие и детализирующие коэффициенты, описаны методы дальнейшей обработки полученных данных.

возмущения сигналов, судовые электроэнергетические системы, мониторинг электрических событий, дискретное вейвлет-преобразование

The paper describes a method for determining different types of perturbation of signals in the power supply networks: interrupts, failures, emissions, fluctuations, long-term voltage variations, pulse and oscillating interference, noise and harmonic distortion using discrete wavelet transform. Classification is given of typical perturbations of signals in ship electrical power networks, methods of identification of types and determination of parameters of perturbations of signals are considered, the method of discrete wavelet transform of a signal is described, analytical expressions describing typical perturbations of signals are given, modeling of perturbations of signals and their processing by means of discrete wavelet transform has been carried out. The division of the resulting data into approximating and detailing coefficients is shown; methods of further processing of the obtained data are described.

perturbations of signals, marine electric power systems, monitoring of electrical events, discrete wavelet transform

ВВЕДЕНИЕ

Электромагнитные помехи, создаваемые большими токами в судовых электроэнергетических системах, воздействуют на все смежные коммуникации, в том числе и на линии судовой автоматики. Силовые инверторы генерируют пери-

одические возмущения в системе электроснабжения, что вызывает появление искажений напряжения и тока в сети. Эти помехи искажают форму напряжений и токов, что негативно влияет как на сети электроснабжения, так и на линии связи и автоматики. Включения мощных электрических нагрузок являются причинами перерывов электропитания, всплесков напряжения, импульсных помех. Это обуславливает важность контроля качества электроэнергии и мониторинга электрических событий в судовых системах электроснабжения. На рис. 1 представлены типы наиболее часто встречающихся возмущений, возникающих в цепях электропитания [1].

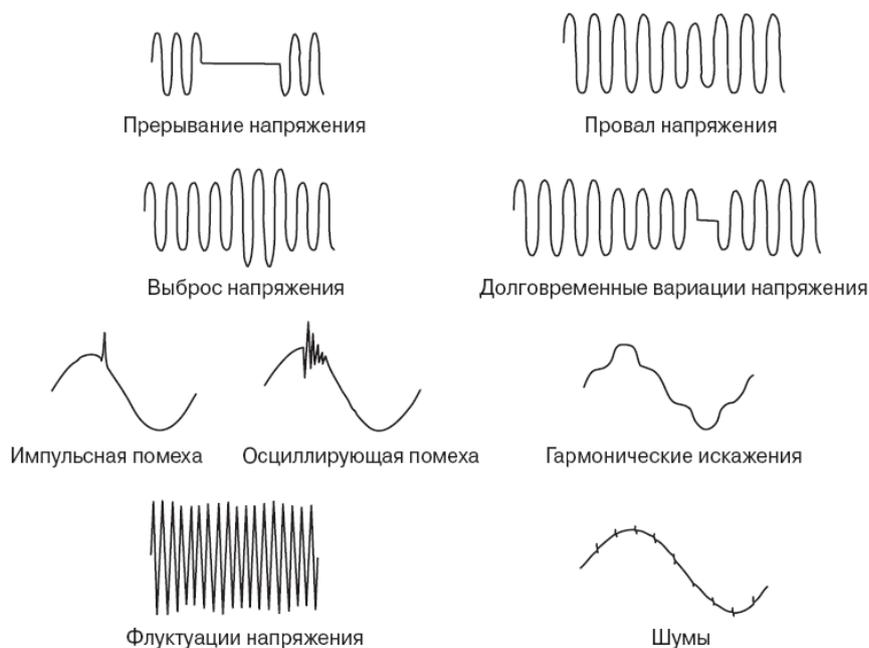


Рис. 1. Формы сигналов с возмущениями в сетях электропитания
 Fig. 1. Forms of signals with disturbances in power networks

Разработка новых методов мониторинга и классификации искажений обусловлена необходимостью обеспечения устойчивой и качественной работы всех составляющих сложного электротехнического комплекса при отклонении напряжений и токов от номинальных значений, резких изменениях величин электрических нагрузок.

МЕТОДЫ МОНИТОРИНГА И АНАЛИЗА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ

Самый популярный математический метод для спектрального анализа сигналов – быстрое преобразование Фурье (БПФ), неэффективен при анализе нестационарных сигналов. В настоящее время для анализа сигналов такого типа часто используется один из видов вейвлет-преобразования.

Вейвлет-преобразование осуществляется по трем осям: амплитуда, время и частота, при этом сигнал переводится в частотно-временную область. Обработка сигнала производится на разных частотах и при различных разрешениях одновременно [2]. Вейвлет-преобразование осуществляет локальное представление о сигнале во временной и частотной областях.

Для анализа нестационарных сигналов наиболее часто используется дискретное вейвлет-преобразование (ДВП), обеспечивающее информацию, достаточную для анализа сигнала, в то же время делая возможным компромисс между требуемым числом операций и используемыми вычислительными ресурсами [3]. ДВП является в некотором смысле подобием непрерывного вейвлет-преобразования (НВП). НВП сигнала $x(t)$ определяется по выражению:

$$CWT_{\psi} x(a,b) = \int_{-\alpha}^{\alpha} x(t)\psi_{a,b}^*(t)dt, \quad a,b \in R, a \neq 0, \quad (1)$$

$$\psi_{a,b}^*(t) = \frac{1}{\sqrt{a}}\psi^*\left(\frac{t-b}{a}\right). \quad (2)$$

где $\psi_{a,b}^*(t)$ – двухпараметровая масштабирующая функция, чаще именуемая как материнский вейвлет (* – знак комплексного сопряжения).

С помощью параметра a определяются масштабы вейвлета, малым значениям параметра a соответствуют высокие частоты $\psi_{a,b}(t)$; повышенные значения переменной a соответствуют невысоким частотам или, соответственно, большому масштабу $\psi_{a,b}(t)$. Величина b определяет положение центра временной локализации вейвлета и именуется сдвигом. ДВП дискретного сигнала x можно представить в виде:

$$DWT_{\psi} x(m,n) = \sum_k x_k \psi_{m,n}^*(k), \quad (3)$$

$$\psi_{m,n}^*(k) = \frac{1}{\sqrt{a_0^m}}\psi^*\left(\frac{k-nb_0a_0^m}{a_0^m}\right). \quad (4)$$

Две переменных (масштабирующая и сдвиговая) являются функциями величины m , где m – это масштабирующий параметр, а n – показатель дискретизации, $m = 0, 1, 2, \dots$.

Наиболее часто в качестве образующего или материнского вейвлета используется вейвлет Добеши четвертого уровня [4], показанный на рис. 2.

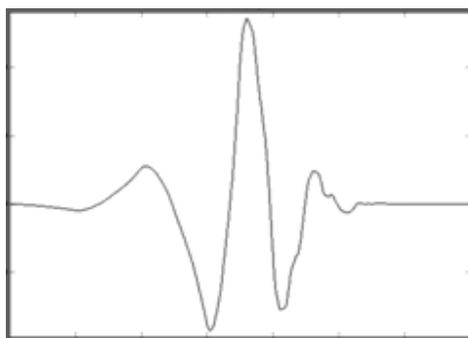


Рис. 2. Материнский вейвлет Добеши 4-го уровня (db4)
Fig. 2. The mother wavelet Daubechies of the 4th level (db4)

При практическом расчете величин коэффициентов вейвлет-преобразования применяется алгоритм, идея которого заключена в двухполосной последова-

тельной фильтрации входного сигнала с использованием каскадно-соединенных блоков низкочастотных (Н) и высокочастотных (G) фильтров (рис. 2) [5].

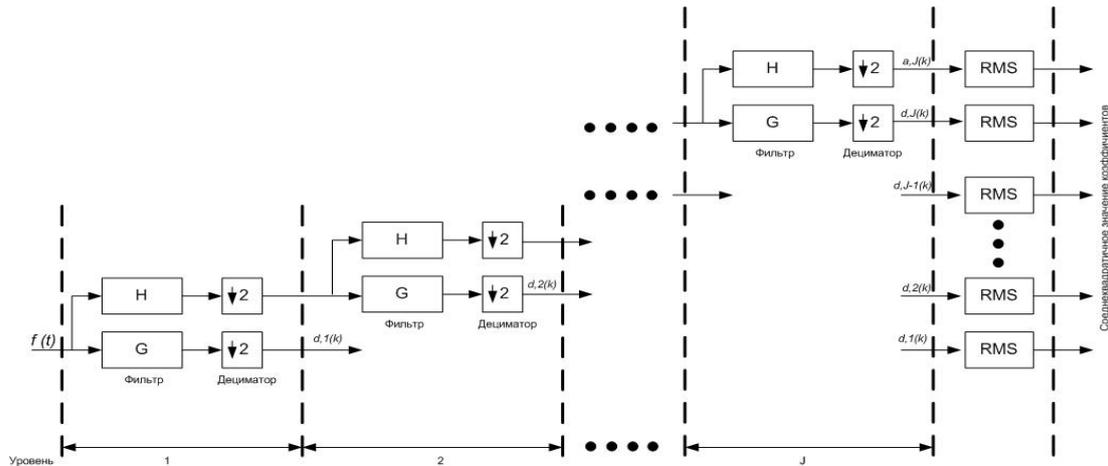


Рис. 3. Структурная схема алгоритма быстрого вейвлет-преобразования (БПФ)
 Fig. 3. Block diagram of the fast wavelet transform algorithm (FFT)

По результатам фильтрации сигнал представлен в виде комбинации последовательного приближения грубой (аппроксимирующей) $A_m(t)$ и уточненной (детализирующей) $D_m(t)$ компонент:

$$S(t) = A_m(t) + \sum_{j=1}^m D_j(t). \quad (5)$$

МОДЕЛИРОВАНИЕ АЛГОРИТМА АНАЛИЗА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ

Для определения работоспособности метода проводилось моделирование алгоритма выделения и анализа искажений различного типа.

Для анализа возможностей алгоритма моделировались следующие виды искажений: выброс/провал, прерывание сигнала и гармонические искажения. Перечисленные сигналы представлены в аналитическом виде в табл. 1.

Таблица 1. Аналитические выражения искажений
 Table 1. Analytical expressions of distortion

Сигнал / искажение	Модель	Параметры
Нормальный сигнал	$x(t) = \sin(\omega t)$	$\omega = 2\pi 50$
Нарастание	$x(t) = A(1 + \alpha(u(t - t_1) - u(t - t_2)))\sin(\omega t)$ $t_1 < t_2, u(t) = \begin{cases} 1, t \geq 0 \\ 0, t < 0 \end{cases}$	$0.1 \leq \alpha \leq 0.8$ $T \leq t_2 - t_1 \leq 9T$
Падение	$x(t) = A(1 - \alpha(u(t - t_1) - u(t - t_2)))\sin(\omega t)$	$0.1 \leq \alpha \leq 0.9$ $T \leq t_2 - t_1 \leq 9T$
Прерывание	$x(t) = A(1 - \alpha(u(t - t_1) - u(t - t_2)))\sin(\omega t)$	$0.9 \leq \alpha \leq 1$ $T \leq t_2 - t_1 \leq 9T$
Гармонические искажения	$x(t) = A(\alpha_1 \sin(\omega t) + \alpha_3 \sin(3\omega t) + \alpha_5 \sin(5\omega t))$	Гармоники: 3, 5 $0 \leq \alpha_3, \alpha_5 \leq 0.9$

Перечисленные выше сигналы были сгенерированы с помощью пакета моделирования MATLAB, полученные графики показаны на рис. 4.

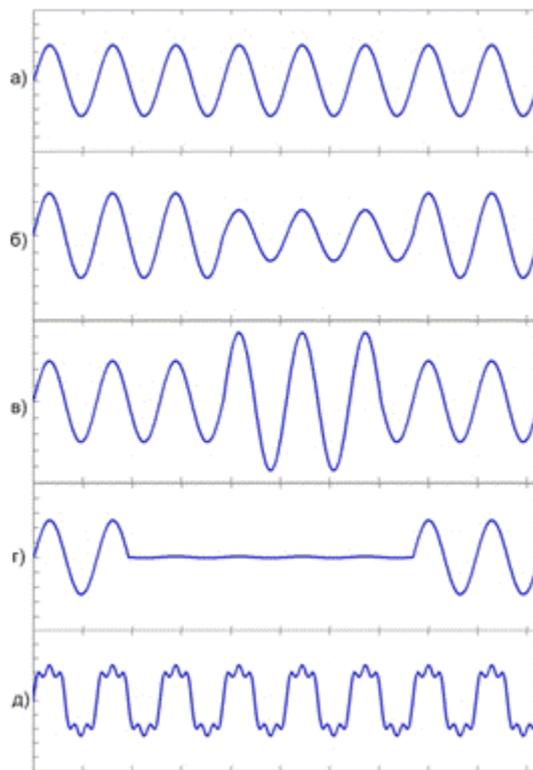


Рис. 4. а) синусоидальный сигнал; б) провал напряжения; в) выброс напряжения; г) прерывание; д) гармонические искажения
 Fig. 4. a) sinusoidal signal; b) voltage failure; c) voltage release; d) interrupt; e) harmonic distortion

Для анализа искажений сигналов в качестве математического аппарата применялось дискретное вейвлет-преобразование. Анализ сигнала на различных уровнях с помощью разложения на аппроксимацию и детализацию позволяет получить важную информацию о его спектральном составе [6, 7].

На рис. 5 изображен процесс декомпозиции сигналов с выбросами и провалами [8]. Коэффициенты, представленные на первом уровне детализации, точно указывают на момент образования искажений. Величина коэффициентов детализации определяет характер искажений. В качестве примера возьмем изменение детализирующих коэффициентов на шкале времени 2500. На временном отрезке от 0 до 2500 образовался провал напряжения, поэтому коэффициенты можно принять равными нулю. На отсчете 2500 амплитуда увеличивается незначительно, поэтому коэффициент детализации тоже невысок. Рассмотренный сигнал изменился несущественно, до отсчета 2500 представляя собой прерывание напряжения, а после – падение относительно нормального уровня. При отсчете 5000 происходит увеличение коэффициента, что показывает резкое увеличение амплитуды сигнала. После отсчета 5000 сигнал изменяется до своего нормального значения. На отсчете 14000 происходит небольшое уменьшение напряжения относительно своего нормального уровня, а это приводит к появлению коэффициента детализации малой амплитуды. При отметке 17500 величина исходного сигнала

быстро падает практически до нуля, а это приводит к наличию значительного по величине коэффициента детализации.

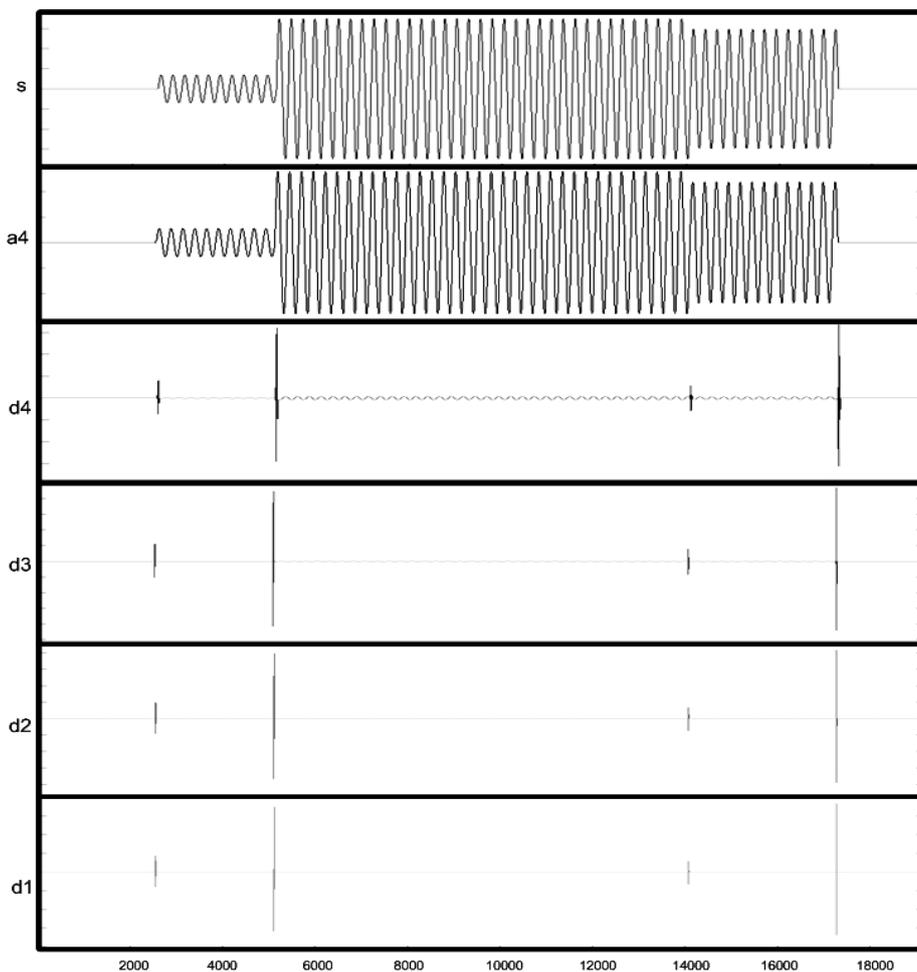


Рис. 5. Вейвлет-анализ сигнала с выбросом и провалом (s – сигнал, a – аппроксимирующие коэффициенты, d – детализирующие коэффициенты)
 Fig. 5. Wavelet analysis of the signal with emission and failure (s-signal, a-approximating coefficients, d-detailing coefficients)

Для создания алгоритма по автоматическому определению конкретного вида искажения необходимо применение классификатора. По причине низкой производительности классификаторов предлагается применять нейронную сеть, позволяющую работать с искаженной, избыточной, неопределенной информацией, а также обладает значительным быстродействием. В качестве входных величин можно использовать статистически обработанные коэффициенты детализации и аппроксимации, а в качестве выходных – исследуемые искажения.

Анализ искажений сигналов проводился [9] с помощью изменения длительности возмущения (t_1 , t_2) и параметров уравнения α , α_1 , α_3 и α_5 , показанных в табл. 1. Производительность предложенного метода была протестирована с помощью 100 тестовых примеров. Целью работы является исследование эффектив-

ности метода как классификатора помех при различии обучающих данных и тестовых данных.

В качестве соответствующих нарушений рассмотрим: провал напряжения (A1), выброс напряжения (A2), прерывание (A3), гармонические искажения (A4). Поскольку это проблема определения нескольких классов, для классификации рассмотрим алгоритм сравнения каждого с каждым. Для указанных четырех типов возмущений ($m=4$) построены и обучены восемь бинарных классификаторов $[m(m-1)]/2$. После завершения этапа обучения каждый классификатор сравнивается с тестовыми данными, и классификация производится на основе голосования. Алгоритм обучен и протестирован для классификации класса A1 (провал) и класса A2 (выброс). На этапе тестирования голос «+1» присваивается классу, к которому он принадлежит. Голосование не назначается за тестовое значение, не принадлежащее классу A1 или A2. Функция принятия решений присваивает экземпляр классу, набравшему наибольшее количество голосов.

Результаты классификации с использованием описанного алгоритма приведены в табл. 2, которая содержит результаты классификации с точки зрения количества правильных классификаций (диагональные элементы) и неправильной классификации (числа вне диагональных элементов). Те тестовые данные, которые не могут быть классифицированы как любой из классов A1-A5, отмечены прочерком. Уровень классификации (число правильно классифицированных возмущений нужно разделить на общее количество возмущений) также приводится в таблице.

Таблица 2. Результаты классификации искажений

Table 2. Classification results of distortions

-	A1	A2	A3	A4	Процент правильной классификации
A1	99	-	-	1	99%
A2	-	98	-	-	98%
A3	-	-	99	1	99%
A4	-	-	-	100	100%
Общий процент правильной классификации					99%

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, большинство протекающих сигналов являются нестационарными в силу ряда причин, поэтому выбор дискретного вейвлет-преобразования в качестве основного математического аппарата для анализа искажений, происходящих с такими сигналами, является обоснованным и эффективным. Применение быстрого вейвлет-преобразования позволяет определить время возникновения искажения и его тип. Показано, что описанный метод правильно классифицирует возмущения сигналов. Предлагаемый подход с применением вейвлет-преобразования и метода классификации искажений производит общую классификацию с уровнем до 99 %. Следовательно, предложенный подход можно использовать для классификации возмущений сигналов в электроэнергетических системах.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Handbook of power quality / Edited by A. Baggin. – John Wiley&Sons Ltd., 2009. – 644 p.
2. Сергиенко, А. Б. Цифровая обработка сигналов / А. Б. Сергиенко. – Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2011. – 768 с.
3. Яковлев, А. Н. Введение в вейвлет-преобразование / А. Н. Яковлев. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2003. – 104 с.
4. Добеши, И. Десять лекций по вейвлетам / И. Добеши. – Ижевск: НИЦ РХД, 2001. – 464 с.
5. Петухов, А. П. Введение в теорию базисов всплесков / А. П. Петухов. – Санкт-Петербург: Изд-во СПбГУ, 1999. – 132 с.
6. Saxena D., Verma K.S., Singh S. N. Power quality event classification: an overview and key issues. International Journal of Engineering, Science and Technology. Vol. 2, No. 3, 2010, P. 186-199.
7. M. Wang, G. I. Rowe, A. V. Manishev, “Classification of power quality events using optimal timefrequency representations, theory and application,” IEEE Trans. Power Del., vol. 19, no. 3, P. 1496–1503, July 2004.
8. Чижма, С. Н. Мониторинг электрических событий в сетях электроснабжения устройств железнодорожной автоматики и телемеханики / С. Н. Чижма, В. С. Циркин, И. Ю. Мацько // Эффективность и безопасность работы электротехнических комплексов и систем автоматики и телемеханики на железнодорожном транспорте: межвуз. темат. сб. науч. тр. / Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск, 2011. – С. 58–64.
9. Math H. J. Bollen, Irene Yu-Hua Gu. Signal processing of power quality disturbances. – John Wiley&Sons Ltd., 2006. – 882 p.

REFERENCES

1. Handbook of power quality. Edited by A. Baggin. John Wiley&Sons Ltd., 2009. 644 p.
2. Sergienko A. B. *Cifrovaja obrabotka signalov* [Digital processing of signals]. SPb, BHV-Peterburg, 2011, 768 p.
3. Yakovlev A. N. *Vvedenie v vejvlet-preobrazovanie* [Introduction to the wavelet transform]. Novosibirsk, Izdatelstvo NGTU, 2003, 104 p.
4. Dobeshi I. *Desjat' lekcij po vejvletam* [Ten lectures on wavelets]. Izhevsk, NIC RHD, 2001, 464 p.
5. Petuhov A. P. *Vvedenie v teoriju bazisov vpleskov* [Introduction to the theory of bases of wavelets]. SPb., Izd-vo SPbGU, 1999, 132 p.
6. Saxena D., Verma K. S., Singh S. N. Power quality event classification: an overview and key issues. International Journal of Engineering, Science and Technology. Vol. 2, no. 3, 2010, pp. 186-199.
7. Wang M., Rowe G. I., Manishev A. V. Classification of power quality events using optimal time frequency representations, theory and application. IEEE Trans. Power Del., vol. 19, no. 3, pp. 1496-1503, July 2004.
8. Chizhma S. N., Tsirkin V. S., Matsko I. U. Monitoring jelektricheskikh sobytij v setjah jelektrosnabzhenija ustrojstv zheleznodorozhnoj avtomatiki i telemehaniki [Monitoring of electrical events in power supply networks of railway automation and

telemechanics devices]. *Effektivnost' i bezopasnost' raboty elektrotehnicheskikh kompleksov i sistem avtomatiki i telemehaniki na zheleznodorozhnom transporte: mezhvuzovskiy tematicheskii sbornik nauchnykh trudov* [Efficiency and safety of electrotechnical complexes and systems of automation and telemechanics on railway transport: Interuniversity thematic collection of scientific works]. Omskiy gos. un-t putey soobshcheniya, Omsk, 2011, pp. 58-64.

9. Math H. J. Bollen, Irene Yu-Hua Gu. Signal processing of power quality disturbances. John Wiley&Sons Ltd., 2006, 882 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Чижма Сергей Николаевич – Балтийский федеральный университет им. И. Канта; доктор технических наук, профессор; E-mail: SCHizhma@kantiana.ru

Chizhma Sergey Nikolaevich – Immanuel Kant Baltic Federal University; Doctor of Technical Sciences, Professor; E-mail: SCHizhma@kantiana.ru

Молчанов Сергей Васильевич – Балтийский федеральный университет им. И. Канта; кандидат физико-математических наук, доцент; E-mail: SMolchanov@kantiana.ru

Molchanov Sergey Vasilievich – Immanuel Kant Baltic Federal University; PhD in Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor; E-mail: SMolchanov@kantiana.ru

Руднев Глеб Сергеевич – Балтийский федеральный университет им. И. Канта; аспирант; E-mail: GRudnev@kantiana.ru

Rudnev Gleb Sergeevich – Immanuel Kant Baltic Federal University; post-graduate student; E-mail: GRudnev@kantiana.ru

ЕСТЕСТВЕННЫЕ И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 006.72

ПРОГРАММА МНОГОУРОВНЕВОГО СИНТЕЗА ПРОЦЕССОВ
КОГНИТИВНОГО МОНИТОРИНГА

Н. А. Жукова, С. А. Подкорытов, А. И. Водяхо, А. Б. Тристанов, Н. В. Климов

THE PROGRAM OF MULTI-LEVEL SYNTHESIS OF COGNITIVE MONITORING
PROCESSES

N. A. Zhukova, S. A. Podkorytov, A. I. Vodyakho, A. B. Tristanov, N. V. Klimov

Представлена программа, предназначенная для синтеза последовательности действий, обеспечивающих мониторинг сложных технических объектов, в ходе которого осуществляется сбор данных о наблюдаемых объектах, их обработка и представление в виде, необходимом для возможности принятия обоснованных управленческих решений. При этом предусматривается формирование многоуровневых условий автоматического синтеза, доказательство процессов мониторинга и извлечение процессов из доказательства. Программный продукт разработан с использованием языков JavaScript EcmaScript 6, HTML 5.0, CSS 3. Платформа имеет веб-интерфейс, который поддержан для веб-обозревателей Google Chrome 68 и выше, Internet Explorer 11 и выше, Mozilla Firefox 50 и выше.

системы мониторинга, когнитивные системы, программы синтеза

The program has been designed to synthesize a sequence of actions that provide monitoring of complex technical objects. During the monitoring, data on the observed objects are collected, processed and presented in the form necessary to make grounded management decisions. It provides for the formation of multi-level conditions of automatic synthesis, proof of monitoring processes and extraction of processes from the evidence. The platform has been developed using JavaScript EcmaScript 6, HTML 5.0, CSS 3. The platform has a web interface that is supported for web browsers Google Chrome 68 and above, Internet Explorer 11 and above, Mozilla Firefox 50 and above.

monitoring systems, cognitive systems, synthesis programs

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время во многих прикладных областях наблюдается увеличение интереса к когнитивным искусственным системам, способным реализовывать некоторые из когнитивных функций, свойственных естественным организмам [1-8]. Одной из таких областей является область мониторинга сложных технических объектов [9]. Большинство из применяемых в настоящее время систем мониторинга ориентированы на работу с его типовыми процессами. Их возможности по мониторингу сложных объектов в постоянно изменяющихся условиях ограничены. Оказываются востребованными когнитивные системы мониторинга, способные строить и перестраивать процессы мониторинга на основе данных, посту-

пающих от наблюдаемых объектов, а также данных об окружающей среде, технических средствах сбора данных.

По мнению большинства исследователей, одним из наиболее перспективных подходов к построению когнитивных систем является нейросетевой [10-12]. Однако для решения задач мониторинга требуются большие нейронные сети. Для них необходимы значительные ресурсы, которые на практике отсутствуют. Можно ожидать, что впоследствии будут созданы новые нейросетевые модели, способные решить эту проблему. В настоящее время представляется целесообразным применение подхода, основанного на ассоциативных моделях [13]. Они позволяют описывать наблюдаемые объекты в виде совокупности информационных элементов и связей между ними. Подход к когнитивному мониторингу на основе ассоциативных моделей предусматривает синтез процессов мониторинга на основе связей, которые определены в моделях объектов. Этот метод достаточно хорошо проработан [14-17]. Решение проблемы сложности в данном случае обеспечивается за счет новых многоуровневых моделей синтеза. В статье описывается программа, позволяющая синтезировать многоуровневые процессы мониторинга на машинном уровне. Программа предназначена для использования в составе существующих систем мониторинга.

СИНТЕЗ ПРОЦЕССОВ КОГНИТИВНОГО МОНИТОРИНГА

Большинство современных ассоциативных моделей наблюдаемых объектов представлены в виде автоматных моделей. Синтезируемые процессы – это процессы, определяющие способы возможного перехода объекта из исходного состояния в требуемое. Как правило, исходное состояние описывается в виде совокупности значений измеряемых параметров объекта, которая может соответствовать как его исправному состоянию, так и неисправному. В качестве целевого может приниматься исправное состояние объекта или состояние при наличии известной ошибки. В первом случае в результате синтеза доказываемся переход в исправное состояние. Если доказательство невозможно, определяются условия, при которых доказательство может стать возможным. Применительно к мониторингу объектов это соответствует выявлению отдельных неисправных элементов в объекте, т. е. локализации неисправности. Во втором случае подтверждается наличие ошибки или устанавливается, что она отсутствует.

Описание моделей мониторинга включает описание входных и выходных данных, условий и функций перехода автомата из одного состояния в другое. При программной реализации моделей мониторинга для описания ОКА используется высокоуровневый язык (нотация) JSON (JavaScript Object Notation).

Входные и выходные данные представляют собой множество исходных и результирующих фактов. Они задаются в виде массива произвольных переменных. Например, входные данные могут иметь вид: [a1, b1, c1], где a1, b1, c1 – некоторые факты.

Условия перехода задаются в виде логических выражений и могут быть как статическими (заданными изначально), так и динамическими, т. е. переопределяться на каждом шаге синтеза.

Функции перехода F из одного состояния в другое задаются в виде JSON-объекта следующей структуры:

```
{ "args": ["a1", "b1" ],
```

```

    "conditions": "a1 < 10",
    "result": "c2",

```

```

},

```

где *args* – это входные данные функции. Они определяют факты, которые необходимы для выполнения перехода; *result* – результат выполнения функции. Результатом выполнения может быть один или несколько новых фактов; *conditions* – условия в форме логического выражения, определяющие возможность применения функции.

Уровни моделирования задаются в виде иерархичной графовой структуры (“дерево” или “лес”) в следующем виде:

```

[
  { "functions": [F1, F2],
    "id": "baad85ac-1733-4f25-9609-e335807bbb4c",
    "level": 1,
    "number": 1,
    "parent": null
  },
  ...
],

```

где *functions* – это набор функций перехода, определенных на уровне; *id* – уникальный идентификатор элемента уровня; *level* – порядковый номер уровня; *number* – порядковый номер элемента на уровне; *parent* – опциональный идентификатор родительского элемента с вышестоящего уровня.

При описании многоуровневых моделей выходные факты, доказанные на дочерних уровнях, могут быть использованы в качестве входных фактов при описании функций перехода как на своем, так и на родительских уровнях.

Таким образом, задача синтеза сводится к нахождению такой последовательности функций *F*, которая позволяет доказать факты, определяемые выходными данными, при наличии фактов, заданных в виде множества входных данных.

Для нахождения последовательности функций среди всех элементов первого уровня производится поиск функций перехода, позволяющих доказать целевые факты. При наличии таких функций выполняется рекурсивный поиск обратного пути. При этом для всех входных фактов определяются возможные пути их получения с использованием функций перехода, определенных на текущем уровне. Если на каком-то шаге не удалось доказать необходимый исходный факт исходя из целевых фактов, производится переход на уровень ниже, где осуществляется новая попытка доказательства, но уже с использованием функций, определенных на более низком уровне. Такой спуск может производиться, пока не будет достигнут нулевой уровень. В случае успешного нахождения производится реверсирование получившегося списка шагов с исключением дублирующих элементов. Итоговый путь определяет последовательность действий, которые должны выполняться при мониторинге. Синтезированные процессы описываются формальными моделями, что позволяет их передавать во внешние системы для исполнения.

Ниже приводятся основные шаги алгоритма.

1. Выполняется поиск пути, позволяющего доказать целевой факт на первом уровне моделирования:

1.1. Среди всех входных фактов уровня осуществляется поиск целевого факта. Если такой факт найден, то возвращается управление.

1.2. Если целевой факт не найден, то среди функций перехода определяются те, у которых выходные данные включают целевой факт.

1.3. Если функция найдена, то выполняется проверка возможности ее применения. Возможность применения определяется заданными для этой функции условиями применения.

1.4. Если условия ее применения выполнены, то функция добавляется в текущий путь, а для каждого входного факта функции производится аналогичный рекурсивный поиск пути.

1.5. Если условия применения функции не удовлетворены или функция не найдена, производится аналогичный рекурсивный поиск пути к целевому факту на всех дочерних уровнях.

1.6. Если путь к целевому факту на дочерних уровнях найден, то он включается в текущий путь. Если не найден, то поиск завершается. Результатом поиска является пустой путь.

2. В случае, если найден непустой путь, позволяющий доказать целевой факт на основе исходных фактов, то восстанавливается прямой ход – реверсивно меняется порядок функций в найденном пути с исключением шагов-дубликатов. Фрагмент псевдокода, реализующего алгоритм, приведен ниже.

```
// доказать факт target исходя из имеющихся функций перехода item
// @recursive
function process(item, target) {
  const { functions } = item;
  // найти первую функцию перехода, результатом которой является result
  function getFunctionLeadsTo(result) {
    // среди всех функций найти ту, которая удовлетворяет текущим
    // условиям и выходной факт которой - result
    return _find(functions, (f) => {
      return isConditioned(f, finalTarget.conditions) && f.result == result; }); }

  // @recursive
  function findPath(result) {
    console.debug(`finding path to ${result}`);
    let localSteps = [];
    // если результирующий факт найден среди исходных фактов - вернуть
    // пустой путь
    if (finalTarget.from.indexOf(result) > -1) {
      return localSteps; }

    const lastFunction = getFunctionLeadsTo(result);
    if (lastFunction) {
      // для каждого входного факта функции найти существующий путь к нему
      const prevSteps = _flatten(lastFunction.args.map(findPath));
      // просуммировать найденные шаги с предыдущими
      localSteps = [...prevSteps, lastFunction];
    }
  }
}
```

```

} else {
  const childItems = getChildItems(item);
  let isFound = false;
  // не найдена последняя функция; проверить все дочерние элементы
  for (let i = 0; i < childItems.length; i++) {
    // проверить очередной элемент
    const prevSteps = process(childItems[i], result);
    if (prevSteps) {
      // найден дочерний путь
      localSteps = prevSteps;
      isFound = true;
      break; } }
    if (!isFound) {
      throw new Error(`not found any function or item that leads to ${result}`);}
    return localSteps; }

try {
  const path = findPath(target);
  const resultPath = [];
  // проверить наличие дублирующих функций
  path.forEach(f) => {
    if (resultPath.indexOf(f) === -1) {
      resultPath.push(f);
    } else {
      // функция уже имеется
    } });
  return resultPath;
} catch (e) {
  // невозможно найти путь к текущему целевому факту
  return null; } }

// найти корневой элемент
const rootItem = _find(items, (i) => {
  return !i.parent; });

if (!rootItem) {
  // корневой элемент не найден; невозможно найти путь
  return null; }

// найти путь из корневого элемента к целевому факту
return process(rootItem, finalTarget.to);}

```

Предлагаемый алгоритм целесообразно применять в случаях, когда поиск пути осуществляется по многим уровням. Если поиск проводится на одном уровне, то алгоритм сводится к алгоритму поиска в глубину (Depth-first search, DFS). Его сложность составляет $O(|E|+|V|)$, где E и V – множество функций и фак-

тов соответственно. Следует отметить, что функции определены таким образом, что при поиске циклов не возникает.

В случаях когда поиск необходимо проводить на n уровнях, алгоритм DFS требуется запускать n раз. В предположении, что все уровни схожи друг с другом, число запусков алгоритма DFS на уровне m составляет n^{m-1} . Тогда, если i -й уровень содержит E_i и V_i функций и фактов, то общее количество шагов при поиске равно с $i=0..m-1 n^i E_i + V_i$, где c – некоторая константа. При этом если бы DFS применялся для поиска по полному набору функций и фактов, то понадобилось бы с $i=0..m-1 n^i E_i + V_i$ шагов.

Полученные оценки позволяют сформулировать целесообразные условия применения предлагаемого алгоритма. Одним из таких условий является достаточно быстрое убывание величины $E_i + V_i$ при увеличении числа n , например, зависимость между числом уровней и числом функций и вершин может носить экспоненциальный характер. Другое условие определяется вероятностями перехода на более высокие уровни. Для этого требуется построение функции распределения количества переходов от вероятностей переходов на некоторое число более высоких уровней.

РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОГРАММЫ МНОГОУРОВНЕВОГО СИНТЕЗА В СИСТЕМАХ МОНИТОРИНГА

Предлагаемая программа многоуровневого синтеза предназначена для реализации в составе существующих систем мониторинга. Рассмотрим высокоуровневую схему программной системы мониторинга, способной к многоуровневому синтезу (рис. 1). В состав такой системы входят подсистемы типовые для систем мониторинга, а также дополнительная подсистема - подсистема многоуровневого синтеза.

Подсистема формирования запроса обеспечивает автоматическое либо инициативное (по команде пользователя) формирование запроса на управляющее воздействие. Запросы могут формироваться автоматически на основе результатов обработки параметров, поступающих от наблюдаемого объекта или по приходящим от него тревожным извещениям. Инициативное формирование предусматривает поступление команды от пользователя системы.

Подсистема получения событий позволяет получать и агрегировать данные, поступающие от внешних систем о событиях, происходящих на наблюдаемых объектах, а также иные данные, связанные с изменением состояния объектов мониторинга.

Подсистема синтеза процессов мониторинга реализует синтез процессов мониторинга по запросу на основе текущего и целевого состояний объекта наблюдения.

Подсистема управляющего воздействия принимает на вход синтезированный процесс мониторинга и реализует его посредством выполнения указанных в нем шагов.

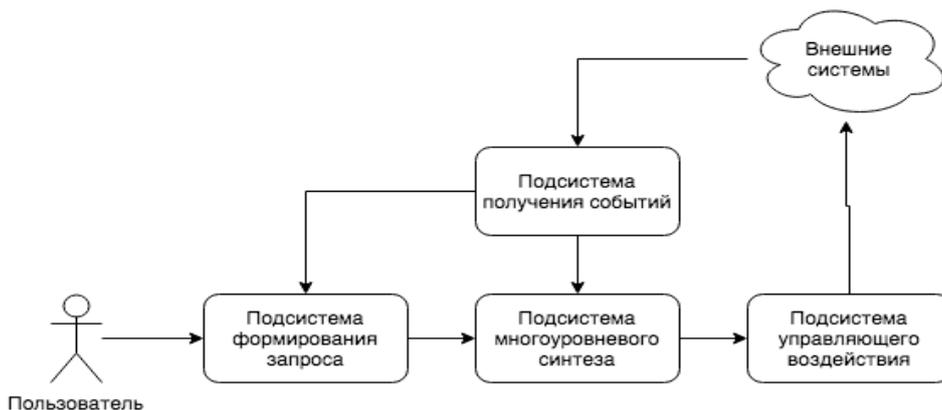


Рис. 1. Структурная схема программной системы мониторинга
 Fig. 1. Block diagram of the program monitoring system

Элементы рассмотренной системы являются слабо связанными между собой и могут реализовывать поддержку любых коммуникационных протоколов, различные механизмы развёртывания и масштабирования. Это позволяет интегрировать рассмотренную систему в существующие инфраструктуры мониторинга.

Прототип системы мониторинга реализован в виде простого веб-приложения. Работа с веб-приложением возможна через веб-обозреватели Google Chrome 68 и выше, Internet Explorer 11 и выше, Mozilla Firefox 50 и выше.

При разработке прототипа использовались языки JavaScript EcmaScript 6, HTML 5.0, CSS 3.

ПРИМЕР МНОГОУРОВНЕВОГО СИНТЕЗА ПРОЦЕССОВ МОНИТОРИНГА

Рассмотрим пример синтеза процессов мониторинга для некоторого технического объекта. Пусть в состав объекта входят две системы, в каждую из них – три подсистемы, а каждая из подсистем характеризуется четырьмя параметрами. Такой объект будет иметь трехуровневую модель, показанную на рис. 2. Для объекта установлены связи между системами и подсистемами, а также между подсистемами и параметрами. Будем считать, что объект исправен, если все его системы исправны. В свою очередь, системы исправны, если исправны их подсистемы. Исправность подсистем определяется значениями параметров и их допускowymi диапазонами.

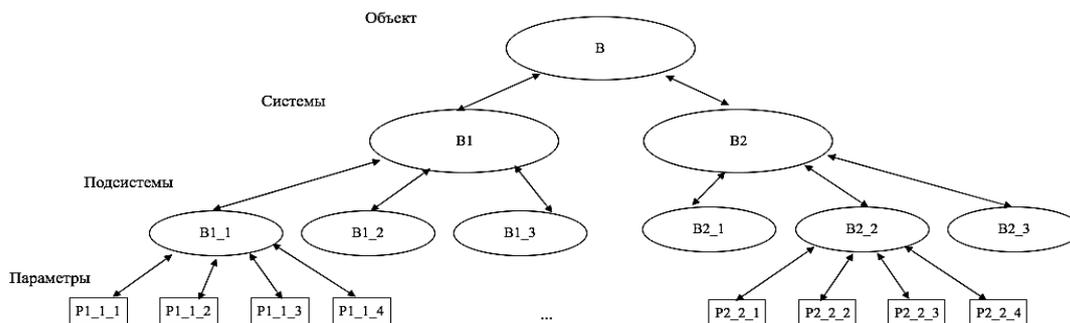


Рис. 2. Пример трехуровневой модели
 Fig. 2. Example of a 3-level model

начальное состояние $\rightarrow s \rightarrow w$
 целевое состояние
 значения параметров $pB1=1, pB2=0, pB1_1=1, pB1_2=0, pB1_3=0,$
 $pP1_1_1=0, pP1_1_2=0, pP1_1_3=0,$
 $pP1_1_4=0;$
 доказательство $F(s) \rightarrow B1;$
 $F(B1) \rightarrow B1_1$
 $F(B1_1) \rightarrow P1_1_1;$
 $F(P1_1_1) \rightarrow P1_1_2 (pP1_1_1=0);$
 $F(P1_1_2) \rightarrow P1_1_3 (pP1_1_2=0);$
 $F(P1_1_3) \rightarrow P1_1_4 (pP1_1_3=0);$
 $F(P1_1_4) \rightarrow B1_2 (pP1_1_4=0);$
 $F(B1_2) \rightarrow B1_3 (pB1_2=0)$
 $F(B1_3) \rightarrow B2 (pB1_3=0)$
 $F(B2) \rightarrow w (pB2=0)$

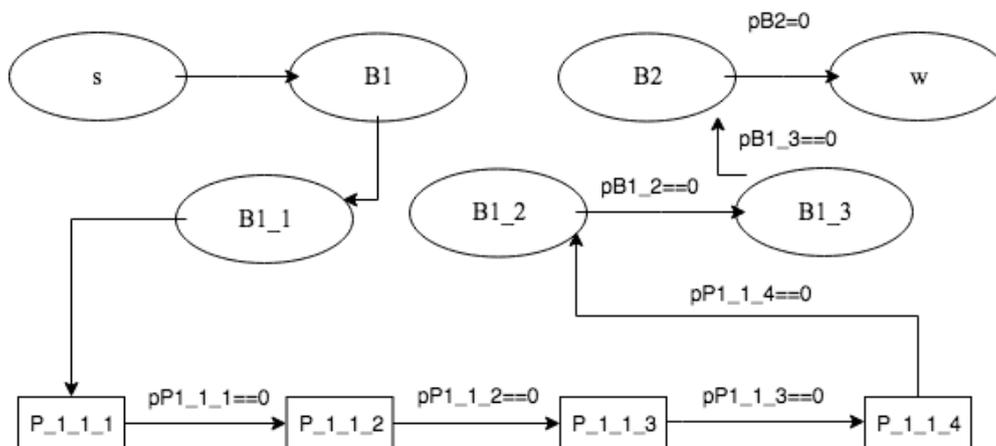


Рис. 4. Иллюстрация доказательства исправности объекта (пример 2)
 Fig. 4. Illustration of the object operability proof (example 2)

В случае если одна из систем, например $B2_2$, неисправна, о чем свидетельствует полученное значение параметра $B2_2_3$, то доказательство оказывается невозможным:

начальное состояние $\rightarrow s \rightarrow w$
 целевое состояние
 значения параметров $pB1=0, pB2=1, pB2_1=0, pB2_2=1, pB1_3=0,$
 $pP2_2_1=0, pP1_1_2=1, pP1_1_3=0,$
 $pP1_1_4=0;$
 доказательство $F(s) \rightarrow B1;$
 $F(B1) \rightarrow B2 (pB1=0);$
 $F(B2) \rightarrow B2_1;$
 $F(B2_1) \rightarrow B2_2 (pB_2_1);$
 $F(B2_2) \rightarrow P2_2_1;$
 $F(P2_2_1) \rightarrow P2_2_2 (pP2_2_1=0);$
 Дальнейшее доказательство невозможно

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время ведется разработка платформы когнитивного мониторинга. Такая платформа должна позволить строить системы мониторинга для решения достаточно широкого круга прикладных задач. В состав платформы планируется включить наряду с элементами рассмотренной системы мониторинга новые элементы, в том числе реализующие возможности индуктивного синтеза.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Augello, A. Creativity evaluation in a cognitive architecture / A. Augello, I. Infantino, G. Pilato, F. Vella // *Biologically Inspired Cognitive Architectures*. – 2015. – V. 11. – P. 29-37.
2. Lieto, A. Introduction to cognitive artificial systems / A. Lieto, M. Cruciani // *Connection Science*. – 2015. – V.27(2).
3. Kotseruba, I. Review of 40 Years of Cognitive Architecture Research: Core Cognitive Abilities and Practical Applications / I. Kotseruba, J. Tsotsos // *ArXiv:1610.08602 [cs.AI]*. – 2018.
4. Sun, R. The importance of cognitive architectures: an analysis based on CLARION / R. Sun // *Journal of Experimental & Theoretical Artificial Intelligence*. – 2007. – V. 19(2).
5. Fusion paradigms in cognitive technical systems for human–computer interaction / M. Glodek [и др.] // *Neurocomputing*. – 2015. – V. 161.
6. World survey of artificial brains. Part II: Biologically inspired cognitive architectures / B. Goertzel [и др.] // *Neurocomputing*. – 2015. – V. 74 (1-3).
7. Cognitive Control / S. Haykin // *Proceedings of the IEEE*. – 2012. – V. 100 (12).
8. Haykin, S. Cognitive Radar: Step Toward Bridging the Gap Between Neuroscience and Engineering / S. Haykin, Y. Xue, P. Setoodeh. – 2012. – V. 100 (11).
9. Охтилев, М. Ю. Интеллектуальные технологии мониторинга и управления структурной динамикой сложных технических объектов / М. Ю. Охтилев, Б. В. Соколов, Р. М. Юсупов. – Москва: Наука, 2006.
10. Осипов, В. Ю. Прямое и обратное преобразование сигналов в ассоциативных интеллектуальных машинах / В. Ю. Осипов // *Мехатроника, автоматизация, управление*. – 2010. – №7. – С. 27-32.
11. Осипов, В. Ю. Рекуррентная нейронная сеть с двумя сигнальными системами / В. Ю. Осипов // *Информационно-управляющие системы*. – 2013. – № 4 (65). – С. 8-15.
12. Osipov, V. Space-Time Structures of Recurrent Neural Networks with Controlled Synapses / V. Osipov // *Advances in Neural Networks*. – 2016. – Pp. 177-184.
13. Городецкий, В. И. Ассоциативная классификация: аналитический обзор / В. И. Городецкий, О. Н. Тушканова // *Труды СПИИРАН*. – 2015. – Вып. 38. – Ч. 1. – С. 183-203.
14. Osipov, V. About one approach to multilevel behavioral program synthesis for television devices / V. Osipov, A. Vodyaho, N. Zhukova // *International journal of computers and communications*. – 2017. – Vol. 11. – Pp. 17-25.

15. A Inductive Synthesis of the Models of Biological Systems According to Clinical Trials. International Conference on Computational Science and Its Applications (ICCSA 2017). Lecture Notes in Computer Science / V. Osipov [и др.], vol. 10404. Springer, Cham. pp 103-115

16. Осипов, В. Ю. Автоматический синтез программ действий интеллектуальных роботов. Программирование / В. Ю. Осипов. – Москва: ФГУП "Академический научно-издательский, производственно-полиграфический и книгораспространительский центр "Наука". – 2016. – № 3. – С. 47-54.

17. Осипов, В. Ю. Синтез результативных программ управления информационно-вычислительными ресурсами / В. Ю. Осипов // Приборы и системы управления. – 1998. – № 12. – С.24-27.

REFERENCES

1. Augello A., Infantino I., Pilato G., Vella F. Creativity evaluation in a cognitive architecture. *Biologically Inspired Cognitive Architectures*. 2015, vol. 11, pp. 29-37.

2. Lieto A., Cruciani M. Introduction to cognitive artificial systems. *Connection Science*. 2015, vol. 27(2).

3. Kotseruba I., Tsotsos J. Review of 40 Years of Cognitive Architecture Research: Core Cognitive Abilities and Practical Applications. ArXiv:1610.08602 [cs.AI], 2018.

4. Sun R. The importance of cognitive architectures: an analysis based on CLARION. *Journal of Experimental & Theoretical Artificial Intelligence*, 2007, vol. 19(2).

5. Glodek M., Honold F., Geier T., Krell G., Nothdurft F., Reuter S., Schüssel F., Hörnle T., Dietmayer K., Minker W., Biundo S., Weber M., Palm G., Schwenker F. Fusion paradigms in cognitive technical systems for human–computer interaction. *Neurocomputing*, 2015, vol. 161.

6. Goertzel B., Lian R., Arel I., Garis H., Chen S. World survey of artificial brains. Part II: Biologically inspired cognitive architectures. *Neurocomputing*, 2015, vol. 74 (1-3).

7. Haykin S., Fatemi M.; Setoodeh P.; Xue Y. Cognitive Control. *Proceedings of the IEEE*, 2012, vol. 100 (12).

8. Haykin S., Xue Y., Setoodeh P. Cognitive Radar: Step Toward Bridging the Gap Between Neuroscience and Engineering, 2012, vol. 100 (11).

9. Ohtilev M. Yu., Sokolov B. V., Yusupov R. M. *Intellektual'nye tekhnologii monitoringa i upravleniya strukturnoj dinamikoj slozhnyh tekhnicheskikh ob'ektov* [Intelligent technologies for monitoring and control of structural dynamics of complex technical objects]. Moscow, Nauka, 2006.

10. Osipov V. Yu. Pryamoe i obratnoe preobrazovanie signalov v asociativnyh intellektual'nyh mashinah [Forward and reverse signal conversion in associative intelligent machines]. *Mekhatronika, avtomatizaciya, upravlenie*, 2010, no. 7, pp. 27-32.

11. Osipov V. Yu. Rekurrentnaya nejronnaya set' s dvumya signal'nymi sistemami [Recurrent neural network with two signal systems]. *Informacionno-upravlyayushchie sistemy*, 2013, no. 4 (65), pp. 8-15.

12. Osipov V. Space-Time Structures of Recurrent Neural Networks with Controlled Synapses. *Advances in Neural Networks*, 2016, pp. 177-184.

13. Gorodeckij V. I., Tushkanova O. N. Associativnaya klassifikaciya: analiticheskiy obzor [Associative classification: analytical review]. Chast 1. *Trudy SPIIRAN*, 2015, iss. 38, pp. 183-203.

14. Osipov V., Vodyaho A., Zhukova N. About one approach to multilevel behavioral program synthesis for television devices. *International journal of computers and communications*. Vol. 11, 2017, pp. 17-25.

15. Osipov V., Lushnov M., Stankova E., Vodyaho A. Inductive Synthesis of the Models of Biological Systems According to Clinical Trials. *International Conference on Computational Science and Its Applications (ICCSA 2017)*. Lecture Notes in Computer Science, vol. 10404. Springer, Cham. pp 103-115.

16. Osipov V.Yu. Avtomaticheskij sintez programm dejstvij intellektual'nyh robotov. *Programmirovaniye. Izdatel'stvo* [Automatic synthesis of intelligent robot action programs. Programming]. *FGUP "Akademicheskij nauchno-izdatel'skij, proizvodstvenno-poligraficheskij i knigorasprostranitel'skij centr "Nauka"*, Moscow, 2016, no. 3, pp. 47-54.

17. Osipov V.Yu. Sintez rezul'tativnyh programm upravleniya informacionno-vychislitel'nymi resursami [Synthesis of effective programs of information and computing resources management]. *Pribory i sistemy upravleniya*, 1998, no. 12, pp. 24-27.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Жукова Наталья Александровна – Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации Российской академии наук; кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории информационно-вычислительных систем и технологий программирования; E-mail: nzhukova@mail.ru

Zhukova Natalia Alexandrovna – St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences; PhD, Senior Researcher of the Laboratory of Computer-Information Systems and Software Engineering; E-mail: nzhukova@mail.ru

Подкорытов Сергей Алексеевич – Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации Российской академии наук; кандидат технических наук, младший научный сотрудник лаборатории информационно-вычислительных систем и технологий программирования; E-mail: podkorytovs@gmail.com

Podkorytov Sergey Alexeevich – St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences; PhD, Researcher of the Laboratory of Computer-Information Systems and Software Engineering; E-mail: podkorytovs@gmail.com

Водяхо Александр Иванович – Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет; доктор технических наук, профессор кафедры вычислительной техники; E-mail: aivodyaho@mail.ru

Vodyakho Alexandr Ivanovich – St. Petersburg State Electrotechnical University;
Doctor of Science (tech.), Professor of the Department of Computer Science
and Engineering; E-mail: aivodyaho@mail.ru

Тристанов Александр Борисович – Калининградский государственный
технический университет; кандидат технических наук, доцент; зав. кафедрой
информатики и информационных технологий; E-mail: alexander.tristanov@klgtu.ru

Tristanov Alexandr Borisovich – Kaliningrad State Technical University; PhD,
Associate Professor; Head of the Department of Informatics and Information
Technology; E-mail: alexander.tristanov@klgtu.ru

Климов Николай Васильевич – Санкт-Петербургский национальный
исследовательский университет информационных технологий, механики
и оптики; аспирант; E-mail: hocico16@gmail.com

Klimov Nikolay Vasilyevich – St. Petersburg National Research University
of Information Technologies, Mechanics and Optics; post-graduate student;
E-mail: hocico16@gmail.com

УДК 518.5

ЭКОНОМНАЯ ИНТЕРПОЛЯЦИЯ В \mathbb{R}^n

И. А. Пахнатов

COST-EFFECTIVE INTERPOLATION IN \mathbb{R}^n

I. A. Pakhnutov

Рассматриваются некоторые вычислительные аспекты интерполирования в пространствах многих переменных, точнее, конструирования функций $f: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}^n$, $n > 1$, по конечному множеству известных значений. Основным инструментом для этой цели служат варианты напряженных, натуральных и полиномиальных сплайнов. Отмечается существенное упрощение алгоритмизации и вычислительных затрат при использовании равномерных сеток исходных данных.

многомерная интерполяция, численные методы интерполяции

The paper considers some computation aspects of interpolation in multidimensional spaces, such as constructing functions $f: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}^n$, $n > 1$, according to finite set of known values. The computational technique is based mainly on strained, natural and polynomial splines. Massive simplification of both algorithmic and computational processes has been noted, when uniform grids of initial data are used.

multidimensional interpolation, numeric methods of interpolation

Основная задача, рассматриваемая ниже, состоит в конструировании некоторой явной функциональной зависимости $y = f(x)$, $x \in \Omega \subset \mathbb{R}^n$, $n > 1$, удовлетворяющей заданным условиям интерполяции дискретных данных. Здесь точнее было бы иметь в виду именно конструирование поверхностей, нежели интерполирование, хотя обсуждаемые методы, безусловно, используют интерполяцию, поскольку в настоящее время существует довольно много способов продолжить (даже сколь угодно гладко, напр. [1, стр. 203], [2]) дискретные данные на все пространство. Поэтому важным свойством функции, представляющей искомую поверхность, помимо достаточной гладкости является приемлемая вычислительная трудоемкость. Задачей данного сообщения является, таким образом, не обзор существующих методов восстановления функциональных зависимостей в многомерных задачах интерполяции, а обсуждение некоторых вычислительно доступных и достаточно простых в приложениях приемов.

Следует полагать, что если пользователю известен параметрический функциональный класс, которому должна принадлежать исследуемая поверхность, то задача конструирования поверхности сводится к подбору параметров, наилучших с точки зрения выбранной пользователем нормы пространства, т.е. к задаче оптимизации в соответствующем конечномерном пространстве.

Если же на свойства поверхности налагаются лишь требования гладкости, то, в общем, можно использовать подходящую достаточно гладкую функцию φ с компактным носителем (часто в виде параллелепипеда или эллипсоида заданных размеров) типа "мексиканской шляпы" и рассматривать сдвиги этой "шляпы" вида

$$F(t, x, y) = \sum_k c_k \varphi(t - x_k),$$

где коэффициенты $c = \{c_k\}$ выбираются из условий интерполяции $F(x_j, x, y) = y_j, \forall j, x = \{x_j\}$ – дискретное множество точек пространства, в которых известны значения $y_j = y(x_j)$ исследуемой поверхности. Это – линейная задача относительно коэффициентов c , и она решается до конца (см., напр. [3]). Вопрос о погрешности в таком случае, как правило, не возникает – не с чем сравнивать.

С другой стороны, если искомая поверхность достаточно гладкая, то традиционно в окрестности каждой точки \tilde{x} пространства аргументов можно записать формулу Тейлора в виде

$$f(x) = P_k(x) + R_{|k|}(x), x \in \Omega \subset \mathbb{R}^n,$$

где $P_k(x) = \sum_{0 \leq j \leq k} a_j (x - \tilde{x})^j$ – полином степени k (здесь и далее использованы

правила мультииндексной нотации: $j = \{j_s\}, |j| = \sum_s j_s, j! = \prod_s j_s!, x^j = \prod_s x_s^{j_s}, D^a = \frac{\partial^{|a|}}{\partial x^a} = \frac{\partial^{|a|}}{\prod (\partial x_k)^{a_k}}$), $R_{|k|}(x) = o(|x - \tilde{x}|^k)$ – остаточный член. Тогда естественно возникает

вопрос о представлении поверхности в виде полиномов подходящей степени или полиномиальных сплайнов [4], гладко склеенных из многочленов фиксированной степени.

Если множество $x = \{x_k\}$ (назовем его сеткой) невелико (с вычислительной точки зрения), то часто бывает достаточно ограничиться многочленами Лагранжа в форме

$$F(t, x, y) = \sum_k y_k \prod_{j \neq k} \frac{(t - x_j)^T (x_k - x_j)}{\|x_k - x_j\|^2}.$$

Здесь все выписывается явно и не требуется никакой вычислительной "изворотливости". Кроме того, сетка в данном случае может быть совершенно произвольной. Если упорядочить узлы сетки по номерам: $k = 0, 1, \dots, s$ ($\{y_k\}$ – соответствующее множество сеточных значений функции), то интерполяцию по узлам x_m, \dots, x_{m+r} , легко можно выполнить рекурсивно (А. Айткен, [5]):

$$F(t, x, y, m, r) = \begin{cases} y_m, & \text{при } r = 0, \\ \varphi \left(F(t, x, y, m, r-1), F(t, x, y, m+1, r-1), \frac{(t - x_m)^T (x_{m+r} - x_m)}{\|x_{m+r} - x_m\|^2} \right) & \text{при } r > 0, \end{cases}$$

где $\varphi(a, b, s) = (1-s)a + sb$. При больших объемах исходных данных этот путь оказывается (из-за больших колебаний полинома и быстрого накопления погрешностей) совершенно непригодным даже в одномерном случае.

Некоторой альтернативой многочлену Лагранжа служит неполиномиальная линейная модель (охотно используемая в геодезии) взвешенных расстояний вида

$$F(t, x, y) = \sum_k y_k \frac{(\|t - x_k\| + \delta)^{-\beta}}{\sum_j (\|t - x_j\| + \delta)^{-\beta}}$$

при достаточно малом $\delta > 0$ (для избежания сингулярности) и $\beta \geq 1$. Очевидно, точность интерполяции и дифференциальные свойства модели зависят от выбора δ и β (часто полагают $\beta = 2, \delta \in (0.001, 0.1)$).

Основная идея полиномиальных сплайнов как упругой гибкой линейки, проходящей через фиксированные точки плоскости, в различных вариантах переносится на многомерный случай с той лишь разницей, что решение соответствующей вариационной задачи не обязано быть полиномом фиксированной степени. Так, если вместо линейки рассматривать в пространстве упругие тонкие пластинки, то поверхность $S = f(x, y), (x, y) \in \Omega \subset \mathbb{R}^2$, можно искать из условий минимума функционала энергии $T(S) = \int_{\Omega} (S_{xx}^2 + S_{xy}^2 + S_{yy}^2) d\Omega$ и интерполяции $S(x_k, y_k) = z_k, \forall k$ [6], а в общем случае рассматривать функционал

$$T_m(S) = \int_{\Omega} \sum_{|\alpha|=m} \frac{m!}{\alpha!} |D^{\alpha} S(t)|^2 dt,$$

$\Omega \subset \mathbb{R}^n, m > \frac{n}{2}$. Решение этой вариационной задачи должно быть точным на всех многочленах P_{m-1} степени не выше $m-1$ и может быть записано в виде

$$F(t) = P_{m-1}(t) + \sum_k c_k z(m, \|t - x_k\|),$$

где $z(m, \tau) = \begin{cases} \tau^{2m-n} \ln(\tau^2), & \text{если } n \text{ четное,} \\ \tau^{2m-n}, & \text{если } n \text{ нечетное,} \end{cases}$ а множители $\{c_k\}$ и полином P_{m-1}

находятся из условий интерполяции

$$\begin{cases} F(x_k) = y_k, \forall k, \\ \sum_k c_k P_{m-1}(x_k) = 0 \end{cases}$$

(последнее равенство следует из требования точного воспроизведения многочленов, и оно должно выполняться для всех полиномов указанной степени). Таким образом, задача построения гладкой поверхности сводится в данном случае к решению невырожденной (в силу единственности решения вариационной задачи) системы линейных уравнений [7].

Некоторым упрощением является конструкция так называемых натуральных сплайнов [8] нечетной степени $\ell = 2m - 1, m \in \mathbb{N}$, вида

$$S_f(t) = P_{m-1}(t) + \sum_k c_k \|t - x_k\|^p$$

при условиях $S_f(x_k) = y_k, \forall k$, где P_{m-1} – некоторый полином степени $m-1$. Условие $\sum_k c_k P(x_k) = 0$ для всех таких полиномов должно добавляться (как и в предыдущем случае) к условиям интерполяции для корректного отыскания $\{c_k\}$. Уменьшение степени полинома P_{m-1} в сравнении с напряженными сплайнами несколько снижает вычислительные затраты при решении линейных систем уравнений, определяющих параметры модели.

Существенное снижение вычислительных затрат можно получить при использовании равномерных сеток данных: $x_k = x_0 + k \cdot h$ (для каждой координаты аргумента может быть выбран свой шаг сетки). Поскольку шаг по любому направлению фиксирован, можно исходные данные рассматривать на целочисленной сетке, а при окончательном вычислении учитывать размер шага. В этом случае полиномиальный сплайн удобно представить произведением одномерных сплайнов выбранной степени. Так, например, на основе кубического базисного сплайна (B-сплайна) на целочисленной сетке

$$B(t) = \frac{1}{6} \sum_{s=0}^4 (-1)^s \binom{4}{s} (s-t)_+^3, \quad (1)$$

($B(t) > 0$ при $t \in (0, 4)$), где $\varphi(t)_+ = \max\{\varphi(t), 0\}$, можно в двумерном случае, например, взять в качестве базисной функции интерполяции $\beta(x, y) = B(x) \cdot B(y)$, пронумеровать узлы целочисленной сетки по строкам и представить поверхность в виде функции

$$F(u, v) = \sum_{i,j} c_{i,j} \beta(u - x_i, v - y_j) \quad (2)$$

с линейными параметрами $\{c_{i,j}\}$. При этом возникает естественная в таких случаях неопределенность: поскольку базисные сплайны определены во всем пространстве, следует и сеточные значения функции доопределить вне области интерполирования.

При использовании кубических сплайнов (1) ситуация с продолжением сеточных значений существенно упрощается: поскольку $B(t) > 0$ на целочисленной сетке только в узлах $t = 1, 2, 3$, то достаточно по каждой переменной сеточные значения функции продолжить на один узел слева и один узел справа, например, кубическим же полиномом, полагая (в одномерном случае) $y_{-1} = 4y_0 - 6y_1 + 4y_2 - y_3$ (на левом конце) и $y_{N+1} = 4y_N - 6y_{N-1} + 4y_{N-2} - y_{N-3}$ (на правом конце).

Пусть, например, данные для интерполирования на прямоугольной равномерной сетке $\{(x_i, y_j) \in \mathbb{R}^2 : x_i = x_0 + i \cdot h_x, y_j = y_0 + j \cdot h_y, i = 0, \dots, M, j = 0, \dots, N\}$ представлены в виде прямоугольной $(M+1) \times (N+1)$ -матрицы. Продолжив ее указанным выше способом, получим $(M+3) \times (N+3)$ -матрицу данных. Теперь эти данные можно организовать в виде вектора с $(M+3) \times (N+3)$ координатами $X = \{X_v\}_{v=0}^{(M+3) \times (N+3) - 1}$

$$= \left\{ \begin{matrix} X_{1,v} \\ X_{2,v} \end{matrix} \right\}_{v=0}^{(M+3) \times (N+3) - 1}, \text{ где } v = v(i, j) = i(N+3) + j, \forall i, j. \text{ Аналогично и матрицу дан-}$$

ных можно записать в виде вектора $Y = \{Y_v\}_{v=0}^{(M+3)(N+3)-1}$. Тогда условия интерполяции представят систему линейных уравнений

$$\sum_{v=0}^K c_v \beta(p-i, q-j) = Y_u,$$

$u = 0, \dots, K = (M+3)(N+3) - 1$, $p = \left[\frac{u}{N+3} \right]$, $q = u_{\text{mod } N+3}$, $i = \left[\frac{v}{N+3} \right]$, $j = v_{\text{mod } N+3}$, $[\cdot]$ – целая часть числа. Матрица A этой системы имеет блочный трехдиагональный вид [9]:

$$A = \begin{pmatrix} B & 0.25B & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0.25B & B & 0.25B & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.25B & B & 0.25B & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0.25B & B \end{pmatrix},$$

где матрица B имеет такую же структуру:

$$B = \frac{4}{9} \begin{pmatrix} 1 & 0.25 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0.25 & 1 & 0.25 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.25 & 1 & 0.25 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0.25 & 1 \end{pmatrix}.$$

Линейные системы уравнений с такими матрицами легко решаются прогонкой с вычислительными затратами, пропорциональными числу уравнений. При такой регулярной структуре, как у приведенных матриц, нет необходимости в хранении последних. Таким образом, достаточно выполнить прогонку с матрицей A со столбцами матрицы исходных данных в качестве правой части, затем (относительно результата) с матрицей B , и в силу их идентичной структуры численная трудоемкость решения этих систем пропорциональна лишь объему исходных данных, так что последняя модель является наиболее экономной с вычислительной точки зрения. Гладкость результата (непрерывность вторых производных) также вполне удовлетворительна для многих практических приложений. В \mathbb{R}^n , $n > 1$, трудоемкость вычислений растет пропорционально n (т.е. достаточно выполнить n процедур прогонки, сами матрицы вычислять и хранить не нужно).

Рассмотрим следующий модельный пример функции трех переменных (см. подробности в [9]):

$$f(x,y,z) = e^{\frac{z-x}{y^2+1}} \cos(x+0.5y-0.2z),$$

заданной на равномерной сетке параллелепипеда $[0, 1] \times [-1, 1] \times [-0.5, 1]$ с шагом $h_x = \frac{1}{6}$, $h_y = 0.2$, $h_z = 0.3$, полагая $x_i = i \cdot h_x$, $y_j = j \cdot h_y - 1$, $z_k = k \cdot h_z - 0.5$, $i, j, k = 0, 1, \dots$ Запишем в соответствии с предыдущим

$$F(u, v, w) = \sum_{i,j,k} c_{i,j,k} \beta\left(\frac{u-x_0}{h_x} - i + 2, \frac{v-y_0}{h_y} - j + 2, \frac{w-z_0}{h_z} - k + 2\right), \quad (3)$$

где теперь $\beta(x, y, z) = B(x) \cdot B(y) \cdot B(z)$. В результате получим функцию, графически не отличающуюся на указанном параллелепипеде от данной (с максимальной абсолютной погрешностью в заданной области $\varepsilon = 0.054$ при $w = 0$). На рисунке представлены графики сечения функции F при $w = -0.5$, $w = 0$ и $w = 0.5$.

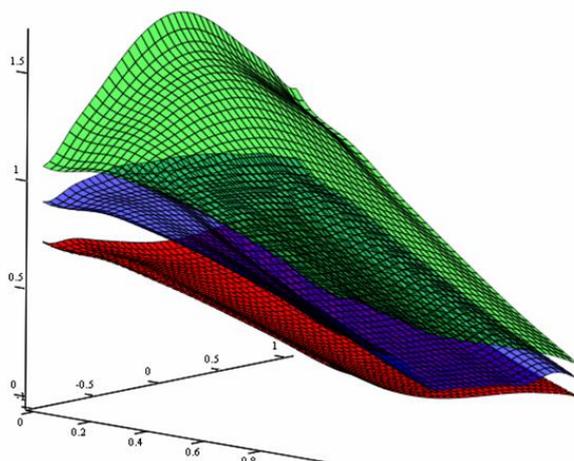


Рис. Сечения $F(u,v,w)$ при $w = -0.5$, $w = 0$ и $w = 0.5$
 Fig. Sections of $F(u,v,w)$ at $w = -0.5$, $w = 0$ and $w = 0.5$

Если коэффициенты $\{c_{i,j,k}\}$ в (3) вычисляются по расширенной таблице данных, то в силу симметрии В-сплайнов сдвигать аргументы $\beta()$ следует не на две, а на три единицы.

Вернемся еще раз к вычислению функции F в (2). Заметим, что В-сплайны $B_n(t)$ степени n , формирующие базис $\beta()$, допускают простое рекурсивное вычисление [8]

$$B_n(t) = \begin{cases} 1 & \text{при } 0 \leq t < 1, \\ 0 & \text{иначе} \end{cases} \quad \text{при } n = 0, \\ \frac{1}{n} [t \cdot B_{n-1}(t) + (n+1-t)B_{n-1}(t-1)] \quad \text{при } n > 0.$$

Однако эта простота полностью поглощается вычислительными затратами: рекурсивно В-сплайн вычисляется в два раза медленнее, чем при его явном представлении. В многомерном пространстве это играет далеко не последнюю роль.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Стейн, И. М. Сингулярные интегралы и дифференциальные свойства функций / И. М. Стейн. – Москва: МИР, 1973. – 342 с.
2. Кравченко, В. Ф. Алгебра логики, атомарные функции и вейвлеты в физических приложениях / В. Ф. Кравченко, В. Л. Рвачев. – Москва: Физматлит, 2006. – 416 с.

3. Уилкинсон, Дж. Х. Справочник алгоритмов на языке АЛГОЛ. Линейная алгебра / Дж. Х. Уилкинсон, К. Райнш. – Москва: Машиностроение, 1976. – 390 с.
4. Квасов, Б. И. Методы изометрической аппроксимации сплайнами / Б. И. Квасов. – Москва: Физматлит, 2006. – 360 с.
5. Hildebrand, F. B. Introduction to NUMERICAL ANALYSIS / F. B. Hildebrand. – New York: Dover Publication, 1987. – 686 p.
6. Василенко, В. А. Сплайн-функции: теория, алгоритмы, программы / В. А. Василенко. – Новосибирск: Наука (СО), 1983. – 215 с.
7. Ашкеназы, В. О. Сплайн-поверхности. Основы теории и вычислительные алгоритмы / В. О. Ашкеназы. – Тверь: ТГУ, 2003. – 82 с.
8. Бор, К. де. Практическое руководство по сплайнам / К. де Бор. – Москва: Радио и связь, 1986. – 305 с.
9. Пахнутов, И. А. Интерполяция (алгоритмический аспект) / И. А. Пахнутов. – Калининград: LAP publishing, 2017. – 121 с.

REFERENCES

1. Stein I. M. *Singulyarnye integraly i differentsialnye svoystva funktsiy* [Singular integrals and differential properties of functions]. Moscow, MIR, 1973, 342 p.
2. Kravchenko V. F. *Algebra logiki, atomarnye funktsii i veyvlety v fizicheskikh prilozheniyah* [Algebra of logic, atom functions and wavelets with applications to physics]. Moscow, Fizmatlit, 2006, 416 p.
3. Wilkinson J. H. *Spravochnik algorytmov na yazyke ALGOL. Lineynaya algebra* [Handbook for automatic computation. Linear algebra]. Moscow, Mashinostroenie, 1976, 390 p.
4. Kvasov B. I. *Metody izogeometricheskoy approksimatsii splaynami* [Isogeometrical approximation methods with splines]. Moscow, Fizmatlit, 2006, 360 p.
5. Hildebrand F. B. Introduction to NUMERICAL ANALYSIS. New York, Dover Publication, 1987, 686 p.
6. Vasilenko V. A. *Splayn-funktsii: teoriya, algoritmy, programmy* [Spline-functions: theory, algorithms, programmes]. Novosibirsk, Nauka (SO), 1983, 215 p.
7. Ashkenazy V. O. *Splayn-poverhnosti. Osnovy teorii i vychislitelnye algoritmy* [Spline-surfaces. Basic theory and computational algorithms]. Tver', TGU, 2003, 82 p.
8. Bor, K. de. *Prakticheskoe rukovodstvo po splaynam* [A practical guide to splines]. Moscow, Radio i svyaz', 1986, 305 p.
9. Pakhnutov I. A. *Interpolyatsiya (algoritmicheskiy aspekt)* [Interpolation in algorithmic aspect]. Kaliningrad, LAP publishing, 2017, 121 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Пахнутов Игорь Александрович – Калининградский государственный технический университет; кандидат физико-математических наук, доцент кафедры высшей математики; E-mail: IA-Pa2010@yandex.ru

Pakhnutov Igor Alexandrovich – Kaliningrad State Technical University; cand. phys.-math. sci., Associate Professor, Department of Higher Mathematics; E-mail: IA-Pa2010@yandex.ru

ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ АПК

УДК 338.46: 368

ПЕРСПЕКТИВЫ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ТРУДА
В ЭКОНОМИКЕ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

Ю. С. Коноплина

PERSPECTIVES OF LABOR PRODUCTIVITY IMPROVEMENT
IN AGRICULTURAL SECTOR

Yu. S. Konoplina

Рассмотрены основные возможности и проблемы в сфере повышения производительности труда в экономике агропромышленного комплекса (АПК). Представлены средства положительного воздействия на проблемы в сфере повышения производительности труда. Проведен анализ функций государственного управления относительно повышения производительности труда в АПК. Представлена классификация стратегий, возможных для применения субъектами хозяйствования в АПК, выделены преимущества и недостатки каждой. Особое внимание уделено проактивной стратегии. Представлена характеристика ее преимуществ в среднесрочной перспективе и приоритетность автономной стратегии в долгосрочной перспективе с учетом принципов устойчивого развития. Проанализирована связь проактивной и автономной стратегий с определением наилучшей доступной технологии. Представлена ее роль в сфере повышения производительности труда. Определены два основных направления государственного регулирования, и представлены параметры их отличий. Рассмотрены факторы, предпосылки и принципы финансирования, определены финансовые и технологические предпосылки в сфере повышения производительности труда в АПК. Обосновано значение принципов финансирования для эффективного повышения производительности труда в АПК. Представлены принципы эффективного государственного регулирования в сфере повышения производительности труда. Определены наиболее важные задачи государственного регулирования в сфере повышения производительности труда в экономике АПК. Обоснована приоритетность стимулирования в составе методов государственного регулирования в сфере повышения производительности труда в АПК.

производительность труда, государственное регулирование, эффективность, развитие экономики

The paper considers main possibilities and problems of labor productivity improvement in agricultural sector. Methods of positive impact upon the problems of labor productivity improvement in agricultural sector have been represented. Functions of public administration in labor productivity improvement in agricultural sector have been analyzed. Classification of labor productivity improvement strategies has been represented. Advantages and disadvantages of each of the labor productivity improvement strategies have been underlined. A special attention has been paid to the proactive labor

productivity improvement strategy. Characteristics of the advantages of the proactive labor productivity improvement strategy has been represented concerning short-term perspective and the priority of the independent labor productivity improvement strategy concerning long-term perspective, taking into consideration principles of sustainable development. Connection between proactive and independent strategies has been analyzed with determination of the best available technology. The role of the best available technology in labor productivity improvement has been represented. Two main directions of government regulation in the sphere of labor productivity improvement have been determined. The parameters of difference between the basic directions of government regulation in the sphere of labor productivity improvement have been represented. The factors, preconditions and financial principles in labour productivity improvement in agricultural sector have been considered. Financial and technological preconditions of labor productivity improvement in agricultural sector have been determined. The importance of financial principles for effective labor productivity improvement in agricultural sector has been grounded. Principles of effective government regulation in the sphere of labor productivity improvement have been represented. The most important tasks of government regulation of labor productivity improvement in agricultural sector have been indicated. The priority of stimulation as a method of government regulation in the sphere of labor productivity improvement in agricultural sector has been substantiated.

labor productivity, government regulation, efficiency, economy development

ВВЕДЕНИЕ

Для современной экономики большое значение имеют тенденции формирования информационной экономики (экономики знаний). Ведущую роль в успешном ее функционировании играет обеспечение достаточного уровня производительности труда и высоких темпов ее повышения [1]. Именно производительность труда в настоящее время определяет конкурентоспособность как субъектов хозяйствования, так и экономики страны в целом [2]. Вопросам повышения производительности труда в ближайшее время будет уделяться все большее внимание в образовательном процессе. Проблематика производительности труда будет иметь существенное значение при формировании смыслового наполнения образовательных программ высшего образования. Вовлеченность в проблематику производительности труда также будет играть все большую роль при формировании имиджа университетов как современных и социально ответственных образовательных учреждений [3]. Главными факторами общественного развития, в большой степени влияющими на производительность труда, являются пространство и время, а значит, и такие организационные инновации, как виртуальные предприятия, кластеры, аутсорсинг [4-6], каждая из которых обладает значительным потенциалом повышения производительности труда. Кроме того, для экономики АПК очень важно обеспечить применение указанных организационных инноваций совместно с развитием деятельности малых и средних предприятий [7]. Указанные организационные инновации, кроме содействия повышению производительности труда, также обеспечивают и дополнительные возможности для подключения малых и средних предприятий к масштабным высокорентабельным инвестиционным проектам, а значит, и для развития их деятельности. Это особенно

актуально для экономики АПК, обладающей существенным потенциалом для успешного функционирования малых и средних предприятий.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Основные возможности повышения производительности труда в экономике АПК состоят в эффективном технологическом обновлении. Распространение новых эффективных технологий требует особого внимания государства и наличия достаточных финансовых ресурсов у субъектов хозяйствования. При этом можно выделить несколько проблемных аспектов: 1) различия в технологических стандартах между странами; 2) необходимость одновременного привлечения нескольких отраслей экономики и внедрения межотраслевых программ для эффективного обновления технологий в АПК; 3) недостаточное использование потенциала малых и средних предприятий для эффективного обновления технологий в АПК. Положительное воздействие на решение данных проблем может оказать более широкое применение лицензионных договоров, партнерских договоренностей или консорциумов, а также развитие отраслевых ассоциаций хозяйствующих субъектов. Каждое из этих средств обладает рядом преимуществ. Договоры лицензирования позволяют небольшим (функционирующим на локальном уровне) компаниям получить доступ к прогрессивным технологиям на взаимовыгодных условиях, поскольку такие компании оказываются в лучшем положении благодаря своему знанию местных условий. Партнерские договоренности или консорциумы позволяют определить межотраслевую стратегию по эффективному технологическому обновлению в экономике АПК, разработать организационно-технологические основы повышения производительности труда в АПК. Отраслевые ассоциации хозяйствующих субъектов дают возможность аккумулировать финансовые ресурсы для решения следующих задач: 1) разработка технологий для повышения производительности труда; 2) обеспечение связи между производителями технологий и хозяйствующими субъектами АПК в условиях одновременного влияния государственного регулирования и рыночной конъюнктуры (проведение переговоров, интерпретация новых нормативных актов); 3) предоставление возможности малым и средним предприятиям перейти от стратегии реагирования на государственное регулирование и рыночную конъюнктуру к стратегии опережения.

Значительный потенциал в повышении производительности труда состоит в максимально полном использовании следующих функций государственного регулирования: 1) подготовка кадрового потенциала для решения проблем повышения производительности труда в АПК; 2) разъяснение и пропаганда необходимости повышения производительности труда как первоочередной задачи экономического развития; 3) обеспечение охраны здоровья и трудоспособности граждан.

Государственное регулирование и влияние рыночной конъюнктуры требуют от субъектов хозяйствования в АПК осуществления мер по повышению производительности труда. Таким образом, стратегии повышения производительности труда определяются исключительно внешним давлением, т. е. имеют характер реагирования. Данную стратегию можно также назвать реактивной. Однако существуют и более эффективные стратегии повышения производительности труда: 1) проактивная (опережающая); 2) автономная (в большинстве случаев не связанная с внешним влиянием и не зависящая от него). В случае проактивной стратегии учитывается наличие внешнего влияния, но основным заданием является не

реакция на него, а опережение развития событий. Автономная стратегия повышения производительности труда полностью опирается на внутренние факторы.

Проактивная стратегия опирается на базовые допущения о возрастании внешнего давления, направленного на повышение производительности труда. В рамках этой стратегии существует возможность для субъектов хозяйствования в АПК получить экономическую выгоду посредством использования преимуществ опережения. Первым допущением проактивной стратегии является то, что внешнее давление относительно стандартов повышения производительности труда в будущем будет только возрастать, а государственное регулирование в этой области становится все более жестким. Второе допущение сводится к тому, что внешнее давление на деятельность субъектов хозяйствования в АПК будет осуществляться более разнообразными способами, чем раньше. Отдельно от государственного регулирования будет возрастать давление со стороны потребителей и инвесторов, которые станут более сознательно относиться к вопросам значимости повышения производительности труда для развития экономики и общества. Третье допущение касается того, что субъекты хозяйствования, которые будут действовать согласно первым допущениям (тенденциям), займут более выгодные позиции на рынке. Проактивная стратегия имеет значительные преимущества. Для опережения внешнего влияния субъектам хозяйствования необходимо разрабатывать и внедрять новые, более прогрессивные с точки зрения производительности труда, технологии (включая и новые организационные технологии или технологии организации труда). Результаты собственных технологических разработок субъекты хозяйствования могут оставить исключительно в своем использовании, и тогда экономические преимущества будут состоять в значительно меньших затратах на соответствие требованиям к производительности труда, чем у субъектов, которые выбрали стратегию реагирования. Однако проактивные субъекты хозяйствования могут и продавать свои знания и технологии в сфере организации труда другим фирмам, и в таком случае их экономические преимущества будут состоять не только в сокращении затрат, но и в получении дополнительных доходов. Разработанная проактивным субъектом хозяйствования более совершенная с точки зрения производительности труда технология может быть признана наилучшей доступной технологией (НДТ). Показатели применения НДТ могут быть использованы при возможном в будущем установлении требований государственного регулирования к производительности труда. Скорее всего, эти требования не будут иметь статуса обязательных для выполнения (по крайней мере, в начале их применения), но будут использоваться в качестве критерия доступа субъектов хозяйствования к различным государственным льготам и программам поддержки. Кроме того, субъекты хозяйствования с проактивной стратегией могут самостоятельно устанавливать график инвестирования средств в новые технологии, и в случае возрастания внешнего влияния им не нужно будет действовать слишком спешно в отличие от фирм, выбравших стратегию реагирования. К тому же, проактивные субъекты хозяйствования будут иметь возможность поддерживать государственные инициативы в сфере производительности труда вместо того, чтобы им оппонировать, а значит, смогут усилить свою репутацию среди потенциальных клиентов и партнеров.

Преимущества проактивной стратегии в сфере производительности труда проявляются не только на уровне субъектов хозяйствования, но и на уровне эко-

номики страны в целом, что обусловлено разницей в государственном регулировании. В странах с более жестким государственным регулированием происходит интенсивное развитие технологий, обеспечивающих повышение производительности труда. Соответственно, со временем появляются возможности экспорта прогрессивных технологий в страны с догоняющим развитием.

Особого внимания с точки зрения устойчивого развития заслуживает потенциал автономной стратегии повышения производительности труда, основой которой является стремление субъекта хозяйствования достигнуть экономических преимуществ благодаря повышению производительности труда, при этом внешнее влияние (как со стороны государственного регулирования, так и со стороны рыночной конъюнктуры) учитывается при принятии решений лишь во вторую очередь. Эта стратегия обладает всеми преимуществами проактивной стратегии, однако благодаря относительной независимости от внешнего влияния и отсутствию привязки (а значит, и некоторого самоограничения) к параметрам возрастания внешнего влияния, данная стратегия способна обеспечить долгосрочную устойчивость развития экономики и повысить вероятность появления прорывных технологий, вызывающих кардинальное повышение производительности труда.

Государственное регулирование в сфере производительности труда имеет два основных направления: 1) политика «создания необходимости»; 2) политика «технологического импульса». Эти два направления государственного регулирования отличаются друг от друга по нескольким параметрам: 1) по основному содержанию регуляторных воздействий; 2) по мотивам, лежащим в основе регуляторных воздействий; 3) по организационно-экономической форме реализации; 4) по условиям применения. Основным содержанием политики «создания необходимости» является формирование обязательных к выполнению требований государственного регулирования относительно достижения субъектами АПК определенного уровня производительности труда, а значит и создание для этих субъектов необходимости ее повышать. В то же время основное содержание политики «технологического импульса» состоит в государственной поддержке научно-исследовательских разработок фундаментального характера, создании технологических предпосылок (или импульса) для решения проблем повышения производительности труда в АПК за счет государственных ресурсов.

Мотивом осуществления политики «создания необходимости» является потребность обеспечить достаточные темпы повышения производительности труда в экономике АПК. Мотивы политики «технологического импульса», помимо мотива, характерного для политики «создания необходимости», также включают в себя необходимость развития субъектов отечественного АПК и максимизации экономических преимуществ (минимизации убытков), обусловленных отличиями в государственном регулировании между странами.

Политика «создания необходимости» имеет такую организационно-экономическую форму, как создание законодательным путем потенциальных убытков для субъектов хозяйствования АПК с недостаточным уровнем производительности труда вследствие наличия финансовой и административной ответственности за несоблюдение требований к уровню производительности труда. Организационно-экономической формой политики «технологического импульса» является предоставление грантов в рамках государственной поддержки разработки новых технологий до стадии испытаний, а также реализация программ госу-

дарственной помощи при оценке и реализации возможностей внедрения технологий, близких к коммерческому воплощению.

Условия применения двух разновидностей государственного регулирования производительности труда в АПК в значительной степени различаются. Так, политика «создания необходимости» имеет большее значение в условиях экономического спада, ограниченности средств государственного бюджета, а политика «технологического импульса» – при устойчивых темпах экономического развития и достаточности государственных финансовых ресурсов.

Рассмотрим факторы, предпосылки и принципы финансирования в сфере повышения производительности труда в АПК. Факторы повышения производительности труда можно разделить на две группы: социальные и экономические. Социальным фактором повышения производительности труда является влияние государства и потребителей. Стремление субъектов хозяйствования уменьшить потенциальные убытки вследствие несоблюдения государственных требований к уровню производительности труда, а также намерение получить экономические преимущества за счет повышения производительности труда выступают в качестве экономических факторов повышения производительности труда.

Для повышения производительности труда в АПК необходимы как финансовые, так и технологические предпосылки. Наличие (доступность) источников финансирования во многом определяет успешность реализации мер, однако при этом необходимо, чтобы исследователи обосновали направления организационно-технологических инноваций для приоритетного финансирования, создали базу наиболее перспективных потенциальных организационно-технологических разработок, что, в свою очередь, также требует финансирования. Таким образом, для создания технологических предпосылок повышения производительности труда в АПК необходимыми являются уже заранее созданные финансовые предпосылки.

С учетом этой обусловленности большое значение имеет разработка принципов финансирования мер по повышению производительности труда. При этом под инвестиционными проектами будем понимать проекты, направленные на создание технологических предпосылок для повышения производительности труда (научно-исследовательские разработки), а также проекты, направленные на практическое применение более совершенных с точки зрения производительности труда технологий и методов организации труда.

Можно выделить три основных принципа финансирования в сфере повышения производительности труда в АПК. Во-первых, стремление к минимуму приведенных затрат для проектов в сфере повышения производительности труда путем инвестирования в максимальном приближении к стадии потребления. Во-вторых, применение таких методов расчета эффективности инвестиционных проектов в сфере повышения производительности труда, которые позволяют выявить не только экономическую, но и социальную эффективность этих проектов. В-третьих, стремление к сокращению доли государственных финансовых ресурсов при выборе источников финансирования для проектов в сфере повышения производительности труда. Из негосударственных источников финансирования более предпочтительными являются банки как финансовые институты, которые способны высокопрофессионально оценивать эффективность и риски. Однако поскольку вопросы повышения производительности труда относятся к стратегически важным для развития экономики, привлечение банков должно сопровождать-

ся государственной поддержкой в виде компенсации им разницы между рыночной и льготной процентной ставкой при кредитовании проектов. Для этого необходимо, чтобы соответствующие проекты были включены в государственную программу повышения производительности труда. Привлечение банков к финансированию этих проектов обеспечивает финансовую дисциплину заемщиков, а также содействует их постепенной адаптации к влиянию рыночной конъюнктуры.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для обеспечения эффективности государственного регулирования в сфере повышения производительности труда в АПК необходимым является соблюдение принципов: 1) экономической эффективности; 2) оптимального сочетания административных, экономических и социальных методов управления; 3) социальной ориентации; 4) концентрации усилий на приоритетных направлениях. К наиболее важным задачам государственного регулирования в сфере повышения производительности труда в АПК можно отнести: 1) создание оптимальных и обоснованных правовых рамочных условий для реализации проектов в сфере повышения производительности труда в АПК; 2) защиту конкурентной среды при реализации программ повышения производительности труда в АПК; 3) сохранение возможностей для свободного принятия экономических решений в условиях реализации программ повышения производительности труда в АПК; 4) содействие опережающему развитию инженерной инфраструктуры, необходимой для реализации проектов повышения производительности труда в АПК; 5) внедрение системы стимулов для реализации проектов в сфере повышения производительности труда в АПК. При этом важно, чтобы государственное регулирование в сфере повышения производительности труда в АПК по своему характеру было преимущественно стимулирующим (при обязательном применении компенсирующих, адаптирующих и противодействующих элементов), поскольку именно такой характер государственного регулирования в наибольшей степени соответствует современным задачам развития экономики.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Коноплина, Ю. С. Производительность труда в условиях информационной экономики / Ю. С. Коноплина // Балтийский экономический журнал. – 2017. – № 4 (20). – С. 50-60.
2. Chan Kim W., Mauborgne R. Blue Ocean Strategy: How to Create Uncontested Market Space and Make Competition Irrelevant. Harvard, Harvard Business School Press, 2005, 215 p.
3. Саванович, С. В. Особенности управления процессом конструирования имиджа образовательного учреждения в сфере высшего образования / С. В. Саванович // Известия БГАРФ. – 2017. – № 1 (39). – С. 28-34.
4. Коноплина, Ю. С. Виртуальные предприятия как особенность постиндустриальной экономики / Ю. С. Коноплина // Балтийский экономический журнал. – 2016. – № 1 (15). – С. 74-83.

5. Котляров, И. В. Формы аутсорсинга в современной международной торговле / И. В. Котляров // *Мировая экономика и международные отношения*. – 2011. – № 6. – С. 65-72.
6. Сомова, Е. В. Промышленные кластеры. Зарождение, функционирование и упадок / Е. В. Сомова // *Мировая экономика и международные отношения*. – 2011. – № 4. – С. 117-121.
7. Лисевич, А. В. Применение кластерного подхода для поддержки малого и среднего предпринимательства / А. В. Лисевич // *Балтийский экономический журнал*. – 2015. – № 1 (13). – С. 103-111.

REFERENCES

1. Konoplina Yu. S. Proizvoditel'nost' truda v usloviyah informacionnoj ekonomiki [Labor productivity in conditions of information economy]. *Baltiiskij ehkonomicheskij zhurnal*, 2017, no. 4 (20), pp. 50-60.
2. Chan Kim W., Mauborgne R. *Blue Ocean Strategy: How to Create Uncontested Market Space and Make Competition Irrelevant*. Harvard, Harvard Business School Press, 2005, 215 p.
3. Savanovich S. V. Osobennosti upravleniya processom konstruirovaniya imidzha obrazovatel'nogo uchrezhdeniya v sfere vysshego obrazovaniya [Peculiarities of image design management in the sphere of higher education]. *Izvestiya BGARF*, 2017, no. 1 (39), pp. 28-34.
4. Konoplina Yu. S. Virtual'nye predpriyatiya kak osobennost' postindustrial'noj ekonomiki [Virtual enterprises as a characteristic feature of postindustrial economy]. *Baltiiskij ehkonomicheskij zhurnal*, 2016, no. 1 (15), pp. 74-83.
5. Kotlyarov I. V. Formy autsorsinga v sovremennoj mezhdunarodnoj torgovle [Forms of outsourcing in modern international trade]. *Mirovaya ekonomika i mezhdunarodnye otnosheniya*, 2011, no. 6, pp. 65-72.
6. Somova E. V. Promyshlennye klastery. Zarozhdenie, funkcionirovanie i upadok [Industrial clusters. Creation, functioning and decline]. *Mirovaya ekonomika i mezhdunarodnye otnosheniya*, 2011, no. 4, pp. 117-121.
7. Lisevich A. V. Primenenie klaster'nogo podhoda dlya podderzhki malogo i srednego predprinimatel'stva [The use of cluster approach for support of small and medium business]. *Baltiiskij ehkonomicheskij zhurnal*, 2015, no. 1 (13), pp. 103-111.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Коноплина Юлия Сергеевна – Институт отраслевой экономики и управления ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»; кандидат экономических наук, доцент кафедры «Отраслевая логистика, маркетинг и коммерция»; E-mail: yuliya.konoplina@klgtu.ru

Konoplina Yuliya Sergeevna – Institute of Sectoral Economy and Management of FSEI HE «Kaliningrad State Technical University»; PhD in Economic Sciences, Associate Professor of the Department of Sectoral Logistics, Marketing and Commerce; E-mail: yuliya.konoplina@klgtu.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. Срок сдачи статей в редакцию – за два месяца до выхода журнала «в свет», график выхода: 1 февраля, 1 мая, 1 августа, 1 ноября. Все присланные статьи проходят проверку системой «Антиплагиат».

В редакцию журнала авторы представляют:

– **распечатку рукописи**, подписанную всеми авторами, и ее электронную версию. Текст рукописи должен полностью соответствовать тексту электронного варианта;

– **внешнюю или внутреннюю рецензию доктора наук** (на стандартном бланке), заверенную подписью и печатью ученого секретаря со словами: «Подпись рецензента такого-то заверяю, должность заверяющего, фамилия, роспись, число». Бланк рецензии можно скачать на сайте университета в разделе «Наука и инновации – Научный журнал». Рецензент должен являться признанным специалистом по тематике рецензируемого материала и иметь в течение последних трех лет публикации по тематике рецензируемой статьи;

– **экспертное заключение** с печатью о степени секретности сведений, содержащихся в статье.

В дальнейшем с автором заключается **Лицензионный договор** и оформляется **Акт передачи – приемки рукописи**.

Объем статьи

Объем статьи составляет от пяти до десяти страниц текста, включая рисунки, таблицы и список литературы.

Структура статьи

– **Введение** (состояние проблемы, задачи исследования) по центру, прописными буквами, кегль 12, шрифт не жирный);

– **Основная часть** (постановка задачи, методы и результаты исследования, их обсуждение – прописными буквами, кегль 12, шрифт обычный). Основную часть рекомендуется разбивать на разделы с названиями, отражающими их содержание;

– **Заключение** (выводы – прописными буквами, кегль 12, шрифт обычный).

Составные части статьи и порядок их следования

1. **Индекс** по универсальной десятичной классификации (УДК) размещается в левом верхнем углу без отступа (прописными буквами, кегль 12, шрифт обычный).

2. Через один интервал по центру – **название статьи** (прописными буквами, кегль 12, шрифт обычный).

3. Через один интервал по центру – **инициалы и фамилия (и) автора (ов)** (кегель 12, шрифт обычный).

4. Через один интервал по центру – **название статьи на английском языке** (прописными буквами, кегль 12, шрифт обычный).

5. Через один интервал по центру – **инициалы и фамилия (и) автора (ов) на английском языке** (кегель 12, шрифт обычный).

6. Через два интервала с отступом Tab. 1,27 – **аннотация** (кегель 12, шрифт обычный, слово «Аннотация» не указывается).

Рекомендуемый объем аннотации 1000-2000 знаков (200-250 слов). В начале не повторяется название статьи, аннотация не разбивается на абзацы. Аннотация должна быть полноценной и информативной, не содержать общих слов, отражать содержание статьи и результаты исследований, строго следовать структуре статьи. Следует избегать использования вводных слов и оборотов, лишних вводных фраз, например, «автор статьи рассматривает...», не нужно подчеркивать личный вклад автора. Исторические справки, если они не составляют основное содержание документа, описание ранее опубликованных работ и общеизвестные положения в аннотации не приводятся. В тексте аннотации следует применять значимые слова из текста статьи, избегать сложных грамматических конструкций. Вводная часть минимальна, место исследования уточняется до области (края). Изложение результатов содержит конкретные сведения (выводы, рекомендации и т.п.). Допускается введение сокращений в пределах аннотации (понятие из 2-3 слов заменяют на аббревиатуру из соответствующего количества букв, в первый раз дается полностью, сокращение – в скобках, далее используется только сокращение). Числительные, если не являются первым словом, передаются цифрами. Нельзя использовать аббревиатуры (например, названий учреждений) без расшифровки и сложные элементы форматирования (например, верхние и нижние индексы). Категорически не допускаются вставки через меню «Символ», знак разрыва строки, знак мягкого переноса, автоматический перенос слов. Значения t° обозначать как «град. С», в английском варианте – как «deg C».

7. С новой строки с отступом Tab. 1,27 – **ключевые слова** со строчной, через запятую (кегель 12, шрифт обычный, курсив, фраза «Ключевые слова» не указывается, точка в конце не ставится).

8. Через два интервала с отступом 1,27 – **аннотация на английском языке** (кегель 12, обычный, слово «Аннотация» не указывается).

Недопустимо использование машинного перевода, вместо десятичной запятой используется точка. Все русские аббревиатуры передаются в расшифрованном виде, если у них нет устойчивых аналогов в английском языке (допускается: ВТО – WTO, ФАО – FAO и т.п.). Безличные конструкции переводятся с использованием пассива.

9. С новой строки с отступом Tab. 1,27 – **ключевые слова на английском языке** со строчной через запятую (кегель 12, шрифт обычный, курсив, фраза «Ключевые слова» не указывается, точка в конце не ставится).

10. Через два интервала с отступом – **текст статьи** (кегель 12), включающий в себя обязательные структурные элементы (см. Структура статьи). **Нельзя использовать в текстах формулы-картинки и прочие искусственно вставленные символы.**

11. Через два интервала после текста статьи по центру **список использованных литературных источников** (прописными буквами, кегль 12, шрифт обычный). 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). Для размещения статьи в международной базе Agris (по рекомендации редактора рубрики) требуется не менее 7-ми источников, среди них должны быть зарубежные авторы.

Образцы оформления списка использованных литературных источников:

Монография

1. Агеев, В. В. Грузопассажирские суда в военных конфликтах: моногр. / В. В. Агеев. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «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-omgpru-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. науч. конф. (25-27 сент.): тр.: к 100-летию высш. рыбохоз. образования в России: в 2 ч. / Федер. Агентство по рыболовству; ФГБОУ ВО «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 строку по центру – список литературы на латинице (должен быть озаглавлен – **references**, прописными буквами, кегль 12, шрифт обычный). Транслитерировать список литературы можно автоматически, зайдя на сайт <http://translit.ru> и выбрав режим BGN (**транслитерируют только после оформления списка по образцу**).

Образцы оформления ссылок:

Монография, книга

1. Shorygin A. A. *Pitanie i pishchevye vzaimootnosheniia ryb Kaspiiskogo moria* [Diet and food relations of fish in the Caspian Sea]. Moscow, Pishchepromizdat Publ., 1952, 268 p.

2. Latyshev V. N., *Tribologiya rezaniya. Kn. 1: Friksionnye protsessy pri rezanie metallov* [Tribology of Cutting, Vol. 1: Frictional Processes in Metal Cutting], Ivanovo, Ivanovskii Gos. Univ., 2009.

Статья в журнале

1. Zagurenko A. G., Korotovskikh V. A., Kolesnikov A. A., Timonov A. V., Kardymon D.V. Techno-economic Optimization of the Design of Hydraulic Fracturing [Tekhniko-ekonomicheskaya optimizatsiya dizaina gidrorazryva plasta]. *Neftyanoe khozyaistvo*, 2008, no.11, pp. 54-57.

2. Sokolov L. I. Pitanie sibirskogo osetra *Acipenser baerii* Brandt r. Leny [Diet of the Siberian sturgeon of the river Lena]. *Voprosy ikhtiologii*, 1966, vol. 6, iss. 3 (40), pp. 550–560.

Статья в электронном журнале

1. Ivanova A. E. Problemy smertnosti v regionakh Tsentral'nogo federal'nogo okruga [Problems of mortality in regions of the Central Federal Okrug]. *Sotsial'nye aspekty zdorov'ya naseleniya*, 2008, no. 2, available at: <http://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 resursosberegayushchie 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 ochildki stochnykh vod i prirodnykh ob"ektov ot poverkhnostno-aktivnykh veshchestv i nefteproduktov. Diss. dokt. biol. nauk* [Biological and technical aspects of microbial purification of sewage and nature objects from surface-active substances and oil products. Dis. dr. biol. sci.]. Saint-Petersburg, 2000, 360 p.

2. Dolganova N. V. *Razrabotka ekologicheski chistykh tekhnologiy belkovykh kormovykh produktov na osnove vtorichnykh resursov. Avtoreferat diss. dokt. tekhn. nauk* [Development of ecological pure technologies of protein feeding products on the basis of water resources. Abstract of dis. dr. sci.]. Saratov, 1997, 54 p.

Переводная книга

1. Timoshenko S.P., Yound D.H., Weaver W. *Vibration problems in engineering*. 4th ed. New York, Wiley, 1974. 521 p. (Russ. Ed.: Timoshenko S.P., Iang D.Kh., Uiver U. *Kolebaniia v inzhenernom dele*. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1985, 472 p.).

13. Через два интервала по центру – **информация об авторе (ах)** (прописными буквами, кегль 12, шрифт обычный). Через интервал по центру дается следующая информация: *Фамилия, имя, отчество автора (курсивом)*, далее прямой шрифт – место работы; научная степень, ученое звание; должность; E-mail (для всех данных кегль 12, точка в конце не ставится); телефон (лучше мобильный, остаётся в редакции, нужен на случай, если у редактора возникнут вопросы по тексту). Через интервал по центру информация дублируется на английском языке.

Образец:

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Петров Иван Иванович – ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»; доктор технических наук, профессор;
зав. кафедрой пищевых и холодильных машин;
E-mail: petrov@mail.ru; тел. 8(905)32-33-333

Petrov Ivan Ivanovich – Kaliningrad State Technical University; Doctor of Technical Sciences, Professor; Head of the Department of Food and Refrigeration Machines;
E-mail: petrov@mail.ru

Кужлева Елизавета Петровна – Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта (г. Калининград); аспирант кафедры
машиноведения и технических систем;
E-mail: roza@bk.ru; тел. 8(952)32-33-654

Kuzhleva Elizaveta Petrovna – Immanuel Kant Baltic Federal University (Kaliningrad); Post-graduate student; Department of Engineering Science and Technical Systems;
E-mail: roza@bk.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 (без отступа) над первой частью таблицы, после номера ставят точку, следом с прописной идет название таблицы, точку в конце не ставят; над другими частями пишут: «Продолжение таблицы», с указанием номера таблицы. Таблица должна быть вставлена автоматически (через «Таблица: Добавить таблицу»). Название таблицы дублируют на английском языке под русским названием, и наоборот, если статья на английском языке (Таблица 1. Table 1.).

Рисунки. Допускаются только черно-белые четкие рисунки, выполненные средствами компьютерной графики или сканированные (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. и т. д. Все рисунки должны быть пронумерованы (Рис. 1. и т. д.) и иметь подрисуночные подписи. Номер рисунка и подрисуночная подпись располагаются под рисунком. Название рисунка дублируют на английском языке под русским названием, и наоборот, если статья на английском языке (Рис. 1. Fig. 1.). Точка в конце подрисуночной подписи не ставится.

Все обозначения на рисунке должны соответствовать обозначениям в тексте. Фотографии должны быть сделаны с хорошего негатива контрастной печатью. Ссылки на все рисунки в тексте обязательны. Ширина рисунка не должна быть больше ширины полосы набора текста.

Если в статье один рисунок или одна таблица, они не нумеруются.

Не допускается заканчивать статью рисунком или таблицей.

Все рисунки и таблицы должны быть расположены по центру полосы набора.

Формулы. Все формулы набираются в формульном редакторе, нумеруются, на них должны быть ссылки в тексте в круглых скобках. Формулы выносятся отдельной строкой после ссылки с отступом два Таб. Номер формулы вводится в круглые скобки и выравнивается вправо. При наборе формул рекомендуется использовать следующие кегли шрифтов: основной – 11; крупный индекс – 7; мелкий индекс – 5; крупный символ – 14; мелкий символ – 10.

Гарнитура шрифта Times New Roman. Для набора математических формул используют буквы латинского алфавита (светлый курсив), греческого алфавита (светлый прямой шрифт) и готический шрифт (светлый прямой). Индексы формул, обозначенные буквами латинского алфавита, набирают курсивом (m_i – масса i -го элемента), а обозначенные буквами русского алфавита – прямым шрифтом (l_p – длина разбега; $V_{\text{пос}}$ посадочная скорость). Сокращенные обозначения физических величин и единиц измерения (кВт, Ф/м, W/m) – светлым прямым без точек. Числа и дроби в формулах должны быть набраны светлым прямым шрифтом. Прямым шрифтом набирают также некоторые математические обозначения (sin, tg; max, min; const; log, det, exp и т. д.). Векторные величины следует обозначать жирным курсивом, а не надсимвольной чертой: \mathbf{e} не \bar{e} . Перенос в формулах допускается делать в первую очередь на знаках (=, », <, > и др.), во вторую очередь – на отточии (...), на знаках сложения и вычитания (+, –), в последнюю – на знаке умножения в виде крестика (×). 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.

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 ВО «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. Страницы не нумеровать.

Адрес редакции:

236022, г. Калининград, Советский проспект, 1,
ФГБОУ ВО «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.

Редакторы: Е. В. Билко, И. В. Голубева, Г. А. Смирнова, Г. Е. Смирнова

Издательство ФГБОУ ВО «КГТУ»
236022, г. Калининград, Советский проспект, 1
Лицензия № 05609 от 14.08.2001
Подписано в печать 31.10.2018. Выход в свет 01.11.2018. Формат 60 x 88 (1/8)
Печ. л. 25,0. Уч.-изд. л. 16,0. Тираж 1000 экз. Заказ № 84.