

ИЗВЕСТИЯ

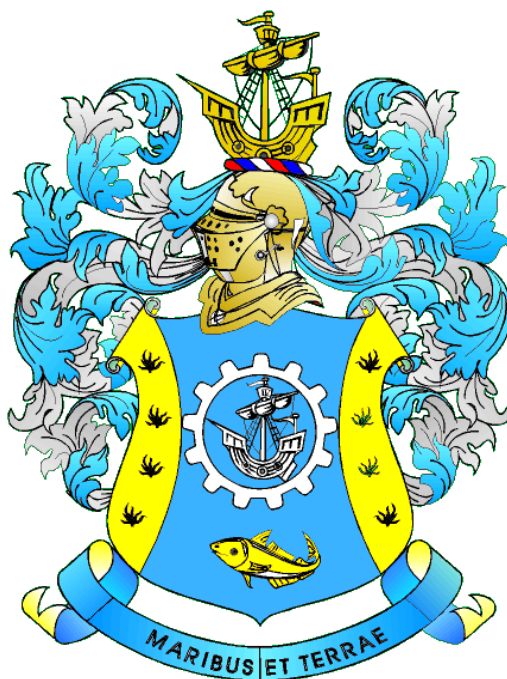
КГТУ

2020

№ 56

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

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ



Индексирование журнала, включение в базы данных

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

Российский индекс научного цитирования (РИНЦ)

Agricultural Research Information System (Agris)

Калининград

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

Научный журнал
Основан в 2002 г.

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

Редакционный совет:

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

С. Т. Антипов, д-р техн. наук, проф., Воронежский государственный университет инженерных технологий, 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;

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

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

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. Наumenко*, 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»,
2020



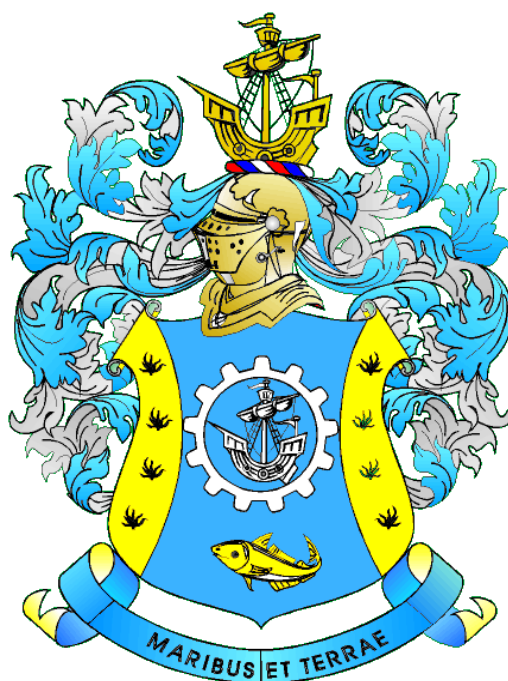
KSTU NEWS

2020

№ 56

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

SCIENTIFIC JOURNAL



Journal index, registration in databases

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

Russian Index of Scientific Citation (RISC)

Agricultural Research Information System (Agris)

Kaliningrad

СОДЕРЖАНИЕ

Биология, экология и рыбное хозяйство

<i>Анциферова О. А., Левицкий А. Д.</i> Результаты мониторинга окисного и закисного железа в почвах холмисто-моренных равнин.....	11
<i>Дубравин В. Ф., Капустина М. В., Ерошенко Д. В.</i> Районирование гидрохимических полей поверхностного слоя Балтийского моря.....	22
<i>Лютиков А. А., Королев А. Е., Остроумова И. Н.</i> Культивирование ранней молоди судака (<i>Sander lucioperca</i>) и окуня (<i>Perca fluviatilis</i>) на искусственных диетах.....	34
<i>Львова Е. Е., Суконнов А. В., Розенштейн М. М., Суконнова Т. Е.</i> Методика экспериментальной оценки износостойкости сетеснастных рыболовных материалов от факторов механического износа.....	48
<i>Недоступ А. А., Ражев А. О.</i> К теории электродинамического подобия промысловых механизмов.....	61

Техника и технология пищевых производств

<i>Бурова Н. В., Подкорытова А. В.</i> Физико-химическая характеристика агара из красных водорослей рода <i>Ahnfeltia</i> : рекомендации по его применению.....	73
<i>Макаров А. В., Максименко Ю. А., Дяченко Э. П.</i> Исследование оптических и терморadiационных характеристик вспененного раствора желатина из отходов переработки рыбы.....	88
<i>Максимова С. Н., Слуцкая Т. Н., Полещук Д. В., Полещук В. И., Верещагина К. К.</i> Перспективы производства кулинарной продукции из мороженой сардины тихоокеанской (иваси).....	97
<i>Наумов В. А.</i> Влияние температуры и влажности воздуха на рабочие характеристики водокольцевых вакуумных насосов.....	108
<i>Некрасова Ю. О., Мезенова О. Я., Мерзель Й.-Т., Кюн С.</i> Биопотенциал семян кедровой сосны сибирской и его изменения в процессе хранения.....	119

Сельское хозяйство и природопользование

<i>Григорович Л. М., А. Е. Тулунов А. Е.</i> Сравнительная оценка зерновой продуктивности гибридов кукурузы (<i>Zea mays</i> L.) в условиях Калининградской области.....	133
<i>Макаров Б. И., Терещенко Н. Н., Рудмин М. А.</i> Оценка эффективности применения глауконита в качестве удобрения для яровых зерновых.....	143

Судостроение, машиностроение и энергетика

<i>Зобов П. Г., Дектярев А. В., Морозов В. Н.</i> Сравнительный анализ сканирования мелкогабаритных судовых изделий машиностроительной части со сложной внутренней конструкцией при помощи различных моделей 3D-сканеров.....	159
<i>Сутырин В. И., Шинкаренко И. А.</i> Применение демпфирующих материалов в системе амортизации судового механизма.....	172
<i>Чуреев Е. А., Николаев И. И., Злыгостев Д. В., Якута И. В.</i> Проверка судна типа МРБ на статическое воздействие буксирного каната.....	181

Экономика и управление АПК

<i>Мнацаканян А. Г., Огий О. Г., А. Г. Харин А. Г.</i> Состояние и перспективы рынка труда в первичном секторе российского агропромышленного комплекса условиях цифровизации экономики.....	193
---	-----

CONTENT

Biology, Ecology and Fishing Industry

<i>Antsiferova O. A., Levitskiy A. D.</i> Monitoring results of ferric and ferrous iron in soils of hilly-moraine plains.....	11
<i>Dubravyn V. F., Kapustina M. V., Eroshenko D. V.</i> Zoning of hydrochemical fields of the Baltic sea surface layer.....	22
<i>Lyutikov A. A., Korolyov A. E., Ostroumova I. N.</i> Cultivation of the larvae pike-perch (<i>Sander lucioperca</i>) and perch (<i>Perca fluviatilis</i>) on artificial diets....	34
<i>Lvova E. E., Sukonnov A. V., Rozenshtein M. M., Sukonnova T. E.</i> Methods of experimental evaluation of wear resistance of net fishing materials from mechanical wear factors.....	48
<i>Nedostup A. A., Razhev A. O.</i> Revisiting the theory of electrodynamic similarity of commercial fishing mechanisms.....	61

Food Production Techniques and Technology

<i>Burova N. V., Podkorytova A. V.</i> Physical and chemical characterizatics of agar from red algae of the genus <i>Ahnfeltia</i> genus: recommendations for its application.....	73
<i>Makarov A. V., Maksimenko Yu. A., Dyachenko E. P.</i> Study of optical and thermoradiation characteristics of a foam solution of gelatin from fish processing waste.....	88
<i>Maksimova S. N., Slutskaya T. N., Poleshchuk D. V., Poleshchuk V. I., Vereshchagina K. K.</i> Prospects for the culinary products from the frozen pacific sardines (ivasi).....	97
<i>Naumov V. A.</i> Air temperature and humidity effect on the performance of water ring vacuum pumps.....	108
<i>Nekrasova Yu. O., Mezenova O. Ya., Myorzal Y.-T., Kyun S.</i> Biopotential of the seeds of siberian cedar pine and its changes during storage.....	119

Agriculture and Nature Management

<i>Grigorovich L. M., Tulupov A. E.</i> Comparative evaluation of grain productivity of corn (<i>Zea mays</i> L.) hybrids in conditions of the Kaliningrad region.....	133
<i>Makarov B. I., Tereshchenko N. N., Rudmin M. A.</i> Evaluation of the efficiency of the use of glauconite as a fertilizer for spring grain.....	143

Ship Building, Machinery and Power-Engineering

<i>Zobov P. G., Dektyarev A. V., Morozov V. N.</i> Comparatative analysis of the scanning of small-sized shipboard products of an engineering part with a complex internal structure using various models of 3D scanners.....	159
<i>Sutyryn V. I., Shinkarenko I. A.</i> Application of damping materials in the vibration control system of the ship mechanism.....	172
<i>Chureev E. A., Nikolaev I. I., Zlygostev D. V., Yakuta I. V.</i> Checking a SFB-type vessel for static impact of a tow rope.....	181

Economy and Management of agribusiness industry

<i>Mnatsakanyan A. G., Ogij O. G., Kharin A. G.</i> Current state and prospects of the labor market in the primary sector of Russian agriculture in terms of digitalization of the economy.....	193
---	-----

БИОЛОГИЯ, ЭКОЛОГИЯ И РЫБНОЕ ХОЗЯЙСТВО

УДК 631.4

РЕЗУЛЬТАТЫ МОНИТОРИНГА ОКИСНОГО И ЗАКИСНОГО ЖЕЛЕЗА
В ПОЧВАХ ХОЛМИСТО-МОРЕННЫХ РАВНИН

О. А. Анциферова, А. Д. Левицкий

MONITORING RESULTS OF FERRIC AND FERROUS IRON IN SOILS
OF HILLY-MORAINÉ PLAINS

O. A. Antsiferova, A. D. Levitskiy

Исследования реализованы в типичном пахотном агроландшафте Самбийской равнины (Калининградская область). Проведены четыре тура мониторинга (ноябрь 2017 г, апрель, июнь, октябрь 2018 г.) в сезоны с различной степенью увлажнения почв. Изучена динамика подвижного железа в гумусовом горизонте (0 – 20 см) в трех группах почв: буроземах на вершинах холмов, буроземах глееватых на склонах, дерново-глеевых почвах в понижениях. Почвы осушаются системой гончарного дренажа. Содержание окисного (Fe_2O_3) и закисного (FeO) железа определяли в вытяжке 0,1н H_2SO_4 спектрофотометрическим методом с использованием индикатора α - α -дипиридила. Установлены границы содержания разных форм подвижного железа в группах почв разной степени гидроморфизма. В буроземах на вершинах и склонах Fe_2O_3 преобладает над FeO во все сезоны (осень, весна, лето). В дерново-глеевых почвах в ноябре 2017 и в апреле 2018 г. в большинстве ареалов наблюдалась обратная закономерность и развивалось оглеение. Обнаружено сильное пространственное варьирование количества подвижного железа в понижениях в связи с локальными различиями увлажнения, гранулометрического состава и содержания гумуса. Значимая корреляция полевой влажности и подвижного железа выявлена только для дерново-глеевых почв. Из всех изученных почв дерново-глеевые отличались наиболее высоким содержанием FeO (осенью 2017 и весной 2018 г.) и суммы Fe_2O_3+FeO . Это является отражением особенностей их геохимического положения в ландшафте и водного режима. Озимый рапс погибает осенью и весной при содержании закисного железа около 40 мг на 100 г почвы, а летом более 15-20. Показатель Fe_2O_3/FeO необходимо использовать в агроэкологическом мониторинге и экспертизе мелиоративного состояния осушенных почв, моделировании и прогнозировании подвижного железа (вытяжка 0,1н H_2SO_4) в агроландшафтах при различных климатических сценариях.

подвижное (0,1н H_2SO_4) окисное и закисное железо, мониторинг, буроземы, дерново-глеевые почвы, показатель Fe_2O_3/FeO , озимый рапс, критическое содержание FeO

The studies have been carried out in a typical arable agricultural landscape of the Sambian plain (Kaliningrad region). Four monitoring rounds have been conducted (November 2017, April, June, October 2018) in seasons with varying degrees of soil moisture. Dynamics of free iron in humus horizon (0-20 cm) in three groups of soils has

been studied: brown soils on the tops of hills, gleyic brown soils on slopes, soddy-gley soils in depressions. Soils are drained with a system of clay drainage. The content of ferric (Fe_2O_3) and ferrous (FeO) iron has been determined in an extract of 0.1 n H_2SO_4 by aspectrophotometric method using α - α -dipyridyl indicator. The boundaries of the content of different forms of free iron in soils of different degrees of hydromorphism have been established. In brown soils on the tops of hills and slopes Fe_2O_3 prevails over FeO in all seasons (autumn, spring, summer). In soddy-gley soils in November 2017 and April 2018, the reverse pattern was observed in most areas, and gleying was developing. A strong spatial variation of the amount of free iron in the depressions has been found due to local differences in wetting, granulometric composition and humus content. A significant correlation of field moisture and free iron has been revealed only for soddy-gley soils. Of all the studied soils, soddy-gley soils have showed the highest content of FeO (autumn 2017 and spring 2018) and the amount of $\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{FeO}$. This is a reflection of the features of their geochemical position in the landscape and water regime. Winter rape dies when the content of ferrous iron is about 40 mg per 100 g of soil in autumn and spring and in summer- more than 15-20. The $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ index should be used in agroecological monitoring and examination of the reclamation state of drained soils, modeling and forecasting of mobile iron (extract 0.1n H_2SO_4) in agricultural landscapes under different climatic scenarios.

free (an extract of 0.1 n H_2SO_4) ferric and ferrous iron, monitoring, brown soils, soddy-gley soils, $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ index, winter rape, critical FeO content

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность изучения различных форм (валового, силикатного, несиликатного, подвижного) железа в почвах объясняется его многообразным влиянием на режимы, процессы, свойства и морфологию [1-5]. Железо является основным элементом процесса оглеения, в результате которого в почвах формируются признаки гидроморфизма [2-3]. Наличие у железа окисных (Fe^{3+}) и закисных (Fe^{2+}) соединений требует изучения закономерностей их динамики в годичном цикле при различном увлажнении, что позволит разработать шкалы и индексы экологического состояния почв.

В Калининградской области исследование подвижного железа в почвах находится на начальном этапе [6]. Направление имеет большие перспективы как теоретического, так и прикладного характера с учетом проблемы состояния осушенных почв в условиях климатических изменений.

Цель работы: выявить закономерности динамики подвижного кислоторастворимого (0,1 n H_2SO_4) железа в пахотных почвах разной степени гидроморфизма.

Задачи: 1) провести мониторинг подвижного железа в пахотном горизонте (0 - 20 см); 2) выполнить статистическую обработку результатов и определить границы содержания окисного, закисного железа и их суммы; 3) рассчитать отношение окисного железа к закисному в почвах на различных элементах рельефа; 4) установить критический уровень закисного железа, приводящий к гибели посевов сельскохозяйственных культур.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Ключевой участок («Перелески») находится в окрестностях пос. Холмогоровка Зеленоградского района Калининградской области в пределах Самбийской равнины. Поле имеет холмистый рельеф, контрастный почвенный покров и осушается системой закрытого гончарного дренажа. Агрохимическая характеристика почв приведена ранее [7]. Общий фон пахотного горизонта кислый (pH_{KCl} 4,5 – 4,6). В период исследований (осень 2017 – июль 2018 гг.) на поле возделывался озимый рапс, в сентябре 2018 г. проведены распашка и посев озимой пшеницы. Исследования выполнены на 12 площадках, расположенных на разных почвах и элементах рельефа: четыре на вершинах холмов (буроземы супесчаные и легкосуглинистые неоглеенные и глееватые), четыре на склонах (буроземы супесчаные и легкосуглинистые разной степени оглеения), четыре в понижениях (дерново-глеевые почвы) (рисунок).

Содержание железа изучалось в гумусовом горизонте (0 – 20 см), который в данном случае является пахотным. На каждой площадке буровым способом отбирались пробы из слоев 0 – 10 и 10 – 20 см. Мониторинг осуществляли в ноябре 2017 г, апреле, июне и октябре 2018 г.

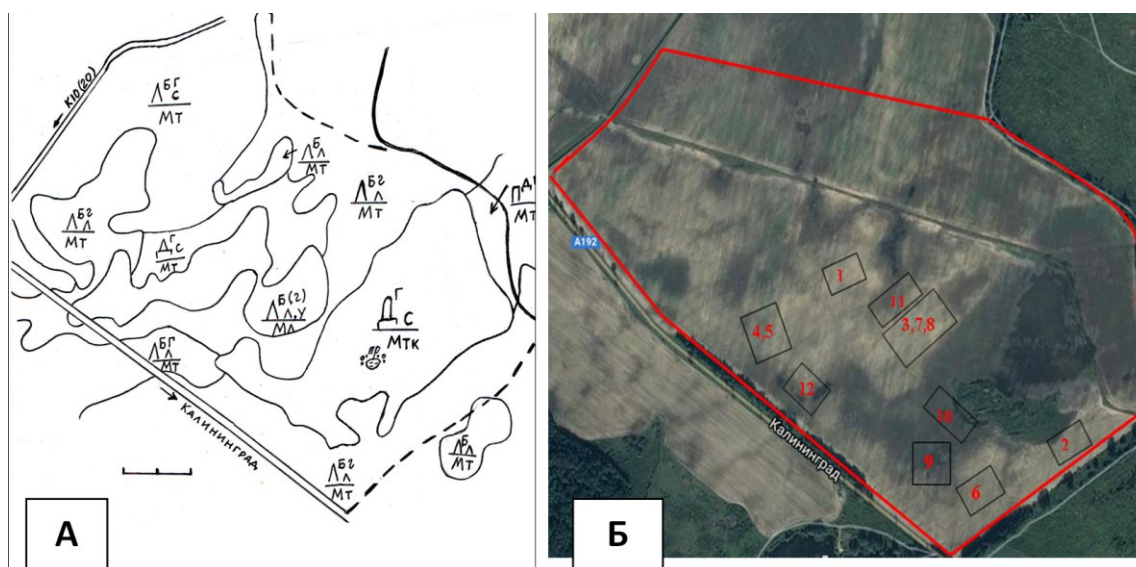


Рис. Почвенная карта (А) и космический снимок (Б) ключевого участка с расположением площадок отбора почвенных образцов: 1-4 – буроземы супесчаные и легкосуглинистые неоглеенные (1) и глееватые (2-4); 5-8 – буроземы супесчаные и легкосуглинистые разной степени оглеения; 9-12 – дерново-глеевые среднесуглинистые почвы

Fig. The soil map (A) and the satellite image (B) of the key site with the location of the soil sampling sites: 1-4 – sandy loam and light loamy brown soils (1) and gleyic (2-4); 5-8 – sandy loam and light loamy brown soils of varying degrees of gleying; 9-12 – soddy-gley medium loamy soils

Пробы анализировались сразу после доставки в лабораторию. Полевая влажность определялась термостатно-весовым методом [8, с 152]; окисные и за-

кисные соединения железа – по методу В. А. Казариновой-Окиной в модификации З. Ф. Коптевой [9, с. 202-206]. Подвижное железо извлекали 0,1 н H₂SO₄. Для окрашивания вытяжек использовали индикатор α-α-дипиридил. Фотометрическое определение подвижного железа проводили на приборе КФК-2. При расчетах использовали программу Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Погодные условия в период туров мониторинга характеризовались экстремально сырой осенью 2017 г. и относительно сухой – в 2018 г. За летний период 2018 г. выпало суммарно на 47 мм осадков меньше среднемноголетних показателей (табл.1). Почвы на поле испытывали разное увлажнение.

Таблица 1. Количество осадков за периоды исследований (обработка данных метеостанции г. Калининграда)

Table 1. The amount of precipitation for the periods of research (data processing of meteorological station of Kaliningrad)

Осень 2017 г.			Весна 2018 г.		Лето 2018 г.			Осень 2018 г.	
IX	X	XI	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
122	216	118	44	35	34	95	67	45	62
Среднемноголетние значения (1949 – 2013 гг.)									
84	78	80	39	49	68	86	89	84	78

Рассмотрим динамику окисного, закисного железа и их суммы за период исследований по отдельным группам почв (табл. 2-10). Пространственное варьирование содержания подвижного железа связано с различной влажностью, гранулометрическим составом, влиянием физико-химических свойств почв, удобрений, корневых систем растений.

Выявлены границы среднего содержания подвижного железа в буроземах вершин холмов: для окисной формы 37,9-53,6 мг на 100 г, для закисной 0,3-5,6 мг на 100 г абсолютно сухой почвы.

Таблица 2. Статистические показатели содержания Fe₂O₃ (мг на 100 г почвы) в буроземах вершин холмов

Table 2. Statistical indicators of Fe₂O₃ content (mg per 100 g of soil) in brown soils on the tops of hills

Сезон	X*	m	σ	V
Осень 2017 г. (ноябрь)	<u>53,63</u> ** 47,23	<u>1,90</u> 3,92	<u>3,79</u> 7,84	<u>7,1</u> 16,6
Весна 2018 г. (апрель)	<u>43,64</u> 37,90	<u>3,11</u> 4,83	<u>6,22</u> 9,66	<u>14,3</u> 25,5
Лето 2018 г. (июнь)	<u>44,32</u> 46,12	<u>4,59</u> 4,50	<u>9,17</u> 9,00	<u>20,7</u> 19,5
Осень 2018 г. (октябрь)	<u>30,15</u> 30,56	<u>2,95</u> 3,73	<u>5,89</u> 7,56	<u>19,6</u> 24,4

*X – среднее арифметическое (по выборке из четырех точек на каждом ареале мониторинга); m – ошибка среднего арифметического; σ- стандартное отклонение; V – коэффициент вариации, %.

** над чертой слой 0-10, под чертой – 10-20 см.

По всем турам обследования окисное железо резко преобладало над закисным в 8 - 43 раза в зависимости от сезона и особенностей почв. Повышение количества FeO в июне было неожиданным, так как в этот период доминируют окислительные процессы в почве. Вероятнее всего, в летний период наблюдалось разложение запаханых с осени стерневых остатков озимой пшеницы. Теплая погода летом способствовала интенсивной микробиологической деятельности, а минерализация растительных остатков связана с потреблением кислорода. Осенью 2017 и весной 2018 г. разложение тормозилось высокой влажностью и пониженными температурами. Для закисных форм железа характерно наибольшее пространственное варьирование.

Таблица 3. Статистические показатели содержания FeO (мг на 100 г почвы) в буроземах вершин холмов

Table 3. Statistical indicators of FeO content (mg per 100 g of soil) in brown soils on the tops of hills

Сезон	\bar{X}^*	m	σ	V
Осень 2017 г. (ноябрь)	<u>2,45</u>	<u>0,24</u>	<u>0,49</u>	<u>20,0</u>
	2,26	0,28	0,55	24,3
Весна 2018 г. (апрель)	<u>1,91</u>	<u>0,28</u>	<u>0,55</u>	<u>28,8</u>
	4,26	2,10	4,20	98,6
Лето 2018 г. (июнь)	<u>5,02</u>	<u>0,59</u>	<u>1,17</u>	<u>23,3</u>
	5,61	0,79	1,58	28,1
Осень 2018 г. (октябрь)	<u>0,31</u>	<u>0,18</u>	<u>0,35</u>	<u>115,8</u>
	0,31	0,18	0,36	116,4

Таблица 4. Статистические показатели содержания Fe₂O₃ + FeO (мг на 100 г почвы) в буроземах вершин холмов

Table 4. Statistical indicators of Fe₂O₃ + FeO content (mg per 100 g of soil) in brown soils on the tops of hills

Сезон	\bar{X}	m	σ	V
Осень 2017 г. (ноябрь)	<u>56,07</u>	<u>1,89</u>	<u>3,77</u>	<u>6,7</u>
	49,43	3,74	7,47	15,1
Весна 2018 г. (апрель)	<u>45,56</u>	<u>2,99</u>	<u>5,99</u>	<u>13,1</u>
	42,14	3,39	6,77	16,1
Лето 2018 г. (июнь)	<u>49,34</u>	<u>5,09</u>	<u>10,17</u>	<u>20,6</u>
	51,58	3,96	7,91	15,3
Осень 2018 г. (октябрь)	<u>30,45</u>	<u>3,12</u>	<u>6,23</u>	<u>20,5</u>
	30,87	3,86	7,73	25,0

Корреляционный анализ не установил достоверной тесной зависимости между влажностью почвы и присутствием подвижного железа в слое 0 – 20 см. Различия в содержании окисного железа по турам мониторинга были существенны только между осенними периодами 2017 и 2018 гг. Незначительной оказалась разница между слоями 0 – 10 и 10 – 20 см по содержанию всех форм железа.

Количество подвижного кислоторастворимого железа в осушаемых буроземах глееватых на склонах находится в интервале 42-49 мг на 100 г для окисной формы, 2,9-10,6 для закисной, 49,4-54,6 для суммы подвижного (табл. 5-7).

Таблица 5. Статистические показатели содержания Fe_2O_3 (мг на 100 г почвы) в буроземах на склонах холмов

Table 5. Statistical indicators of Fe_2O_3 content (mg per 100 g of soil) in brown soils on slopes

Сезон	\bar{X}	m	σ	V
Осень 2017 г. (ноябрь)	<u>44,75</u>	<u>3,13</u>	<u>6,26</u>	<u>14,0</u>
	46,33	3,81	7,63	16,5
Весна 2018 г. (апрель)	<u>42,20</u>	<u>7,05</u>	<u>14,1</u>	<u>33,4</u>
	44,50	5,15	10,3	23,2
Лето 2018 г. (июнь)	<u>49,48</u>	<u>5,86</u>	<u>11,72</u>	<u>23,7</u>
	46,93	5,99	11,97	25,5
Осень 2018 г. (октябрь)	<u>31,43</u>	<u>4,74</u>	<u>9,48</u>	<u>30,2</u>
	32,73	3,46	6,91	21,1

Примечание. Над чертой слой 0-10 , под чертой – 10-20 см

Таблица 6. Статистические показатели содержания FeO (мг на 100 г почвы) в буроземах на склонах холмов

Table 6. Statistical indicators of FeO content (mg per 100 g of soil) in brown soils on slopes

Сезон	\bar{X}	m	σ	V
Осень 2017 г. (ноябрь)	<u>2,93</u>	<u>0,45</u>	<u>0,90</u>	<u>30,7</u>
	3,21	0,67	1,34	41,6
Весна 2018 г. (апрель)	<u>10,59</u>	<u>5,42</u>	<u>10,83</u>	<u>102,3</u>
	7,40	4,25	8,51	115,0
Лето 2018 г. (июнь)	<u>5,12</u>	<u>0,30</u>	<u>0,60</u>	<u>11,7</u>
	5,19	0,17	0,34	6,6
Осень 2018 г. (октябрь)	<u>0,44</u>	<u>0,15</u>	<u>0,30</u>	<u>66,8</u>
	0,74	0,14	0,29	39,2

Таблица 7. Статистические показатели содержания $Fe_2O_3 + FeO$ (мг на 100 г почвы) в буроземах на склонах холмов

Table 7. Statistical indicators of $Fe_2O_3 + FeO$ content (mg per 100 g of soil) in brown soils on slopes

Сезон	\bar{X}	m	σ	V
Осень 2017 г. (ноябрь)	<u>51,25</u>	<u>4,44</u>	<u>8,87</u>	<u>17,3</u>
	49,55	4,22	8,45	17,0
Весна 2018 г. (апрель)	<u>52,54</u>	<u>2,28</u>	<u>14,10</u>	<u>8,7</u>
	49,37	5,01	10,30	20,3
Лето 2018 г. (июнь)	<u>54,60</u>	<u>5,58</u>	<u>11,72</u>	<u>20,5</u>
	52,13	6,14	11,97	23,5
Осень 2018 г. (октябрь)	<u>31,87</u>	<u>4,74</u>	<u>9,47</u>	<u>29,7</u>
	33,46	3,47	6,93	20,7

Окисное железо резко преобладает над закисным (за исключением единичного случая в апреле). Для окисного железа показатели среднего содержания очень близки к таковому буроземов на вершинах холмов. По закисной форме в среднем получается, что в пахотном горизонте почв на склонах его в 1,6 раза больше, чем в буроземах вершин. В весенний период наблюдаются высокие значения в отдельных ареалах почв, что указывает на развитие восстановительных процессов и вероятность появления токсикоза у сельскохозяйственных культур. Результаты нашего исследования подтверждают полугидроморфный (глееватый) характер почв на склонах. Осушение не исправляет этого положения.

Наименьшее количество закисного железа в бурозёмах склонов наблюдается в октябре 2018 г., а наибольшее - весной (апрель 2018 г.). Различия по сезонам в содержании окисного и общего подвижного железа незначительные, за исключением октября 2018 г. Достоверная тесная зависимость между влажностью почвы и содержанием подвижного железа отсутствует. Различия между содержанием подвижного железа в слоях 0 – 10 и 10 – 20 см обычно незначительные.

В дерново-глеевых почвах количество подвижного железа в среднем находится в следующих границах: закисная форма 2,5 – 91,7, окисная форма 3,5 – 73,0, суммарно 70,6 – 130,6 мг на 100 г почвы (табл. 8 – 10).

Таблица 8. Статистические показатели содержания Fe_2O_3 (мг на 100 г почвы) в дерново-глеевых почвах понижений

Table 8. Statistical indicators of Fe_2O_3 content (mg per 100 g of soil) in soddy-gley soils in depressions

Сезон	X	m	σ	V
Осень 2017 г. (ноябрь)	<u>56,00</u> 34,23	<u>21,73</u> 16,90	<u>43,45</u> 33,79	<u>77,6</u> 98,7
Весна 2018 г. (апрель)	<u>3,48</u> 6,21	<u>9,02</u> 4,84	<u>4,05</u> 9,69	<u>116,4</u> 156,0
Лето 2018 г. (июнь)	<u>72,97</u> 64,84	<u>6,28</u> 4,88	<u>12,56</u> 9,77	<u>17,2</u> 15,1
Осень 2018 г. (октябрь)	<u>69,45</u> 48,06	<u>9,08</u> 10,59	<u>18,17</u> 21,17	<u>26,2</u> 44,1

Примечание. Над чертой слой 0 – 10, под чертой – 10 – 20 см

Таблица 9. Статистические показатели содержания FeO (мг на 100 г почвы) в дерново-глеевых почвах понижений

Table 9. Statistical indicators of FeO content (mg per 100 g of soil) in soddy-gley soils in depressions

Сезон	X	m	σ	V
Осень 2017 г. (ноябрь)	<u>74,65</u> 91,71	<u>24,89</u> 23,47	<u>49,77</u> 46,94	<u>66,7</u> 51,2
Весна 2018 г. (апрель)	<u>72,87</u> 64,41	<u>19,28</u> 5,23	<u>20,57</u> 10,47	<u>28,2</u> 16,3
Лето 2018 г. (июнь)	<u>16,30</u> 21,62	<u>1,60</u> 5,00	<u>3,21</u> 10,00	<u>19,7</u> 46,3
Осень 2018 г. (октябрь)	<u>3,06</u> 2,46	<u>0,38</u> 0,39	<u>0,77</u> 0,79	<u>25,2</u> 32,1

Таблица 10. Статистические показатели содержания $Fe_2O_3 + FeO$ (мг на 100 г почвы) в дерново-глеевых почвах понижений
 Table 10. Statistical indicators of $Fe_2O_3 + FeO$ content (mg per 100 g of soil) in soddy-gley soils in depressions

Сезон	X	m	σ	V
Осень 2017 г. (ноябрь)	<u>130,65</u>	<u>11,14</u>	<u>22,28</u>	<u>17,1</u>
	125,94	11,06	22,12	17,6
Весна 2018 г. (апрель)	<u>76,35</u>	<u>10,20</u>	<u>20,40</u>	<u>26,7</u>
	70,63	9,13	18,27	25,9
Лето 2018 г. (июнь)	<u>89,28</u>	<u>5,39</u>	<u>10,78</u>	<u>12,1</u>
	86,45	0,61	1,22	1,4
Осень 2018 г. (октябрь)	<u>72,51</u>	<u>9,31</u>	<u>18,62</u>	<u>25,7</u>
	50,43	10,51	21,02	41,7

Виден широкий интервал варьирования по всем формам железа. По-видимому, это связано со свойствами конкретных почв, главными из которых являются содержание гумуса и гранулометрический состав. Чем выше содержание гумуса и тяжелее гранулометрический состав, тем потенциально больше может накапливаться подвижного железа в почве.

В ноябре 2017 и апреле 2018 г. при переувлажнении закисное железо преобладало над окисным. Это главное отличие дерново-глеевых почв от буроземов вершин и склонов.

Минимальное количество закисного железа было в октябре 2018 г. в связи с высоким температурным фоном лета и осени, а также перемешиванием гумусового слоя при дисковании перед посевом озимой пшеницы в сентябре, что дополнительно усилило аэрацию. Следствием сочетания этих условий явилось сильное развитие окислительных процессов.

В группе дерново-глеевых почв установлена достоверная связь между влажностью почвы и содержанием разных форм кислоторастворимого подвижного железа (табл. 11). Для окисных форм корреляция отрицательная, а для закисных – положительная с вариациями от средней до сильной степени по отдельным ареалам в зависимости от локальных особенностей увлажнения.

Таблица 11. Коэффициенты корреляции между влажностью и формами подвижного железа в ареалах дерново-глеевых почв

Table 11. Correlation coefficients between field moisture and forms of free iron in the areas of soddy-gley soils

Номер ареала	Полевая влажность - FeO	Полевая влажность - Fe_2O_3
9	0,53	-0,79
10	0,54	-0,36
11	0,62	-0,85
12	0,88	-0,69

Мы подсчитали количество растений озимого рапса перед уборкой на изученных ареалах почв. На буроземах вершин холмов оно составило $40,7 \pm 5$, на оглеенных почвах склонов – $33,2 \pm 6$, а на дерново-глеевых почвах понижений – $1,2 \pm 0,5$ шт./м². Лучшее состояние посевов наблюдалось на буроземах вершин

холмов. На склонах снижение количества продуктивных растений связано с переувлажнением осенью 2017 и особенно весной 2018 г., когда обнаруживалось повышенное количество закисной формы железа в гумусовом горизонте отдельных почв. В понижениях произошла почти полная гибель посевов из-за токсикоза почвы в условиях накопления закисных форм железа (а также марганца, серы, фосфора, азота) при переувлажнении. Наблюдения и анализ показали, что озимый рапс погибает при содержании FeO около 40 мг на 100 г почвы осенью и весной, а летом более 15 - 20.

По результатам исследований был рассчитан коэффициент окисленности подвижного железа (Fe_2O_3/FeO) (табл. 12). В пахотном горизонте буроземов вершин холмов по всем турам мониторинга он выше, чем в других почвах, а в дерново-глеевых наблюдаются его наименьшие значения. Эта закономерность подтверждает существенные различия почв по степени гидроморфизма и может служить их диагностическим показателем.

Коэффициент окисленности подвижного (кислоторастворимого) железа по данным мониторинга также показывает: 1) типичные значения для почв пахотного поля с посевами озимого рапса в условиях экстремально сырой осени; 2) критические значения для отдельных групп почв в весенний период; 3) максимальные величины окисленности в условиях открытой пашни (со всходами озимой пшеницы) в период сухой осени.

Таблица 12. Отношение Fe_2O_3/FeO в пахотном горизонте почв
Table 12. The ratio of Fe_2O_3/FeO in the arable soil horizon

Тур мониторинга	Буроземы вершин	Буроземы глееватые склонов	Дерново-глеевые почвы понижений
Ноябрь 2017 г.	21,5	14,8	0,5
Апрель 2018 г.	13,2	4,8	0,07
Июнь 2018 г.	12,5	9,4	3,6
Октябрь 2018 г.	97,9	39,6	21,2

Полученные нами результаты являются основой формирования базы данных о содержании и динамике подвижного железа в почвах агроландшафтов. Ввиду большого разнообразия географических условий Калининградского региона требуется продолжение исследований в других районах холмисто-моренных равнин (Вармийская и Виштынецкая возвышенности), а также на озерно-ледниковых равнинах, в аллювиальных и болотных экосистемах.

ВЫВОДЫ

1. Почвенный покров холмистого агроландшафта включает ареалы, отличающиеся количеством и динамикой подвижного железа в гумусовом (пахотном) горизонте (0 – 20 см). Установлены границы содержания разных форм подвижного железа в трех группах почв.

2. В буроземах на вершинах и склонах окисное железо преобладает над закисным во все сезоны (осень, весна, лето). В дерново-глеевых почвах в ноябре 2017 и в апреле 2018 г. в большинстве ареалов наблюдалась обратная закономерность, и развивалось оглеение. Обнаружено сильное пространственное варьирование количества подвижного железа в понижениях.

3. Значимая корреляция полевой влажности и подвижного железа выявлена только для дерново-глеевых почв.

4. Высокая влажность почв (из-за сырых условий осени и весны) тормозит разложение запаханной стерни. Процесс разложения идет летом, что приводит к повышению содержания закисного железа и может оказать отрицательное влияние на урожайность сельскохозяйственных культур.

5. Из всех изученных почв дерново-глеевые отличались наиболее высоким содержанием закисного железа (осенью 2017 и весной 2018 г.) и суммы Fe_2O_3+FeO , что является отражением особенностей их геохимического положения в ландшафте и водного режима.

6. Озимый рапс погибает при содержании FeO около 40 мг на 100 г почвы осенью и весной, а летом более 15 - 20.

7. Показатель Fe_2O_3/FeO необходимо использовать в агроэкологическом мониторинге и экспертизе мелиоративного состояния осушенных почв, моделировании и прогнозировании подвижного железа (вытяжка 0,1н H_2SO_4) в агроландшафтах при различных климатических сценариях.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Зонн, С. В. Железо в почвах / С. В. Зонн. - Москва: Наука, 1982. - 206 с.
2. Зайдельман, Ф. Р. Процесс глееобразования и его роль в формировании почв / Ф. Р. Зайдельман. - Москва: Изд-во МГУ, 1998. - 316 с.
3. Schwertmann, U. Occurrence and formation of iron oxides in various pedoenvironment / U. Schwertmann // Iron in soils and clay minerals. NATO. Dordrecht: Reidel. 1988. P. 267– 308.
4. Favre, F. Iron reduction and changes in cation exchange capacity in intermitently waterlogged soil / F. Favre, D. Tessier, M. Abdelmaula and at. //Eur. J. Soil Sci. 2002. V. 53. P. 175-183.
5. Кауричев, И. С. Окислительно-восстановительные процессы и их роль в генезисе и плодородии почв / И. С. Кауричев, Д. С. Орлов. - Москва: Колос, 1982. - 247 с.
6. Анциферова, О. А. Окислительно-восстановительные условия и динамика подвижного железа в катене с эродированными почвами / О. А. Анциферова // Известия КГТУ. - 2016. - № 41. - С. 125 – 136.
7. Анциферова, О. А. Продуктивность озимой пшеницы на фоне лимитирующих почвенных факторов / О. А. Анциферова, Е. Д. Самарина // Известия КГТУ. - 2018. - № 49. - С.172 – 183.
8. Вадюнина, А. Ф. Методы исследования физических свойств почв / А. Ф. Вадюнина, З. А. Корчагина. - Москва, 1986. - 335 с.
9. Практикум по почвоведению / под ред. И.С. Кауричева. - Москва: Колос, 1980. - 272 с.

REFERENCES

1. Zonn S.V. *Zhelezo v pochvakh* [Iron in soils]. Moscow, Nauka, 1982, 206 p.

2. Zeidelman F. R. *Protsess gleyeobrazovaniya i yego rol' v formirovaniy pochv* [The process of gleying and its role in soil formation]. Moscow, MGU Publ., 1998, 316 p.
3. Schwertmann U. Occurrence and formation of iron oxides in various pedoenvironment. Iron in soils and clay minerals, NATO, Dordrecht, Reidel., 1988, pp. 267-308.
4. Favre F., Tessier D., Abdelmaula M. and at. Iron reduction and changes in cation exchange capacity in intermittently waterlogged soil. 2002, vol. 53, pp. 175-183.
5. Kaurichev I. S., Orlov D. S. *Okislitel'no-vosstanovitel'nye protsessy i ikh rol' v genezise i plodorodii pochv* [Oxidation and reduction processes and their role in soil genesis and productivity]. Moscow, Kolos, 1982, 247 p.
6. Antsiferova O. A. Okislitel'no-vosstanovitel'nyye usloviya i dinamika podvizhnogo zheleza v katene s erodirovannymi pochvami [Redox conditions and dynamics of mobile iron in catena with eroded soils]. *Izvestiya KGTU*, 2016, no. 41, pp. 125-136.
7. Antsiferova O. A., Samarina Ye. D. Produktivnost' ozimoy pshenitsy na fone limitiruyushchikh pochvennykh faktorov [Winter wheat productivity against the background of limiting soil factors]. *Izvestiya KGTU*, 2018, no. 49, pp. 172-183.
8. Vadyunina A. F., Korchagina Z. A. *Metody issledovaniya fizicheskikh svoystv pochv* [Methods for studying the physical properties of soils]. Moscow, Agropromizdat, 1986, 335 p.
9. *Praktikum po pochvovedeniyu* [Workshop on soil science]. Ed. I. S. Kaurichev. Moscow, Kolos, 1980, 272 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

Левицкий Арсений Дмитриевич – Калининградский государственный технический университет; студент

Levitskiy Arseniy Dmitrievich – Kaliningrad State Technical University; student

УДК 551.464 (261.24)

РАЙОНИРОВАНИЕ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ПОВЕРХНОСТНОГО
СЛОЯ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

В. Ф. Дубравин, М. В. Капустина, Д. В. Ерошенко

ZONING OF HYDROCHEMICAL FIELDS OF THE BALTIC SEA
SURFACE LAYER

V. F. Dubravin, M. V. Kapustina, D. V. Eroshenko

Исследование выполнено на однородном материале многолетнего гидрологического массива, усредненного за 1950-2005 гг. для среднегодовых значений S (PSU), O₂, PO₄, NH₃ и NO₃ (µмоль/кг) на регулярной сетке 1×1° из [1]. Использование кластерного анализа (модификация В. М. Ряховского [2]), проведенного в двух вариантах – по пяти (с учетом солёности) и четырем (без нее) параметрам, позволило в поверхностном слое Балтийского моря выделить по шесть кластеров (регионов). Кластеры 1-4 в обоих вариантах достаточно схожи: 1 – Ботнического залива, 2 – Финского залива, 3 – Приустьевой I (влияние р. Вислы, Даугавы и Невы), 4 – Приустьевой II (влияние р. Одер, Неман и Пярну), далее по первому варианту: 5 – Основной и 6 – Западный, а по второму: 5 – Центральный и 6 – Южный. При этом регион Ботнического залива характеризуется пониженными значениями фосфатов; Финского – пониженными значениями кислорода; воды р. Вислы, Даугавы и Невы – повышенными значениями кислорода, фосфатов и нитратов; р. Одер, Неман и Пярну – повышенными значениями аммония; Западный – повышенной солёностью; Южный – значениями аммония в пределах 0,37÷1,07 µмоль N/кг. Проведенные расчеты позволяют сделать вывод об общности процессов – атмосферная циркуляция, речной сток и водообмен с Северным морем, управляющих распределением в поверхностной структурной зоне не только солёности, но и кислорода, фосфора и азота, т. е. подтверждается вывод, сделанный ранее в работах [3-5], но уже с помощью количественных оценок.

солёность, гидрохимические параметры (кислород, фосфор фосфатов, аммонийный и нитратный азот), поверхностная структурная зона, кластерный и корреляционный анализ

The study was based on the homogeneous long-term array of hydrological data, averaged over for 1950-2005. The data includes annual average values of Salinity (PSU), O₂, PO₄, NH₃ and NO₃ (µmol/kg) on a regular grid 1×1° [1]. The cluster analysis (modification by V. Ryakhovsky [2]), which was carried out in two variations: by five parameters (including salinity) and by four parameters (excluding salinity), allowed to distinguish six clusters (regions) in the surface layer of the Baltic Sea. Clusters 1-4 in both versions are quite similar: 1 – Gulf of Bothnia, 2 – the Gulf of Finland, 3 – Plume Area I (influenced by the Vistula, Daugava and Neva rivers), 4 – River Plume Area II (influence by the Oder, Neman and Pärnu rivers). Other regions differ: accord-

ing to the first variant, cluster 5 is Main Area and 6 – Western Area, and according to the second variant, cluster 5 is Central and 6 – Southern. At the same time, the Gulf of Bothnia region is characterized by lower phosphate values; Gulf of Finland – by low oxygen values; waters of the Vistula, Daugava and Neva rivers – by elevated levels of oxygen, phosphates and nitrates; the Oder, Neman and Pärnu rivers – by raised ammonium values; Western – by high salinity; South – by ammonium values in the range of $0.37 \div 1.07 \mu\text{mol N/kg}$. The calculations allow us to conclude that not only do common processes (atmospheric circulation, river runoff and water exchange with the North Sea) control the distribution of salinity, but also distribution of dissolved oxygen, phosphorus and nitrogen in the surface structural zone. It confirms the earlier conclusion, made in [3-5], but now with the quantitative estimates.

salinity, hydrochemical parameters (oxygen, inorganic phosphorus, ammonium and nitrate nitrogen), surface structural zone, cluster and correlation analysis

ВВЕДЕНИЕ

Географическое положение Балтийского моря (средиземного, внутриматерикового или внутриконтинентального) определяет своеобразные гидрологический и гидрохимический режимы, сформированные в условиях устойчивой плотностной стратификации. Последняя, как известно из [3, 4], создается под действием солеформирующих факторов (атмосферной циркуляции, речного стока и водообмена с Северным морем) [5]. Следует напомнить, что в формировании гидрохимического режима участвуют не только физические процессы, приводящие к образованию главного скачка плотности (пикноклина), но и биохимические: продуцирование в процессе фотосинтеза, деструкция органического вещества и биологический круговорот веществ [4, 6].

Ранее нами в [7, 8] было показано, что термохалинная структура Балтики представлена двумя структурными зонами: поверхностной, или деятельным слоем (ДС), и глубинной. Двухслойная структура в равной мере относится и к режиму гидрохимических (ГХ) параметров. При этом из-за затрудненного водообмена между поверхностными (выше постоянного (главного) пикноклина) и глубинными слоями можно выделить три типа вертикального распределения этих параметров: к первому (с прямой стратификацией – падение с глубиной) следует отнести кислород (O_2); ко второму (с обратной стратификацией – рост с глубиной) – сольность (S), фосфор (PO_4) и азот (NH_3 и NO_3) и к третьему – температуру воды (T_w), которая сначала падает до ядра холодного промежуточного слоя, а затем растет [9]. Кроме того, в той же работе было показано, что в среднем для Балтики нижняя годовая граница ДС (если за нее принимать максимум вертикального градиента ГХ параметра – G_{max}) возрастает от 55-65 м для NO_3 и O_2 до 75 м для PO_4 . Если же рассматривать глубины залегания (м) максимумов вертикального градиента гидрологических (T_w и S) и ГХ (O_2 и NO_3) параметров в характерных точках: Арконской, Борхольской, Гданьской, Готландской впадинах и Финском заливе, то в Южной и Центральной Балтике глубина G_{max} в среднем за год для S, T_w , O_2 и NO_3 сначала возрастает от 15 м в Арконском бассейне до 55-75 м в Борхольской и Гданьской котловинах, а затем несколько уменьшается до 65 м в Готландской. На входе в Финский залив, где уже заметно влияние речных вод, глубина G_{max} для этих параметров располагается между 45 и 75 м. Что касается PO_4 , то

если за границу ДС принимать глубину залегания изофосфаты 1,0 мкг-ат Р/л (1,0 $\mu\text{моль Р/кг}$), ее глубина в характерных точках моря мало отличается от G_{max} для S, T_w , O_2 и NO_3 (различия не превышают ± 5 м).

Цель настоящего исследования – получить количественные оценки районирования поверхностной структуры ГХ параметров Балтийского моря с помощью кластерного анализа [2].

Авторы считают приятным долгом выразить искреннюю признательность А. В. Смирнову за выполненные расчеты рядов ГХ параметров и их обработку на персональном компьютере.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Исследование выполнено на однородном материале многолетнего гидрологического массива Института исследований Балтийского моря (Варнемюнде) [1], усредненного за 1950-2005 гг. для среднегодовых значений S(PSU), O_2 , PO_4 , NH_3 и NO_3 ($\mu\text{моль/кг}$) на регулярной сетке $1 \times 1^\circ$ (рис. 1).

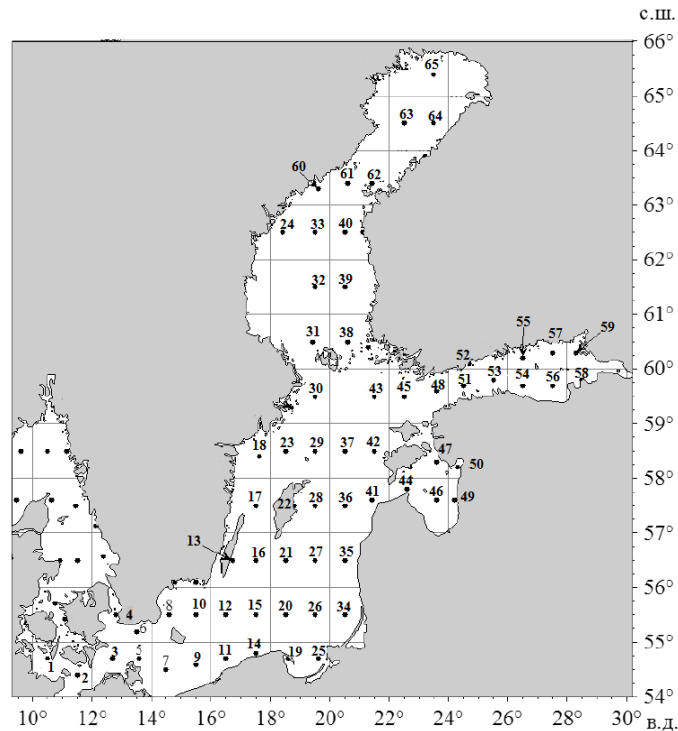


Рис. 1. Нумерация (условная) одноградусных трапеций в Балтийском море, использованных для кластерного анализа по [1]

Fig. 1. Numbering (conditional) of one-degree trapezium in the Baltic Sea, used for cluster analysis, according to [1]

Ранее нами рассматривались поверхностные поля солёности [8] и кислорода, фосфатов, аммония и нитратов [10]. Для исключения субъективных оценок при районировании этих параметров был выполнен кластерный анализ – метод агломерации многомерной информации, где исходные данные объединяются в группы (кластеры) по степени корреляционной близости исходных точек, в качестве меры расстояния между которыми выбрана евклидова норма (модификация

В. М. Ряховского [2]). Районирование выполнялось в двух вариантах: ГХ параметры с учетом солености и только ГХ параметры (рис. 2).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Проведенная обработка материалов позволила последовательно выделить в выборке следующее количество кластеров по первому варианту (с учетом солености): 1-й шаг – 16, 2-й – 7 и 3-й – 6 (рис. 2, а, табл. 1); по второму (только O_2 , PO_4 , NH_3 и NO_3): 1-й шаг – 17 и 2-й – 6 (рис. 2, б, табл. 1). Из рис. 2, а и б следует, что в обоих вариантах выделяется по шесть кластеров, при этом кластеры 1-4 в обоих вариантах достаточно схожи; 5-й кластер – Основной – по первому варианту, по второму – делится на два: 5 и 6 – Центральный и Южный, соответственно; а 6-й по первому варианту – Западный, по второму – распадается, примыкая к 2-му – Финского залива (кв. 1 и 4) и 6-му – Южному (кв. 2) (см. рис. 1).

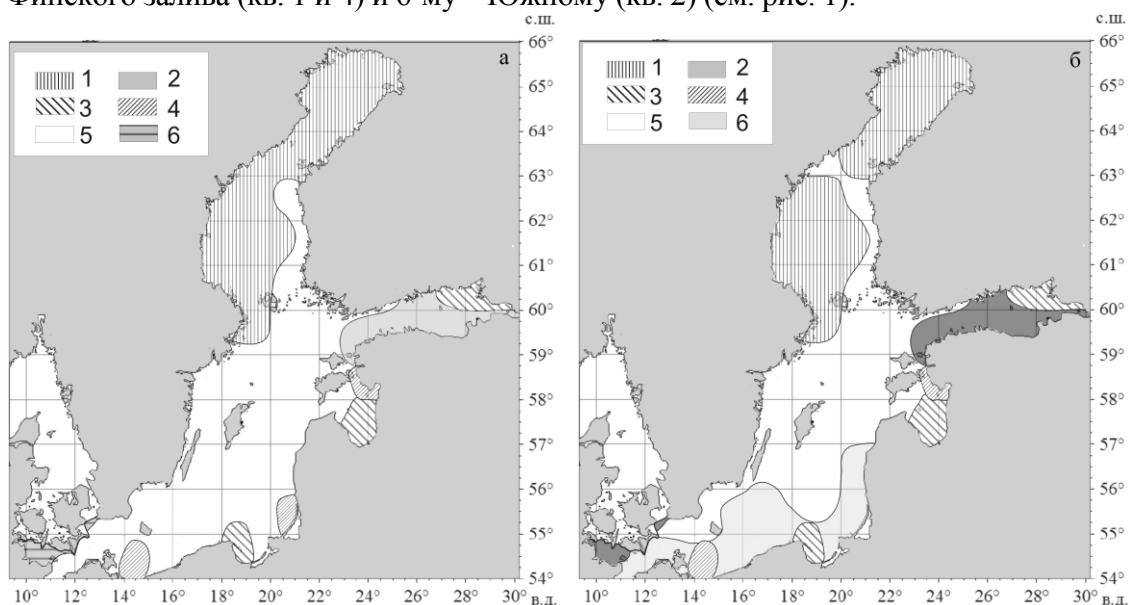


Рис. 2. Районирование поверхностных гидрохимических полей Балтийского моря по данным кластерного анализа – 1-й вариант (а): 1 – Ботнического залива, 2 – Финского залива, 3 – Приустьевой I (влияние р. Вислы, Даугавы и Невы), 4 – Приустьевой II (влияние рек Одер, Неман и Пярну), 5 – Основной, 6 – Западный; 2-й вариант (б): 1 – Ботнического залива, 2 – Финского залива, 3 – Приустьевой I (влияние р. Вислы, Даугавы и Невы), 4 – Приустьевой II (влияние р. Одер и Пярну), 5 – Центральный, 6 – Южный

Fig. 2. Zoning of the surface hydrochemical fields of the Baltic Sea according to cluster analysis – first version (a): 1 – Gulf of Bothnia, 2 – Gulf of Finland, 3 – River Plume Area I (influenced by the Vistula, Daugava and Neva rivers), 4 – River Plume Area II (influence of the rivers Oder, Neman and Pärnu), 5 – Main Area, 6 – Western; Version 2 (b): 1 – Gulf of Bothnia, 2 – Gulf of Finland, 3 – River Plume Area I (influenced by the Vistula, Daugava and Neva rivers), 4 – River Plume Area II (influenced by the Oder and Pärnu rivers), 5 – Central, 6 – Southern

Представление о признаках, по которым выделяются кластеры, дает табл. 1. Регион 1 – Ботнического залива – характеризуется пониженными значениями

фосфатов; регион 2 – Финского залива – пониженными значениями кислорода; регион 3 – воды р. Висла, Даугава и Нева – повышенными значениями кислорода, фосфатов и нитратов; регион 4 – воды р. Одер, Неман и Пярну – повышенными значениями аммония¹; регион 6 (по первому варианту) – Западный с повышенной соленостью; регион 5 (по первому варианту) – Основной, как и регион 5 (по второму варианту) – Центральный – выделяется по остаточному признаку (не имеет ярко выраженных экстремумов), а регион 6 (по второму варианту) – Южный – значениями аммония в пределах $0,37 \div 1,07$ $\mu\text{моль N/кг}$.

Таблица 1. Гидрохимические характеристики и соленость верхнего слоя Балтийского моря по данным кластерного анализа

Table 1. Hydrochemical characteristics and salinity of the Baltic Sea surface layer according to the cluster analysis

Номер кластера	Название кластера (региона)	Количество точек в кластере	S, PSU	O ₂ , $\mu\text{моль/кг}$	P-PO ₄ , $\mu\text{моль/кг}$	N-NH ₃ , $\mu\text{моль/кг}$	N-NO ₃ , $\mu\text{моль/кг}$
Первый вариант							
1	Ботнического зал.	12	4,75	372,88	0,10	0,20	3,37
2	Финского зал.	7	5,1	322,42	0,42	0,40	3,16
3	Приустьевой I	5	4,84	373,33	0,51	0,59	9,57
4	Приустьевой II	4	6,29	340,73	0,31	1,22	4,48
5	Основной	34	7,14	361,27	0,29	0,34	1,83
6	Западный	3	13,73	333,59	0,32	0,51	1,87
Второй вариант							
1	Ботнического зал.	11	-	374,67	0,10	0,18	3,36
2	Финского зал.	9	-	323,76	0,39	0,42	2,84
3	Приустьевой I	5	-	373,33	0,51	0,59	9,57
4	Приустьевой II	3	-	332,69	0,33	1,28	5,49
5	Центральный	25	-	359,93	0,27	0,27	1,99
6	Южный	12	-	361,72	0,30	0,57	1,63

Для того чтобы говорить о схожести районирования поверхностных гидрохимических полей Балтики по обоим вариантам не только качественно, обратимся к количественным оценкам.

На рис. 3 представлены соотношения между средними для каждого кластера величинами гидрохимических характеристик ($\mu\text{моль/кг}$) и соленостью на поверхности Балтийского моря или между биогенами и кислородом. Как видно из диаграммы (рис. 3, а), здесь наблюдаются два типа распределения соотношений S-O₂, S-PO₄, S-NH₃. При первом типе, соответствующем кластерам 2, 4, 5; 1, 4, 5 и 1-5 с теснотой связи r, равной 0,50; 0,71 и 0,09, соответственно (табл. 2²), зависи-

¹ Повышенные содержания биогенов, выносимых р. Одер, Висла, Неман, Даугава, Пярну и Нева отмечались не только во второй половине прошлого столетия [1], но и в нынешнем (2010-2014 гг.) [11].

² В табл. 2 уравнения регрессии рассчитывались только с учетом кластеров (см. табл. 1 и рис. 3, 4), а коэффициенты корреляции – с учетом всех среднегодовых значений одноградусных трапеций в пределах кластеров.

мость прямая (с увеличением солености растет величина ГХ параметров); при втором типе, соответствующем кластерам 1, 3, 5, 6; 2-6 и 4-6 с тесной связью r , равной $-0,69$; $-0,37$ и $0,05$, соответственно, зависимость обратная (с увеличением солености падает величина ГХ параметров). Что касается соотношения $S-NO_3$, то здесь только один тип распределения – обратный, соответствующий кластерам как 1, 2, 4-6, так и 3, 4, 6. При этом отрицательная теснота связи для первой группы несколько ниже, чем для второй ($r = -0,51$ против $r = -0,64$).

Обратимся к соотношениям O_2-PO_4 , O_2-NO_3 и O_2-NH_3 по первому варианту (рис. 3, б), здесь, как и с соленостью, имеем два типа распределения: прямой, соответствующий кластерам 3, 5 с теснотой связи r , равной $0,28$ и $0,41$ для первых двух соотношений, и обратной, соответствующей кластерам 1, 2, 4-6 с теснотой связи – $-0,57$ и $0,03$. Для соотношения O_2-NH_3 прямая зависимость отмечается как для кластеров 2, 4, 6, так и для – 1, 3, 5 с теснотой связи – $0,39$ и $0,05$. Исходя из величины тесноты связи, предпочтение надо отдать кластерам 2, 4, 6 с коэффициентом корреляции $r = 0,39$. Обратная зависимость для этого соотношения – для кластеров 1-3, 5, 6 при $r = -0,11$.

Что касается соотношений PO_4-NH_3 и PO_4-NO_3 или NH_3-NO_3 , то и для них имеют место два типа распределения: прямая зависимость для кластеров 1-3, 5, 6 и 2, 3 или 1, 2, 4-6 с теснотой связи $0,54$ и $0,51$ или $0,30$, соответственно, и обратная – для кластеров 3, 4 и 1, 2, 4-6 или 3, 4 с теснотой связи $-0,63$ и $-0,16$ или $-0,34$ (см. табл. 2).

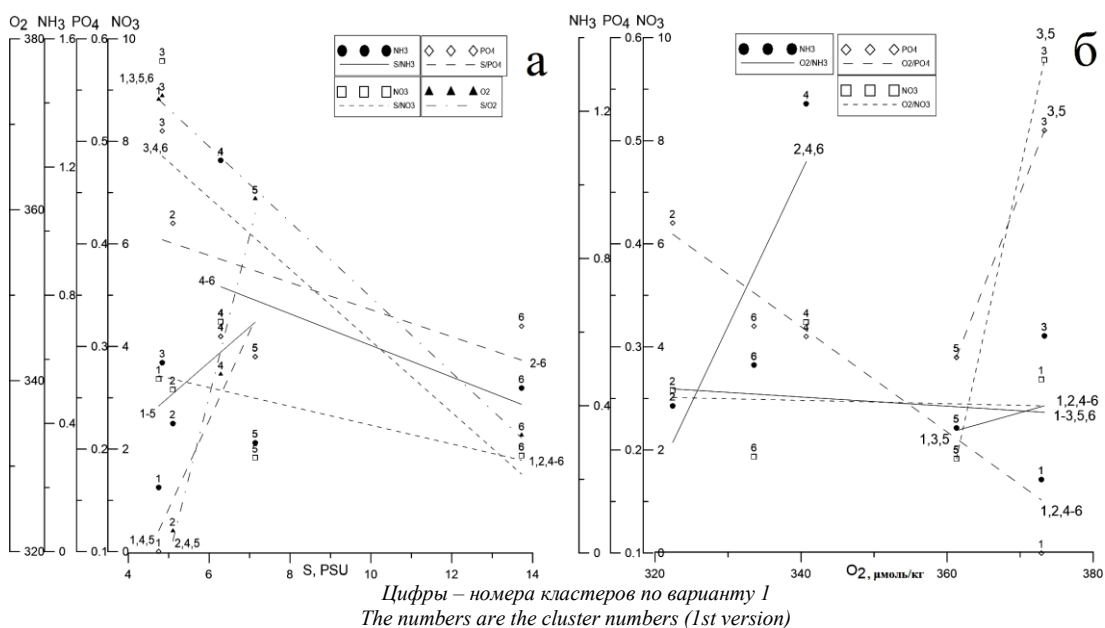


Рис. 3. Соотношение между средним для каждого кластера содержанием гидрохимических характеристик (μмоль/кг) и соленостью на поверхности Балтийского моря – (а) и между биогенами и кислородом – (б)
Fig. 3. Relationship between the average content of hydrochemical characteristics (μmol/kg) and salinity in the surface layer of the Baltic Sea – (a) and between nutrients and oxygen – (b) for each cluster

Перейдем ко второму варианту. На рис. 4 представлены соотношения между средними для каждого кластера величинами биогенных элементов и растворенного в воде кислорода (моль/кг) на поверхности Балтийского моря или между фосфатами и формами азота. Как видно из диаграммы (рис. 4, а), для соотношений O_2-PO_4 , O_2-NO_3 и O_2-NH_3 также наблюдаются два типа распределения: прямая зависимость, соответствующая кластерам 3, 5, 6 и 2, 4 с теснотой связи r , равной 0,28; 0,39 и 0,32 соответственно (см. табл. 2) и обратная, соответствующая кластерам 1, 2, 4-6 и 1-3, 5, 6 с теснотой связи $r = -0,57$; 0,03 и $-0,08$ соответственно.

Также для соотношений PO_4-NH_3 , PO_4-NO_3 или NH_3-NO_3 по второму варианту (рис. 4, б) характерны два типа распределения: прямой, соответствующий кластерам 1-3, 5, 6; 2-6 или 1, 2, 4-6, с теснотой связи $r = 0,46$; 0,62 или 0,30 соответственно, и обратный – для кластеров 3, 4; 1, 5, 6 или 3, 4 с теснотой связи $r = -0,62$; $-0,56$ или $-0,28$ соответственно (см. табл. 2).

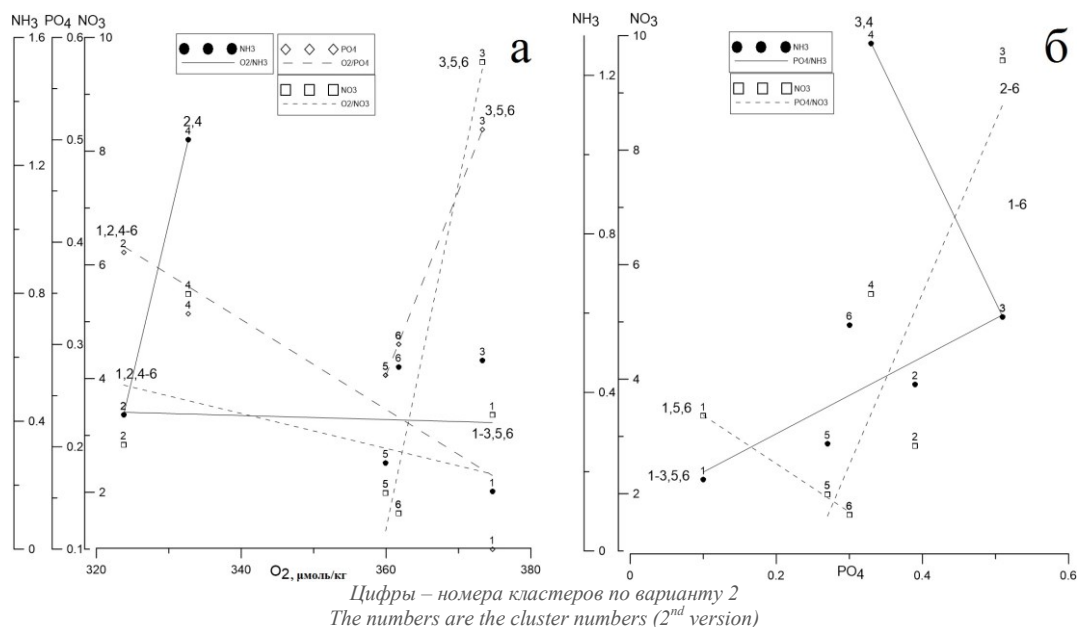


Рис. 4. Соотношение между средним для каждого кластера содержанием гидрохимических характеристик (моль/кг) на поверхности Балтийского моря: между биогенами и кислородом (а) и азотом и фосфором (б)
 Fig. 4. Relationship between the average content of hydrochemical characteristics (μmol/kg) in the surface layer of the Baltic Sea: between nutrients and oxygen (a); between nitrogen and phosphorus (b) for each cluster

Таким образом, подтверждение схожести районирования по обоим вариантам получено и количественно. Так, для обоих вариантов (рис 2, а и б) для кластеров 1, 2, 4-6 прямая зависимость отмечается только для соотношения NH_3-NO_3 с невысокой значимой связью $r = 0,30$, а обратная – для соотношений O_2-PO_4 с отрицательной значимой связью $r = -0,57$ и O_2-NO_3 , со слабой теснотой связи $r = 0,03$. Для кластеров 3, 4 – только обратная зависимость для соотношений

PO₄-NH₃ (с высокой значимой отрицательной связью $r = -0,63$ и $-0,62$) или NH₃-NO₃ (с невысокой значимой отрицательной связью $r = -0,34$ и $-0,28$).

Таблица 2. Коэффициенты корреляции и уравнения регрессии между гидрохимическими характеристиками и соленостью на поверхности Балтийского моря

Table 2. Correlation coefficients and regression equations between hydrochemical characteristics and salinity in the surface layer of the Baltic Sea

Характеристики	Номер кластеров	Количество точек в кластерах	Коэффициент корреляции r	Уравнение регрессии	
				коэффициент регрессии m	свободный член b
1	2	3	4	5	6
Первый вариант					
O ₂ (S)	1, 3, 5, 6	54	-0,69	-4,41	393,85
	2, 4, 5	45	0,50	18,81	225,29
	1-6	65	-0,22	-2,56	368,59
PO ₄ (S)	2-6	53	-0,37	-0,013	0,47
	1, 4, 5	50	0,71	0,09	-0,29
	1-6	65	0,09	-0,002	0,34
NH ₃ (S)	1-5	62	0,09	0,11	-0,07
	4-6	41	0,05	-0,05	1,14
	1-6	65	0,14	0,004	0,52
NO ₃ (S)	1, 2, 4-6	60	-0,51	-0,18	4,30
	3, 4, 6	12	-0,64	-0,70	11,09
	1-6	65	-0,44	-0,41	6,88
PO ₄ (O ₂)	1, 2, 4-6	60	-0,57	-0,005	2,06
	3, 5	39	0,28	0,018	-6,30
	1-6	65	-0,33	-0,002	0,88
NH ₃ (O ₂)	1-3, 5, 6	61	-0,11	-0,001	0,85
	2, 4, 6	14	0,39	0,04	-13,15
	1, 3, 5	51	0,05	0,006	-1,68
	1-6	31	-0,23	-0,005	2,19
NO ₃ (O ₂)	1, 2, 4-6	60	0,03	-0,003	4,05
	3, 5	39	0,41	0,64	-230,08
	1-6	65	0,20	0,06	-17,92
NH ₃ (PO ₄)	1-3, 5, 6	61	0,54	0,86	0,13
	3, 4	9	-0,63	-3,15	2,20
	1-6	65	0,38	0,73	0,31
NO ₃ (PO ₄)	1, 2, 4-6	60	-0,16	-1,00	3,23
	2, 3	12	0,51	71,22	-26,75
	1-6	65	0,33	12,29	0,05
NO ₃ (NH ₃)	1, 2, 4-6	60	0,30	1,76	2,00
	3, 4	9	-0,34	-8,08	14,34
	1-6	65	0,37	2,24	2,83

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6
Второй вариант					
PO ₄ (O ₂)	1, 2, 4-6	60	-0,57	-0,004	1,82
	3, 5, 6	42	0,28	0,02	6,20
	1-6	65	-0,33	-0,002	0,89
NH ₃ (O ₂)	1-3, 5, 6	62	-0,08	-0,001	0,63
	2, 4	12	0,32	0,10	-30,76
	1-6	65	-0,23	-0,009	3,68
NO ₃ (O ₂)	1, 2, 4-6	60	0,03	-0,03	13,84
	3, 5, 6	42	0,39	0,61	-217,56
	1-6	65	0,20	0,03	-6,38
NH ₃ (PO ₄)	1-3, 5, 6	62	0,46	0,97	0,10
	3, 4	8	-0,62	-3,83	2,55
	1-6	65	0,38	1,09	0,21
NO ₃ (PO ₄)	2-6	54	0,62	29,98	-6,49
	1, 5, 6	48	-0,56	-8,45	4,21
	1-6	65	0,33	13,90	-0,26
NO ₃ (NH ₃)	1, 2, 4-6	60	0,30	2,56	1,67
	3, 4	8	-0,28	-5,91	13,06
	1-6	65	0,37	2,88	2,56

В то же время, только для первого варианта (рис. 2, а) для кластеров 1, 2, 4-6 для соотношения S-NO₃ отмечается отрицательная значимая связь $r = (-0,51)$ и PO₄-NO₃ – слабоположительная $r = 0,03$. Для кластеров 3, 5 – только прямая зависимость для соотношений O₂-NO₃ и O₂-PO₄ со значимой связью $r = 0,41$ и $0,28$ соответственно. Только во втором варианте для кластеров 1-3, 5, 6 для соотношения PO₄-NH₃ отмечается положительная значимая связь ($r = 0,46$) и соотношения O₂-NO₃ – слабоотрицательная связь $r = -0,08$; для кластеров 3, 5, 6 для соотношений O₂-NO₃ и O₂-PO₄ – невысокая значимая положительная связь r , равная $0,39$ и $0,28$.

Отсюда можно сделать вывод об общности процессов – атмосферная циркуляция, речной сток и водообмен с Северным морем, управляющих распределением в поверхностной структурной зоне не только солености, но и кислорода, фосфора и азота, т. е. подтверждается вывод, сделанный ранее в работах [3-5], но уже с помощью количественных оценок.

ВЫВОДЫ

1. Проведенная с помощью кластерного анализа обработка усредненных за 1950-2005 гг. среднегодовых поверхностных значений S, O₂, PO₄, NH₃ и NO₃ на регулярной сетке $1 \times 1^\circ$ в двух вариантах – по пяти (с учетом солености) и по четырем (без нее) параметрам – позволила в поверхностном слое Балтийского моря выделить по шесть кластеров (регионов). Кластеры 1-4 в обоих вариантах достаточно схожи: 1 – Ботнического залива, 2 – Финского залива, 3 – Приустьевой I (влияние р. Вислы, Даугавы и Невы), 4 – Приустьевой II (влияние р. Одер, Неман и Пяру), далее по первому варианту: 5 – Основной и 6 – Западный, при

этом 5-й кластер по первому варианту – Основной, по второму – делится на два: 5 и 6 – Центральный и Южный, соответственно; 6-й кластер по первому варианту – Западный, по второму варианту распадается, примыкая ко 2-му – Финского залива (кв. 1 и 4) и 6-му – Южному (кв. 2).

2. Признаки, по которым выделяются кластеры, таковы: регион 1 – Ботнического залива – характеризуется пониженными значениями фосфатов; регион 2 – Финского залива – пониженными значениями кислорода; регион 3 – воды р. Вислы, Даугавы и Невы – повышенными значениями кислорода, фосфатов и нитратов; регион 4 – воды р. Одер, Неман и Пяру – повышенными значениями аммония; регион 6 (по первому варианту) – Западный – повышенной соленостью; регион 5 (по первому варианту) – Основной, как и регион 5 (по второму варианту) – Центральный – выделяется по остаточному признаку (не имеет ярко выраженных экстремумов), а регион 6 (по второму варианту) – Южный – значениями аммония в пределах $0,37 \div 1,07$ $\mu\text{моль N/кг}$.

3. Подтверждение схожести районирования по обоим вариантам получено и количественно. Так, для обоих вариантов для кластеров 1,2,4-6 прямая зависимость отмечается только для соотношения $\text{NH}_3\text{-NO}_3$ с невысокой значимой связью $r = 0,30$; а обратная – для соотношений $\text{O}_2\text{-PO}_4$ с высокой отрицательной значимой связью $r = -0,57$ и $\text{O}_2\text{-NO}_3$ со слабой теснотой связи $r = 0,03$. Для кластеров 3, 4 – только обратная зависимость для соотношений $\text{PO}_4\text{-NH}_3$ (с высокой значимой отрицательной связью $r = -0,63$ и $-0,62$) или $\text{NH}_3\text{-NO}_3$ (с невысокой значимой отрицательной связью $r = -0,34$ и $-0,28$).

4. Проведенные расчеты позволяют сделать вывод об общности процессов – атмосферная циркуляция, речной сток и водообмен с Северным морем, управляющих распределением в поверхностной структурной зоне не только солености, но и кислорода, фосфора и азота, т. е. подтверждается вывод, сделанный ранее в работах [3-5], но уже с помощью количественных оценок.

Работа выполнена в рамках госзадания ИО РАН (тема №0149-2019-0013).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. State and Evolution of the Baltic Sea, 1952–2005. A Detailed 50-Year Survey of Meteorology and Climate, Physics, Chemistry, Biology, and Marine Environment / Editors: R. Feistel, G. Nausch, N. Wasmund. 2008. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.io-warnemuende.de/projects/baltic/index.html> (дата обращения – 15.04.2019).

2. Ряховский, В. М. Закономерности развития базальтового магматизма в океанах: дис. ... докт. геол.-минер. наук: 04.00.11 / Ряховский Владимир Михайлович; РАН. – Москва, 1999. – 68 с.

3. Добровольский, А. Д. Моря СССР / А. Д. Добровольский, Б. В. Залогин. – Москва: Мысль, 1965. – 351 с.

4. Берникова, Т. А. Гидрология и промысловая океанология: учебник / Т. А. Берникова. – Москва: Пищ. пром-сть, 1980. – 240 с.

5. Антонов, А. Е. Крупномасштабная изменчивость гидрометеорологического режима Балтийского моря и ее влияние на промысел: моногр. / А. Е. Антонов. – Ленинград: Гидрометеоздат, 1987. – 248 с.
6. Гидрохимические условия и основы формирования биологической продуктивности. Проект «Моря СССР» / отв. ред. Ф. С. Терзиев. – Санкт-Петербург: Гидрометеоздат, 1994. – Т. III «Балтийское море», вып. 2. – 435 с.
7. Dubravin V. Baltic Sea thermohaline structure and its temporal variability / V. Dubravin, M. Kapustina // 10th Baltic Sea Science Congress «Science and innovation for future of the Baltic and the European regional seas» (15-19 июня): материалы. – Рига, Латвия, 2015. – Р. 145.
8. Дубравин, В. Ф. Эволюции термохалинной структуры вод Балтийского моря / В. Ф. Дубравин. – Москва: Изд-во «Перо», 2017. – 438 с.
9. Дубравин, В. Ф. Эволюции гидрохимических структур вод Балтийского моря / В. Ф. Дубравин, М. В. Капустина, В. А. Кречик // Известия Калининградского государственного технического университета. – 2017. – № 46. – С. 24-33.
10. Дубравин, В. Ф. Гидрохимический режим / В. Ф. Дубравин [и др.] // Система Балтийского моря / под. ред. А. П. Лисицын [и др.]. – Москва: Научный мир, 2017. – С. 80-109.
11. Sonesten, L. Sources and pathways of nutrients to the Baltic Sea / L. Sonesten, L. M. Svendsen, H. Tornbjerg, B. G. Gustafsson, D. Frank-Kamenetsky, J. Naaraniemi // Хельсинки: Helsinki Commission, 2018. – 48 с.

REFERENCES

1. Feistel R., Nausch G., Wasmund N. *State and Evolution of the Baltic Sea, 1952–2005. A Detailed 50-Year Survey of Meteorology and Climate, Physics, Chemistry, Biology, and Marine Environment*, 2008, available at: <http://www.io-warnemuende.de/projects/baltic/index.html> (Accessed 15 June 2019).
2. Ryakhovskiy V. M. *Zakonomernosti razvitiya bazal'tovogo magmatizma v okeanakh. Diss. dokt. geol.-mineral. nauk* [Patterns of development of basaltic magmatism in the oceans. Diss. dr. geol.-min. sci.]. Moscow, 1999, 68 p.
3. Dobrovolskiy A. D., Zalugin B. V. *Morya SSSR* [The Seas of SSSR]. Moscow, Mysl', 1965, 351 p.
4. Bernikova T. A. *Gidrologiya i promyslovaya okeanologiya: uchebnik* [Hydrology and commercial oceanology: student's book]. Moscow, Pishhevaya promyshlennost', 1980, 240 p.
5. Antonov A. E. *Krupnomasshtabnaya izmenchivost' gidrometeorologicheskogo rezhima Baltiyskogo morya i ee vliyaniye na promysel* [Large-scale variability of the hydro-meteorological conditions of the Baltic Sea and its influence on fishing]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1987, 248 p.
6. *Gidrokhimicheskie usloviya i osnovy formirovaniya biologicheskoy produktivnosti. Proekt "Morya SSSR". Baltiyskoe more* [Hydrochemical Conditions and Oceanological Basis for the Formation of Primary Productivity. "The USSR seas" project. The Baltic Sea]. Saint-Petersburg, Gidrometeoizdat, 1994, vol. 3, no. 2, 435 p.
7. Dubravin V., Kapustina M. *Baltic Sea thermohaline structure and its temporal variability*. Proc. 10th Baltic Sea Science Congress «Science and innovation for future of the Baltic and the European regional seas». Riga, 2015, p. 145.

8. Dubravin V. F. *Evolyutsii termokhalinnoy struktury vod Baltiyskogo morya* [Evolution of the thermohaline structure of the Baltic Sea waters]. Moscow, Pero, 2017, 438 p.
9. Dubravin V. F., Kapustina M. V., Krechik V. A. Evolyutsii gidrokhimicheskikh struktur vod Baltiyskogo morya [Evolution of Hydrochemical Structures of the Baltic Sea Waters]. *Izvestiya KGTU*, 2017, no. 46, pp. 24-33.
10. Dubravin V. F., Kapustina M. V., Krechik V. A. Gidrokhimicheskiy rezhim [Hydrochemical regime]. *Sistema Baltiyskogo morya* [The Baltic Sea System]. Pod red. A. P. Lisitsyn [i dr.]. Moscow, Nauchnyy Mir, 2017, pp. 80-109.
11. Sonesten L., Svendsen L. M., Tornbjerg H., Gustafsson B. G., Frank-Kamenetsky D., Haapaniemi J. *Sources and pathways of nutrients to the Baltic Sea*, HELCOM, 2018, 48 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Дубравин Владимир Филиппович – Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН; доктор географических наук, доцент, ведущий научный сотрудник;
E-mail: v_dubravin@mail.ru

Dubravin Vladimir Filippovich – Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences; Doctor of Geography, Associate Professor, Leading Researcher; E-mail: v_dubravin@mail.ru

Капустина Мария Владимировна – Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН; младший научный сотрудник; E-mail: kapustina.mariya@yandex.ru

Kapustina Mariya Vladimirovna – Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences; Research Assistant; E-mail: kapustina.mariya@yandex.ru

Ерошенко Денис Владимирович – Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН; кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник; лаборатория моделирования НИИ ПИИМГ БФУ им. И. Канта; старший научный сотрудник; E-mail: DVEroshenko@kantiana.ru

Eroshenko Denis Vladimirovich – Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences; PhD in Geologo-Mineralogical Sciences, Senior Researcher; Research Institute of Applied Informatics and Mathematical Geophysics, Immanuel Kant Baltic Federal University, Senior Researcher; E-mail: DVEroshenko@kantiana.ru

УДК 639.3.043:639.371.64

КУЛЬТИВИРОВАНИЕ РАННЕЙ МОЛОДИ СУДАКА (*SANDER LUCIOPERCA*)
И ОКУНЯ (*PERCA FLUVIATILIS*) НА ИСКУССТВЕННЫХ ДИЕТАХ

А. А. Лютиков, А. Е. Королев, И. Н. Остроумова

CULTIVATION OF THE LARVAE PIKEPERCH (*SANDER LUCIOPERCA*)
AND PERCH (*PERCA FLUVIATILIS*) ON ARTIFICIAL DIETS

A. A. Lyutikov, A. E. Korolyov, I. N. Ostroumova

Приводятся результаты культивирования окуня и судака на экспериментальных стартовых искусственных кормах с самого начала питания личинок без использования живого корма. Основными компонентами кормов являлись белок микробного происхождения, гидролизаты белка теплокровных животных, рыбная и мясная мука, пшеничная мука, фосфолипиды, премиксы, физиологически активные добавки. Пищевая ценность кормов составляла: белок 54,3-61, жир 10,3-15, безазотистые экстрактивные вещества (БЭВ) – 6,4-14,4%. Личинок выращивали в 8-литровых аппаратах Вейса при начальной плотности посадки 75-100 экз./л, окуня массой 34 мг переводили в круглый бассейн с плотностью посадки 9 экз./л. Наилучшие результаты были получены на кормах, содержащих в своем составе белок микробиологического синтеза. Выживаемость на такой диете окуня составила 28,5% (возраст 56 сут, масса 1194 мг), судака – 12,6% (возраст 34 сут, масса 154 мг). Основная доля погибшей молоди приходилась на период полного перехода на экзогенное питание. Во время выращивания судак характеризовался высокой скоростью роста – показатель среднесуточного прироста в первые три недели эксперимента находился в пределах 21,7-24, у окуня – 16,3%. Установлена высокая чувствительность личинок судака к качеству стартовой диеты – по итогам 21 сут использования корма с признаками окисления выживаемость личинок составила 2,3%. Кроме низкой выживаемости около 75% особей имели различные скелетные деформации и незаполненный газом плавательный пузырь. Полученные результаты указывают на возможность культивирования ранних личинок окуневых рыб исключительно на искусственных диетах при условии контроля качества используемых кормов.

судак, Sander lucioperca, окунь, Perca fluviatilis, личинки, искусственные корма, промышленное выращивание

This work presents the results of rearing of perch and pikeperch on artificial starter feeds from the first moment of feeding of larvae without using live food. The main components of feed were protein of microbial origin, protein hydrolysates of warm-blooded animals, fish and meat flour, wheat flour, phospholipids, premixes, physiologically active additives. The nutritional value of feeds was: protein 54.3-61.0%, fat 10.3-15.4%, nitrogen free extractives (NFE) – 6.4-14.4%. Larvae were grown in 8-liter Weiss incubatory device with an initial density of 75-100 individuals per liter, perch

weighing 34 mg was transferred to a round pool with a density of 9 individuals per liter. The best results were obtained using feed containing protein of microbiological synthesis. The perch survival rate on such diet - 28.5% (age 56 days, weight 1194 mg), the pikeperch survival rate on such diet – 12.6% (age 34 days, weight 154 mg). The main share of the dead juveniles occurred in the period of full transition to exogenous nutrition. During the rearing, pikeperch was characterized by a high growth rate - the average daily increase in the first three weeks of the experiment was in the range of 21.7-24.5% (perch – 16.3%). The high sensitivity of the pikeperch larvae to the quality of starter feeds was established - according to the results of 21 days of using feeds with signs of oxidation, the larvae survival rate was 2.3%. In addition to low survival, about 75% of individuals had various skeletal deformities and a swim bladder that was not filled with gas. The results indicate the possibility of rearing early larvae of perch fish (Percidae) exclusively on artificial diets, provided that the quality of the feed used is controlled.

pikeperch, Sander lucioperca, perch, Perca fluviatilis, larvae, artificial feed, industrial cultivation

ВВЕДЕНИЕ

Личинки судака – *Sander lucioperca* и окуня – *Perca fluviatilis* при вылуплении характеризуются очень маленькими размерами (менее 0,5 мг), что делает их одними из наиболее сложных объектов пресноводной аквакультуры. Основные трудности, связанные с культивированием ранней молодежи указанных видов рыб, заключаются в обеспечении их адекватным кормом. Современная технология выращивания окуневых на ранних этапах личиночного развития базируется на использовании живых кормов с последующим переводом личинок на искусственные диеты, а оптимизация данной технологии заключается в сокращении периода применения дорогостоящего живого корма (хлорелла, науплии артемии и копепод, коловратки и т.д.) с минимальным негативным влиянием на рост и выживаемость молодежи. Помимо высокой стоимости живых кормов их существенным недостатком является необходимость заготовки и/или выращивания кормовых организмов, что также отражается на трудоемкости рыбоводного процесса.

Существенным вкладом в решение проблемы культивирования молодежи окуневых могла бы стать разработка стартовой искусственной диеты, которую можно было бы использовать с начала питания личинок без естественной пищи, однако работы, проводимые в этом направлении с начала 1960-х годов до настоящего времени, терпели неудачу. Например, выживаемость личинок судака, потреблявших только искусственные корма, приближалась к 0% [1-4], окуня – в диапазоне 7-26% при максимальном периоде выращивания 15 сут и конечной средней массе не более 2,6 мг [5-6]. Таким образом, как правило, личинки судака и окуня, получавшие с первых дней питания только искусственные диеты, гибли в первые 2-3 недели выращивания, что указывает на несоответствие используемых кормов потребностям ранних личинок этих видов рыб.

С начала 2000-х годов сведения по разработке стартовых искусственных кормов для окуня и судака (в том числе американского) в отечественной и западной литературе не встречались. Более того, высказывалось предположение, что пищеварительные возможности ранних личинок окуневых (на примере судака)

ограничены и не позволяют утилизировать искусственные корма [7-8]. Подобная проблема актуальна практически для всех видов рыб, за исключением лососевых, чьи личинки переходят на внешнее питание при сформированной пищеварительной системе [9]. Сложность выращивания ранней молоди рыб на искусственных диетах заключается в обеспечении личинок доступными к перевариванию и усвоению компонентами кормов, в первую очередь белковой природы [10].

Учитывая актуальность проблемы выращивания ранней молоди окуневых и отсутствие стартовых искусственных кормов для окуня и судака, целью данных исследований было определение возможности выращивания личинок этих рыб исключительно на искусственных диетах с первых дней питания без использования живых кормов. Для осуществления данной цели была поставлена задача разработки стартового корма, который позволил бы преодолеть высокую смертность личинок в критический период – первые 2-3 недели выращивания. Предварительные результаты этих работ представлены в настоящей статье.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Исследования по выращиванию окуневых рыб на искусственных экспериментальных кормах и разработку соответствующих рецептур проводили в лаборатории аквакультуры Санкт-Петербургского филиала ФГБНУ "ВНИРО" ("ГосНИОРХ" им. Л.С. Берга) и на рыбоводном хозяйстве ООО «Форват» (оз. Суходольское, Ленинградская обл.) в 2017 и 2019 гг. Основными компонентами экспериментальных кормов являлись в разных соотношениях белок микробного происхождения, гидролизаты белка теплокровных животных, рыбная и мясная мука, пшеничная мука, фосфолипиды, премиксы, физиологически активные добавки [11]. Пищевая ценность кормов составляла: белок 54,3-61,0, жир 10,3-15,4, безазотистые экстрактивные вещества – 6,4-14,4%. Гранулы изготавливали методом экструзии с последующим дроблением до необходимого размера (0,1-0,5 мм). Корма производили на предприятии ООО «Нева-Тропик» (Санкт-Петербург). Опытные корма характеризовались разным содержанием микробного белка (от 25 до 40%) и гидролизатов животного белка. Также в экспериментах с судаком применялся коммерческий корм европейского производителя Biomar larviva prowean с размером гранул 0,1 и 0,3 мм.

Икру окуня и судака получали от производителей, выращенных в садках. Окуневые «ленты» собирали непосредственно в садках и доинкубировали в бассейне. Производителей судака высаживали в нерестовые бассейны с искусственными гнездами (рамки из проволоки, обтянутые капроновой делью), после нереста рамки с икрой переносили в моросильную камеру. Получение половых продуктов и инкубацию икры проводили при естественном температурном режиме. После вылупления, когда предличинки начинали свободно плавать, их рассаживали в 8-литровые аппараты Вейса при плотности посадки 75-100 экз./л (отсчет проводили поштучно). Для устранения ската личинок на аппаратах устанавливали фонарь из газового сита № 15, который по мере роста молоди увеличивали до № 11. Количество погибших личинок учитывали ежедневно во время чистки аппаратов. Все работы по получению икры и ее инкубации и содержанию личинок проводили в соответствии с методическими рекомендациями по выращиванию жизнестойкой молоди судака [12].

Температура воды в начале опыта с окунем составляла 12,4, с судаком – 15,6-16,9 и повышалась за счет подогрева воды в последующие трое суток до 20-21°C, содержание кислорода в воде в период исследований в разные годы варьировалось в пределах 6,8-8,7 мг/л, активная реакция воды (рН) оставалась на неизменном уровне – 6,9. Полный водообмен в аппаратах происходил за 10-12 мин – 0,011-0,013 л/с. Для исключения попадания зоопланктона в аппараты использовали фильтры механической очистки с фильтрующим элементом 20 мкм. Освещенность поддерживали на уровне 150-200 лк.

Личинок в эксперименте кормили с избытком, в первую неделю выращивания – каждые 30-40 мин, далее – каждый час. Для устранения негативных последствий образования поверхностной пленки кормов применяли струю воды по ранее предложенной методике [13].

Пробы личинок для дальнейшего морфометрического анализа фиксировали 2%-ным раствором формальдегида, фотографии делали на живом материале. Для характеристики интенсивности роста молоди рассчитывали среднюю суточную скорость роста по уравнению Винберга [14]. Статистическую обработку собранного материала проводили в соответствии с принятыми методами [15] с использованием программы Microsoft Office Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Окунь

Активность питания окуня в начале эксперимента была очень низкой, лишь единицы потребляли предлагаемые корма, что может быть связано с низкой температурой воды в эксперименте, не превышающей 16°C. Массовый переход окуня на активное питание произошел на вторые сутки опыта (возраст личинок 3 сут) при прогреве воды выше 20°C (рис. 1А). На 4-е сутки у отдельных личинок можно было наблюдать загиб в передней части кишечника и начало заполнения газом плавательного пузыря (рис. 1Б). Масса таких личинок составляла около 2 мг.

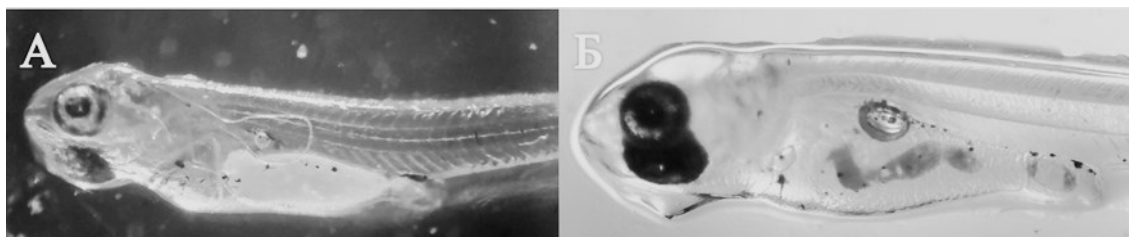


Рис. 1. Передняя часть личинок окуня, выращиваемых на искусственных кормах. А – возраст 3 сут; Б – возраст 5 сут; масса 2 мг. Начало наполнения газом плавательного пузыря

Fig. 1. The front part of perch larvae grown on artificial feed. А - age 3 days; Б - age 5 days, weight 2 mg. The beginning of gas filling of the swim bladder

К концу первой недели выращивания личинки окуня, получавшие корм с 25 % микробного белка (МБ-25), начинали отставать в росте от одновозрастной молоди, потреблявшей корм с 40 % МБ (МБ-40) (табл. 1). Подобная тенденция продолжалась на всем протяжении эксперимента. К концу третьей недели выживаемость личинок, выращиваемых на корме МБ-25, составила 2,8 % (17 экз.), в

связи с чем опыт в этом варианте был завершен. На корме МБ-40 выживаемость окуня после трех недель выращивания была 35,2 % (211 экз.).

Таблица 1. Рост личинок окуня на кормах с различным содержанием бактериальной биомассы (этап I)

Table 1. Growth of perch larvae in feeds with different contents of bacterial biomass (stage I)

Корм	Возраст, сут				Среднесуточный прирост, %	Выживаемость, %
	2	9	16	23		
	Масса, мг					
МБ-40	1,13	2,6	14,1	34,4	16,3	35,2
МБ-25		1,6	10,6	26,1	14,9	2,8

Примечание. Здесь и далее МБ микробный белок.

Note: * - hereinafter МБ microbial protein.

Начиная с четвертой недели опыта, молодь из аппаратов Вейса, получавшую корм МБ-40, переместили в круглый экспериментальный бассейн объемом 65 л с фактическим объемом воды 23 л и плотностью посадки 9 экз./л, продолжая кормить тем же кормом. Фракцию корма увеличили до 0,4-0,5 мм. Температурные условия остались прежние – около 21°C. Возможно, эти факторы привели к повышению темпа роста – показатель среднесуточного прироста в последующую неделю выращивания увеличился с 12,8 до 18,7 %.

В конце июля масса окуня, выращенного с самого начала питания исключительно на искусственном корме, составляла 1194 мг при выживаемости 28,5 % (выживаемость в период бассейнового выращивания – 81,0 %) (табл. 2). Окунь к этому времени находился на мальковом этапе развития, на котором молодь имеет вид взрослой рыбы, на теле появляется чешуя, на поверхности туловища хорошо различимы характерные для данного вида вертикальные полосы.

Таблица 2. Рост личинок окуня в экспериментальных бассейнах (этап II)

Table 2. Growth of perch larvae in experimental pools (stage II)

Корм	Возраст, сут						Среднесуточный прирост, %	Выживаемость, %
	23	30	37	44	51	58		
	Масса, мг							
МБ-40	34,4	127,1	329,5	452,4	764,0	1194,0	13,1	81,0

Обсуждая предварительные результаты исследований по испытанию экспериментального стартового корма для окуня, можно заключить, что личинки этой рыбы способны к перевариванию и усвоению компонентов искусственных кормов с микробным белком уже в первые дни питания, что говорит о возможности культивирования окуня на искусственных диетах без использования живых кормов.

Судак

Как и большинство личинок рыб, судак некоторое время после вылупления существует за счет эндогенных запасов, его пищеварительная система представлена в виде трубки и не дифференцирована на отделы. Спустя 3-4 сут после вылупления молодь стала получать искусственный корм и сразу же его потреблять – практически у всех личинок в эксперименте были отмечены искусственные корма

в кишечной трубке. К этому времени у личинок произошло расширение переднего отдела кишечника.

На 14-е сутки после начала питания судак, культивируемый на искусственном корме, содержащем 37% микробного белка (МБ-37), вырос со стартовой массы 0,35-0,4 мг и длины 4,4 мм до 5,9 мг и 9,7 мм при выживаемости 73,4%. У наиболее крупных личинок (длина около 11 мм, масса – 7-8 мг) передней участок желудочно-кишечного тракта (ЖКТ) имел форму петли, что соответствует началу оформления желудка как отдельного органа. Подобные морфофизиологические и функциональные изменения у личинок рыб, как правило, сопровождаются началом функционирования желудка, что достигается за счет утолщения его стенок, и увеличением количества пищеварительных желез [16-17]. Количество потребленной личинками пищи к этому времени также возросло – индекс наполнения кишечника (ИНК) равнялся $112^{0/000}$. Размерно-массовые показатели молоди, получавшей корма с гидролизатами белка теплокровных животных и коммерческий корм фирмы «Biomar», не превышали 2,2 мг и 6,2 мм. Выживаемость таких личинок к 17-м суткам исчислялась единицами, что определило прекращение исследований в этих вариантах опыта.

К 23-м суткам молодь на корме МБ-37 имела длину 17,1 мм, массу 41,8 мг и выживаемость 13 %. Судак на данном этапе развития характеризовался полным расходом эндогенных запасов (исчезновением жировой капли и желточного мешка) и увеличением размеров желудка. Личинки стали более активно потреблять корм, что положительно отразилось на накормленности молоди и показателе среднесуточного прироста, которые выросли до $192^{0/000}$ и до 24,5 % соответственно.

Для последующего выращивания судак был переведен в круглые экспериментальные бассейны, в которых к 34-м суткам достиг средней массы 153,9 мг и длины 26,3 мм. К этому времени желудок дифференцировался на отделы, появились зачатки пилорических придатков. С развитием пищеварительной системы, ускорением переваримости и усвоения корма, а также ростом молоди возросло и количество потребленной пищи – в желудках можно было наблюдать до 5-7 крупок экспериментального корма. Корм молоди не меняли, увеличивая размер фракции до 0,3-0,4 мм. В период роста в новых условиях вариабельность (коэффициент вариации) длины и массы судака была низкой – 7,7 и 21 %, что может свидетельствовать о достаточно благоприятных условиях содержания рыбы, включая выбор корма и режим кормления. Выживаемость молоди к концу исследований составила 12,6 % (табл. 3).

Таблица 3. Рост личинок судака на экспериментальных кормах

Table 3. Growth of pikeperch larvae on experimental feed

Корм	Возраст, сут											
	14				23				34			
	М, мг	L, мм	ССП, %	Выж-ть, %	М, мг	L, мм	ССП, %	Выж-ть, %	М, мг	L, мм	ССП, %	Выж-ть, %
МБ-37	5,9	9,7	21,7	73,4	41,8	17,1	24,5	13,0	153,9	26,3	13,0	12,6
ГБ-40	2,2	6,2	14,1	15,0	Опыт завершен			0	-	-	-	-

Примечание. ГБ – гидролизат белка (теплокровных животных); ССП – среднесуточный прирост. Начальная масса и длина личинок равнялась 0,35-0,4 мг и 4,4 мм.
 Note: ГБ - protein hydrolyzate (warm-blooded animals); ССП - daily average gain. The initial mass and length of the larvae was 0.35-0.4 mg and 4.4 mm.

Анализ динамики смертности личинок в эксперименте показывает, что в основном молодь погибала в период полного перехода на экзогенное питание. Смертности от каннибализма во время выращивания судака в эксперименте мы не наблюдали.

Помимо хорошей выживаемости судака на корме с микробным белком по сравнению с другими испытываемыми в эксперименте искусственными кормами нами был отмечен высокий темп роста личинок в первые три недели выращивания – показатель среднесуточного прироста находился в пределах 21,7-24,5 %. На потенциальную возможность потреблять и усваивать личинками судака искусственные корма также указывают и другие авторы, в опытах которых среднесуточные приросты молоди в первые три недели кормления достигали 32 % [18, 19].

Можно предположить, что хороший ростовой потенциал судака связан с ранним становлением его пищеварительной системы. Однако, несмотря на оформление желудка как отдельного органа у личинок при массе 7-8 мг, функционирование желудочных желез начинается примерно через 10 сут [17], т.е. при массе около 40 мг. Тем не менее это существенно раньше, чем у других хищных видов рыб, например, нельмы *Stenodus leucichthys nelma*, у которой аналогичный этап развития отмечен при 75 мг [20]. Функциональное развитие желудка у рыб способствует улучшению переваримости и усвоения компонентов искусственного корма, в связи с чем можно предположить, что личинки судака уже при массе около 40 мг способны адекватно реагировать на потребленные искусственные диеты.

Однако, как показывает анализ литературы и наш опыт, ранние личинки судака достаточно чувствительны к отдельным компонентам корма, которые, по нашему мнению, не способны восполнить их потребности в доступном белке. В частности, в нашем эксперименте при испытании кормов с гидролизатами белка различных позвоночных животных смертность молоди уже к 14-м суткам достигала 85 % и к 17-м суткам кормления составляла практически 100 %, в то время как введение бактериальной биомассы в экспериментальный корм дало положительный эффект – выживаемость судака на 34-е сутки составила 12,6 %.

Помимо содержания доступных к усвоению личинками судака компонентов корма не менее важной качественной его характеристикой является срок хранения. Использование корма с истекающим сроком годности (более двух месяцев с даты изготовления) негативно отразилось на результатах выращивания судака – по итогам 21 сут кормления выживаемость личинок составила 2,3 % (14 экз.). Кроме низкой выживаемости мы отметили большое количество особей с различными скелетными деформациями и незаполненным газом плавательным пузырем (рис. 2), визуальное количество составляло около 75-80 % от всей рыбы в эксперименте. Подобных отклонений в опытах с окунем и при испытании аналогичного качественного корма на личинках судака мы не наблюдали.

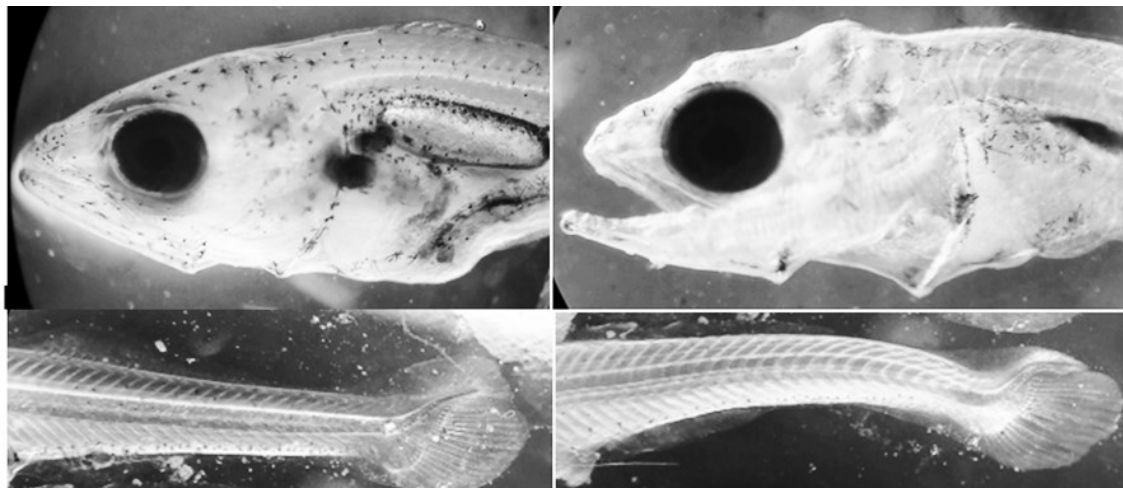


Рис. 2. Личинки судака в возрасте 16 сут. Слева – нормально развивающаяся личинка (масса 14,4 мг). Справа – личинка с деформациями костей черепа, искривленным позвоночником в хвостовом отделе и ненаполненным плавательным пузырем (масса 7,8 мг)

Fig. 2. Larvae of pike perch at the age of 16 days. On the left is a normally developing larva (weight 14.4 mg). On the right is a larva with deformations of the skull bones, a curved spine in the caudal region and an unfilled swimming bubble (weight 7.8 mg)

Как правило, личинки судака с различными отклонениями значительно отставали в росте и в дальнейшем становились жертвами нормально развивающихся сверстников (рис. 3). Судачки, перешедшие на каннибализм, в последующем игнорировали предлагаемые искусственные корма и в отсутствие доступных по размеру личинок-жертв пытались атаковать одноразмерную молодь, что приводило к травматизму и гибели последних. Встречались также личинки, которые гибли при попытке проглотить жертву.



Рис. 3. Каннибализм судака в эксперименте (возраст личинок 17 сут)
Fig. 3. Pikeperch cannibalism in the experiment (the larvae are 17 days old)

Анализ используемых для выращивания личинок судака кормов показал явные признаки окисления липидов – основные показатели оценки состояния жиров в кормах превышали предельно допустимые концентрации в два и более раз (табл. 4). Подобные результаты указывают на превышение сроков хранения кормов, что отрицательно влияет как на белки и их аминокислотный статус [21], так и на липиды в корме, изменяя фракционный и жирнокислотный состав последних [22].

Таблица 4. Результаты исследования степени окисления липидов в экспериментальных стартовых кормах (изготовление 27.04.2019 г., проведение анализа 25.06.2019 г.)

Table 4. The results of a study of the degree of lipid oxidation in experimental starter feeds (production on April 27, 2019; analysis on June 25, 2019)

Корм		Показатели окисления и гидролиза липидов		Общий жир (по Фолчу), %
		перекисное число, %J ₂ , гидроперекиси	кислотное число, мгКОН/г	
№ 2	МБ 40%	0,30	50,3	12,53
№ 5	МБ 25%	0,28	46,0	10,26
ПДК		0,15	20	-

Примечание. Анализ кормов проводился в соответствии с ГОСТ 31485-2012 и ГОСТ 13496.18-85. ПДК – предельно допустимая концентрация, определенная для стартовых кормов [23].

Note: feed analysis was carried out in accordance with GOST 31485-2012 and GOST 13496.18-85. ПДК – maximum permissible concentration determined for starter feed [23].

Связывая наличие большого количества уродств у судака в эксперименте с длительностью хранения кормов, мы предполагаем, что в первую очередь произошло качественное изменение фракционного состава липидов. На ряде видов рыб установлено, что именно фосфолипиды (точнее - их фракции в виде фосфатидилинозитола), введенные в корма, снижали количество личинок с деформациями скелета [24-26]. По всей видимости, окисление и разрушение отдельных фракций фосфолипидов в процессе хранения могло привести к появлению различных отклонений в личиночном развитии судака и, в том числе, отрицательно сказаться на результатах эксперимента.

Кроме того, как было установлено нами ранее (неопубликованные данные), степень окисления стартовых кормов в процессе хранения напрямую зависела от количества введенного в них микробного белка (коэффициент корреляции для гидроперекисей составил 0,99, для кислотного числа 0,97). Однако, несмотря на ухудшение качества экспериментальных кормов, наилучшие результаты были получены на корме с наибольшим количеством белка микробного происхождения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты проведенных исследований позволяют сделать предварительное заключение о возможности культивирования судака и окуня полностью на искусственных кормах с самого начала питания личинок. Апробация различных источников доступного для ранней молодежи белка с должным балансированием корма по питательному составу показала, что наибольшим соответствием пищевым потребностям окуневых рыб на ранних этапах постэмбриогенеза характеризуется микробный белок. Его включение в экспериментальные стартовые искусственные корма позволило вырастить окуня без применения живого корма от предличинки до массы 1194 мг при выживаемости 28,5%, а судака до 153,9 мг с выживаемостью молодежи 12,6%. Однако при культивировании личинок окуневых

рыб необходимо обращать внимание на качество как самого корма, так и отдельных его компонентов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бабурина, Е. А. Развитие глаз и их функции у зародышей и личинок судака (*Lucioperca lucioperca* L.) / Е. А. Бабурина // Тр. Ин-та морфологии животных. – 1961. – № 33. – С. 151-171.
2. Antalfi, A. Propagation and rearing of perch in pond culture / A. Antalfi // EIFAC Techn. Pap. – no. 35. – Suppl. 1979. – no. 1. – P. 120-125.
3. Ruuhijärvi, J. The growth and survival of pike-perch, *Stizostedion lucioperca* L., larvae fed on formulated feed / J. Ruuhijärvi, E. Virtanen, M. Salminen, M. Muyunda // Larvi'91. eas Special Publication. – 1991. – no. 15. – P. 154-156.
4. Королев, А. Е. Опыт применения искусственных кормов при подращивании личинок судака / А. Е. Королев // Сб. науч. тр. ГосНИОРХ. – 2005. – Вып. 333. – С. 287-316.
5. Awaïss, A. Nutritional suitability of the rotifer *Brachionus calyciflorus* Pallas for rearing freshwater fish larvae / A. Awaïss, P. Kestemont, J.C. Micha // J. Appl. Ichthyol. – 1992. – Vol. 8. – P. 263–270.
6. Tamazouzt, L. L'alimentation artificielle de la perche *Perca fluviatilis* en milieu confinés (eau recycle, cage flottante): Thèse de doctorat / L. Tamazouzt; Université H. Poincaré, 1995. – 128 p.
7. Mani-Ponset, L. Development of yolk complex, liver and anterior intestine in pike-perch larvae, *Stizostedion lucioperca* (Percidae), according to the first diet during rearing / L. Mani-Ponset, J.P. Diaz, O. Schlumberger, R. Connes // Aquat. Living. Resour. – 1994. Vol. 7. – P. 191-202.
8. Nyina-wamwiza, L. Effect of dietary protein, lipid and carbohydrate ratio on growth, feed efficiency and body composition of pikeperch *Sander lucioperca* fingerlings / L. Nyina-wamwiza, X. Xu, G. Blanchard, P. Kestemont // Aquacult. Res. – 2005. – Vol. 36. – P. 486–492.
9. Дементьева, М. А. Некоторые анатомо-гистологические особенности кишечника молоди радужной форели, содержащейся на сухом корме / М. А. Дементьева // Изв. ГосНИОРХ. – 1976. – Т. 72. – С. 173-178.
10. Остроумова, И. Н. Биологические основы кормления рыб / И. Н. Остроумова. – Санкт-Петербург: Изд-во ГосНИОРХ, 2012. – 564 с.
11. Включение в стартовые корма для сиговых рыб (Coregonidae) бактериальной биомассы и белковых гидролизатов / И. Н. Остроумова [и др.] // Вопр. рыболовства. – 2018. – Т. 19. – № 1. – С. 82–98.
12. Терешенков, И. И. Методические рекомендации по выращиванию жизнестойкой молоди судака / И. И. Терешенков, А. Е. Королев. – Санкт-Петербург: Изд-во ГосНИОРХ, 1997. – 28 с.
13. Королев, А. Е. Неблагоприятные последствия возникновения на поверхности воды пленки кормов и способы их устранения при индустриальном подращивании личинок судака / А. Е. Королев // Итоги тридцатилетнего развития рыбоводства на теплых водах и перспективы на XXI век: материалы. – Санкт-Петербург, 1998. – С. 196-200.

14. Винберг, Г. Г. Интенсивность обмена и пищевые потребности рыб / Г. Г. Винберг. – Минск: Белорусский гос. ун-т, 1956. – 251 с.
15. Лакин, Г. Ф. Биометрия / Г. Ф. Лакин – Москва: Высш. шк., 1980. – 293 с.
16. Костюничев, В. В. Развитие пищеварительной системы личинок пеляди при использовании искусственных кормов / В. В. Костюничев // Сб. науч. тр. ГосНИОРХ. – 1986. – Вып. 246. – С. 68–75.
17. Ostaszewska, T. Developmental changes of digestive system structures in pike-perch (*Sander lucioperca* L.) / T. Ostaszewska // Electronic journal of ichthyology. – 2005. – Vol. 2 – P. 65-78.
18. Ruuhijärvi, J. The growth and survival of pike-perch, *Stizostedion lucioperca* L., larvae fed on formulated feed / J. Ruuhijärvi, E. Virtanen, M. Salminen, M. Muuyunda // Larvi'91. eas Special Publication. – 1991. – Vol. 15. – P. 154-156.
19. Schlumberger, O. Production de juveniles de sandre (*Stizostedion lucioperca*) / O. Schlumberger, J.P. Proteau // Aqua-revue. – 1991. – Vol. 36 – P. 25-28.
20. Лютиков, А. А. К методике использования живых кормов при выращивании личинок нельмы *Stenodus leucichthys nelma* (Salmoniformes: Coregonidae) / А. А. Лютиков // Вопр. рыболовства. – 2016. – Т. 17. – № 3. – С. 324-334.
21. Ермакова, С. В. Влияние длительного хранения гранулированных карповых кормов на их аминокислотный состав / С. В. Ермакова // Сб. науч. тр. ГосНИОРХ. – 1981. – № 175. – С. 44-51.
22. Остроумова, И. Н. Влияние длительности хранения кормов на фракционный и жирнокислотный состав липидов печени сиговых / И. Н. Остроумова, А. К. Шумилина, А. А. Лютиков // Вест. рыбохоз. науки. – 2018. – Т. 5. – № 3 (19). – С. 60-67.
23. Временная инструкция по определению степени окисления липидов в кормах и оценке влияния качества кормов на рыб / Н. Е. Картавцева [и др.]. – Ленинград: Промрыбвод, 1987. – 28 с.
24. Comparison of different soybean phospholipidic fractions as dietary supplements for common carp, *Cyprinus carpio*, larvae / I. Geurden et al. // Aquaculture. – 1998. – Vol. 161. – № 1–4. – P. 225–235.
25. Cahu, Ch. Nutritional components affecting skeletal development in fish larvae / Ch. Cahu, I. J. Zambonino, T. Takeuchi // Aquaculture. 2003. – Vol. 227. – № 1-4. – P. 254-258.
26. The effect of dietary phosphatidylcholine/phosphatidylinositol ratio on malformation in larvae and juvenile gilthead sea bream (*Sparus aurata*) / E. Sandel et al. // Aquaculture. – 2010. – Vol. 304. – P. 42–48.

REFERENCES

1. Baburina E. A. Razvitie glaz i ikh funktsii u zarodyshey i lichinok sudaka (*Lucioperca lucioperca* L.) [Development of the eye and their function in embryos and larvae of pike-perch (*Lucioperca lucioperca* L.)]. *Trudy Institutata morfologii zhivotnykh*, 1961, no 33, pp. 151-171.
2. Antalfi A. Propagation and rearing of perch in pond culture. *EIFAC Techn. Pap.*, 1979, vol. 35, iss. 1. pp. 120-125.

3. Ruuhijärvi, J. The growth and survival of pike-perch, *Stizostedion lucioperca* L., larvae fed on formulated feed. *Larvi'91. eas Special Publication*, 1991, vol. 15, pp. 154-156.
4. Korolyov A. E. Opyt primeneniya iskusstvennykh kormov pri podrashchivaniy lichinok sudaka [Experience of using artificial feed for growing pike-perch larvae]. *Sb. nauch. tr. GosNIORKH*, 2005, no. 333, pp. 287-316.
5. Awaïss A., Kestemont P., Micha J.C. Nutritional suitability of the rotifer *Brachionus calyciflorus* Pallas for rearing freshwater fish larvae. *J. Appl. Ichthyol*, 1992, vol. 8, pp. 263-270.
6. Tamazouzt L. L'alimentation artificielle de la perche *Perca fluviatilis* en milieu confinés (eau recycle, cage flottante). Thèse de doctorat. Université H. Poincaré, France, 1995. 128 p.
7. Mani-Ponset L., Diaz J. P., Schlumberger O., Connes R. Development of yolk complex, liver and anterior intestine in pike-perch larvae, *Stizostedion lucioperca* (Percidae), according to the first diet during rearing. *Aquat. Living. Resour*, 1994, vol. 7, pp. 191-202.
8. Nyina-wamwiza L., Xu X., Blanchard G., Kestemont P. Effect of dietary protein, lipid and carbohydrate ratio on growth, feed efficiency and body composition of pikeperch *Sander lucioperca* fingerlings. *Aquacult. Res*, 2005, vol. 36, pp. 486-492.
9. Dement'eva M. A. Nekotorye anatomo-gistologicheskie osobennosti kishchnika molodi raduzhnoy foreli, sodержashcheysya na sukhom korme [Some anatomical and histological features of the bowel of juvenile rainbow trout fed with dry feed]. *Izv. GosNIORKH*, 1976, no. 72, pp. 173-178.
10. Ostroumova I. N. *Biologicheskie osnovy kormleniya ryb* [The biological basis of feeding fish]. Saint-Petersburg, GosNIORKH Publ., 2012, 564 p.
11. Ostroumova I. N., Kostyunichev V. V., Lyutikov A. A., Bogdanova V. A., SHumilina A. K., Danilova T. P., Filatova T. A. Vkl'yucheniye v startovye korma dlya sigovykh ryb (Soregonidae) bakterial'noy biomassy i belkovykh gidrolizatov [Inclusion of bacterial biomass and protein hydrolysates in the starter feed for whitefish (Coregonidae)]. *Vopr. rybolovstva*, 2018, vol. 19, iss. 1, pp. 82-98.
12. Tereshenkov I. I., Korolyov A. E. *Metodicheskie rekomendatsii po vyrashchivaniyu zhiznestoykoy molodi sudaka* [Guidelines for growing viable juvenile pike-perch]. Saint-Petersburg, GosNIORKH Publ., 1997, 28 p.
13. Korolyov A. E. Neblagopriyatnye posledstviya vozniknoveniya na poverkhnosti vody plenki kormov i sposoby ikh ustraneniya pri industrial'nom podrashchivaniy lichinok sudaka [Unfavorable consequences of the appearance of feed pellicle on the water surface and methods for their elimination during industrial growing of pike-perch larvae]. *V sb.: Itogi tridtsatiletnego razvitiya rybovodstva na teplykh vodakh i perspektivy na XXI vek: materialy* [In coll.: The results of the thirty-year development of fish farming in warm waters and prospects for the 21st century: proceedings]. Saint-Petersburg, 1998, pp. 196-200.
14. Vinberg G. G. *Intensivnost' obmena i pishchevye potrebnosti ryb* [Exchange rate and nutritional needs of fish]. Minsk, Belorusskiy gos. un-t, 1956, 251 p.
15. Lakin G. F. *Biometriya* [Biometrics]. Moscow, Vyssh. shk. Publ., 1980, 293 p.

16. Kostyunichev V. V. Razvitie pishchevaritel'noy sistemy lichinok pelyadi pri ispol'zovanii iskusstvennykh kormov [The development of the digestive system of pelyad larvae using artificial feed]. *Sb. nauch. tr. GosNIORKH*, 1986, vol. 246, pp. 68-75.
17. Ostaszewska T. Developmental changes of digestive system structures in pike-perch (*Sander lucioperca* L.). *Electronic journal of ichthyology*, 2005, vol. 2, pp. 65-78.
18. Ruuhijärvi J., Virtanen E., Salminen M., Muyunda M. The growth and survival of pike-perch, *Stizostedion lucioperca* L., larvae fed on formulated feed. *Larvi '91. eas Special Publication*, 1991, vol. 15, pp. 154-156.
19. Schlumberger O., Proteau J.P. Production de juveniles de sandre (*Stizostedion lucioperca*). *Aqua-revue*, 1991, vol. 36, pp. 25-28.
20. Lyutikov A. A. K metodike ispol'zovaniya zhivyykh kormov pri vyrashchivaniy lichinok nel'my *Stenodus leucichthys nelma* (Salmoniformes: Coregonidae) [To the methodology of using live food for growing inconnu larvae *Stenodus leucichthys nelma* (Salmoniformes: Coregonidae)]. *Vopr. rybolovstva*, 2016, vol. 17, iss. 3, pp. 324-334.
21. Ermakova S. V. Vliyanie dlitel'nogo khraneniya granulirovannykh karpovykh kormov na ikh aminokislrotnyy sostav [The effect of long-term storage of granular carp feed on their amino acid composition]. *Sb. nauch. tr. GosNIORKH*, 1981, no. 175, pp. 44-51.
22. Ostroumova I. N., SHumilina A. K., Lyutikov A. A. Vliyanie dlitel'nosti khraneniya kormov na fraktsionnyy i zhirnokislrotnyy sostav lipidov pecheni sigovykh [The influence of the duration of feed storage on the fractional and fatty acid composition of whitefish liver lipids]. *Vest. rybokhoz. nauki*, 2018, vol. 5, iss. 3 (19), pp. 60-67.
23. Kartavtseva N. E., Abramova ZH. I., Ostroumova I. N., SHabalina A. A. *Vremennaya instruktsiya po opredeleniyu stepeni okisleniya lipidov v kormakh i otsenke vliyaniya kachestva kormov na ryb* [Temporary instructions for determining the degree of lipid oxidation in feed and assessing the effect of feed quality on fish]. Leningrad, Promrybvod Publ., 1987, 28 pp.
24. Geurden I., Marion D., Charlon N., Coutteau P., Bergot P. Comparison of different soybean phospholipidic fractions as dietary supplements for common carp, *Cyprinus carpio*, larvae. *Aquaculture*, 1998, vol. 161, iss. 1-4, pp. 225-235.
25. Cahu Ch., Zambonino J., Takeuchi T. Nutritional components affecting skeletal development in fish larvae. *Aquaculture*, 2003, vol. 227, no. 1-4, pp. 254-258.
26. Sandel E., Nixon O., Lutzky S., Ginsbourg B., Tandler A., Uni Z., Koven W. The effect of dietary phosphatidylcholine/phosphatidylinositol ratio on malformation in larvae and juvenile gilthead sea bream (*Sparus aurata*). *Aquaculture*, 2010, vol. 304, pp. 42-48.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Лютиков Анатолий Анатольевич – Санкт-Петербургский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ГосНИОРХ» имени Л. С. Берга); кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории аквакультуры; E-mail: tokmo@mail.ru

Lyutikov Anatoliy Anatolievich – SPb Filial agency of FSBSI «VNIRO» (L. S. Berg «GosNIORH»); PhD in Biology; Senior Researcher of the of the laboratory of aquaculture; E-mail: tokmo@mail.ru

Королев Александр Евгеньевич – Санкт-Петербургский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ГосНИОРХ» имени Л. С. Берга); кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории аквакультуры; E-mail: aqualab2007@yandex.ru

Korolyov Aleksandr Evgenievich – SPb Filial agency of FSBSI «VNIRO» (L. S. Berg «GosNIORH»); PhD in Biology; Leading Researcher of the laboratory of aquaculture; E-mail: aqualab2007@yandex.ru

Остроумова Ирина Николаевна – Санкт-Петербургский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ГосНИОРХ» имени Л. С. Берга); доктор биологических наук, Профессор; главный научный сотрудник лаборатории аквакультуры; E-mail: aqualab2007@yandex.ru

Ostroumova Irina Nikolaevna – SPb Filial agency of FSBSI «VNIRO» (L. S. Berg «GosNIORH»); Doctor of Bioscience, Professor; Chief Researcher of the laboratory of aquaculture; E-mail: aqualab2007@yandex.ru

УДК 639.2

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ
СЕТЕСНАСТНЫХ РЫБОЛОВНЫХ МАТЕРИАЛОВ ОТ ФАКТОРОВ
МЕХАНИЧЕСКОГО ИЗНОСА

Е. Е. Львова, А. В. Суконнов, М. М. Розенштейн, Т. Е. Суконнова

METHODS OF EXPERIMENTAL EVALUATION OF WEAR RESISTANCE
OF NET FISHING MATERIALS FROM MECHANICAL WEAR FACTORS

E. E. Lvova, A. V. Sukonnov, M. M. Rozenshtein, T. E. Sukonnova

Орудия рыболовства в процессе промысла подвержены различным видам износа, а именно: химическому, биохимическому и механическому. Природа химического и биохимического износов хорошо исследована, что позволяет применить методы и способы по их снижению. Наименее изученным и наиболее агрессивным является механический. В настоящее время в отечественной сетеснастной промышленности не существует численных значений и методов оценки параметров износостойкости рыболовных нитевидных материалов от воздействия факторов механического износа. В то же время зарубежные производители используют такую характеристику, как сопротивление абразивному трению, что позволяет осуществлять более качественный отбор материалов с учетом условий эксплуатации орудий рыболовства. В связи с этим в статье рассматривается вопрос создания методики по оценке влияния факторов, обуславливающих механический износ, на степень потери прочности рыболовной сетной полоски. С целью апробации методологического обеспечения исследований проводится описание экспериментального оборудования, разработанного авторами. Серия экспериментальных работ, выполненная с применением методов планирования экспериментов, позволила установить общие закономерности влияния факторов механического износа на остаточную прочность и степень потери прочности сетной полоски, изготовленной из рыболовных полиамидных ниток различного диаметра. Были рассчитаны коэффициенты регрессии и получены математические зависимости остаточной прочности $P_{ост}$ и степени потери прочности β полиамидной рыболовной нитки от исследуемых факторов механического износа. Анализ полученных зависимостей позволил оценить приоритет значимости влияния исследуемых факторов. Применение зависимостей позволит повысить качество отбираемых материалов для постройки орудий лова на стадии проектирования, а также оценить их долговечность во время эксплуатации.

орудия лова, механический износ, влияющие факторы, экспериментальные данные, степень потери прочности, рыболовные материалы, сетные полоски, приоритет влияния

In the process of harvesting, fishing gear are subject to various types of wear, namely chemical, biochemical and mechanical. The nature of chemical and biochemical wear is well studied, which allows us to apply methods and ways to reduce them. The least studied and most aggressive is mechanical wear. Currently, there are no numerical values and methods for evaluating the parameters of wear resistance of fishing filamentous materials from the impact of mechanical wear factors in the domestic netting industry. At the same time, foreign manufacturers use such characteristics as resistance to abrasive friction, which allows for a better selection of materials, taking into account operating conditions of fishing gear. In this regard, the article considers the issue of creating a method for assessing the influence of factors that cause mechanical wear on the degree of strength loss of the fishing net strip. For the purpose of approbation of methodological support of researches, the description of the experimental equipment developed by authors has been carried out. A series of experimental works performed using methods of planning experiments, allowed us to establish general patterns of influence of factors of mechanical wear on the residual strength and the degree of strength loss of the mesh strip made of fishing polyamide threads of different diameters. Regression coefficients have been calculated and mathematical dependences of the residual strength of the fish and the degree of strength loss of the β polyamide fishing thread on the studied factors of mechanical wear have been obtained. The analysis of the obtained dependencies allowed us to assess the priority of the significance of the influence of the studied factors. The use of these dependencies will improve the quality of selected materials for the construction of fishing gear at the design stage, as well as to assess their durability during operation.

fishing gear, mechanical wear, influencing factors, experimental data, assessment of regularities, degree of strength loss, fishing materials, net strips, priority of influence, practical application

ВВЕДЕНИЕ

Орудия промышленного рыболовства в процессе эксплуатации подвержены различным видам износа – химическому, биологическому и механическому. Природа возникновения химического и биологического износов довольно хорошо изучена, что позволяет промысловику с успехом справляться с этими явлениями. В свою очередь механический износ является наиболее агрессивным и наименее исследованным. Классифицируют два подвида механического износа – абразивное трение и циклические многократные нагружения (растяжения).

Износ от воздействия абразивного трения возникает от взаимодействия орудий рыболовства с грунтом, судовыми конструкциями и поверхностями рабочих органов промысловых машин. В свою очередь, циклические нагружения обусловлены воздействием гидродинамических сил при буксировке орудий рыболовства, качке судна и т.д. Наибольший вклад в изучение физики механического износа внесли сотрудники СЭБ промысловства. В частности, Ю. А. Изнанкин [1] проводил испытания по оценке износостойкости сетных жгутов на поверхности барабана, что позволило определить направление исследований и необходимость создания экспериментального оборудования.

В 1972 г. была разработана экспериментальная установка «Преголь» и проведена серия экспериментов по оценке влияния степени шероховатости поверхности на износ рыболовных ниток [2]. Из-за отсутствия методического обеспечения, измерительной техники и недостатков экспериментального оборудования результаты испытаний имели значительный разброс.

Исследованиями по влиянию циклических нагрузжений на износ рыболовных материалов занимались сотрудники НПО по технике промышленного рыболовства. Работы проводились на разрывной машине «Шимадзу». Из-за отсутствия устройства, обеспечивающего постоянство заданной амплитуды растяжения, результаты испытаний имели большой разброс и исследования не получили дальнейшего развития и применения.

Значительный вклад в изучение оценки циклической долговечности текстильных материалов внесли ученые Т. Н. Кукин, А. Н. Соловьев [3], Г. П. Капица [4].

Исследования зарубежных ученых позволяют проводить оценку стойкости текстильных материалов от абразивного трения [5].

Отсутствие в отечественной сетеснастной промышленности показателей износа зачастую приводит к необоснованному выбору рыболовных материалов без учета условий и режимов эксплуатации орудий рыболовства.

На основании вышесказанного можно утверждать, что актуальность выполненных исследований определяется необходимостью разработки методов оценки воздействия механического износа на потерю прочности рыболовных нитевидных материалов и изделий из них, что значительно повысит качество отбираемых материалов для постройки орудий лова с учетом условий их эксплуатации, а также расчетным путем определит их степень годности.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

В настоящее время в отечественной сетеснастной промышленности отсутствуют показатели износостойкости рыболовных материалов, что сказывается на работоспособности и долговечности орудий промышленного рыболовства. Методологическое обеспечение исследований по износостойкости нитевидных и сетевидных материалов установит влияние факторов механического износа на степень потери прочности рыболовных сетевидных материалов, а это позволит расширить ассортимент физико-механических показателей последних, а также провести оценку износостойкости орудий лова в целом.

МАТЕРИАЛЫ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Объектами исследований были выбраны сетные полоски из полиамидных рыболовных ниток:

- сетная полоска из нитки ПА 187 текс×9 ($d = 2,1$ мм), шаг ячеи - 25 мм, 40 мм;
- сетная полоска из нитки ПА 187 текс×2 ($d = 1,0$ мм), шаг ячеи - 25 мм, 40 мм.

При исследовании образцов рыболовных материалов нами была выполнена их экспертиза по РД 15-191-91 на соответствующем оборудовании, а именно:

- определение структуры образцов с помощью круткомера КУ-500-2м;
- определение диаметра с помощью окулярного микроскопа с ценой деления 0.01 мм;
- определение разрывной прочности на разрывных машинах ИР-5061 и Р-0,5.

Достоверность данных, полученных в результате проведенной экспертизы, была подтверждена расчетом относительной погрешности измерения диаметра и разрывной нагрузки, которая показала, что точность измерений составляет более 95 %.

Экспериментальные работы по оценке износостойкости рыболовных нитевидных материалов от совместного действия абразивного износа и циклических нагрузжений проводились на установках, задействованных в синхронном режиме. Это – экспериментальная установка для испытания износостойкости рыболовных нитевидных материалов на абразивное трение [6] (патент РФ на полезную модель № 174834) и установка для испытания износостойкости рыболовных нитевидных материалов при циклических нагрузжениях [7]. Это позволило исследовать образец при одинаковом количестве циклов в процессе одновременного истирания и циклических нагрузжений.

ВЫБОР ВЛИЯЮЩИХ ФАКТОРОВ

С целью оценки совместного влияния абразивного износа и воздействия циклических нагрузок на износостойкость сетных полосок, изготовленных из рыболовных нитевидных материалов, выбраны следующие факторы: диаметр нитевидного образца, шероховатость истирающей поверхности, количество циклов истирания в процентном соотношении, состояние испытуемых образцов и удлинение.

Характеристика влияющих факторов

1. **Шаг ячеи образца (а)** задан в диапазоне (25-40 мм);
2. **Шероховатость поверхности (W)** задана в диапазоне (46,2-150 мкм), что соответствует зернистости шлифшкурки Р320-Р100; Этот фактор характеризует состояние поверхностей трения. Диапазон обусловлен степенью шероховатости поверхностей, соответствующих шероховатостям грунтов, слипов, промысловых палуб и т.д.;
3. **Циклические нагрузжки (удлинение) (Δl)**. Заданный диапазон (25-50 %) от разрывного удлинения. Этот фактор характеризует степень упругой деформации образцов, подвергающихся циклическим динамическим нагрузкам;
4. **Процент износа ($N_{\text{цикл}}$)** задан в диапазоне (25-50 %) от количества циклов, пройденных до полного разрушения образца;

Планирование экспериментов. С целью оптимизации времени проведения экспериментальных исследований был применен метод планирования экспериментов. Составлена матрица четырехфакторного эксперимента на двух уровнях, который включал в себя 16 прямых опытов с различными сочетаниями факторов.

Для построения матрицы нами были приняты следующие обозначения влияющих факторов:

- x_1 - кодированное значение a в диапазоне изменения (25-40 мм);
- x_2 - кодированное значение W в диапазоне изменения (46,2-162 мкм);
- x_3 - кодированное значение Δl в диапазоне изменения (25-50 %) от разрывного удлинения;
- x_4 - кодированное значение $N_{\text{цикл}}$ в диапазоне изменения (25-50 %) от количества циклов до полного износа.

Расшифровка кода:

- +1 - максимальное значение фактора в диапазоне изменения, заданного в кодированном виде;
- 1 - минимальное значение фактора в диапазоне изменения, заданного в кодированном виде.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ

Для испытаний отбираются образцы, прошедшие экспертизу и соответствующие требованиям нормативно-технической документации, действующей в сетеснастной отрасли на конкретный вид рыболовного материала.

На первом этапе определяются разрывная прочность и разрывное удлинение образцов. По каждому виду испытаний было получено по 10 первичных значений. Для уплотнения первичной информации определяется среднее арифметическое значение, подсчитываются коэффициенты вариации и относительная погрешность измерения. Полученные результаты заносятся в таблицы.

После определения разрывной нагрузки и разрывного удлинения необходимо определить количество циклов до полного истирания образцов. Для этого исследуемые образцы закрепляются на экспериментальной установке с абразивными поверхностями, имеющими различную степень шероховатости, и истираются до естественного разрыва от совокупного воздействия абразивного износа и циклических нагрузок, которое происходит синхронно с абразивным трением. При разрыве одного из образцов экспериментальная установка автоматически останавливается.

Измерения проводятся по десять раз, определяется среднее арифметическое значение, и полученные результаты заносятся в таблицу.

Затем определяются численные значения порогов износа для каждого исследуемого образца (25 и 50 % от количества циклов полного истирания) и диапазон амплитуды циклических нагрузжений (25 и 50 % от полного разрывного удлинения), что обеспечивает пригодность рыболовных нитевидных материалов в составе орудий промышленного рыболовства.

Второй этап экспериментальных исследований проводился в соответствии со строками матрицы планирования эксперимента, учитывающих различные сочетания исследуемых факторов.

Образцы закреплялись на экспериментальных установках, и при достижении определенного количества циклов истирания образец подвергался испытанию на остаточную прочность.

С целью подтверждения достоверности полученных данных в серии экспериментов, подсчитывался коэффициент вариации по каждому показателю, проводился расчет относительной погрешности измерений.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Экспериментальные работы проводились в соответствии со строками матрицы планирования эксперимента в условиях механического износа.

По формуле (1) определялась степень потери прочности образца β .

$$\beta = \frac{P_{\phi} - P_{ост}}{P_{\phi}}, \quad (1)$$

где P_{ϕ} – первоначальная фактическая разрывная прочность; $P_{ост}$ – остаточная разрывная прочность.

Осредненные значения полученных экспериментальных данных приведены в табл. 1, 2.

Таблица 1. Остаточная прочность и степень потери прочности сетных полосок от совместного воздействия абразивного трения и циклических нагрузжений (нитка ПА 187 текс×2)

Table 1. Residual strength and the degree of strength loss of net strips from the combined impact of abrasive friction and cyclic loading (thread PA 187 Tex×2)

№ образца	a, мм, (x_1)		W, мкм, (x_2)		Δl , %, (x_3)		$N_{цикл}$, %, (x_4)		$P_{ост}$, Н	Степень потери прочности		Погрешность расчета, %
	β_s	β_p										
1	-1	25	+1	150	+1	50	+1	50	122	0,66	0,635	3,79
2	-1	25	+1	150	-1	25	+1	50	183	0,49	0,487	0,51
3	-1	25	-1	46,2	-1	25	+1	50	199	0,43	0,417	2,91
4	-1	25	-1	46,2	+1	50	+1	50	174	0,51	0,520	-1,96
5	+1	40	+1	150	+1	50	+1	50	141	0,65	0,665	-0,76
6	+1	40	+1	150	-1	25	+1	50	200	0,50	0,523	-4,50
7	+1	40	-1	46,2	-1	25	+1	50	218	0,45	0,448	0,56
8	+1	40	-1	46,2	+1	50	+1	50	182	0,55	0,555	-0,91
9	-1	25	+1	150	+1	50	-1	25	221	0,37	0,377	-2,03
10	-1	25	+1	150	-1	25	-1	25	257	0,26	0,270	-3,85
11	-1	25	-1	46,2	-1	25	-1	25	312	0,11	0,105	4,55
12	-1	25	-1	46,2	+1	50	-1	25	273	0,23	0,248	-7,61
13	+1	40	+1	150	+1	50	-1	25	231	0,43	0,408	5,23
14	+1	40	+1	150	-1	25	-1	25	280	0,30	0,305	-1,67
15	+1	40	-1	46,2	-1	25	-1	25	341	0,15	0,135	10,0
16	+1	40	-1	46,2	+1	50	-1	25	290	0,28	0,283	-0,89

Таблица 2. Остаточная прочность и степень потери прочности сетных полосок от совместного воздействия абразивного трения и циклических нагрузжений (нитка ПА 187 текс×9)

Table 2. Residual strength and the degree of strength loss of net strips from the combined impact of abrasive friction and cyclic loading (thread PA 187 Tex×9)

№ образца	a, мм, (x ₁)		W, МКМ, (x ₂)		Δl, %, (x ₃)		N _{цикл} , %, (x ₄)		P _{ост} , Н	Степень потери прочности		Погрешность расчета, %
	β ₃	β ₃										
1	-1	25	+1	150	+1	50	+1	50	292	0,76	0,746	1,81
2	-1	25	+1	150	-1	25	+1	50	335	0,72	0,704	2,26
3	-1	25	-1	46,2	-1	25	+1	50	634	0,47	0,484	-2,93
4	-1	25	-1	46,2	+1	50	+1	50	365	0,70	0,706	-0,89
5	+1	40	+1	150	+1	50	+1	50	315	0,78	0,781	-0,16
6	+1	40	+1	150	-1	25	+1	50	362	0,74	0,739	0,17
7	+1	40	-1	46,2	-1	25	+1	50	672	0,52	0,519	0,24
8	+1	40	-1	46,2	+1	50	+1	50	382	0,73	0,741	-1,54
9	-1	25	+1	150	+1	50	-1	25	682	0,43	0,429	0,29
10	-1	25	+1	150	-1	25	-1	25	832	0,31	0,331	-6,85
11	-1	25	-1	46,2	-1	25	-1	25	983	0,18	0,166	7,64
12	-1	25	-1	46,2	+1	50	-1	25	805	0,33	0,334	-1,14
13	+1	40	+1	150	+1	50	-1	25	776	0,45	0,464	-3,06
14	+1	40	+1	150	-1	25	-1	25	892	0,37	0,366	1,01
15	+1	40	-1	46,2	-1	25	-1	25	1123	0,20	0,201	-0,63
16	+1	40	-1	46,2	+1	50	-1	25	864	0,39	0,369	5,45

АНАЛИТИЧЕСКИЕ ВЫКЛАДКИ

В результате математической обработки экспериментальных данных были рассчитаны коэффициенты регрессии и получены математические зависимости остаточной прочности (P_{ост}) и степени потери прочности (β_p) сетных полосок, изготовленных из рыболовной полиамидной нитки 187 текс×2 и 187 текс×9 в мокром виде от следующих факторов: шаг ячеи, шероховатость истирающей поверхности, относительное удлинение, количество циклов нагружения, заданных в кодированном виде:

сетная полоска из нитки ПА 187 текс×2

$$P_{ост} = 225,5 + 8,88(x_1) - 22,13(x_2) - 22,15(x_3) - 49,13(x_4) - 3,38(x_2 x_3) + 6,25(x_2 x_4) - 4(x_2 x_3 x_4), \quad (2)$$

$$\beta_p = 0,4 + 0,02(x_1) + 0,06(x_2) + 0,06(x_3) + 0,13(x_4) - 0,01(x_2 x_4) + 0,02(x_1 x_2 x_3) + 0,01(x_2 x_3 x_4), \quad (3)$$

сетная полоска из нитки ПА 187 текс×9

$$P_{\text{ост}} = 721,75 + 86,13(x_1) - 144,75(x_2) - 173,25(x_3) - 153,25(x_4) - 11,38(x_1 x_3) - 22,18(x_1 x_4) + 42(x_2 x_3) - 12,13(x_1 x_2 x_3) - 17,38(x_1 x_3 x_4) + 18,5(x_2 x_3 x_4) + 12,88(x_1 x_2 x_3 x_4), \quad (4)$$

$$\beta_p = 0,51 + 0,02(x_1) + 0,07(x_2) + 0,07(x_3) + 0,17(x_4) - 0,03(x_2 x_3) - 0,01(x_2 x_3 x_4), \quad (5)$$

где x_1 – кодированное значение шага ячеи, в диапазоне изменения (25-40) мм; x_2 – кодированное значение шероховатости поверхности в диапазоне изменения (46,2-150) мкм; x_3 – кодированное значение относительного удлинения образца, в диапазоне изменения (25-50) % от разрывного удлинения; x_4 – кодированное значение циклов трения в процентном соотношении в диапазоне изменения (25-50) % от полного износа.

Отклонение расчетных и экспериментальных данных не превышает 5 %, что говорит об адекватности полученных зависимостей.

Для определения степени влияния исследуемых факторов на потери прочности сетной полоски из рыболовной полиамидной нитки 187 текс×2 был выполнен анализ их приоритетов.

Степень потери прочности β и влияющие на нее параметры a , W , Δl , $N_{\text{цикл}}$ сведем в массив данных.

Вычисляем в пакете MathCAD точечные оценки элементов матрицы коэффициентов парной корреляции [8, 9].

$$r = \begin{pmatrix} 1 & 0,097 & 0,37 & 0,386 & 0,823 \\ 0,097 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0,37 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0,386 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0,823 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}. \quad (6)$$

По первой строке матрицы парной корреляции (6) наибольшее влияние на степень потери прочности β имеет количество циклов нагружения $N_{\text{цикл}}$ ($r_{1,5} = 0,823$, корреляция положительная); второй по влиянию фактор - относительное удлинение Δl ($r_{1,4} = 0,386$, корреляция положительная); наименьшее влияние оказывает шаг ячеи образца a ($r_{1,2} = 0,097$, корреляция положительная)

Найдем для регрессии различного порядка значения среднего квадратичного отклонения S , средней относительной погрешности аппроксимации ε , коэффициент множественной корреляции R , коэффициент множественной детерминации R^2 :

- с учетом значений всех влияющих факторов (табл. 3);
- с учетом трех влияющих факторов из четырех, отбросив наименее значимый фактор - шаг ячеи a (табл. 4);
- с учетом двух влияющих факторов, отбросив влияющий фактор – шероховатость истирающей поверхности W (табл. 5).

Таблица 3. Характеристики регрессии различного порядка с учетом влияния четырех факторов (a, W, Δl, N_{цикл})

Table 3. Regression characteristics of different order taking into account the influence of four factors (a, W, Δl, N_{цикл})

Порядок регрессии, степень	Среднее квадратичное отклонение S	Средняя относительная погрешность аппроксимации ε, %	Коэффициент детерминации R ²
Первая	0,114	8,561	0,972
Вторая	0,058	6,703	0,986
Третья	0,040	5,776	0,990
Четвертая	0,038	5,697	0,991

Таблица 4. Характеристики регрессии различного порядка с учетом влияния трех факторов (W, Δl, N_{цикл})

Table 4. Regression characteristics of different order taking into account the influence of three factors (W, Δl, N_{цикл})

Порядок регрессии, степень	Среднее квадратичное отклонение S	Средняя относительная погрешность аппроксимации ε, %	Коэффициент детерминации R ²
Первая	0,153	10,735	0,963
Вторая	0,110	9,803	0,973
Третья	0,096	9,431	0,977
Четвертая	0,096	9,461	0,977

Таблица 5. Характеристики регрессии различного порядка с учетом влияния двух факторов (Δl, N_{цикл})

Table 5. Regression characteristics of different order taking into account the influence of two factors (Δl, N_{цикл})

Порядок регрессии, степень	Среднее квадратичное отклонение S	Средняя относительная погрешность аппроксимации ε %	Коэффициент детерминации R ²
Первая	0,717	23,878	0,826
Вторая	0,717	23,915	0,826
Третья	0,717	23,992	0,826
Четвертая	0,717	24,069	0,826

Анализ полученных данных (табл. 3-5) показывает, что:

- рассматривать модель выше второго порядка не имеет смысла, так как начиная со второй степени порядка регрессии, коэффициент детерминации (R²) и средняя относительная погрешность аппроксимации (ε) практически не изменяются;

- при регрессии второго порядка с учетом влияния четырех факторов коэффициент детерминации R² = 0,986, это означает, что 98,6 % изменения степени

потери прочности β описываются вариацией четырех влияющих факторов (a , W , Δl , $N_{\text{цикл}}$) и только оставшиеся 1,4 % описываются другими неучтенными факторами;

- отбросив наименее значимый фактор (a), коэффициент детерминации регрессии незначительно снижается ($R^2 = 0,973$), это значит, что 97,3 % изменения степени износа объясняются вариацией трех факторов (W , Δl , $N_{\text{цикл}}$), и только 2,7 % остаются неучтенными, отсюда следует, что учетом влияния данного фактора можно пренебречь;

- отбросив два значимых фактора (Δl , $N_{\text{цикл}}$), коэффициент детерминации регрессии снижается ($R^2 = 0,826$), это значит, что 82,6 % изменения степени износа объясняются вариацией двух факторов (W , Δl), а 17,4 % изменения остается неучтенными, поэтому такой моделью пользоваться не рекомендуется.

Для выполнения расчетных действий с натурными значениями факторов необходимо перевести кодированные значения факторов в зависимости (2-5) к натурным (x_i), с помощью формулы:

$$x_i = \frac{x_i - x_{i0}}{\Delta x_i}, \quad (7)$$

где x_i – значение фактора в натурном виде; x_{i0} – основной уровень; Δx_i – интервал варьирования.

В частности, натурные значения факторов для полученных зависимостей представлены в виде

$$x_1 = \frac{x_1 - 32,5}{7,5}; \quad x_2 = \frac{x_2 - 98,1}{51,9}; \quad x_3 = \frac{x_3 - 37,5}{12,5}; \quad x_4 = \frac{x_4 - 37,5}{12,5}. \quad (8)$$

Аналогичным методом проводилась оценка степени влияния исследуемых факторов на потерю прочности сетной полоски из полиамидной рыболовной нитки 187 текс×9, которая показала, что значимость влияния факторов идентична сетной полоске из полиамидной рыболовной нитки 187 текс×2.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенная методика и экспериментальное оборудование позволяют определить зависимость потери прочности и степени потери прочности рыболовных нитевидных материалов от совместного воздействия абразивного трения и циклических нагрузжений.

Проведенный анализ значимости факторов для сетных полосок, изготовленных из рыболовных полиамидных ниток, показал, что степень потери прочности возрастает с увеличением:

- количества циклов нагружения;
- амплитуды циклического нагружения;
- шероховатости истирающей поверхности.

Степень потери прочности снижается с увеличением шага ячеи сетной полоски.

Наибольшее влияние на степень потери прочности при механическом износе, образующемся при совместном воздействии абразивного трения и циклических нагрузжений на сетные полоски из рыболовных полиамидных ниток, имеет количество циклов нагружения.

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

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Изнанкин, Ю. А. Научный отчет по НИР (промежуточный) № 70-21.2.1 / СЭКБ Промрыболовства / Ю. А. Изнанкин. – Калининград, 1970. – 134 с.
2. Совершенствование рыболовных материалов: отчет СЭКБ промрыболовства. – Калининград, 1972. – 120 с.
3. Кукин, Г. Н. Текстильное материаловедение (текстильные полотна и изделия): учебник для вузов / Г. Н. Кукин, А. Н. Соловьев, А. И. Кобляков. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Легпромбытиздат, 1992. – 272 с.
4. Овчинникова Н.В. Влияние волокнистого состава и строения тканей с содержанием модифицированного льняного волокна на их потребительские свойства: автореф. дис. ... канд. техн. наук / МУПК; Овчинникова Н.В. – Москва; Тверь, 2005. – 20 с.
5. Ulla Oxving. Fishing gears / Ulla Oxving, Ulrik Jes Hansen. – 2nd edition. Fisheries Circle. – 2017. [Электронный ресурс]. – URL:<http://www.fisheriescircle.com/files/Fiskericirklen/Fagboger/PDFer/Fishing%20gears/Fishing%20gears.pdf> (Дата обращения: 11 декабря 2019)
6. Львова, Е. Е. Экспериментальные исследования процесса износа рыболовных нитей от абразивного трения / Е. Е. Львова, А. В. Суконнов, Т. Е. Суконнова // Рыбное хозяйство. – 2017. – № 4. – С. 106-108.
7. Львова, Е. Е. Экспериментальная установка для исследования влияния циклических нагрузжений на прочность текстильных рыболовных нитевидных материалов / Е. Е. Львова, А. В. Суконнов, Т. Е. Суконнова // Рыбное хозяйство. – 2017. – № 4. – С. 97-99.
8. Наумов, В. А. Математическое моделирование: учеб.-методич. пособие по лабораторным работам в среде MathCAD для студ. высших учебных заведений, обучающихся в бакалавриате по напр. подгот. «Природообустройство и водопользование» / В. А. Наумов. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «КГТУ», 2015. – 73 с.
9. Наумов, В. А. Прикладная математика: учеб. пособие по решению профессиональных задач в среде MathCAD / В. А. Наумов. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2014. – 144 с.

REFERENCES

1. Iznankin YU. A. *Nauchnyy otchet po NIR (promezhutochnyy) № 70-21.2.1*. [Scientific report on research (intermediate) no. 70-21.2.1]. Kaliningrad, SEKB Promrybolovstva, 1970, 134 p.
2. *Sovershenstvovanie rybolovnykh materialov: otchet SEKB promrybolovstva* [Improvement of fishing materials: report of the SECB of industrial fishing]. Kaliningrad, SEKB Promrybolovstva, 1972, 120 p.
3. Kukin G. N., Solov'ev A. N., Koblyakov A. I. *Tekstil'noe materialovedenie (tekstil'nye polotna i izdeliya)*. Uchebnik dlya vuzov – 2-e izd., pererab. i dop. [Textile materials science (textile fabrics and products). Textbook for universities -2nd edition]. Moscow, Legprombytizdat, 1992, 272 p.
4. Kapitsa G. P. *Vliyanie voloknistogo sostava i stroeniya tkaney s sodержaniem modifitsirovannogo l'nyanogo volokna na ikh potrebitel'skie svoystva*.

Avtoreferat diss. kand. tekhn. nauk [The influence of fibrous composition and structure of tissues with the content of modified flax fibers on their consumer properties. Abstract. dis. cand. techn. sci.]. Moscow, 2005, 20 p.

5. Ulla Oxving. Fishing gears / Ulla Oxving, Ulrik Jes Hansen. - 2nd edition. - Fisheries Circle. – 2017. Available at: <http://www.fisheriescircle.com/files/Fiskericirklen/Fagboger/PDFer/Fishing%20gears/Fishing%20gears.pdf> (Accessed 11 December 2019).

6. L'vova E. E., Sukonnov A. V., Sukonnova T. E. Eksperimental'nye issledovaniya protsessa iznosa rybolovnykh nitey ot abrazivnogo treniya [Experimental studies of the process of wear of fishing threads from abrasive friction]. *Rybnoe khozyaystvo*, 2017, no. 4, pp. 106-108.

7. L'vova E. E., Sukonnov A. V., Sukonnova T. E. Eksperimental'naya ustanovka dlya issledovaniya vliyaniya tsiklicheskih nagruzheniy na prochnost' tekstil'nykh rybolovnykh nitevidnykh materialov [Experimental setup for studying the effect of cyclic loading on the strength of textile fishing filamentous materials]. *Rybnoe khozyaystvo*, 2017, no. 4, pp. 97-99.

8. Naumov V. A. *Matematicheskoe modelirovanie. Uchebno-metodicheskoe posobie po laboratornym rabotam v srede MathCAD dlya studentov vysshikh uchebnykh zavedeniy, obuchayushchikhsya v bakalavriate po napravleniyu podgotovki "Prirodoobustroystvo i vodopol'zovanie"* [Mathematical modeling: educational and methodical manual on laboratory work in MathCAD environment for students of higher educational institutions pursuing a bachelor degree in the field of nature management and water use]. Kaliningrad, FGBOU VPO "KGTU", 2015, 73 p.

9. Naumov V. A. *Prikladnaya matematika. Uchebnoe posobie po resheniyu professional'nykh zadach v srede MathCAD* [Applied mathematics. Tutorial for solving professional problems in MathCAD environment]. Kaliningrad, FGBOU VPO "KGTU", 2014, 144 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Львова Екатерина Евгеньевна – Калининградский государственный технический университет; соискатель ученой степени кандидата технических наук, начальник отдела практики; E-mail: ekaterina.lvova@klgtu.ru

Lvova Ekaterina Evgenievna – Kaliningrad State Technical University; applicant for a PhD in Engineering, Head of Practical Training Department; E-mail: ekaterina.lvova@klgtu.ru

Суконнов Анатолий Владимирович – Калининградский государственный технический университет; кандидат технических наук, доцент; E-mail: sukonnov@klgtu.ru

Sukonnov Anatoliy Vladimirovich – Kaliningrad State Technical University; PhD in Engineering, Associate professor; E-mail: sukonnov@klgtu.ru

Розенштейн Михаил Михайлович – Калининградский государственный технический университет; доктор технических наук, профессор;
E-mail: rozenshtein@klgtu.ru

Rozenstein Mikhail Mikhailovich – Kaliningrad State Technical University;
Doctor of Technical Sciences, Professor; E-mail: rozenshtein@klgtu.ru

Суконнова Татьяна Евгеньевна – Калининградский государственный технический университет; доцент кафедры промышленного рыболовства;
E-mail: sukonnova@klgtu.ru

Sukonnova Tatiana Evgenevna – Kaliningrad State Technical University; Associate Professor of the Department of Industrial Fisheries; E-mail: sukonnova@klgtu.ru

УДК 639.2.081.1; 537.8

К ТЕОРИИ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОГО ПОДОБИЯ ПРОМЫСЛОВЫХ
МЕХАНИЗМОВ

А. А. Недоступ, А. О. Ражев

REVISITING THE THEORY OF ELECTRODYNAMIC SIMILARITY
OF COMMERCIAL FISHING MECHANISMS

A. A. Nedostup, A. O. Razhev

Основной задачей электродинамического подобия промысловых механизмов является определение силовых параметров элементов их конструкции, имеющих различные технические характеристики, что существенно усложняет теоретический анализ при проектировании. Важная составляющая электродинамического подобия состоит в сохранении у модели, выполненной в отличных от натуры размерах, физической природы явлений оригинала. В электродинамических задачах требуется обеспечить совпадение механических, электрических и электромагнитных процессов – определить силовые параметры взаимодействующих объектов между собой и средой в безразмерном виде для того, чтобы величины этих параметров были независимы от размеров и скорости движения объекта, плотности, вязкости среды и других величин. При динамическом подобии в дополнение к масштабам физических характеристик гидродинамических, грунтодинамических и трибологических процессов рыболовства в ходе проектировании промысловых механизмов необходимо ввести масштабы характеристик, учитывающих электродинамические процессы. В статье авторами предлагаются дополнительные масштабы подобия для электродинамических характеристик, приводятся методы их вычисления и графики зависимостей от геометрического масштаба C_l . Полное подобие двух объектов исследования возможно лишь при бесконечном количестве критериев подобия, что достигается только в теории.

электродинамическое подобие, промысловые механизмы, орудия рыболовства

The main task of electrodynamic similarity of fishing mechanisms is to determine the power parameters of the elements of their design with different technical characteristics, which significantly complicates the theoretical analysis in the design. An important component of electrodynamic similarity consists in preserving physical nature of the original phenomena in a model made in sizes different from nature. In electrodynamic problems, it is required to ensure the coincidence of mechanical, electrical and electromagnetic processes-to determine the force parameters of interacting objects with each other and the medium in a dimensionless manner in order the values of these parameters will be independent of the size and speed of the object, density, viscosity of the medium and other values. In case of dynamic similarity in addition to scales of physical characteristic of hydrodynamics, soil-dynamics and tribologicals processes of fishing, at design stage of fishing mechanisms it is necessary

to enter additional scales of the characteristics considering electrodynamic processes. In the article, the authors propose additional scales of similarity for electrodynamic characteristics, methods of their calculation and characteristics of their dependences on the geometric scale C_l . Full similarity of two objects of research is only possible with a large number of similarity criteria, which is achieved only in theory.

electrodynamic similarity, fishing mechanisms, fishing gears

ВВЕДЕНИЕ

Основной задачей электродинамического подобия промышленных механизмов является определение силовых параметров таких деталей, как двигатель, мотор, блок, которые нагружены под воздействием движущихся в водной и воздушной средах орудий рыболовства или их элементов [1–4]. Промысловые механизмы промышленного рыболовства состоят из мотора, вала, редуктора и других элементов и имеют различные технические характеристики. Данный фактор существенно усложняет теоретический анализ при проектировании промышленных механизмов, и их расчет становится невозможным.

Электродинамическое подобие как метод исследования проблем потребления энергии промышленных механизмов позволяет подобрать необходимые параметры промышленных механизмов. Для таких механизмов, выполненных в размерах, отличных от натуральных (лебедки, неводовыборочные блоки, турачки, шкивы, шпильки), основная задача электродинамического подобия – сохранение физической природы явлений оригинала. Поэтому, как и в задачах механики орудий рыболовства, аэродинамики летательных аппаратов, термодинамики и гидравлики жидкостей, исследования устойчивости плавательных аппаратов, в электродинамических задачах также необходимо достичь геометрического подобия.

В данных задачах следует обеспечить совпадение механических, электрических и электромагнитных процессов. Необходимо отметить, что при электродинамическом подобии лебедок, неводовыборочных блоков, турачек, шкивов, шпилей только при сохранении физической природы явлений объективно отражаются свойства натуральных механизмов.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Теория физического моделирования динамических процессов имеет большое значение [5, 6]. Важно, чтобы характеристики физической модели промышленного механизма были геометрически подобны натурной, применяемой в промышленном рыболовстве. Однако модель может иметь отличные от натурального промышленного механизма размеры и исследоваться при условиях, отличных от натуральных. В электродинамических задачах требуется обеспечить совпадение механических, электрических и электромагнитных процессов, т. е. определить силовые параметры взаимодействующих объектов между собой и средой в безразмерном виде для того, чтобы величины этих параметров были независимы от размеров и скорости движения объекта, плотности, вязкости среды и др.

В табл. 1 приведены основные масштабы физических характеристик гидродинамических, грунтодинамических и трибологических процессов, протекающих с орудиями рыболовства при динамическом подобии.

Таблица 1. Основные масштабы физических характеристик гидродинамических, грунтодинамических и трибологических процессов, протекающих с орудиями рыболовства при динамическом подобии

Table 1. Main scales of the physical characteristics of hydrodynamic, soil-dynamic and tribological processes that occur with fishing gear at dynamic similarity

Масштабы физических характеристик		Преобразование через масштаб C_l
Физические характеристики	Обозначение	
Геометрический параметр (длина, высота, ширина и др.)	C_l	C_l
Геометрический параметр (площадь)	C_F	C_l^2
Геометрический параметр (объем)	C_V	C_l^3
Геометрический параметр (геометрический момент инерции)	C_I	C_l^4
Время	C_t	$C_l^{5/4}$
Масса	C_m	C_l^3
Скорость	C_v	$C_l^{-1/4}$
Ускорение	C_w	$C_l^{-3/2}$
Сила	C_R	$C_l^{3/2}$
Объемный вес	C_γ	$C_l^{-3/2}$
Плотность воды	C_ρ	1
Момент (вращательный)	$C_{Mб}$	$C_l^{5/2}$
Динамическая вязкость воды	C_μ	$C_l^{3/4}$
Изгибная жесткость	C_{EI}	$C_l^{7/2}$
Кинематическая вязкость воды	C_ν	$C_l^{3/4}$
Упругость материала	C_E	$C_l^{-1/2}$
Частота оборотов	$C_{\omega об}$	$C_l^{-5/4}$
Давление	C_p	$C_l^{-1/2}$
Частота колебаний	C_f	$C_l^{-5/4}$
Потенциальная энергия	C_{Un}	$C_l^{5/2}$
Касательное напряжение	C_σ	$C_l^{-1/2}$
Кинематическая энергия	C_{Tn}	$C_l^{5/2}$
Сдвиг грунта	$C_{\tau гр}$	$C_l^{-1/2}$
Поверхностное натяжение	$C_{\sigma н}$	$C_l^{1/2}$
Связность грунта	$C_{C\omega}$	$C_l^{-1/2}$
Мощность	C_N	$C_l^{5/4}$
Угол	$C_\alpha = C_{\phi в н}$	1
Твердость	$C_{НВ}$	$C_l^{-1/2}$
Сплошность	C_{Fo}	1
Коэффициент трения	$C_{\mu д}$	1
Коэффициент сопротивления (распорной силы, боковой силы)	C_k	1
Относительное удлинение	C_ε	1

При проектировании промышленных механизмов данных масштабов недостаточно, так как они не учитывают протекающие в них электродинамические процессы. Возникает необходимость получить их.

МЕТОДЫ

Рассмотрим размерности основных величин электродинамики (табл. 2).

Таблица 2. Размерности основных величин электродинамики
Table 2. Dimensions of the basic quantities of electrodynamics

Наименование величины	Размерность
Энергия, работа, количество теплоты	L^2MT^2
Мощность	L^2MT^3
Количество электричества, электрический заряд	TI
Электрическое напряжение, потенциал, электродвижущая сила	$L^2MT^{-3}I^1$
Электрическая емкость	$L^{-2}M^{-1}T^4I^2$
Электрическое сопротивление	$L^2MT^{-3}I^2$
Электрическая проводимость	$L^{-2}M^{-1}T^3I^2$
Поток магнитной индукции	$L^2MT^{-2}I^1$
Магнитная индукция	$MT^{-2}I^1$
Индуктивность	$L^2MT^{-2}I^2$

Примечание. I – сила тока.

Найдем критерии электродинамического подобия. Выразим масштаб энергии, работы и количества теплоты L^2MT^2 через масштаб C_I :

$$C_Q = C_I^2 C_I^3 C_I^{-\frac{10}{4}} = C_I^{\frac{5}{2}}. \quad (1)$$

Это справедливо, так как $C_{Un} = C_{Tn} = C_Q = C_A = C_Q$,

где C_A – масштаб работы; C_Q – масштаб количества теплоты.

По аналогии найдем масштаб мощности C_P :

$$C_P = C_I^2 C_I^3 C_I^{-\frac{15}{4}} = C_I^{\frac{5}{4}}. \quad (2)$$

Это верно, так как $C_N = C_P$.

Знаем, что работа определяется по выражению

$$A = UIt, \quad (3)$$

где U – электрическое напряжение.

Тогда работа в масштабном виде

$$C_A = C_U C_I C_t, \quad (4)$$

где C_U – масштаб электрического напряжения; C_I – масштаб силы тока.

Приравняем (1) и (4). Получим следующее выражение:

$$C_I^{\frac{5}{2}} = C_U C_I C_t = C_U C_I C_I^4, \quad (5)$$

или

$$C_I^{\frac{5}{4}} = C_U C_I. \quad (6)$$

Выразим электрическое напряжение, потенциал, электродвижущую силу через масштаб C_I на основании табл. 2:

$$C_U = C_I^2 C_I^3 C_I^{-\frac{15}{4}} C_I^{-1} = C_I^{\frac{5}{4}} C_I^{-1}, \quad (7)$$

выражения (6) и (7) идентичны, аналогично представим масштаб электрической емкости C_C :

$$C_C = C_l^{-2} C_l^{-3} C_l^5 C_l^2 = C_l^2. \quad (8)$$

Представим масштаб электрического сопротивления C_{Rc} :

$$C_{Rc} = C_l^2 C_l^3 C_l^{-\frac{15}{4}} C_l^{-2} = C_l^{\frac{5}{4}} C_l^{-2} \quad (9)$$

и электрической проводимости C_G :

$$C_G = C_l^{-2} C_l^{-3} C_l^{\frac{15}{4}} C_l^2 = C_l^{-\frac{5}{4}} C_l^2. \quad (10)$$

Приведем масштаб потока магнитной индукции C_Φ :

$$C_\Phi = C_l^2 C_l^3 C_l^{-\frac{10}{4}} C_l^{-1} = C_l^{\frac{5}{2}} C_l^{-1} \quad (11)$$

и магнитной индукции C_B :

$$C_B = C_l^3 C_l^{-\frac{10}{4}} C_l^{-1} = C_l^{\frac{1}{2}} C_l^{-1}. \quad (12)$$

Покажем масштаб индуктивности C_L :

$$C_L = C_l^2 C_l^3 C_l^{-\frac{10}{4}} C_l^{-2} = C_l^{\frac{5}{2}} C_l^{-2}. \quad (13)$$

Зная, что сила тока I определяется по выражениям

$$\left. \begin{aligned} I &= \frac{P}{U} \\ I &= \frac{q}{t} \end{aligned} \right\}, \quad (14)$$

где P – мощность; q – электрический заряд, рассмотрим масштаб силы тока C_I , как в механике, т.е.

$$C_I = C_R = C^{\frac{3}{2}}, \quad (15)$$

тогда масштаб количества электричества или электрического заряда

$$C_q = C_I C_t = C^{\frac{3}{2}} C^{\frac{5}{4}} = C^{\frac{11}{4}}. \quad (16)$$

Приведем масштаб удельного сопротивления материала $C_{\rho c}$:

$$C_{\rho c} = C_{Rc} C_l = C_l^{\frac{5}{4}} C_l^{-2} C_l = C_l^{-\frac{3}{4}}. \quad (17)$$

При этом определены масштабы электродинамического подобия промышленных механизмов.

Масштаб энергии, работы, количества теплоты

$$C_\varepsilon = C_l^{\frac{3}{2}}. \quad (18)$$

Масштаб мощности

$$C_p = C_l^{\frac{5}{4}}. \quad (19)$$

Масштаб количества электричества, электрического заряда

$$C_q = C^{\frac{11}{4}}. \quad (20)$$

Масштаб электрического напряжения, потенциала, электродвижущей силы

$$C_U = C_l^{-\frac{1}{4}}. \quad (21)$$

Масштаб электрической емкости

$$C_C = C_l^3. \quad (22)$$

Масштаб электрического сопротивления

$$C_{Rc} = C_l^{-\frac{7}{4}}. \quad (23)$$

Масштаб электрической проводимости

$$C_G = C_l^{\frac{7}{4}}. \quad (24)$$

Масштаб потока магнитной индукции

$$C_\Phi = C_l. \quad (25)$$

Масштаб магнитной индукции

$$C_B = C_l^{-1}. \quad (26)$$

Масштаб индуктивности

$$C_L = C_l^{\frac{5}{2}}. \quad (27)$$

Масштаб удельного сопротивления материала

$$C_{\rho c} = C_l^{-\frac{3}{4}}. \quad (28)$$

Масштаб силы тока

$$C_I = C_l^{\frac{3}{2}}. \quad (29)$$

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

С учетом (1) – (29) отобразим основные масштабы физических характеристик электродинамического подобия в табл. 3.

Таблица 3. Основные масштабы физических характеристик электродинамического подобия

Table 3. Main scales of the physical characteristics of the electrodynamic similarity

Масштабы физических характеристик		Преобразование через масштаб C_l
Физические характеристики	Обозначение	
Энергия, работа, количество теплоты	$C_E=C_A=C_Q$	$C_l^{5/2}$
Мощность	C_P	$C_l^{5/4}$
Количество электричества, электрический заряд	C_q	$C_l^{11/4}$
Электрическое напряжение, потенциал, электродвижущая сила	C_U	$C_l^{-1/4}$
Электрическая емкость	C_C	C_l^3
Электрическое сопротивление	C_{Rc}	$C_l^{-7/4}$
Электрическая проводимость	C_G	$C_l^{7/4}$
Поток магнитной индукции	C_Φ	C_l
Магнитная индукция	C_B	C_l^{-1}
Индуктивность	C_L	$C_l^{-1/2}$
Удельное сопротивление материала	$C_{\rho c}$	$C_l^{-3/4}$
Сила тока	C_I	$C_l^{3/2}$

Отообразим на графиках рис. 1 и 2 зависимости $C_I=f(C_l)$ и $C_{\rho c}=f(C_l)$.

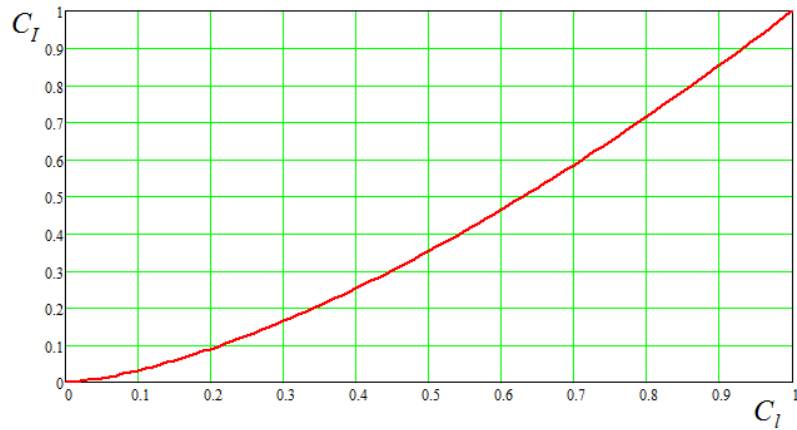


Рис. 1. График зависимости
Fig. 1. Dependence graph $C_I=f(C_I)$

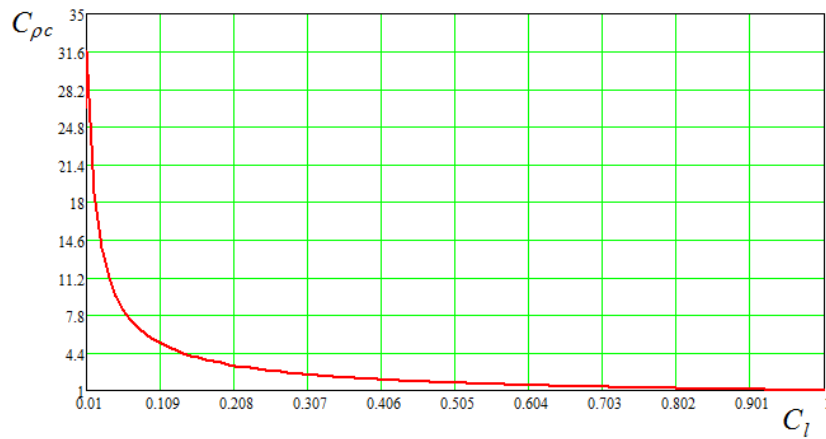


Рис. 2. График зависимости $C_{pc}=f(C_I)$
Fig. 2. Dependence graph $C_{pc}=f(C_I)$

Отообразим на графиках рис. 3 и 4 зависимости $C_U=f(C_I)$ и $C_{Re}=f(C_I)$.

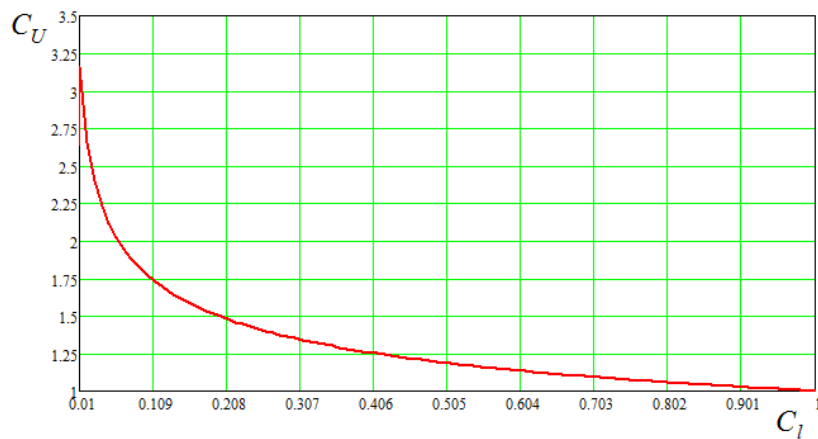


Рис. 3. График зависимости $C_U=f(C_I)$
Fig. 3. Dependence graph $C_U=f(C_I)$

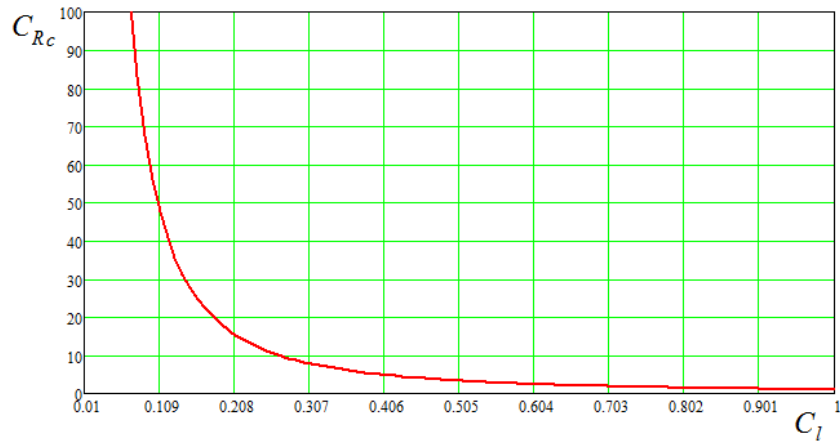


Рис. 4. График зависимости $C_{Rc}=f(C_l)$
Fig. 4. Dependence graph $C_{Rc}=f(C_l)$

Отообразим на графиках рис. 5 и 6 зависимости $C_G=f(C_l)$ и $C_\Phi=f(C_l)$.

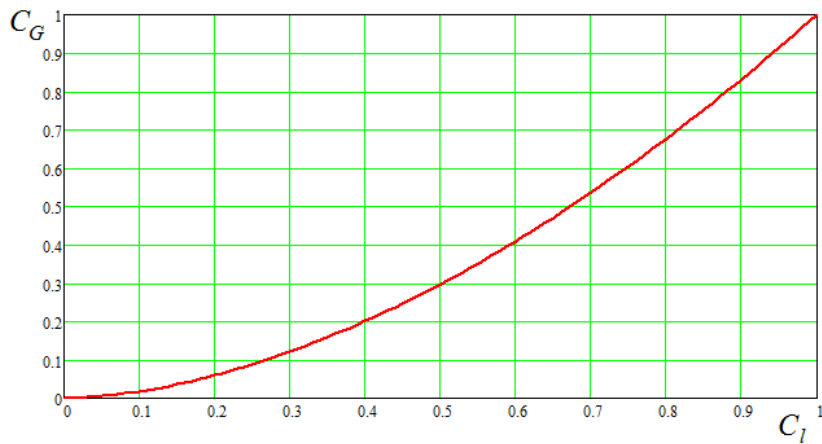


Рис. 5. График зависимости $C_G=f(C_l)$
Fig. 5. Dependence graph $C_G=f(C_l)$

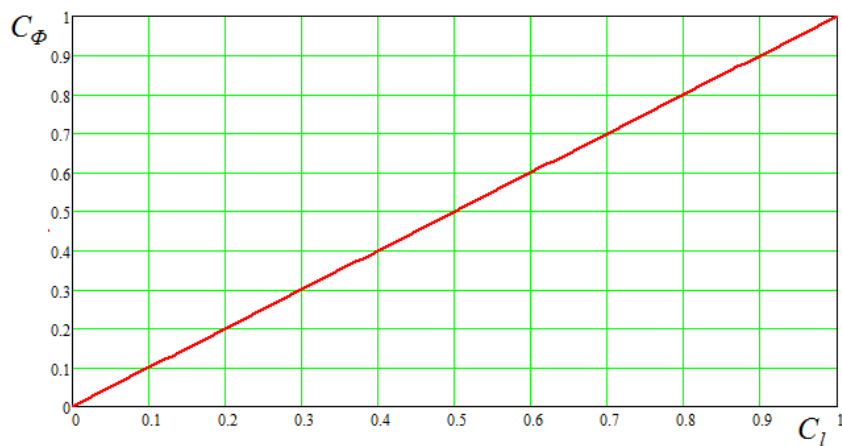


Рис. 6. График зависимости $C_\Phi=f(C_l)$
Fig. 6. Dependence graph $C_\Phi=f(C_l)$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В электродинамических задачах требуется обеспечить совпадение механических, электрических и электромагнитных процессов, т. е. определить силовые параметры взаимодействующих объектов между собой и средой в безразмерном виде для того, чтобы величины этих параметров были независимы от размеров и скорости движения объекта, плотности, вязкости среды и др.

При динамическом подобии в дополнение к масштабам физических характеристик гидродинамических, грунтодинамических и трибологических процессов рыболовства в ходе проектирования промысловых механизмов необходимо ввести масштабы характеристик, учитывающих электродинамические процессы.

В статье авторами предлагаются дополнительные масштабы подобия для электродинамических характеристик, приводятся методы их вычисления и графики зависимостей от геометрического масштаба C_l .

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

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Веников, В. А. Теория подобия и моделирование. Применительно к задачам электроэнергетики / В. А. Веников. – Москва: Высшая школа, 1966. – 488 с.
2. Веников, В. А. Теория подобия и моделирования / В. А. Веников. – Москва: Высшая школа, 1984. – 439 с.
3. Климов, К. Н. Практическое применение электродинамического моделирования / К. Н. Климов, Д. С. Гежа, Д. О. Фирсов-Шибяев. Германия. LAPLambertAcademicPublishing. – 2012. – 205 с.
4. Электродинамическое моделирование энергетических систем [Текст] / Акад. наук СССР. Ин-т электромеханики; под ред. акад. М. П. Костенко. – Москва; Ленинград: Изд-во Акад. наук СССР. [Ленингр. отделение], 1959. – 406 с., 6 л. черт. : ил.; 27 см. Авт. глав: В. М. Бобров, А. А. Воронов, И. А. Глебов и др.
5. Недоступ, А. А. Физическое моделирование гидродинамических процессов движения орудий рыболовства / А. А. Недоступ // Вестник Томского государственного университета. Математика и механика. – Томск. – №. 3(19). – 2012. – С. 55–67.
6. Недоступ, А. А. Критерии и масштабы динамического подобия физических процессов рыболовства / А. А. Недоступ // Известия КГТУ. – 2013. – № 28. – С. 227–235.

REFERENCES

1. Venikov V. A. *Teoriya podobiya i modelirovanie. Primenitel'no k zadacham elektroenergetiki* [Similarity Theory and Modeling. In relation to the tasks of the electric power industry]. Moscow, Vysshaya shkola. 1966, 488 p.
2. Venikov V. A. *Teoriya podobiya i modelirovaniya* [Theory of Similarity and Modeling]. Moscow, Vysshaya shkola. 1984, 439 p.
3. Klimov K. N., Gezha D. S., Firsov-Shibaev D. O. *Prakticheskoe primeneniye elektrodinamicheskogo modelirovaniya* [Practical application of electrodynamic modeling]. Germany, LAPLambertAcademicPublishing. 2012, 205 p.

4. Bobrov V. M., Voronov A. A., Glebov I. A. *Elektrodinamicheskoe modelirovanie energeticheskikh sistem* [Electrodynamic modeling of energy systems]. Moscow, Leningrad, Izd-vo Akad. nauk SSSR. 1959, 406 p.

5. Nedostup A. A. Fizicheskoe modelirovanie gidrodinamicheskikh protsessov dvizheniya orudiy rybolovstva [Physical modeling of the hydrodynamic processes of the movement of fishing gear]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Matematika i mekhanika*. 2012, no. 3 (19), pp. 55–67.

6. Nedostup A. A. Kriterii i masshtaby dinamicheskogo podobiya fizicheskikh protsessov rybolovstva [Criteria and extent of dynamic similarity of the physical processes of fishing]. *Izvestiya KGTU*, 2013, no. 28, pp. 227–235.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Недоступ Александр Алексеевич – Калининградский государственный технический университет; кандидат технических наук, доцент; зав. кафедрой промышленного рыболовства; E-mail: nedostup@klgtu.ru

Nedostup Alexandr Alexeevich – Kaliningrad State Technical University; PhD in Engineering, Assistant Professor; Head of the Department of Commercial Fishery; E-mail: nedostup@klgtu.ru

Ражев Алексей Олегович – Калининградский государственный технический университет; младший научный сотрудник; E-mail: progacpp@live.ru

Razhev Alexey Olegovich – Kaliningrad State Technical University; Junior Researcher; E-mail: progacpp@live.ru

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

УДК 665.939.351:582.273

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА АГАРА ИЗ КРАСНЫХ
ВОДОРΟΣЛЕЙ РОДА *AHNFELTIA*: РЕКОМЕНДАЦИИ
ПО ЕГО ПРИМЕНЕНИЮ

Н. В. Бузова, А. В. Подкорытова

PHYSICAL AND CHEMICAL CHARACTERIZATION OF AGAR FROM THE RED
ALGAE OF THE GENUS *AHNFELTIA*: RECOMMENDATIONS
FOR ITS APPLICATION

N. V. Burova, A. V. Podkorytova

Представлены результаты исследований физико-химических характеристик агаров из недоиспользуемых красных водорослей *Ahnfeltia tobuchiensis* и *A. plicata*, заготовленных в промысловые сезоны 2016-2018 гг., с целью оценки перспектив сбора и переработки этого сырья в процессе производства отечественных гидроколлоидов. Водоросли были добыты способом активного лова в заливе Петра Великого Японского моря, а также собраны из штормовых выбросов на побережьях лагуны Буссе о-ва Сахалин, Соловецких о-вов и Онежского залива Белого моря. Согласно полученным данным выход природного агара из *A. tobuchiensis* составляет в среднем 3,9, из *A. plicata* – 9,0 %, а модифицированных щёлочью агаров из дальневосточной и беломорской анфельции – 10,7 и 19,7 % соответственно. В статье представлены коэффициенты эффективности последовательных экстракций агара, развёрнутые данные по содержанию агаровой фракции и неагаровых примесей в неочищенных экстрактах анфельции, а также корреляционный анализ, характеризующий зависимости между этими фракциями. Изучены такие свойства полученных гидроколлоидов, как прочность, прозрачность, температуры застудневания и плавления гидрогелей 0,85%-ных растворов агаров, а также содержание минеральных и азотистых веществ. С помощью ранговых корреляций Спирмена выявлены зависимости между выходом агара и его физико-химическими характеристиками. В результате проведённых исследований установлено, что модифицированный агар из *A. tobuchiensis* удовлетворяет требованиям ГОСТ 16280 «Агар пищевой» и ГОСТ 17206 «Агар микробиологический». Штормовые выбросы *A. plicata* являются полноценным сырьём для изготовления пищевого агара высшего сорта. Проведённые исследования показывают высокое качество полученных полисахаридов и целесообразность использования красных водорослей рода *Ahnfeltia*, не только добываемых активным ловом, но и их штормовых выбросов, для производства агара. Очевидна перспективность практического применения представленных данных при разработке программ импортозамещения гелеобразующих полисахаридов.

агарофиты, Ahnfeltia tobuchiensis, A. plicata, гелеобразующие полисахариды, агар, экстракты, характеристика гидрогелей, импортозамещение, корреляционный анализ

The article is devoted to the study of the physicochemical characteristics of agar from underutilized valuable red algae *Ahnfeltia tobuchiensis* and *A. plicata* harvested during the 2016-2018 fishing seasons in order to assess the prospects of using this raw material in the production of hydrocolloids. Algae have been harvested by the method of active fishing in Peter the Great Bay (Sea of Japan), and also collected from storm deposits on the coasts of Lake Busse (Sakhalin Island), the Solovetskiy Islands and the Onega Bay (White Sea). According to the data obtained, the yield of natural agar from *A. tobuchiensis* is on average 3,9, from *A. plicata* – 9,0 %, and the yield of alkali-modified agar from *Ahnfeltia* the Far Eastern fish basin and the White Sea basin is on average 10,7 and 19,7 % respectively. The article presents the efficiency coefficients of sequential extractions, detailed data on the content of the agar fraction and impurities in crude extracts of *Ahnfeltia*, as well a correlation analysis characterizing the relationships between these fractions. We have studied such properties of the obtained hydrocolloids as strength, transparency, gelling and melting temperatures of agar gels, as well as the content of minerals (total ash) and nitrogen. Using Spearman's rank correlation coefficient, the relationships between the yield of agar and its physicochemical characteristics have been revealed. As a result of the carried out studies, it has been found that the alkali-modified agar obtained from *A. tobuchiensis* satisfies the requirements of Russian standards on food and microbiological agars, and drift algae ashore of *A. plicata* are of full value raw material for the production of top-grade food agar. The studies have shown the high quality of the polysaccharides obtained and the feasibility of using red algae of the *Ahnfeltia* genus obtained not only by the method of active fishing, but also from the storm deposits for the production of agars. The prospects for the practical application of the data presented in the development of import substitution programmes for gel forming polysaccharides are obvious.

agarophytes, Ahnfeltia tobuchiensis, A. plicata, gelling polysaccharides, agar, extracts, characterization of hydrogels, import substitution, correlation analysis

ВВЕДЕНИЕ

Агар – первый гидрофильный коллоид, который был обнаружен в морских водорослях-макрофитах. На протяжении последних четырехсот лет агар активно используют во многих отраслях промышленности исключительно из-за его уникальных гелеобразующих свойств [1, 2]. Агар состоит из двух полисахаридов – агарозы и агаропектина (фракция кислых полисахаридов) [3]. Агароза – это линейный полисахарид, построенный из строго чередующихся остатков 3-О-замещённой β-D-галактопиранозы (изредка 6-О-метил-β-D-галактопиранозы) и 4-О-замещённой 3,6-ангидро-α-L-галактопиранозы, и обладает ярко выраженной способностью к формированию гелей [4, 5]. Наиболее широкое применение агар получил в микробиологии как универсальный материал при приготовлении питательных сред для выращивания микроорганизмов и их идентификации, а также в пищевой промышленности в качестве натуральной пищевой добавки Е406. Агар используют в текстильной промышленности для проклеивания тканей, в качестве носителя лекарственных препаратов и компонента косметических средств. Агарозу применяют, главным образом, в хроматографии для выделения и очистки биологических макромолекул [1, 6-10]. Глобальный рынок агара демонстрирует стабильный ежегодный рост, его объём в 2016 г. достиг 15 406 т на сумму 247 млн. долл. США [11]. При этом продажа пищевого агара составляет

85-90 % от его общего мирового товарооборота, бактериологического – 4-5, агарозы – 0,2 % [12]. Сырьевыми источниками пищевого агара в основном являются водоросли семейства Gracilariaceae, значительные объёмы которых культивируют во многих странах мира, главным образом, тропического пояса. Агар высочайшего качества (микробиологический, особой очистки) и агарозу производят, как правило, из водорослей, принадлежащих к порядку Gelidiales. Большинство макрофитов этого порядка до настоящего времени заготавливают из естественных популяций в Марокко, Португалии, Испании, Южной Кореи, Японии и Мексике, так как попытки их введения в марикультуру оказались коммерчески нежизнеспособными [8, 11, 13-15]. Однако чрезмерная эксплуатация запасов красных водорослей рода *Gelidium* в последние годы привела к дефициту этого высококачественного сырья и резкому росту оптовых цен на микробиологический агар, стоимость которого достигла 35-45 долл. США/кг. В связи с этим к настоящему времени одной из основных проблем мировой агаровой промышленности является управление цепочкой поставок биомассы морских водорослей для удовлетворения растущих производственных потребностей, а также рынка высококачественных агаров [16-18].

В Дальневосточном и Северном рыбохозяйственных бассейнах Российской Федерации сосредоточены значительные запасы красных агаросодержащих водорослей рода *Ahnfeltia*. Рекомендуемый вылов *A. tobuchiensis* в Дальневосточном рыбохозяйственном бассейне в 2018 г. составил около 10,9 тыс. т [19]. Объёмы добычи агаросодержащего сырья также можно увеличить за счёт сбора штормовых выбросов как дальневосточной (*A. tobuchiensis*), так и беломорской анфельции (*A. plicata*). Выпуск небольших партий пищевого агара из *A. plicata* (около 5 т/год) ведётся только на Архангельском опытном водорослевом комбинате, в то время как производства микробиологического агара и агарозы на сегодняшний день в России не существует [20, 21].

Таким образом, красные водоросли рода *Ahnfeltia* оказались недоиспользуемым видом ценного отечественного сырья, а потребности внутреннего рынка агара практически полностью обеспечиваются за счёт импортных гидроколлоидов, характеризующихся высоким уровнем закупочных цен. В связи с этим проблема развития агаровой промышленности в России и интенсификации процесса импортозамещения агаров разных типов на сегодняшний день приобретает особую актуальность.

Данное исследование посвящено изучению физико-химических характеристик природных и модифицированных агаров, выделенных из красных водорослей рода *Ahnfeltia*, заготовленных в промысловые сезоны как в Дальневосточном, так и в Северном рыбохозяйственных бассейнах. Оно проведено с целью оценки перспектив использования анфельции активного лова и собранной из штормовых выбросов в процессе производства отечественных высококачественных гидроколлоидов и развития потенциала агаровой промышленности на современном этапе российского промысла и переработки анфельции.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Образцы анфельции были заготовлены способом активного лова в заливе Петра Великого Японского моря и собраны из штормовых выбросов на побережьях лагуны Буссе о-ва Сахалин, а также у Соловецких о-вов и в Онежском заливе

Белого моря в период 2016-2018 гг. Внешний вид талломов анфельции представлен на рис. 1.

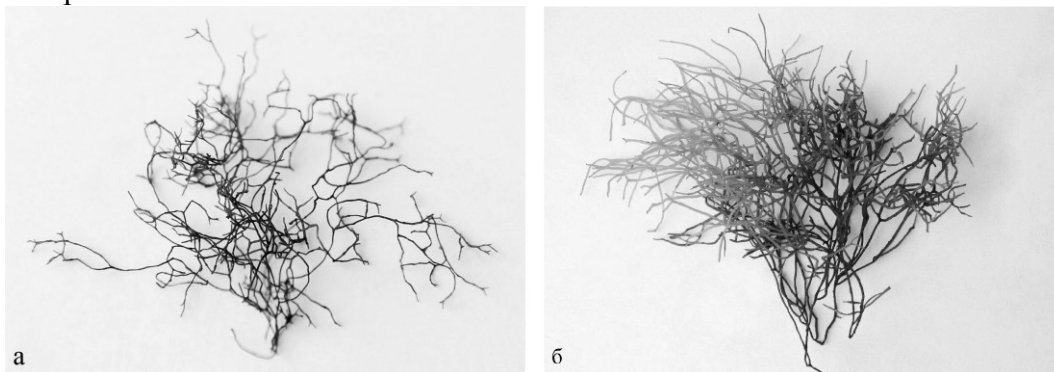


Рис. 1. Талломы водорослей *A. tobuchiensis* (а) и *A. plicata* (б)
 Fig. 1. Thalli of algae *A. tobuchiensis* (a) and *A. plicata* (b)

Экстракцию природного и модифицированного агаров из водорослей осуществляли в соответствии с известными способами [7, 22-25]. Процесс экстракции агара из *A. tobuchiensis* проводили в паровом форвакуумном стерилизаторе СПВА-75-1-НН (ЗАО «Транс-Сигнал», Россия), а из *A. plicata* – на лабораторной водяной бане Экрос ПЭ-4300 (ООО «Экротхим», Россия). Выход агара (X) в процентах, в пересчёте на сухое вещество, рассчитывали по формуле [22, 25]:

$$X = \frac{m \cdot m_2 \cdot 100 \cdot 100}{m_1 \cdot m_3 \cdot (100 - m_4)}, \quad (1)$$

где m – масса собранного экстракта, г; m_1 – масса исследуемых водорослей, г; m_2 – масса сухого агара в высушенной пробе обесцвеченного геля, г; m_3 – масса экстракта, взятая для желирования и обесцвечивания, г; m_4 – массовая доля воды в исследуемых водорослях, %.

Содержание неагаровых примесей находили как разность между содержанием сухих веществ в неочищенном экстракте и агаровой фракцией. За агаровую фракцию принимали концентрацию сухих веществ в обесцвеченном геле агара. Для характеристики степени извлечения агара применяли коэффициент эффективности экстракции (K_3), который рассчитывали по формуле [22]:

$$K_3 = \frac{100 \cdot X}{t \cdot T}, \quad (2)$$

где X – выход агара, %; t – время экстракции, ч; T – температура при экстракции, °С.

Физико-химические характеристики агаров (содержание азота и золы, прочность, прозрачность, температуры застудневания и плавления гелей 0,85%-ных растворов агаров) оценивали в соответствии с ГОСТ 26185, ГОСТ 31413 и ГОСТ 33331 [26-28]. Содержание азота определяли с использованием автоанализатора Kjeltac™ Foss-2300 («FOSS Analytical AB», Швеция). Прочность гелей растворов агаров измеряли на приборе Валента, прозрачность – на цифровом спектрофотометре PD-303S («Apel Co., Ltd.», Япония). На рис. 2 изображены гидрогель 0,85%-ного раствора агара, коагель агара (концентриро-

ванный гель, обезвоженный способом замораживания-оттаивания) и сухой агар, полученные нами из *A. tobuchiensis*.



Рис. 2. Гидрогель 0,85%-ного раствора агара (а), коагель агара (б) и сухой агар (в)
 Fig. 2. Hydrogel of a 0,85% agar solution (a), concentrated gel of agar (б), dry agar (в)

Статистическую обработку данных (построение диаграмм рассеяния, вычисление коэффициентов ранговой корреляции Спирмена) проводили с использованием программного пакета Statistica 10.0 («StatSoft Inc.», США).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Водоросли *A. tobuchiensis* и *A. plicata* обладают прочными, жёсткими талломами, в связи с чем выход агара из этих макрофитов находится в прямой зависимости от степени их размягчения и набухания. Предварительная обработка анфельдии и экстракция полисахарида в слабощелочных растворах по сравнению с данными процессами в пресной воде способствуют гораздо большему размягчению тканей водорослей [22]. Выход природного агара из *A. tobuchiensis* и *A. plicata* составляет 3,30-4,17 и 7,88-9,96 % соответственно. Суммарный коэффициент эффективности первой, второй и третьей экстракций природного агара в среднем равен 0,80 для *A. tobuchiensis* и 2,29 – для *A. plicata*. Однако выход агаров из дальневосточной и беломорской анфельдии, которые были получены по технологии, предусматривающей модификацию агара, составляет 8,96-12,06 и 16,98-21,58 % соответственно. При этом суммарный коэффициент эффективности первой, второй и третьей экстракций модифицированного агара в среднем равен 2,24 для *A. tobuchiensis* и 5,02 – для *A. plicata*. Степень извлечения агара из дальневосточной анфельдии закономерно уменьшается при каждой последующей экстракции примерно в два раза, тогда как агар из беломорской анфельдии наиболее эффективно извлекается как на этапе первой, так и второй экстракции (табл. 1).

Стоит отметить, что соотношение агаровой фракции и неагаровых примесей в экстрактах анфельдии является показателем, объективно влияющим на качество получаемого агара. Неочищенные природные экстракты *A. tobuchiensis* и *A. plicata* содержат 0,89-2,99 % сухих веществ, из которых только 0,10-0,62 % приходится на агар. Экстракты анфельдии, полученные по классическим технологиям, отличаются более высоким содержанием как целевого продукта, так и загрязняющих веществ. Концентрация агара и неагаровых примесей в первом экстракте анфельдии составляет 0,72-1,03 и 2,83-5,01 %, во втором – 0,47-0,76 и 1,61-3,80 %, в третьем – 0,17-0,45 и 0,74-2,52 % соответственно (табл. 1).

Таблица 1. Состав неочищенных экстрактов и выход природного и модифицированного агаров из *A. tobuchiensis* и *A. plicata*
 Table 1. The composition of the crude extracts and the yield of natural and modified agars from *A. tobuchiensis* and *A. plicata*

Номер экстракции	Неочищенный экстракт, % к массе экстракта				Выход агара, % к массе водоросли		Коэффициент эффективности экстракции K_3	
	агаровая фракция		неагаровые примеси		\mathcal{E}_n	\mathcal{E}_m	\mathcal{E}_n	\mathcal{E}_m
	\mathcal{E}_n	\mathcal{E}_m	\mathcal{E}_n	\mathcal{E}_m				
<i>A. tobuchiensis</i> (зал. Петра Великого Японского моря, июль 2017 г.)								
1	0,25	0,90	1,97	3,47	2,93	7,17	0,61	1,49
2	0,11	0,66	1,52	2,13	1,24	3,58	0,26	0,75
3	-	0,24	-	0,83	-	1,31	-	0,27
Итого					4,17	12,06	0,87	2,51
<i>A. tobuchiensis</i> (побережье лаг. Буссе о-ва Сахалин, июль 2018 г.)								
1	0,16	0,72	1,49	2,83	2,18	4,76	0,45	0,99
2	0,10	0,47	0,83	1,61	1,12	2,78	0,23	0,58
3	-	0,17	-	0,74	-	1,42	-	0,30
Итого					3,30	8,96	0,68	1,87
<i>A. tobuchiensis</i> (зал. Петра Великого Японского моря, август 2018 г.)								
1	0,23	0,84	1,90	3,76	2,77	6,35	0,58	1,32
2	0,14	0,53	1,54	2,69	1,34	3,16	0,28	0,66
3	-	0,19	-	0,94	-	1,68	-	0,35
Итого					4,11	11,19	0,86	2,33
<i>A. plicata</i> (побережье между г. Беломорском и м. Выгнаволок Онежского залива Белого моря, август 2016 г.)								
1	0,53	0,79	2,12	3,65	3,52	8,94	0,90	2,28
2	0,39	0,68	1,34	2,66	2,37	6,98	0,60	1,78
3	0,18	0,41	0,81	1,96	1,99	3,17	0,51	0,81
Итого					7,88	19,09	2,01	4,87
<i>A. plicata</i> (побережье между г. Колежма и м. Пономарев Нос Онежского залива Белого моря, октябрь 2017 г.)								
1	0,62	0,94	2,37	4,72	4,70	9,67	1,20	2,47
2	0,31	0,68	1,13	3,01	3,05	8,29	0,78	2,11
3	0,22	0,39	0,67	2,05	1,32	2,97	0,34	0,76
Итого					9,07	20,93	2,32	5,34
<i>A. plicata</i> (о-в Большой Соловецкий Белого моря, май 2018 г.)								
1	-	0,73	-	3,48	-	8,34	-	2,13
2	-	0,64	-	2,56	-	6,88	-	1,76
3	-	0,37	-	1,89	-	1,76	-	0,45
Итого					-	16,98	-	4,34
<i>A. plicata</i> (о-в Тумище Онежского залива Белого моря, сентябрь 2018 г.)								
1	0,50	1,03	1,93	5,01	5,08	11,14	1,30	2,84
2	0,37	0,76	1,11	3,80	2,97	7,48	0,76	1,91
3	0,21	0,45	0,74	2,52	1,91	2,96	0,49	0,76
Итого					9,96	21,58	2,55	5,51

Примечания: \mathcal{E}_n – экстракция природного агара; \mathcal{E}_m – экстракция модифицированного агара

Коэффициенты ранговой корреляции Спирмена (r), отражающие зависимость между агаровой фракцией и неагаровыми примесями в экстрактах дальневосточной и беломорской анфельции, равны 0,88 и 0,97 соответственно. Данная зависимость наглядно демонстрирует, что при увеличении концентрации агара количество загрязняющих веществ возрастает в большей степени в экстрактах *A. plicata*, чем в экстрактах *A. tobuchiensis* (рис. 3). Аналогичные коэффициенты, отражающие связь между агаровой фракцией и неагаровыми примесями в первом, втором и третьем экстрактах анфельции, равны 0,92, 0,83 и 0,97 соответственно. Проведённый анализ позволяет сделать вывод о том, что первый экстракт является наиболее загрязнённым, так как с увеличением агаровой фракции в большей

степени возрастает и количество неагаровых примесей. Величина этого коэффициента для третьей экстракции, напротив, указывает на обратную зависимость, при которой экстракты можно считать наименее загрязнёнными, так как концентрации агара и неагаровых примесей взаимно уменьшаются (рис. 4).

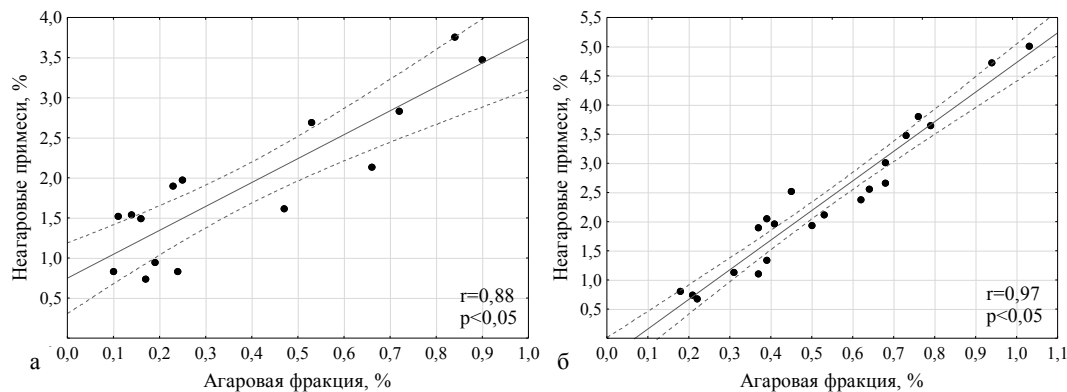


Рис. 3. Диаграммы рассеяния и коэффициенты ранговой корреляции Спирмена (r), отражающие связь между агаровой фракцией и неагаровыми примесями в экстрактах *A. tobuchiensis* (а) и *A. plicata* (б)

Fig. 3. Scatter plots and Spearman's correlation coefficients (r) showing a relation of the agar fraction and impurities in extracts of *A. tobuchiensis* (a) and *A. plicata* (б)

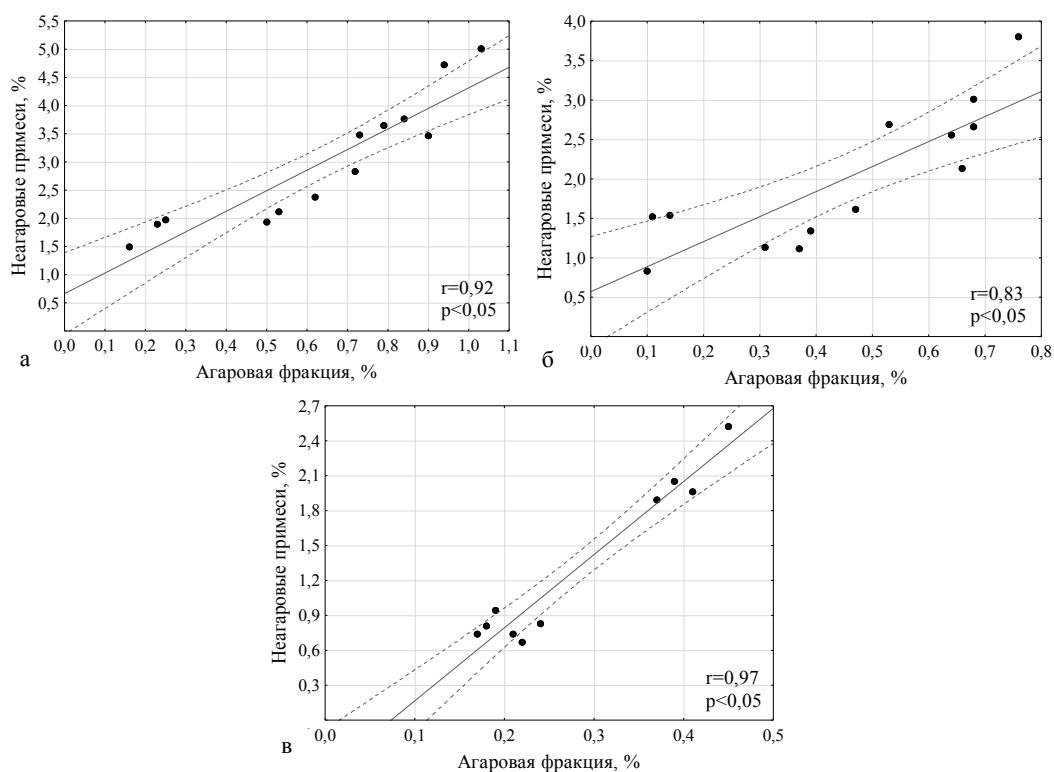


Рис. 4. Диаграммы рассеяния и коэффициенты ранговой корреляции Спирмена (r), отражающие связь между агаровой фракцией и неагаровыми примесями в первом (а), втором (б) и третьем (в) экстрактах анфельтии

Fig. 4. Scatter plots and Spearman's correlation coefficients (r) showing a relation of the agar fraction and impurities in first (a), second (б) and third (в) extracts of *Ahnfeltia*

Технологии получения агара из *A. tobuchiensis* и *A. plicata* являются много-ступенчатыми и предусматривают несколько последовательных экстракций полисахарида, затем полученные экстракты соединяют и очищают одновременно. Анализ результатов проведённого статистического исследования показал, что данный подход очистки экстрактов не является целесообразным, так как степень их загрязнения значительно отличается. Таким образом, выявлена необходимость разработки новых, более рациональных и экономически эффективных подходов поэтапной очистки экстрактов анфельдии.

Щелочная модификация оказывает положительное влияние на гелеобразующие свойства полисахарида, так как в процессе его экстракции в слабощелочном растворе происходит отщепление сульфатных групп из сульфатированных звеньев остатков α -L-галактопиранозы и образование 3,6-ангидро- α -L-галактопиранозы [5]. Прочность гелей 0,85%-ных растворов природных агаров анфельдии составляет 71-163 г. Однако 0,85%-ные водные растворы модифицированных агаров, полученных из *A. tobuchiensis* и *A. plicata*, образуют твёрдые, стойкие гели, характеризующиеся высокой прочностью – 743-1013 и 615-721 г соответственно (табл. 2).

Таблица 2. Физико-химическая характеристика природных и модифицированных агаров из *A. tobuchiensis* и *A. plicata*
Table 2. Physicochemical characteristics of natural and modified agars from *A. tobuchiensis* and *A. plicata*

Вид агара	Прочность геля с м. д. агара 0,85%, г	Прозрачность геля с м. д. агара 0,85%, % светопропускания	Температура застудневания раствора с м. д. агара 0,85% ($T_{зас}$), °C	Температура плавления геля с м. д. агара 0,85% ($T_{пл}$), °C	Гистерезис ($T_{пл} - T_{зас}$), °C	Содержание золы, %	Содержание азота, %	
<i>A. tobuchiensis</i> (зал. Петра Великого Японского моря, июль 2017 г.)								
A _п	85	64	34	73	39	0,19	0,14	
A _м	1013	70	34	90	56	1,23	0,16	
<i>A. tobuchiensis</i> (побережье лаг. Буссе о-ва Сахалин, июль 2018 г.)								
A _п	н/ж						0,20	0,22
A _м	743	64	35	87	52	1,07	0,25	
<i>A. tobuchiensis</i> (зал. Петра Великого Японского моря, август 2018 г.)								
A _п	71	64	34	73	39	0,21	0,20	
A _м	826	69	35	89	54	1,29	0,20	
<i>A. plicata</i> (побережье между г. Беломорском и м. Выгнаволок Онежского залива Белого моря, август 2016 г.)								
A _п	98	77	34	84	50	1,47	0,33	
A _м	704	81	37	90	53	3,72	0,30	
<i>A. plicata</i> (побережье между г. Колежма и м. Пономарев Нос Онежского залива Белого моря, октябрь 2017 г.)								
A _п	114	79	33	85	52	1,30	0,29	
A _м	698	82	36	90	54	4,49	0,30	
<i>A. plicata</i> (о-в Большой Соловецкий Белого моря, май 2018 г.)								
A _м	615	81	38	88	50	5,16	0,32	
<i>A. plicata</i> (о-в Тумище Онежского залива Белого моря, сентябрь 2018 г.)								
A _п	163	79	33	85	52	1,26	0,28	
A _м	721	85	36	91	55	2,86	0,29	

Примечания: A_п – природный агар; A_м – модифицированный агар; н/ж – раствор агара не желирует; м. д. – массовая доля

Гели водных растворов агаров с питательной средой, предназначенные для применения в микробиологической практике, должны представлять оптимальную матрицу для визуализации роста микроорганизмов и, следовательно, иметь высокую прозрачность. Данное свойство не менее важно и для пищевой промышленности, так как прозрачные гели легко окрашиваются, а придать им привлекательную яркость и увеличить показатель преломления можно, добавив сахар или глицерин [1, 29]. Гели, приготовленные из модифицированного агара, выделенного из *A. plicata*, обладают большей прозрачностью (81-85% светопропускания) по сравнению с гелями этого полисахарида, полученного из *A. tobuchiensis* (64-70% светопропускания) (табл. 2, рис. 5). Известно, что чем более «плотной» структурой обладает полимерная матрица гидрогеля агара, тем более сильной степенью поглощения и рассеяния света и, как следствие, более низкой прозрачностью характеризуется исследуемый гель [29].



Рис. 5. Дистиллированная вода (а) и гидрогели 0,85%-ного раствора агара из *A. tobuchiensis* (б) и *A. plicata* (в)

Fig. 5. Distilled water (a) and hydrogels of a 0,85% agar solution from *A. tobuchiensis* (б) and *A. plicata* (в)

Уникальным свойством агара по сравнению с другими желирующими агентами является цикл гистерезиса с диапазоном 40-60°C в золь-гелевом переходе, что обусловлено образованием крупных агрегатов в коллоидном растворе агара, которые диссоциируют при более высокой температуре по сравнению с отдельными спиралями [10]. Известно, что более высокой температуре гелеобразования агара соответствует более высокая степень метоксилирования углерода C6 агаробиозы в составе полисахарида. При этом растворы агара, применяемые в микробиологии, должны иметь низкую температуру гелеобразования (30-37°C), что позволяет добавлять другие материалы (например, антибиотики) в раствор полисахарида с минимальным риском их теплового повреждения [1, 9]. Гели 0,85%-ных водных растворов природных агаров дальневосточной анфельции характеризуются циклом гистерезиса 39°C, беломорской – в среднем 51°C. Цикл гистерезиса гидрогелей 0,85%-ных растворов модифицированных щёлочью агаров дальневосточной и беломорской анфельции – в среднем 54 и 53°C. При этом температура застудневания растворов модифицированного агара *A. tobuchiensis*

составляет 34-35°C, *A. plicata* – 36-38°C, а температура плавления гидрогелей – 87-90 и 88-91°C соответственно (табл. 2). Стоит отметить, что повышенные температуры гелеобразования водных растворов агаров из беломорской анфельции ограничивают их применение в микробиологической практике, в то время как агары из дальневосточной анфельции по данному показателю не уступают высококачественным гидроколлоидам, получаемым из водорослей порядка Gelidiales.

Важнейшей характеристикой агаров является минимальное содержание в их составе минеральных веществ, определяемых в виде золы, а также азотистых веществ, которые могут повлиять на рост микроорганизмов [1, 2]. Содержание этих веществ в природных агарах *A. tobuchiensis* составило в среднем 0,20 и 0,19 %, *A. plicata* – 1,34 и 0,30 % соответственно. Содержание азотистых веществ в модифицированных агарах дальневосточной и беломорской анфельции по сравнению с содержанием таковых в природных полисахаридах практически не изменялось – в среднем 0,20 и 0,30 % соответственно. Однако содержание минеральных веществ в агарах из *A. tobuchiensis* и *A. plicata*, полученных по технологии, где предусмотрено внесение щёлочи на стадии экстрагирования, значительно увеличилось и достигло в среднем 1,20 и 4,06 % соответственно (табл. 2).

Результаты исследований зависимости между выходом агара из красных водорослей рода *Ahnfeltia* и его физико-химическими характеристиками, выраженные с помощью ранговых корреляций Спирмена, показывают высокую связь для большинства пар показателей (табл. 3).

Таблица 3. Коэффициенты ранговой корреляции Спирмена, выражающие степень связи между выходом агара и его физико-химическими характеристиками
Table 3. Spearman's correlation coefficients expressing the degree of connection between the yield of agar and its physicochemical characteristics

Наименование показателя	Прочность геля с м. д. агара 0,85%, г	Прозрачность геля с м. д. агара 0,85%, % светопропускания	Температура застудневания раствора с м. д. агара 0,85%, °C	Температура плавления геля с м. д. агара 0,85%, °C	Содержание золы в агаре, %	Содержание азота в агаре, %	Выход агара, %
Прочность геля с м. д. агара 0,85%, г	1,00	0,25	0,41	0,81*	0,20	0,09	0,82*
Прозрачность геля с м. д. агара 0,85%, % светопропускания	0,25	1,00	0,49	0,60	0,61	0,54	0,87*
Температура застудневания раствора с м. д. агара 0,85%, °C	0,41	0,49	1,00	0,63	0,63	0,56	0,50
Температура плавления геля с м. д. агара 0,85%, °C	0,81*	0,60	0,63	1,00	0,60	0,25	0,94*
Содержание золы в агаре, %	0,20	0,61	0,63	0,60	1,00	0,61	0,78*
Содержание азота в агаре, %	0,09	0,54	0,56	0,25	0,61	1,00	0,35
Выход агара, %	0,82*	0,87*	0,50	0,94*	0,78*	0,35	1,00

Примечание: * высокая степень связи ($p < 0,05$)

При сравнении полученных средних значений коэффициентов ранговой корреляции Спирмена установлена высокая степень связи между выходом агара и такими его свойствами, как прочность ($r=0,82$), прозрачность ($r=0,87$), температура плавления геля с м. д. агара 0,85% ($r=0,94$), содержание золы в агаре ($r=0,78$).

Коэффициенты корреляции, рассчитанные для выхода полисахарида и температуры застудневания геля с м. д. агара 0,85% ($r=0,50$), а также содержания азота в агаре ($r=0,35$) говорят о низкой степени связи между данными показателями (табл. 3). Найденные значения демонстрируют положительное влияние щелочной модификации агара на такие качественные характеристики полисахарида, как прочность, прозрачность и температура плавления гидрогелей.

ВЫВОДЫ

Результаты исследований физико-химических характеристик агара из красных водорослей рода *Ahnfeltia*, заготовленных в промысловые сезоны 2016-2018 гг., демонстрируют высокое качество полученных гидроколлоидов, а также позволяют значительно расширить представления о технологических свойствах данного вида сырья, особенно анфельции, собранной из штормовых выбросов.

Показано, что модифицированные агары, выделенные из водорослей *A. tobuchiensis*, заготовленных способом активного лова и собранных из штормовых выбросов, соответствуют требованиям ГОСТ 16280 «Агар пищевой» и ГОСТ 17206 «Агар микробиологический» [30, 31].

Установлено, что водоросли *A. plicata*, собранные из штормовых выбросов, являются полноценным сырьём для получения пищевого агара высшего сорта, соответствующего требованиям ГОСТ 16280, что в совокупности с высокими качественными характеристиками агаров свидетельствует о целесообразности их использования для промышленного производства гидроколлоидов и развития поморского и карельского промысла – сбора этих макрофитов.

Показана перспективность практического применения новых данных о качестве сырья и физико-химических характеристиках гелеобразующих полисахаридов из *A. tobuchiensis* и *A. plicata* при разработке программ развития отечественной агаровой промышленности и интенсификации процесса импортозамещения этих незаменимых гелеобразующих полисахаридов для пищевой отрасли, медицины и микробиологии.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают глубокую признательность и благодарность ведущему инженеру Сахалинского филиала ФГБНУ «ВНИРО» В. А. Сафроненко за сбор и подготовку материала для исследований биомассы анфельции в лагуне Буссе о-ва Сахалин.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Armisen, R. Agar. In: Handbook of hydrocolloids / ed. O. G. Phillips, P. A. Williams / R. Armisen, F. Galatas. – Oxford: Woodhead Publ., 2009. – P. 82-107.
2. Matsushashi, T. Agar. In: Food gels / ed. P. Harris / T. Matsushashi. – London: Elsevier Science Publ., 1990. – P. 1-51.
3. Araki, C. Structure of agarose constituent of agar-agar / C. Araki // Bulletin of the Chemical Society of Japan. – 1956. – Vol. 29. – № 4. – P. 543-544.
4. Усов, А. И. Полисахариды красных морских водорослей / А. И. Усов // Прогресс химии углеводов: сборник. – Москва: Наука, 1985. – С. 77-96.

5. Usov, A. I. Polysaccharides of the red algae / A. I. Usov // *Advances in Carbohydrate Chemistry and Biochemistry*. – 2011. – Vol. 65. – P. 115-217.
6. Кадникова, И. А. Гидроколлоиды морских водорослей: применение в биотехнологии и технологии пищевых продуктов / И. А. Кадникова // *Рыбпром*. – 2010. – № 3. – С. 47-50.
7. Подкорытова, А. В. Морские водоросли-макрофиты и травы / А. В. Подкорытова. – Москва: Изд-во ВНИРО, 2005. – 174 с.
8. McHugh, D. J. A guide to the seaweed industry / D. J. McHugh. – Rome: FAO Food and Nutrition Paper, 2003. – 441 p.
9. McHugh, D. J. Production and utilization of products from commercial seaweeds / D. J. McHugh. – Rome: FAO Fisheries Technical Paper, 1987. – 198 p.
10. Stephen, A. M. Food polysaccharides and their applications / A. M. Stephen. – New York: Marcel Dekker Inc., 1995. – 664 p.
11. Ferdouse, F. The global status of seaweed production, trade and utilization. Globefish Research Programme / F. Ferdouse, S. L. Holdt, R. Smith, P. Murúa, Z. V. Yang. – Rome: FAO Food and Nutrition Paper, 2018. – Vol. 124. – 120 p.
12. Future Market Insights. Agar market: shifting consumer preference towards natural ingredient and gelatin-free products is topping the market growth: global industry analysis and opportunity assessment, 2016-2026. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.futuremarketinsights.com> (дата обращения: 16.09.2019).
13. Bixler, H. A decade of change in the seaweed hydrocolloids industry / H. Bixler, H. Porse // *Journal of Applied Phycology*. – 2011. – Vol. 23. – P. 321-335.
14. Hurtado, A. Q. Tropical seaweed farming trends, problems and opportunities / A. Q. Hurtado, A. T. Critchley, I. Neish. – NY: Springer Publ. AG, 2017. – 215 p.
15. Melo, R. A. *Gelidium* commercial exploitation: natural resources and cultivation / R. A. Melo // *Journal of Applied Phycology*. – 1998. – Vol. 10. – P. 303-314.
16. Callaway, E. Lab staple agar hit by seaweed shortage / E. Callaway // *Nature*. – 2015. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.nature.com/news/lab-staple-agar-hit-by-seaweed-shortage-1.18970> (дата обращения: 16.09.2019).
17. Porse, H. The seaweed hydrocolloid industry: 2016 updates, requirements, and outlook / H. Porse, B. Rudolph // *Journal of Applied Phycology*. – 2017. – Vol. 29. – Is. 5. – P. 2187-2200.
18. Santos, R. Global shortage of technical agars: back to basics (resource management) / R. Santos, R. A. Melo // *Journal of Applied Phycology*. – 2018. – Vol. 30. – P. 2463-2473.
19. Федеральное агентство по рыболовству. [Электронный ресурс]. URL: <http://fish.gov.ru> (дата обращения: 16.09.2019).
20. Красиков, Н. В. Реструктуризация рыбопромышленного комплекса, стабилизация и роль в экономике региона (на примере Архангельской области) / Н. В. Красиков // *Современные исследования социальных проблем: электронный научный журнал*. – 2012. – №7. [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru> (дата обращения: 16.09.2019).
21. Подкорытова, А. В. Производство пищевого и микробиологического агара / А. В. Подкорытова // *Рыбное хозяйство*. – 2002. – № 6. – С. 56-57.
22. Кизеветтер, И. В. Переработка морских водорослей и других промысловых водных растений / И. В. Кизеветтер, В. С. Грюнер, В. А. Евтушенко. – Москва: Пищевая промышленность, 1967. – 416 с.

23. Куприна, Е. Э. Теория и практика переработки водорослей электрохимическим способом / Е. Э. Куприна, М. А. Малыгина // Рыбпром. – 2010. – № 3. – С. 36-42.
24. Пат. № 2189990. Способ получения высокоочищенного агара и агарозы из красной водоросли анфельции тобучинской: МПК С08В 37/12 / А. В. Подкорытова, И. А. Кадникова, О. А. Кушева, В. М. Соколова, С. В. Суховерхов, опубли. 27.09.2002. – 12 с.
25. Подкорытова, А. В. Качество, безопасность и методы анализа продуктов из гидробионтов: Руководство по современным методам исследований морских водорослей, трав и продуктов их переработки / А. В. Подкорытова, И. А. Кадникова. – Москва: Изд-во ВНИРО, 2009. – 107 с.
26. ГОСТ 26185-84. Водоросли морские, травы морские и продукты их переработки. Методы анализа. – Москва: ФГУП «Стандартинформ», 2010. – 34 с.
27. ГОСТ 31413-2010. Водоросли, травы морские и продукция из них. Правила приёмки и методы отбора проб. – Москва: ФГУП «Стандартинформ», 2011. – 9 с.
28. ГОСТ 33331-2015. Водоросли, травы морские и продукция из них. Методы определения массовой доли воды, золы и посторонних примесей. – Москва: ФГУП «Стандартинформ», 2015. – 8 с.
29. Jaeger, P. A. Beyond agar: gel substrates with improved optical clarity and drug efficiency and reduced autofluorescence for microbial growth experiments / P. A. Jaeger, C. McElfresh, L. R. Wong, T. Ideker // Journal of Applied and Environmental Microbiology. – 2015. – Vol. 81. – №16. – P. 5639-5649.
30. ГОСТ 16280-2002. Агар пищевой. – Москва: ИПК «Издательство стандартов», 2003. – 9 с.
31. ГОСТ 17206-96. Агар микробиологический. – Москва: ИПК «Издательство стандартов», 2002. – 9 с.

REFERENCES

1. Armisen R., Galatas F. *Agar*. In: *Handbook of hydrocolloids*. Ed. O. G. Phillips, P. A. Williams. Oxford, Woodhead Publ., 2009, pp. 82-107.
2. Matsushashi T. *Agar*. In: *Food gels*. Ed. P. Harris. London, Elsevier Science Publ., 1990, pp. 1-51.
3. Araki C. Structure of agarose constituent of agar-agar. *Bulletin of the Chemical Society of Japan*, 1956, vol. 29, no. 4, pp. 543-544.
4. Usov A. I. Polisakharidy krasnykh morskikh vodorosley [Polysaccharides of red seaweed]. *Progress khimii uglevodov*, Moscow, Izdatel'stvo "Nauka", 1985, pp. 77-96.
5. Usov A. I. Polysaccharides of the red algae. *Advances in Carbohydrate Chemistry and Biochemistry*, 2011, vol. 65, pp. 115-217.
6. Kadnikova I. A. Hidrokolloidy morskikh vodorosley: primeneniye v biotekhnologii i tekhnologii pishchevykh produktov [Seaweed hydrocolloids: application in biotechnology and food technology]. *Rybprom*, 2010, no. 3, pp. 47-50.
7. Podkorytova A. V. *Morskie vodorosli-makrofity i travy* [Marine macrophytic algae and grasses]. Moscow, Izdatel'stvo VNIRO, 2005, 174 p.
8. McHugh D. J. *A guide to the seaweed industry*. Rome, FAO Food and Nutrition Paper, 2003, 441 p.

9. McHugh D. J. *Production and utilization of products from commercial seaweeds*. Rome, FAO Fisheries Technical Paper, 1987, 198 p.
10. Stephen A. M. *Food polysaccharides and their applications*. New York, Marcel Dekker Inc., 1995, 664 p.
11. Ferdouse F. S., Holdt L., Smith R., Murúa P., Yang Z. V. *The global status of seaweed production, trade and utilization. Globefish Research Programme*. Rome, FAO Food and Nutrition Paper, 2018, vol. 124, 120 p.
12. Future Market Insights. Agar market: shifting consumer preference towards natural ingredient and gelatin-free products is topping the market growth: global industry analysis and opportunity assessment, 2016-2026, available at: <https://www.futuremarketinsights.com> (Accessed 16 September 2019).
13. Bixler H., Porse H. A decade of change in the seaweed hydrocolloids industry. *Journal of Applied Phycology*, 2011, vol. 23, pp. 321-335.
14. Hurtado A. Q., Critchley A. T., Neish I. *Tropical seaweed farming trends, problems and opportunities*. New York, Springer Publ. AG, 2017, 215 p.
15. Melo R. A. *Gelidium* commercial exploitation: natural resources and cultivation. *Journal of Applied Phycology*, 1998, vol. 10, pp. 303-314.
16. Callaway E. Lab staple agar hit by seaweed shortage. *Nature*, 2015, available at: <https://www.nature.com/news/lab-staple-agar-hit-by-seaweed-shortage-1.18970> (Accessed 16 September 2019).
17. Porse H., Rudolph B. The seaweed hydrocolloid industry: 2016 updates, requirements, and outlook. *Journal of Applied Phycology*, 2017, vol. 29, iss. 5, pp. 2187-2200.
18. Santos R., Melo R. A. Global shortage of technical agars: back to basics (resource management). *Journal of Applied Phycology*, 2018, vol. 30, pp. 2463-2473.
19. Federal'noe agentstvo po rybolovstvu [Federal Agency for Fishery], available at: <http://fish.gov.ru> (Accessed 16 September 2019).
20. Krasikov N. V. Restrukturizatsiya rybopromyshlennogo kompleksa, stabilizatsiya i rol' v ekonomike regiona (na primere Arkhangel'skoy oblasti) [Restructuring of the fishing industry, stabilization and role in the economy of the region (on the example of the Arkhangelsk region)]. *Sovremennye issledovaniya sotsial'nykh problem: elektronnyy nauchnyy zhurnal*, 2012, no. 7, available at: <https://cyberleninka.ru> (Accessed 16 September 2019).
21. Podkorytova A. V. Proizvodstvo pishchevogo i mikrobiologicheskogo agara [Production of food and microbiological agar]. *Rybnoe khozyaystvo*, 2002, no. 6, pp. 56-57.
22. Kizevetter I. V., Gryuner V. S., Evtushenko V. A. *Pererabotka morskikh vodorosley i drugikh promyslovykh vodnykh rasteniy* [Processing algae and other commercial aquatic plants]. Moscow, Pishchevaya promyshlennost', 1967, 416 p.
23. Kuprina E. E., Malygina M. A. Teoriya i praktika pererabotki vodorosley elektrokhimicheskim sposobom [Theory and practice of algae processing by electrochemical method]. *Rybprom*, 2010, no. 3, pp. 36-42.
24. Podkorytova A. V., Kadnikova I. A., Kusheva O. A., Sokolova V. M., Sukhoverkhov S. V. *Patent № 2189990. Sposob polucheniya vysokoochishchennogo agara i agarozy iz krasnoy vodorosli anfel'tsii tobuchinskoy* [The method of obtaining highly purified agar and agarose from the red alga *Ahnfeltia tobuchiensis*]. MPK C08B 37/12, 2002, 12 p.

25. Podkorytova A. V., Kadnikova I. A. *Kachestvo, bezopasnost' i metody analiza produktov iz gidrobiontov: rukovodstvo po sovremennym metodam issledovaniy morskikh vodorosley, trav i produktov ikh pererabotki* [Quality, safety and analysis methods of products from aquatic organisms: guide to modern research methods for algae, herbs and their processed products]. Moscow, Izdatel'stvo VNIRO, 2009, 107 p.

26. GOST 26185-84. *Vodorosli morskije, travy morskije i produkty ikh pererabotki. Metody analiza* [Seaweeds, marine herbs and their processed products. Analysis methods]. Moscow, FGUP "Standartinform", 2010, 34 p.

27. GOST 31413-2010. *Vodorosli, travy morskije i produktsiya iz nikh. Pravila priemki i metody otbora prob* [Seaweeds, marine herbs and products thereof. Acceptance rules and sampling methods]. Moscow, FGUP "Standartinform", 2011, 9 p.

28. GOST 33331-2015. *Vodorosli, travy morskije i produktsiya iz nikh. Metody opredeleniya massovoy doli vody, zoly i postoronnikh primesey* [Algae, marine herbs and products thereof. Methods for determining the mass fraction of water, ash and impurities]. Moscow, FGUP "Standartinform", 2015, 8 p.

29. Jaeger P. A., McElfresh C., Wong L. R., Ideker T. Beyond agar: gel substrates with improved optical clarity and drug efficiency and reduced autofluorescence for microbial growth experiments. *Journal of Applied and Environmental Microbiology*, 2015, vol. 81, no. 16, pp. 5639-5649.

30. GOST 16280-2002. *Agar pishchevoy* [Food agar]. Moscow, IPK Izdatel'stvo standartov, 2003, 9 p.

31. GOST 17206-96. *Agar mikrobiologicheskij* [Microbiological agar]. Moscow, IPK Izdatel'stvo standartov, 2002, 9 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Бурова Наталья Викторовна – Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (Москва); аспирант;
E-mail: natalia.v.burova@gmail.com

Burova Natalia Viktorovna – Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (Moscow); Postgraduate Student;
E-mail: natalia.v.burova@gmail.com

Подкорытова Антонина Владимировна – Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (Москва); доктор технических наук, профессор; главный научный сотрудник отдела инновационных технологий; E-mail: podkor@vniro.ru

Podkorytova Antonina Vladimirovna – Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (Moscow); Doctor of Technical Science, Professor; Principal Research Scientist, Department of Innovative Technologies;
E-mail: podkor@vniro.ru

УДК 664.97, 664.959.5

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ И ТЕРМОРАДИАЦИОННЫХ
ХАРАКТЕРИСТИК ВСПЕНЕННОГО РАСТВОРА ЖЕЛАТИНА ИЗ ОТХОДОВ
ПЕРЕРАБОТКИ РЫБЫ

А. В. Макаров, Ю. А. Максименко, Э. П. Дяченко

STUDY OF OPTICAL AND THERMORADIATION CHARACTERISTICS
OF A FOAM SOLUTION OF GELATIN FROM FISH PROCESSING WASTE

A. V. Makarov, Yu. A. Maksimenko, E. P. Dyachenko

Экспериментально-аналитически исследованы оптические и терморadiационные характеристики вспененного раствора желатина из отходов переработки рыбы как объекта инфракрасной (ИК, радиационной) сушки при двустороннем энергоподводе. Расчет оптических и терморadiационных характеристик исследуемого продукта проводился с использованием метода усредненных оптических и терморadiационных характеристик на основе эмпирических данных о направленно-полусферических терморadiационных характеристиках R_λ и T_λ , полученных на многофункциональном спектрофотометре PHOTON RT. В результате исследований и расчетов для вспененного раствора желатина найдены зависимости коэффициента эффективного ослабления потока излучения по мере распространения в оптически бесконечно толстом слое L , м^{-1} , и распределения объемной плотности поглощенной энергии излучения по глубине оптически тонкого слоя W , Вт/м^3 , от влажности продукта w , кг/кг , и координаты толщины пенослоя x , м . Выполнен анализ зависимости распределения объемной плотности поглощенной энергии излучения по глубине оптически тонкого слоя от координаты толщины слоя и влажности продукта. В результате экспериментально-аналитического изучения оптических и терморadiационных характеристик вспененного раствора желатина с учетом объемной плотности поглощенной энергии излучения по глубине слоя выбраны инфракрасные излучатели, режимы их работы, в том числе оптимальный диапазон длины волны λ , мкм , соответствующий максимальной интенсивности излучения и максимальной пропускательной способности продукта, а также оптически тонкий слой h , м , наиболее рациональный для высокоинтенсивной сушки.

сушка, желатин, инфракрасный энергоподвод, терморadiационные характеристики, оптические характеристики, отход переработки рыбы, пена

The optical and thermoradiation characteristics of the foamed gelatin solution from fish processing waste as an object of infrared (radiation) drying with bilateral energy supply have been experimentally and analytically studied. Calculation of the optical and thermal radiation characteristics of the test product has been carried out using the method of averaged optical and thermal radiation characteristics based on empirical data on the directional hemispherical thermal radiation characteristics R_λ and T_λ obtained on a PHOTON RT multifunction spectrophotometer. As a result of the research and cal-

culations for a foamed gelatin solution, the dependences have been found of the coefficient of effective attenuation of the radiation flux as it propagates in the optically infinitely thick layer L , m^{-1} and the distribution of the bulk density of the absorbed radiation energy over the depth of the optically thin layer W , W/m^3 on the product moisture w , kg/kg and coordinates of the thickness of the foam layer x , m . An analysis has been made of the dependence of the distribution of the bulk density of the absorbed radiation energy over the depth of the optically thin layer on the coordinates of the layer thickness and product moisture. As a result of an experimental-analytical study of the optical and thermo-radiation characteristics of the foamed gelatin solution, taking into account the bulk density of the absorbed radiation energy along the depth of the layer, infrared emitters have been selected, their operating modes, including the optimal wavelength range λ , μm , corresponding to the maximum radiation intensity and maximum transmittance of the product, as well as an optically thin layer h , m , the most rational for high-intensity drying.

drying, gelatin, infrared energy supply, thermoradiation characteristics, optical characteristics, fish processing waste, foam

ВВЕДЕНИЕ

Желатин широко используется в различных отраслях пищевой и химической промышленности. Отечественный рынок коллагена насыщен импортной продукцией, что обуславливает актуальность создания и развития новых производств сухого желатина, в том числе на основе нетрадиционных перспективных источников сырья, одним из которых являются богатые коллагеном отходы переработки рыбы. Однако широкое внедрение технологий производства желатина на основе отходов рыбопереработки сдерживается отсутствием научно обоснованных ресурсо- и энергосберегающих технических решений, создание которых представляет собой актуальную научно-техническую задачу и позволит усовершенствовать существующие и создать новые промышленные производства сухого желатина из нетрадиционного коллагенсодержащего сырья.

Заключительная и одна из наиболее энергоемких стадий производства сухого желатина – сушка желатинового раствора (бульона), которая традиционно реализуется конвективным методом [1–3].

С учетом структурно-механических и пеноструктурных характеристик желатинового раствора перспективным направлением совершенствования процесса получения сухого желатина является инфракрасная сушка во вспененном состоянии [4, 5]. В сравнении с традиционными методами сушки объемный инфракрасный энергоподвод обладает рядом преимуществ, способствующих энерго- и ресурсосбережению, повышению безопасности и упрощению аппаратного оформления процесса [6, 7].

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Для комплексного исследования продукта как объекта инфракрасной сушки, моделирования процесса и проектирования инфракрасных сушилок, в том числе обоснованного выбора излучателей, необходимо изучение терморadiационных и оптических характеристик продукта. Знание указанных характеристик позволяет более точно понять и смоделировать физико- и биохимические измене-

ния продукта в процессе сушки, а также подобрать рациональные режимы работы сушильного аппарата.

Целью настоящих исследований являлось определение терморadiационных и оптических характеристик вспененного раствора желатина из отходов переработки рыбы как объекта инфракрасной сушки, в том числе зависимостей коэффициента эффективного ослабления L , м^{-1} , и распределения внутреннего объемного источника поглощенной энергии по толщине пенослоя продукта W , $\text{Вт}/\text{м}^3$, от влияющих параметров. Коэффициент L , м^{-1} , численно равен обратной величине глубины слоя и характеризует ослабление теплового потока по мере его распространения в оптически бесконечно толстом слое [7, 8].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

С целью проведения исследований использовали метод усредненных терморadiационных и оптических характеристик [7, 8], а также эмпирические данные о направленно-полусферических терморadiационных характеристиках R_λ и T_λ для продукта известной толщины и влажности.

Образцы пенослоя желатинового бульона готовились по методике [4] из полученных при разделке отходов переработки рыб частиковых пород Астраханского региона (кожа, чешуя, кости, плавники, хрящи). Зависимости спектральных направленно-полусферических терморadiационных характеристик R_λ и T_λ пенослоя желатинового бульона от длины волны инфракрасного диапазона λ , $\mu\text{м}$, были получены с использованием многофункционального двухлучевого сканирующего спектрофотометра PHOTON RT и литературных данных [7, 8] для диапазонов влажности $0,14 \leq w \leq 0,85$ $\text{кг}/\text{кг}$, толщины пенослоя $0,002 \leq h \leq 0,004$ м и инфракрасной области спектра $1 \leq \lambda \leq 2$ $\mu\text{м}$.

Нижний предел диапазона влажности исследуемого продукта обусловлен требованиями к качеству сухого желатина ГОСТ 11293-89 «Желатин. Технические условия», верхний предел ограничен пеноструктурными характеристиками и технологией получения желатина. Диапазон толщины пенослоя h , м , был выбран на основе результатов экспериментальных исследований конвективно-радиационной сушки вспененного бульона желатина [9], а диапазон инфракрасной области спектра $1 \leq \lambda \leq 2$ $\mu\text{м}$ – исходя из анализа литературных данных [7, 8] и технической возможности экспериментального определения направленно-полусферических терморadiационных характеристик.

Расчет интегральных оптических характеристик выполнялся на базе данных о направленно-полусферических R_λ и T_λ и рассчитанных на их основе спектральных двуполусферических терморadiационных характеристиках желатина $R_{\lambda d}$ и $T_{\lambda d}$ для исследуемых диапазонов инфракрасной области спектра, влажности и толщины пенослоя [7, 8].

Выбор и обоснование оптимальных режимов работы инфракрасного излучателя осуществлялся по принципу сопоставления его эмиссионных характеристик со спектральными терморadiационными и оптическими характеристиками обезвоживаемого пенослоя желатинового бульона [7, 8]. При этом для обеспечения объемного инфракрасного энергоподвода при облучении пенослоя определялся диапазон длин волн инфракрасного спектра, на эмпирических спектральных зависимостях в пределах которого продукт имел наименьшую отражательную способность и значительную проницаемость [7, 8].

Зависимость распределения объемной плотности поглощенной энергии излучения по глубине оптически тонкого пенослоя желатина $W=f(x,w)$, Вт/м³, рассчитана (для диапазонов координаты толщины слоя $x = 0 \dots 0,004$ м и влажности продукта $w = 0,14 \dots 0,85$ кг/кг) по следующей формуле, предложенной в работе [7] для случая двустороннего инфракрасного энергоподвода:

$$W(x,w) = L(x,w) \cdot E_{n1} \frac{1 - R_\infty(w)}{1 - \psi^2(w,x)} \left[\frac{\exp(-L(w,x) \cdot x) - \psi^2(w,x)}{R_\infty(w)} \exp(L(w,x) \cdot x) \right] + L(h-x,w) \cdot E_{n2} \frac{1 - R_\infty(w)}{1 - \psi^2(w,h-x)} \left[\frac{\exp(-L(w,h-x) \cdot (h-x)) - \psi^2(w,h-x)}{R_\infty(w)} \exp(L(w,h-x) \cdot (h-x)) \right], \quad (1)$$

где $E_{n1}=E_{n2}$ - плотность падающего теплового потока с одной стороны пенослоя, Вт/м², определенная в результате экспериментальных исследований [5]; R_∞ - спектральная отражательная способность оптически полубесконечного слоя; $\psi = R_\infty(w) \cdot \exp(-L(w,x) \cdot x)$.

Указанная зависимость необходима для реализации физико-математической модели и численного расчета температурных полей в пенослое желатина в процессе инфракрасной сушки, а также для оценки эффективности инфракрасных излучателей [7].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ, ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На рис. 1 и 2 приведены примеры значений направленно-полусферических терморрадиационных характеристик R_λ и T_λ в спектральном диапазоне $1 \leq \lambda \leq 2$ мкм, полученных с использованием спектрофотометра PHOTON RT для пенослоя желатина различной толщины h , м, и влажности w , кг/кг.

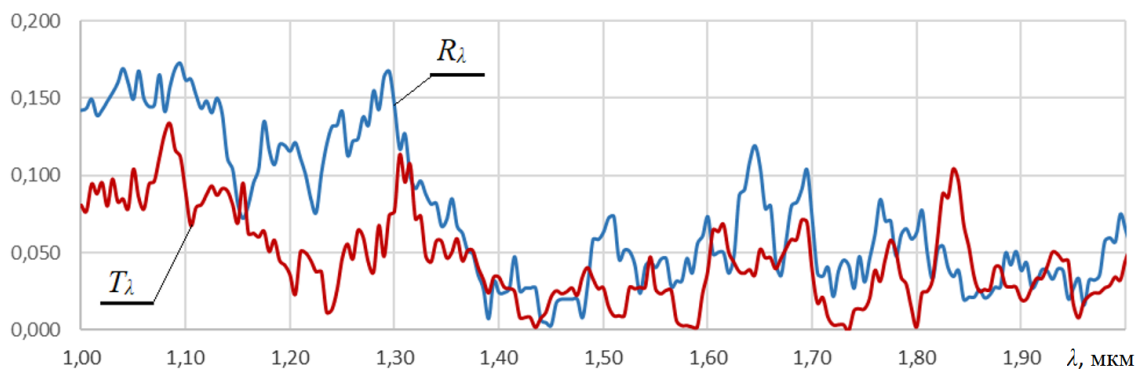


Рис. 1. Отражательная R_λ и пропускательная T_λ способности слоя вспененного раствора желатина при толщине пенослоя $h_n = 4$ мм и влажности продукта $w_n = 0,14$ кг/кг

Fig. 1. Reflective R_λ and transmittance T_λ power of the layer of the foamed gelatin solution with a foam layer thickness $h_n = 4$ mm and product moisture content $w_n = 0,14$ kg / kg

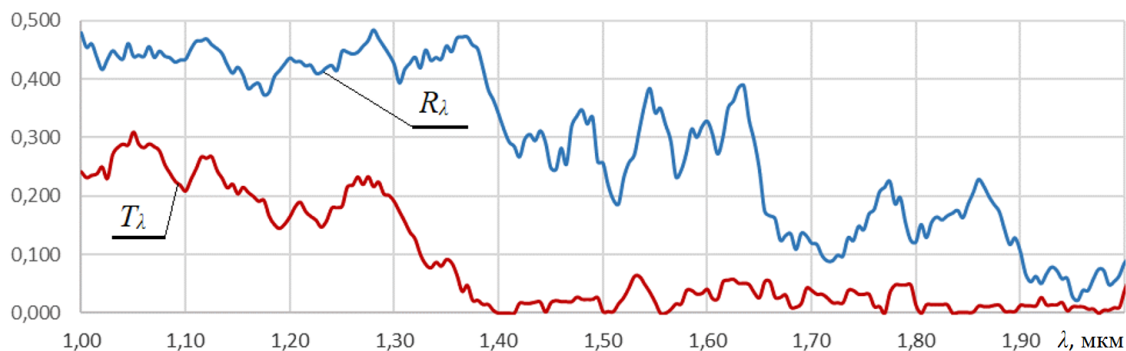


Рис. 2. Отражательная R_λ и пропускательная T_λ способности слоя вспененного раствора желатина при толщине пенослоя $h_n = 2$ мм и влажности продукта $w_n = 0,75$ кг/кг

Fig. 2. Reflective R_λ and transmittance T_λ power of the layer of the foamed gelatin solution at the foam layer thickness $h_n = 2$ mm and the product humidity $w_n = 0,75$ kg / kg

На основе результатов экспериментального определения терморрадиационных характеристик и расчетов получены следующие экспериментально-аналитические зависимости оптических характеристик для процесса сушки вспененного раствора желатина с начальной влажностью $w_n = 0,85$ кг/кг и толщиной пенослоя $h_n = 0,004$ м при двустороннем инфракрасном энергоподводе:

- отражательной интегральной способности оптически полубесконечного слоя $R_\infty(w)$ от влажности продукта w , кг/кг:

$$R_\infty(w) = 0,2628 \cdot w + 0,0511; \quad (2)$$

- коэффициента эффективного ослабления потока излучения по мере распространения в оптически бесконечно толстом слое L , m^{-1} , от влажности продукта w , кг/кг, и координаты толщины слоя $x = 0 \dots 0,004$ м:

$$L(w, x) = (-7,1707 \cdot 10^4 \cdot w - 8,5285 \cdot 10^4) \cdot x + 546,7213 w + 1,1411 \cdot 10^3. \quad (3)$$

Зависимость распределения объемной плотности поглощенной энергии излучения по глубине оптически тонкого пенослоя желатина $W=f(x, w)$, Вт/м³, рассчитана по формуле (1) с использованием полученных уравнений (2) и (3). Она действительна в диапазонах координаты толщины слоя $x = 0 \dots 0,004$ м и влажности продукта $w = 0,14 \dots 0,85$ кг/кг.

На рис. 3 изображено полученное с использованием программного обеспечения Mathcad поле значений распределения объемной плотности поглощенной энергии излучения по глубине оптически тонкого слоя $x = 0 \dots 0,004$ м в диапазоне $w = 0,14 \dots 0,85$ кг/кг.

Характер распределения объемной плотности поглощенной энергии излучения по толщине пенослоя желатина (рис. 3) при двустороннем инфракрасном облучении типичен для большинства биополимеров [5, 7]. При w const зависимость $W=f(x)$ имеет вид параболы с минимумом в точке экстремума, соответствующей середине толщины пенослоя. Снижение объемной плотности поглощенной энергии излучения при перемещении теплового потока от поверхности к сердцевине пенослоя связано с постепенным поглощением энергии продуктом. Уменьшение влажности продукта также обуславливает равномерное уменьшение объемной

плотности поглощенной энергии, что закономерно и объясняется сокращением количества молекул воды, поглощающих энергию излучения, а также увеличением пропускательной и отражательной способностей биополимерного каркаса, образующегося в процессе обезвоживания.

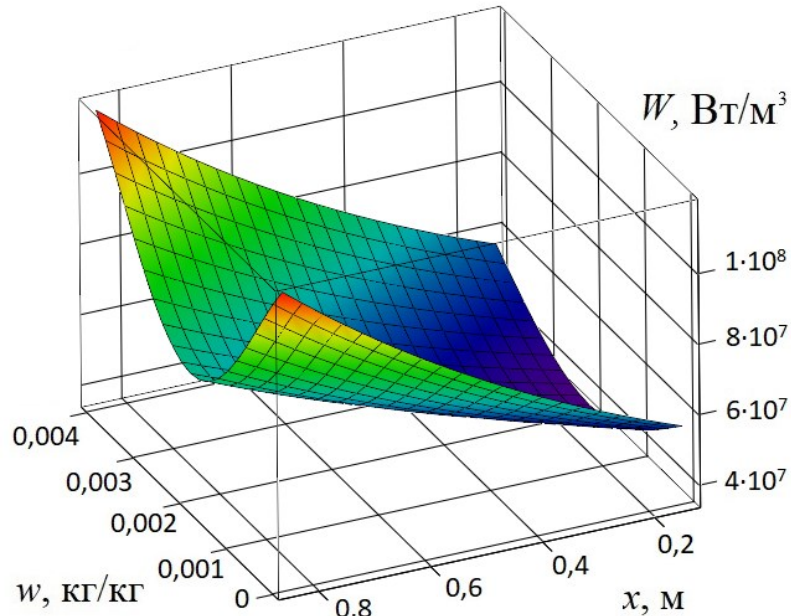


Рис. 3. Поле распределения объемной плотности поглощенной энергии излучения $W(x,w)$ по толщине пенослоя желатина с влажностью $w = 0,14...0,85$ кг/кг в диапазоне координаты толщины слоя $x = 0...0,004$ м при двустороннем инфракрасном энергоподводе

Fig. 3. The field of the distribution of the bulk density of the absorbed radiation energy $W(x,w)$ over the thickness of the gelatin foam layer with humidity $w = 0,14...0,85$ kg / kg in the range of the coordinate of the layer thickness $x = 0...0,004$ m with a two-sided infrared energy supply

Экспериментально-аналитическое исследование терморadiационных и оптических характеристик пенослоя желатина, в том числе объемной плотности поглощенной энергии излучения по глубине слоя, позволило с учетом ранее полученных экспериментальных и литературных данных [7-10] принять следующие технические решения в рамках разработки рациональных режимов процесса инфракрасной пеносушки раствора желатина:

- в качестве инфракрасных излучателей – генераторы типа КГТ (КИ, КГ)-220-1000;

- оптимальный диапазон длины волны ИК- излучателей $\lambda=1,01...1,11$ мкм, соответствующий максимальной интенсивности излучения, определяющей напряжение на генераторах $U= 220$ В [7], и максимальной пропускательной способности продукта. Ввиду небольшого диапазона варьирования длины волны в рациональном режиме нецелесообразно включать ее как независимый фактор при дальнейших исследованиях;

- оптически тонкий слой, наиболее рациональный для высокоинтенсивной сушки $h \leq 0,004$ м.

Использование генераторов КГТ-220-1000 в качестве инфракрасных излучателей в процессе сушки вспененного раствора желатина в равных условиях более эффективно в сравнении с применением аналогов, например, нихромовых спиралей в кварцевых трубках при одних и тех же тепловых потоках, что подтверждено результатами анализа литературных данных, а также экспериментальными исследованиями кинетики радиационно-конвективной сушки желатинового бульона из отходов переработки рыбы [5, 7, 9]. Генераторы КГТ-220-1000 в сравнении с металлическими и керамическими инфракрасными излучателями создают относительно высокие тепловые потоки и обладают меньшей тепловой инерцией, что упрощает проектирование сушильной техники [7].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, с использованием эмпирических данных, полученных на спектрофотометре PHOTON RT, и метода усредненных оптических и терморadiационных характеристик были исследованы терморadiационные и оптические характеристики вспененного желатинового бульона из отходов переработки рыбы как объекта сушки при двустороннем радиационном энергоподводе. Экспериментально-аналитически получены зависимости отражательной интегральной способности оптически полубесконечного слоя R_∞ , коэффициента эффективного ослабления потока излучения по мере распространения в оптически бесконечно толстом слое L , м^{-1} , и распределения объемной плотности поглощенной энергии излучения по глубине оптически тонкого слоя W , $\text{Вт}/\text{м}^3$, от влажности w , $\text{кг}/\text{кг}$, и координаты толщины пенослоя x , м . Указанные зависимости действительны в следующих диапазонах: влажности исследуемого продукта $0,14 \leq w \leq 0,85$ $\text{кг}/\text{кг}$; толщины пенослоя $0,002 \leq h \leq 0,004$ м ; инфракрасной области спектра $1 \leq \lambda \leq 2$ $\mu\text{м}$. На основе результатов исследований выбраны инфракрасные излучатели, режимы их работы, а также оптически тонкий слой, наиболее рациональный для высокоинтенсивной сушки. Полученные зависимости и выбранные технические решения могут использоваться с целью последующей разработки способа инфракрасной пеносушки желатинового бульона, реализации физико-математической модели и численного расчета температурных полей в пенослое желатина в процессе инфракрасной сушки, а также для проектирования сушильной установки, на которой осуществляют сушку желатина и подобных ему по комплексу свойств продуктов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Gelatin handbook. Gelatin manufacturers institute of America. – Written and produced by the members of GMIA. – 2019. 26 p.
2. Koen Egberts. Gelatin Drying Technology (Gelatin Dryer). [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://gelatin.nl/home> (дата обращения: 12.08.2019).
3. Технология производства желатина. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://gelatin.by/partners/technology> (дата обращения: 12.08.2019).
4. Пат. 2487152 РФ, МПК С09Н 1/04, С09Н 3/00, А23J 1/10. Способ производства желатина / Као Тхи Хуе, Дяченко Э. П.; заявл. 12.07.2011; опублик. 10.07.2013 Бюл. № 2.

5. Никулина, М. А. Совершенствование процесса инфракрасной сушки пищевой съедобной пленки: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.18.12 / Никулина Мария Александровна. – Санкт-Петербург, 2018. – 16 с.
6. Дяченко, М. М. Технология кормовой муки из мясокостных тканей тюленей / М. М. Дяченко, Н. П. Боева, Э. П. Дяченко // Труды ВНИРО. – 2017. – Т. 166 – С. 159-178.
7. Алексанян, И. Ю. Высокоинтенсивная сушка пищевых продуктов. Пено-сушка. Теория. Практика. Моделирование: моногр. / И. Ю. Алексанян, А. А. Буйнов. – Астрахань: АГТУ, 2004. – 380 с.
8. Ильясов, С. Г. Физические основы инфракрасного облучения пищевых продуктов / С. Г. Ильясов, В. В. Красников. – Москва: Пищ. пром-сть, 1978. – 359 с.
9. Разработка рациональных режимов сушки при производстве желатина на основе отходов рыбопереработки / А. В. Макаров [и др.] // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. – 2019. – № 2. – С. 56-232.
10. Ильясов, С. Г. Методы определения оптических и терморadiационных характеристик пищевых продуктов / С. Г. Ильясов, В. В. Красников. – Москва: Пищ. пром-сть, 1972. – 175 с.

REFERENCES

1. Gelatin handbook. Gelatin manufacturers institute of America, Written and produced by the members of GMIA, 2019, 26 pp.
2. Koen Egberts. Gelatin Drying Technology (Gelatin Dryer), available at: <http://gelatin.nl/home> (Accessed 12 august 2019).
3. *Tekhnologiya proizvodstva zhelatina* [Gelatin production technology], available at: <http://gelatin.by/partners/technology> (Accessed 12 August 2019).
4. Pat. 2487152 RF, MPK C09H 1/04, C09H 3/00, A23J 1/10. *Sposob proizvodstva zhelatina* [Method for the production of gelatin]. Kao Thi Hue, Dyachenko E. P.; stated 12.07.2011; published 10.07.2013, newsletter № 2.
5. Nikulina M. A. *Sovershenstvovanie protcessa infrakrasnoy sushki pishchevoy s'edobnoy plenki. Avtoreferat diss. kand. tekhn. nauk* [Improving the process of infrared drying of edible film. Abstract of dis. cand. of techn. sci.]. Saint-Petersburg, 2018, 16 p.
6. Dyachenko M. M., Boeva N. P., Dyachenko E. P. *Tekhnologiya kormovoy muki iz myasokostnykh tkaney tyulenyey* [Technology of flour fodder from meat and bone tissues of seals]. *Trudy VNIRO*, 2017, vol. 166, pp. 159-178.
7. Aleksanyan I. Yu., Buynov A. A. *Vysokointensivnaya sushka pishchevykh produktov. Penosushka. Teoriya. Praktika. Modelirovanie* [High-intensity drying of food products. Foam dryer. Theory. Practice. Modeling]. Astrakhan', AGTU, 2004, 380 p.
8. Il'yasov S. G., Krasnikov V. V. *Fizicheskie osnovy infrakrasnogo oblucheniya pishchevykh produktov* [Physical basics of infrared food irradiation]. Moscow, Pishchevaya promyshlennost', 1978, 359 p.
9. Makarov A. V., Maksimenko Yu. A., Aleksanyan I. Yu., Dyachenko E. P. *Razrabotka ratsional'nykh rezhimov sushki pri proizvodstve zhelatina na osnove othodov rybopererabotki* [Developing rational modes of drying gelatin broth from fish pro-

cessing waste]. *Tekhnologii pishchevoy i pererabatyvayushchey promyshlennosti APK, produkty zdorovogo pitaniya*, 2019, no. 2, pp. 56-232.

10. И'yasov S. G., Krasnikov V. V. *Metody opredeleniya opticheskikh i termoradiatsionnykh kharakteristik pishchevykh produktov* [Methods for determining the optical and thermoradiation characteristics of food products]. Moscow, Pishchevaya promyshlennost', 1972, 175 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Макаров Александр Викторович – Астраханский государственный технический университет; старший преподаватель кафедры технологии товаров и товароведения; E-mail: amxs1@yandex.ru

Makarov Aleksandr Viktorovich – Astrakhan State Technical University; Senior Lecturer, Department of Technology of Goods and Commodity; E-mail: amxs1@yandex.ru

Максименко Юрий Александрович – Астраханский государственный технический университет; доктор технических наук, доцент; зав. кафедрой технологических машин и оборудования; E-mail: amxs1@yandex.ru

Maksimenko Yuriy Aleksandrovich – Astrakhan State Technical University; Doctor of Technical Sciences, Assistant Professor; Head of the Department of Technological Machines and Equipment; E-mail: amxs1@yandex.ru

Дяченко Эдуард Павлович – Всероссийский научно-исследовательский институт овощеводства – филиал Федерального научного центра овощеводства (г. Москва); кандидат технических наук; научный сотрудник Отдела технологий и инноваций; E-mail: amed-nauka@yandex.ru

Dyachenko Eduard Pavlovich – All-Russian Research Institute of Vegetable Growing – branch of the Federal Scientific Center for Vegetable Growing (Moscow); Research Fellow, Technology and Innovation Division; E-mail: amed-nauka@yandex.ru

УДК 664.951.2

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРОИЗВОДСТВА КУЛИНАРНОЙ ПРОДУКЦИИ
ИЗ МОРОЖЕНОЙ САРДИНЫ ТИХООКЕАНСКОЙ (ИВАСИ)

С. Н. Максимова, Т. Н. Слуцкая, Д. В. Полещук, В. И. Полещук,
К. К. Верещагина

PROSPECTS FOR THE CULINARY PRODUCTS FROM THE FROZEN PACIFIC
SARDINES (IVASI)

S. N. Maksimova, T. N. Slutskaya, D. V. Poleshchuk, V. I. Poleshchuk,
K. K. Vereshchagina

Производство кулинарных продуктов открывает большие возможности в решении технологических задач использования разнообразного рыбного сырья, характеризующегося различной товарной ценностью. В статье рассмотрены перспективы производства из мороженой сардины тихоокеанской (иваси) высококачественной биологически ценной пищевой продукции путем применения принципов пищевой комбинаторики. Это сопряжено со сложностями, определяемыми как химическим составом сырья, так и особенностями мороженой рыбной продукции. При изучении технологического потенциала сардины тихоокеанской как объекта для получения кулинарной продукции, помимо общего химического состава, исследованы реологические характеристики мышечной ткани и фракционный состав белков сырья. Установлена возможность использования мороженой сардины тихоокеанской (иваси) для производства кулинарной продукции. С целью получения заданных эмульгирующих и реологических показателей фаршевой системы, а также органолептических характеристик готовой продукции, приготовленной из фарша, в состав композиции предложено ввести молоки лососевых и хитозан. Экспериментально установлено, что наиболее рациональным является соотношение «рыба и молоки» – 3:1 и внесение 1 % низкомолекулярного водорастворимого хитозана от общей массы фаршевой системы. Проведены исследования физических свойств термически обработанных фаршевых систем, на основании которых обоснована рецептура кулинарной продукции из сардины тихоокеанской (иваси) с содержанием жира более 20 %. Сделан вывод о перспективности использования исследуемого сырья для производства кулинарной продукции.

сардина тихоокеанская, мороженая рыба, химические показатели, мышечная ткань, реологические характеристики, молоки лососевых, хитозан

The production of culinary products opens up great opportunities in solving the technological problems of using a variety of fish resources characterized by commercial value. The prospects of producing high-quality biologically valuable food products based on them by applying the principles of food combinatorics are considered. The possibility of producing culinary products from the frozen sardine of Pacific Ivasi is associated with technological features determined by both the chemical composition of

the raw materials and the technological features of the production of frozen products. Studying the technological potential of the Pacific sardine (Ivasi) as a possible object for the production of culinary products, the studies of both the fractional composition of proteins and the rheological characteristics of muscle tissue were carried out. It was revealed that the most preferred raw material for the production of culinary products according to a number of investigated criteria is sardine with a high fat content. Moreover, in order to improve the emulsifying and rheological characteristics of the minced system, as well as to improve the organoleptic characteristics, it was proposed to introduce salmon and chitosan milk into the composition of the minced system. According to the results most rational, was the ratio of fish (fatty) and milk - 3: 1 and the introduction of a low molecular weight water-soluble chitosan into the stuffing system in an amount of 1% by weight of the stuffing system. Studies of heat-treated minced systems confirmed the previously put forward hypothesis about the advisability of introducing salmon and chitosan milk into the minced system. Based on the data obtained, it was concluded that it is possible to use Pacific sardine (Ivasi) with a fat content of more than 20% as a raw material for the production of culinary products.

Pacific sardine, frozen fish, chemical parameters, muscle tissue, reological characteristics, salmon milk, chitosan

ВВЕДЕНИЕ

На основании исследований, проведенных ранее, были сделаны выводы, что сардина тихоокеанская (иваси) используется для производства пищевой продукции наиболее часто в мороженом виде. Это обусловлено особенностями ее промысла и несовершенным развитием отечественного перерабатывающего флота [1, 2].

При более детальном исследовании нами был сделан вывод, что мороженая сардина к шести месяцам нормативного хранения обладает такими качественными характеристиками, которые неприемлемы для получения из нее соленой продукции. Так, например, при исследовании мышечной ткани рыбы после размораживания отмечались следующие изменения: снижение прочности, появление признаков ослабевшей консистенции, особенно в области брюшка, и запаха окислившегося жира [2].

Анализ современных литературных данных показал, что кулинарная формованная продукция является перспективным видом, получаемым из такого сырья.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Исследование технологического потенциала мороженой сардины тихоокеанской (иваси) как сырья для производства кулинарной продукции.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве объектов исследования использовали мороженую сардину тихоокеанскую (иваси), соответствующую требованиям ТУ 10.20.13-005-22141296-2017 «Сардина тихоокеанская иваси неразделанная мороженая».

Отбор проб сырья и подготовку к анализу проводили по стандартным методикам ГОСТ 31339-2006, ГОСТ 7631-2008.

Органолептическую оценку качества сырья и готовой продукции осуществляли по ГОСТ 7631-2008 и результатам дегустационных совещаний.

Определение влагоудерживающей способности (ВУС) проводили методом прессования. Результат оценивали по разности изменения массы навески до и после прессования. Жироудерживающую способность (ЖУС) определяли рефрактометрическим методом путем измерения разности коэффициентов преломления чистого растворителя и мицеллы [3].

Разрушающее усилие (Р), предельное напряжение сдвига (ПНС), напряжение при деформации (прочность (θ)) определяли на приборе FudonRheoMeter (RheotechCo., Ltd, Япония).

Определение модуля сохранения (эластичности) (G') и модуля потерь (вязкости) (G'') осуществляли с использованием прибора Rheograph Sol-535 (TokyoSeikiLtd.).

Исследование фракционного состава белков проводили с использованием колонки Sephadex G-25 (10 mm x 600 mm, Amersham Pharmacia Biotech, Piscataway, NJ, USA), буфер 0,1 N NaCl-20 mM Tris-HCl, pH 8,0 скорость потока 0,3 мл/мин, $\lambda = 280$ нм.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ, ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для определения технологического потенциала мороженой сардины тихоокеанской (иваси) как сырья для производства кулинарной продукции были проведены исследования структурно-механических свойств мышечной ткани рыбы с максимально различающимся химическим составом. В качестве объектов изучения была использована сардина тихоокеанская двух видов: с содержанием жира – 11,3, белка – 13,3 и с содержанием жира – 28,3, белка – 20,4 %. Такой химический состав условно соответствовал рыбе, находящийся в стадиях «окончания размножения» и «нагула», что позволяло учесть при проектировании нового продукта непостоянный химический состав исследуемого сырья. Для упрощения идентификации образцов они были обозначены как сардина иваси-тощая и сардина иваси-жирная.

Фракционный состав белков

Известно, что на структурно-механические свойства мышечной ткани рыбы наибольшее влияние оказывает соотношение солерастворимой и водорастворимой фракции белка [4]. В связи с этим, проведены исследования фракционного состава белков с выделением указанных фракций. Результаты проведенных исследований представлены в табл. 1.

Таблица 1. Фракционный состав белков мышечной ткани сардины тихоокеанской (иваси)

Table 1. Fractional Composition of proteins pacific sardine (Ivasi) muscle tissue

Вид рыбы	Водорастворимые белки, мг/ г белка	Солерастворимые белки, мг/ г белка
Сардина тихоокеанская (тощая)	26,25	67,92
Сардина тихоокеанская (жирная)	22,75	51,00

Представленные в табл. 1 результаты свидетельствуют о преобладании (более чем в два раза) в мышечной ткани сардины тихоокеанской солерастворимой белковой фракции, причем у обоих образцов рыбы. Известно, что высокое содержание данной фракции является благоприятным фактором для производства фаршевых систем, которые характеризуются высокой эластичностью и хорошей формованием [4].

Следует учитывать тот факт, что оба исследуемых образца сардины отличались достаточно высоким содержанием жира, наличие которого в фаршевых системах при производстве кулинарных изделий может оказывать негативный эффект. Помимо протекающих окислительных процессов в сырье, полуфабрикате и готовой продукции, в результате термической обработки происходит выделение жира, отрицательно влияющее на органолептические и реологические характеристики готового изделия.

Физические характеристики

Дальнейшее изучение физических показателей (вязкость, ВУС, ЖУС) было предложено проводить на сардине иваси-жирной, как наиболее сложной технологической системе и наиболее часто встречаемом объекте при вылове.

Фаршевую систему готовили для исследования путем измельчения мышечной ткани рыбы (сардины жирной) на волчке с диаметром решетки 3 мм, согласно рекомендациям [5]. Физические показатели фарша из сардины тихоокеанской (иваси) представлены в табл. 2.

Таблица 2. Физические показатели фарша из сардины тихоокеанской (иваси)
Table 2. Physical indicators of minced meat from Pacific sardine

Вид рыбы	ВУС, %	ЖУС, %
Сардина тихоокеанская (иваси)	53,2	27,2

По данным Н. И. Рехиной и Е. Ф. Рамбеза [4], рыбный фарш с показателями ВУС от 50 до 60 % может быть использован для изготовления различных кулинарных изделий, таких как биточки, котлеты, пироги и т.д.

Следует отметить сравнительно низкую жиродерживающую способность фарша из сардины тихоокеанской (иваси), что объясняется исходным высоким содержанием жира. Данный факт также необходимо учитывать при разработке рецептуры и составлении композиции кулинарной продукции.

Реологические характеристики

Для комплексной оценки качественных характеристик фарша из мороженой жирной сардины тихоокеанской (иваси) нами были проведены дополнительные исследования реологических показателей, которые приведены в табл. 3.

Таблица 3. Реологические показатели фарша из сардины тихоокеанской (иваси)
Table 3. Rheological indicators of minced meat from Pacific sardine (Ivasi)

Вид рыбы	Модуль эластичности G' , Па	Модуль вязкости G'' , Па	Вязкость, Па·с
Сардина тихоокеанская (иваси)	470	233	12,4

Можно отметить, что ткани жирной сардины тихоокеанской характеризуются невысокими эластично-вязкими показателями, величины которых приближены к значениям для тканей глубоководных рыб.

Таким образом, для улучшения технологических свойств фарша при производстве кулинарных продуктов необходимо повысить его физические свойства. Это может быть достигнуто путем внесения в фаршевую композицию дополнительных, в том числе жиропоглощающих компонентов.

Для повышения реологических характеристик и улучшения органолептических свойств фаршевых систем посчитали целесообразным составить композицию путем использования молок лососевых рыб, характеризующихся вкусовыми достоинствами, пищевой (биологической) ценностью и высокой эмульгирующей способностью [6]. Состав фаршевых систем приведен в табл. 4.

Таблица 4. Соотношение фарша сардины тихоокеанской (иваси) и молок лососевых в фаршевых системах

Table 4. The ratio of forcemeat Pacific sardine and salmon milk in forcemeat systems

Номер образца	Соотношение рыбы и молок, %	
	Фарш иваси	Молоки лососевых
1	100	0
2	85	15
3	75	25
4	65	35
5	55	45

Экспериментально установлено, что увеличение доли молок лососевых в композиции более 15 % приводит к снижению эластично-вязких показателей фаршевых систем. Этот факт подтверждает анализ данных, приведенных на рис. 1 и 2.

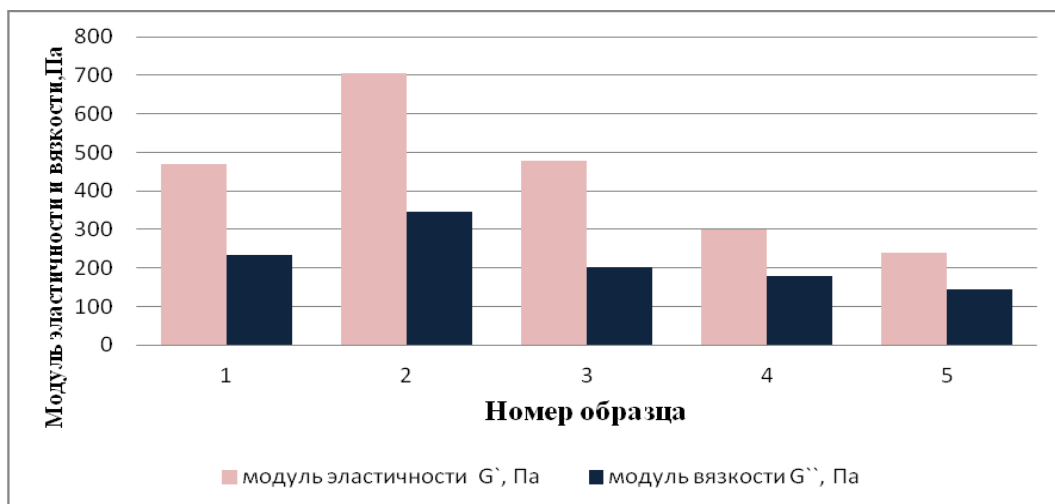


Рис. 1. Модули эластичности и вязкости в фаршевых системах в зависимости от соотношения сардины тихоокеанской (иваси) и молок

Fig. 1. Modules of elasticity and viscosity in minced fish systems depending on proportion of Pacific sardine (Ivasi) and milt

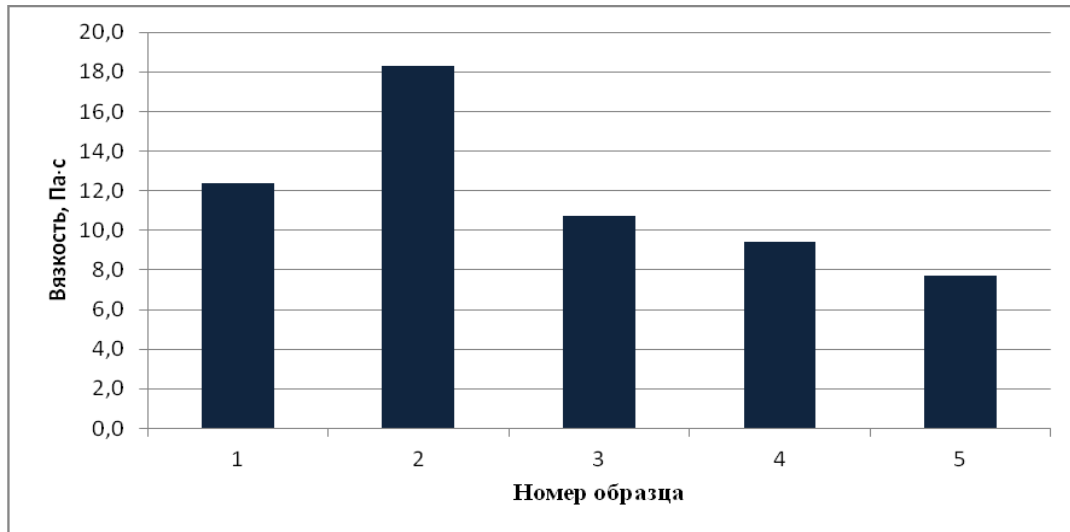


Рис. 2. Показатель вязкости в фаршевых системах в зависимости от соотношения сардины тихоокеанской (иваси) и молок

Fig. 2. Viscosity index in minced fish systems depending on proportion of Pacific sardine (Ivasi) and milt

Данные, представленные на рис. 1 и 2, позволяют предположить, что образцы № 2 и 3 могут быть перспективными для дальнейших исследований, поскольку в совокупности характеризуются наиболее высокими структурно-механическими показателями.

Органолептические характеристики

Учитывая тот факт, что для кулинарных продуктов важными качественными показателями, помимо реологических характеристик, являются органолептические, было предложено провести сенсорные исследования полученных фаршевых систем. Результаты сенсорной оценки фаршевых систем приведены в табл. 5.

Таблица 5. Сенсорная оценка фаршевых систем из сардины тихоокеанской (иваси) и молок лососевых рыб

Table 5. Sensory evaluation of mince systems from Pacific sardine (Ivasi) and salmon milt

Номер образца	Показатели качества фарша		
	внешний вид	цвет	запах (аромат)
1	Однородная масса	Серый	Свойственный данному виду сырья, чувствуется запах жира
2	Однородная масса	Серый	Свойственный данному виду сырья с запахом жира
3	Однородная масса	Серый с кремовым оттенком	Свойственный, запах жира не чувствуется
4	Однородная масса	Серый с кремово-розовым оттенком	Свойственный данному виду сырья, запах жира не чувствуется
5	Однородная масса	Серый с кремово-розовым оттенком	Свойственный данному виду сырья, запах жира не чувствуется

С учетом представленных данных по органолептической оценке и результатов реологических исследований было принято решение считать образец № 3 наиболее отвечающим требованиям, предъявляемым к фаршевым системам для производства кулинарных продуктов.

Применение хитозана

С целью ограничения окислительных и микробиальных процессов и для улучшения реологических характеристик было предложено ввести в фаршевую систему биополимер природного происхождения – хитозан.

Потенциал хитозана как функционально-технологической добавки в производстве пищевых продуктов заключается в следующем: способности служить связующим веществом в пищевой системе, сорбировать в продуктах органические вещества, особенно липиды, оказывать продолжительный антимикробный (бактериостатический, на отдельных этапах и бактерицидный) и антиокислительный эффекты, повышать относительную биологическую ценность готовых продуктов [7].

С учетом результатов предыдущих исследований [7, 8] в данной работе использовали низкомолекулярный (55 кДа) водорастворимый хитозан в количестве 1% к фаршевой массе.

Внесение в фаршевую систему хитозана приводило к повышению вязкости и эластичности, что видно из результатов, представленных на рис. 3 и 4.

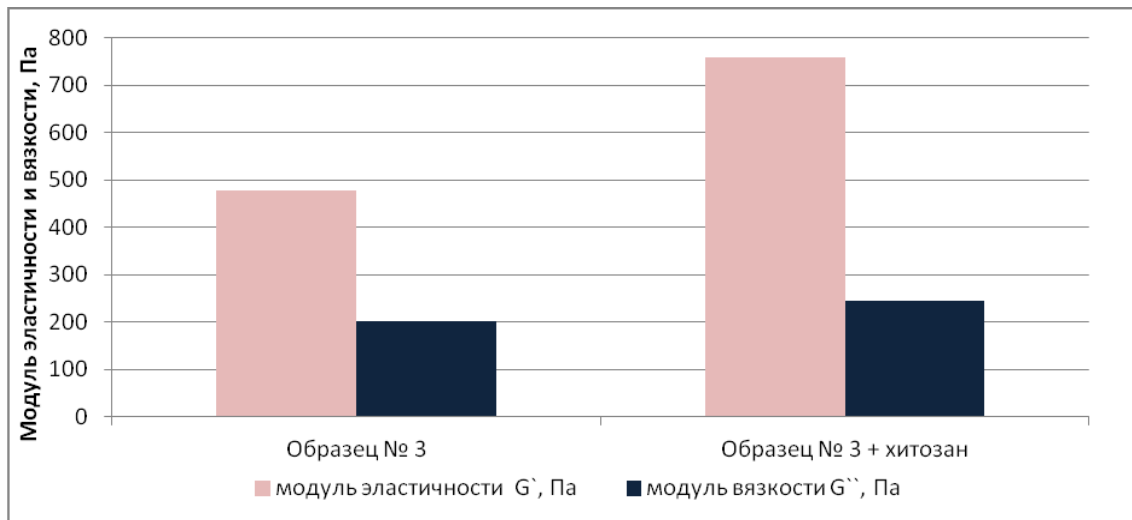


Рис. 3. Исследование модулей эластичности и вязкости в фаршевых системах из сардины тихоокеанской (иваси), молок лососевых рыб и хитозана

Fig. 3. Study of the modulus of elasticity and viscosity in forcemeat systems from Pacific sardine (Ivasi), salmon milt and chitosan

Были исследованы эластично-вязкие показатели выбранной фаршевой системы с добавлением хитозана, при этом в качестве образца для сравнения был представлен образец без хитозана, но с аналогичным соотношением фарша иваси и молок (3:1).

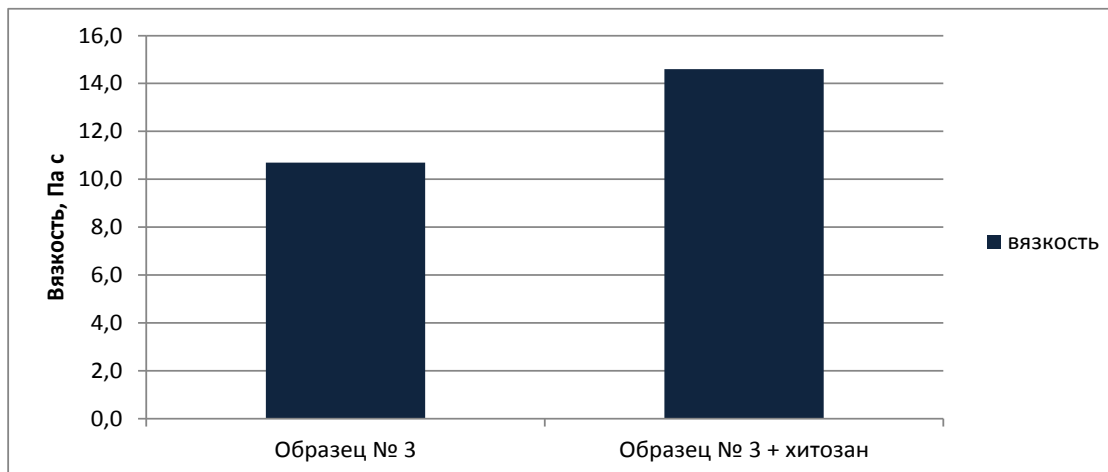


Рис. 4. Исследование показателя вязкости в фаршевых системах из сардины тихоокеанской (иваси), молок лососевых рыб и хитозана

Fig. 4. Study of viscosity index in minced systems from Pacific sardine (Ivasi), salmon milt and chitosan

С учетом экспериментально полученных данных наиболее рациональным было признано соотношение рыба и молоки – 3:1 и внесение в фаршевую систему низкомолекулярного водорастворимого хитозана в количестве 1 % от общей массы системы. Полученная композиция обладала приемлемыми реологическими характеристиками. Кроме того, при органолептической оценке в данной фаршевой композиции не проявлялся запах жира, который снижал качественные характеристики пищевой системы.

Температурная обработка

Для исследования влияния термической обработки, используемой при изготовлении кулинарного продукта, на реологические характеристики фаршевой системы было принято решение подвергнуть ее термическому воздействию до достижения температуры 80 °С в центре изделия. В качестве образца сравнения использовался фарш иваси без внесения молок (образец № 1), после чего термически обработанные фаршевые композиции были исследованы по следующим реологическим показателям: разрушающее усилие (нагрузка), прочность (напряжение при деформации) и предельное напряжение сдвига на срезе. Результаты исследований приведены на рис. 5.

Результаты показывают, что при термообработке произошло упрочнение конденсационно-кристаллизационной структуры, которая присуща фаршевым изделиям из рыб. При этом на прочностные свойства также оказывало влияние образование белково-липидной эмульсионной структуры между липидами рыбы и белками молок лососевых.

Приведенные результаты оценки реологических характеристик термически обработанных фаршевых систем не противоречат результатам первичных исследований сырых фаршевых систем и свидетельствуют о том, что соотношение системы рыба и молоки – 3:1 и внесение в фаршевую систему 1 % низкомолекулярного водорастворимого хитозана позволяют получить кулинарную продукцию с высокими реологическими и органолептическими характеристиками.

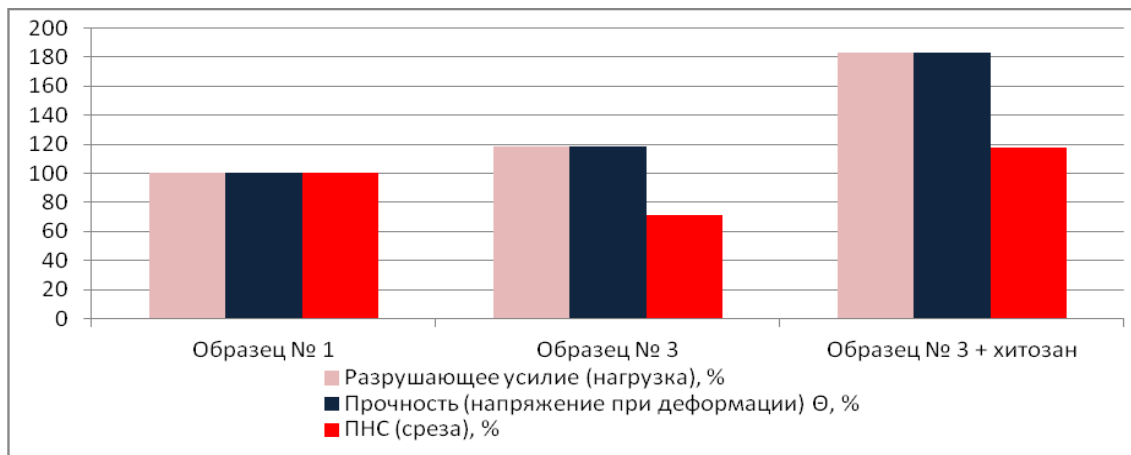


Рис. 5. Реологические показатели термически обработанных фаршевых композиций из сардины тихоокеанской (иваси)

Fig. 5. Rheological parameters of thermally processed minced compositions from Pacific sardine (Ivasi)

ВЫВОДЫ

Таким образом, показаны перспективы использования мороженой сардины тихоокеанской (иваси) с высоким содержанием жира (более 20 %) в технологии приготовления кулинарной продукции. Экспериментально обоснована рецептура фаршевой системы для изготовления формованных изделий с высокими органолептическими и реологическими свойствами из исследуемого сырья.

Для производства данной продукции из сардины тихоокеанской (иваси) с низким содержанием жира (менее 20 %) необходим поиск других компонентов, вносимых в рецептуру кулинарной продукции, обеспечивающих высокие органолептические и структурно-механические свойства и пищевую ценность. Данная задача будет решаться в дальнейших экспериментальных исследованиях.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Новое направление использования мороженой сардины тихоокеанской (*sardinops melanostictus*) для производства пищевой продукции / С. Н. Максимова, Д. В. Полещук, Е. М. Панчишина [и др.] // Пищевая промышленность. – 2018. – № 10. – С. 82-85.
2. Изменение технологических свойств мороженой рыбной продукции при холодильном хранении / С. Н. Максимова, Д. В. Полещук, В. И. Полещук [и др.] // Инновационное развитие рыбной отрасли в контексте обеспечения продовольственной безопасности Российской Федерации: II Национальная науч.-техн. конф. (дек. 2018): материалы. – Владивосток, 2018. – С. 151-154.
3. Головин, А. Н. Контроль производства рыбной продукции / А. Н. Головин. – Москва: Пищевая промышленность, 1978. – 495 с.
4. Рамбеза, Е. Ф. Влияние химического состава мяса рыбы на качество и сроки хранения пищевого мороженого рыбного фарша / Е. Ф. Рамбеза, Н. И. Рехина // Рыбное хозяйство. – 1980. – № 3. – С. 66-68.

5. Маслова, Г. В. Реология рыбы и рыбных продуктов / Г. В. Маслова, А. М. Маслов // Пищевая промышленность. – 1981. – № 3. – С. 202-205.
6. Серпунина, Л. Т. Научные и практические основы регулирования пищевой ценности стерилизованных консервов из гидробионтов / Л. Т. Серпунина, С. А. Артюхова. – Калининград: ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2006. – 266 с.
7. Максимова, С. Н. Хитозан в технологии рыбных продуктов: характеристики, функции, эффективность: моногр. / С. Н. Максимова, Т. М. Сафронова. – Владивосток: Изд-во ФГБОУ ВПО «Дальрыбвтуз», 2010. – 256 с.
8. Максимова, С. Н. Хитиновые материалы в технологии водных биоресурсов / С. Н. Максимова, Т. М. Сафронова, Д. В. Полещук. – Санкт-Петербург: Изд-во «Лань», 2017. – 176 с.

REFERENCES

1. Maksimova S. N., Poleshchuk D. V., Panchishina E. M., Ponomarenko S. Yu., Poleshchuk V. I., Goryacheva E. D. *Novoe napravlenie ispol'zovaniya morozhenoy sardiny tikhookeanskoj (sardinops melanostictus) dlya proizvodstva pishchevoy produktsii* [New directions in the use of Pacific frozen sardines (*sardinops melanostictus*) for food production]. *Pishchevaya promyshlennost'*, 2018, no. 10, pp. 82-85.
2. Maksimova S. N., Poleshchuk D. V., Poleshchuk V. I., Vereshchagina K. K., Ponomarenko S. Yu. *Izmenenie tekhnologicheskikh svoystv morozhenoy rybnoy produktsii pri kholodil'nom khranении* [Changing the technological properties of frozen fish products during refrigerated storage]. *Innovatsionnoe razvitie rybnoy otrasli v kontekste obespecheniya prodovol'stvennoy bezopasnosti Rossiyskoy Federatsii: II Natsional'naya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya* [Innovative development of the fishing industry in the context of ensuring food security of the Russian Federation: II National Scientific and Technical Conference]. Vladivostok, 2018, pp. 151-154.
3. Golovin A. N. *Kontrol' proizvodstva rybnoy produktsii* [Control over the production of fish products]. Moscow, *Pishchevaya promyshlennost'*, 1978, 495 p.
4. Rambeza E. F., Rekhina N. I. *Vliyanie khimicheskogo sostava myasa ryby na kachestvo i sroki khraneniya pishchevogo morozhenogo rybnogo farsha* [The effect of the chemical composition of fish meat on the quality and shelf life of edible fish minced]. *Rybnoe khozyaystvo*, 1980, no 3, pp. 66-68.
5. Maslova G. V., Maslov A. M. *Reologiya ryby i rybnykh produktov* [Rheology of fish and fish products]. *Pishchevaya promyshlennost'*, 1981, no. 3, pp. 202-205.
6. Serpunina L. T., Artyukhova S. A. *Nauchnye i prakticheskie osnovy regulirovaniya pishchevoy tsennosti sterilizovannykh konservov iz gidrobiontov* [Scientific and practical principles for regulating the nutritional value of sterilized canned food from hydrobiontes]. Kaliningrad, KGTU, 2006, 266 p.
7. Maksimova S. N., Safronova T. M. *Khitozan v tekhnologii rybnykh produktov: kharakteristiki, funktsi, effektivnost'* [Chitosan in fish product technology: characteristics, functions, effectiveness]. Vladivostok, Dal'rybvuz, 2010, 256 p.
8. Maksimova S. N., Safronova T. M., Poleshchuk D. V. *Khitinovyie materialy v tekhnologii vodnykh bioresursov* [Chitin materials in the technology of water biological resources]. Saint-Petersburg, Lan', 2017, 176 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Максимова Светлана Николаевна – Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет (г. Владивосток); доктор технических наук, профессор; зав. кафедрой «Технология продуктов питания»; E-mail: maxsvet28@mail.ru

Maksimova Svetlana Nikolaevna – Far Eastern state technical fisheries university (Vladivostok); Doctor of Engineering, Professor; the department chair «Technology of food»; E-mail: maxsvet28@mail.ru

Слуцкая Татьяна Ноевна – Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет (г. Владивосток); доктор технических наук, профессор кафедры «Технология продуктов питания»

Slutskaya Tatiana Noevna – Far Eastern state technical fisheries university (Vladivostok); Doctor of Engineering, Professor of the department «Technology of food»

Полещук Денис Владимирович – Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет (г. Владивосток); кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология продуктов питания»; E-mail: tym1988@mail.ru

Poleschuk Denis Vladimirovich – Far Eastern state technical fisheries university (Vladivostok); PhD of Engineering, Associated professor of the department «Technology of food»; E-mail: tym1988@mail.ru

Полещук Виктория Игоревна – Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет (г. Владивосток); аспирант кафедры «Технология продуктов питания»; E-mail: vichka.babiy.93@mail.ru

Poleshchuk Viktoriya Igorevna – Far Eastern state technical fisheries university (Vladivostok); postgraduate student of the department «Technology of food»; E-mail: vichka.babiy.93@mail.ru

Верещагина Ксения Константиновна – Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет (г. Владивосток); аспирант кафедры «Технология продуктов питания»; E-mail: syhxa55@mail.ru

Vereshchagina Ksenia Konstantinovna – Far Eastern state technical fisheries university (Vladivostok); postgraduate student of the department «Technology of food»; E-mail: syhxa55@mail.ru

УДК 533.5:621.526

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА НА РАБОЧИЕ
ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОДОКОЛЬЦЕВЫХ ВАКУУМНЫХ НАСОСОВ

В. А. Наумов

AIR TEMPERATURE AND HUMIDITY EFFECT ON THE PERFORMANCE
OF WATER RING VACUUM PUMPS

V. A. Naumov

Главным недостатком водокольцевых вакуумных насосов (ВКН) является сравнительно невысокий общий коэффициент полезного действия (КПД). Производители ВКН, как правило, размещают в открытом доступе экспериментальные зависимости скорости откачки (расхода) воздуха и затраченной мощности от давления всасывания. Но ни одна фирма не дает информации об энергетической эффективности ВКН. Ранее был предложен метод сравнения энергетической эффективности разных моделей ВКН с помощью расчета изотермного КПД на основе математического моделирования нагрузочных характеристик. При этом использовались результаты испытаний ВКН только при откачке сухого воздуха. В статье выполнен анализ нагрузочных характеристик ВКН ряда производителей. Он подтвердил увеличение скорости откачки влажного воздуха по сравнению с сухим. При этом максимум изотермного КПД возрастает всего на несколько процентов при давлении всасывания $P = 25-45$ кПа. Показано, что увеличение частоты вращения вала может привести к некоторому снижению изотермного КПД. Зависимости поправочного коэффициента производительности K от P при одинаковых условиях (воздух 100%-ной влажности с температурой 20°C , температура воды 15°C) схожи почти у всех моделей исследованных ВКН. Вплоть до $P \geq 10$ кПа величина K не превышает 1,2-1,3. Только при предельно малом давлении можно получить значение K , близкое к двум. На практике при таких давлениях ВКН не эксплуатируются из-за низкой энергетической эффективности. Исключение составляют результаты испытаний насосов фирмы «Samson», показывающие увеличение производительности на 34% уже при $P = 20$ кПа. С ростом температуры влажного воздуха T увеличивается скорость откачки ВКН. Если $T = 50^\circ\text{C}$, то уже при $P = 15$ кПа поправочный коэффициент производительности достигает $K = 2,5$. Используя в качестве рабочего тела влажный воздух, можно подобрать условия для значительного роста производительности ВКН. При этом повышение энергетической эффективности ВКН будет небольшим.

водокольцевые вакуумные насосы, давление всасывания, производительность, температура воздуха, влажность, энергетическая эффективность

Relatively low overall efficiency is the main disadvantage of water ring vacuum pumps (WRP). As a rule, manufacturers of WRP place in the open access experimental dependences of the pumping speed (flow) of air and the power expended on the suction

pressure. But no firm provides information about the energy efficiency of the WRP. A method for comparing the WRP energy efficiency by calculating the isothermal efficiency based on mathematical modeling of load characteristics has been previously proposed. The test results of the WRP have been used only for pumping dry air. This article analyzes the load characteristics of different WRP manufacturers. It has confirmed an increase in the rate of pumping wet air compared to dry. At the same time, the maximum isothermal efficiency increases by only a few percent at a suction pressure $P = 25\text{--}45$ kPa. It is shown that increase in the frequency of the shaft rotation may lead to some reduction isothermal efficiency. The dependences of the performance correction factor K on P under the same conditions (air 100% humidity with a temperature of 20°C , water temperature 15°C) are similar in almost all the models of studied WRP. The value of K does not exceed 1.2-1.3 up to $P \geq 10$ kPa. The value of K close to two can only be obtained with extremely small pressure. In practice, WRP are not operated at such pressures due to low energy efficiency. The exception is “Samson” pumps test results. They show an increase in productivity by 34% already at $P = 20$ kPa. The rate of WRP pumping increases with increasing temperature of moist air T . The correction factor of productivity reaches $K = 2.5$ already at $P = 15$ kPa, if $T = 50^\circ\text{C}$. It is possible to choose the conditions for significant increase in the WRP capacity using moist air as the working fluid. At the same time, the increase in WRP energy efficiency will be small.

water ring vacuum pumps, suction pressure, capacity, air temperature, humidity, energy efficiency

ВВЕДЕНИЕ

Водокольцевые вакуумные насосы обладают рядом значительных преимуществ, среди которых можно назвать высокую надежность моноблочной конструкции; небольшое количество конструктивных элементов, удобное сервисное обслуживание; отсутствие быстро изнашивающихся деталей; нечувствительность к гидравлическим ударам; незначительный нагрев газа на выходе из ВКН; нечувствительность к засорению газа пылью.

Широкое применение таких насосов в различных отраслях стало причиной теоретических [1-5] и экспериментальных [6-8] исследований. Главный недостаток ВКМ – сравнительно невысокий общий КПД. Повышение энергетической эффективности гидравлических систем, использующих ВКН, во многом зависит от выбора рационального режима их работы. Так, в [2] для снижения энергозатрат рекомендуется выбирать водокольцевые вакуумные насосы по параметрам, приведенным в техническом паспорте. При этом не учитывается, что ВКН далеко не всегда работают в номинальном режиме. В [9, 10] предложен метод сравнения энергетической эффективности различных моделей ВКН с помощью расчета изотермного КПД на основе математического моделирования нагрузочных характеристик. Вместе с тем были использованы результаты испытаний ВКН только при откачке сухого воздуха

Известно (см., например, [1]), что если в откачиваемом воздухе присутствуют водяные пары, то они конденсируются в ВКН при соприкосновении с рабочей жидкостью, а это приводит к росту производительности насоса. Такой рост оценивают поправочным коэффициентом производительности ВКН:

$$K = Q_W / Q_D, \quad (1)$$

где Q_D – расход откачиваемого сухого воздуха при давлении всасывания; Q_W – расход откачиваемого воздуха при давлении всасывания и 100%-ной относительной влажности.

В [1, с. 12] приведено мнение специалистов фирмы «Nash» о том, что значение K может достигать 2,5, тогда как фирма «Samson» [11] показала зависимость поправочного коэффициента производительности ВКН от давления всасывания P в таблице, где наибольшая величина $K = 1,34$ была зафиксирована при $P = 20$ кПа.

Таблица. Поправочный коэффициент производительности ВКН по данным фирмы «Samson» [11]

Table. WRP performance correction factor according to the figures provided by «Samson» [11]

P , кПа	20	30	40	50	60	70	80
K	1,34	1,28	1,15	1,13	1,09	1,08	1,07

Цель данной статьи – выполнить анализ нагрузочных характеристик ВКН разных производителей и оценить возможность повышения энергетической эффективности насосов при использовании влажного воздуха в качестве рабочего тела.

ВЛИЯНИЕ ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ И МОЩНОСТЬ

На рис. 1-2 представлены зависимости производительности ВКН фирмы «Gravaini» [12] от давления всасывания сухого (точки 1) и влажного (точки 2) воздуха при температуре 20°C и разной частоте вращения вала. Температура рабочей жидкости (воды) 15°C. Во всех случаях получено $Q_W > Q_D$.

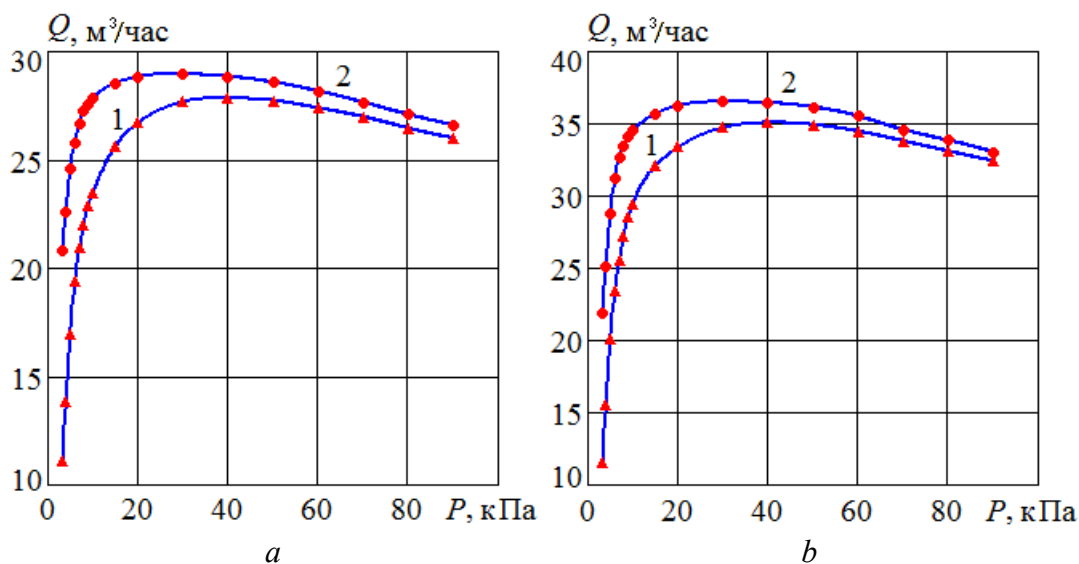


Рис. 1. Зависимость производительности ВКН TRM 25-30 от давления всасывания: a – 2900, b – 3500 об/мин; 1 – сухой воздух, 2 – влажный воздух.

Точки – экспериментальные данные [12], линии – результаты расчета

Fig. 1. Performance dependence of WRP TRM 25-30 on suction pressure:

a – 2900 rpm, b – 3500 rpm; 1 – dry air, 2 – wet air.

Points – experimental data [12], lines – calculation results

На рис. 1 максимум производительности на сухом воздухе был зафиксирован при давлении всасывания примерно 40 кПа, а на влажном – 25 кПа. На рис. 2, соответственно, при 30 и 15 кПа. Увеличение частоты вращения вала приводит к росту наибольшего значения расхода и его смещению к меньшим давлениям. Наличие максимума характеристики $Q=f(P)$ не позволяет использовать эмпирическую зависимость, полученную в [10] для ВКН ELRS [13]:

$$Q(P) = \begin{cases} B_0 + B_1 \cdot P + B_2 \cdot P^2 + B_3 \cdot P^3, & P_0 < P < P_*; \\ Q_* = const, & \text{при } P_* < P < P_a, \end{cases} \quad (2)$$

где P_0 – предельное (минимальное) давление всасывания; P_a – атмосферное давление, в связи с чем в данной статье для аппроксимации экспериментальных зависимостей были использованы кубические сплайн-функции в среде Mathcad аналогично [14]. Рассчитанные линии хорошо согласуются с опытными точками.

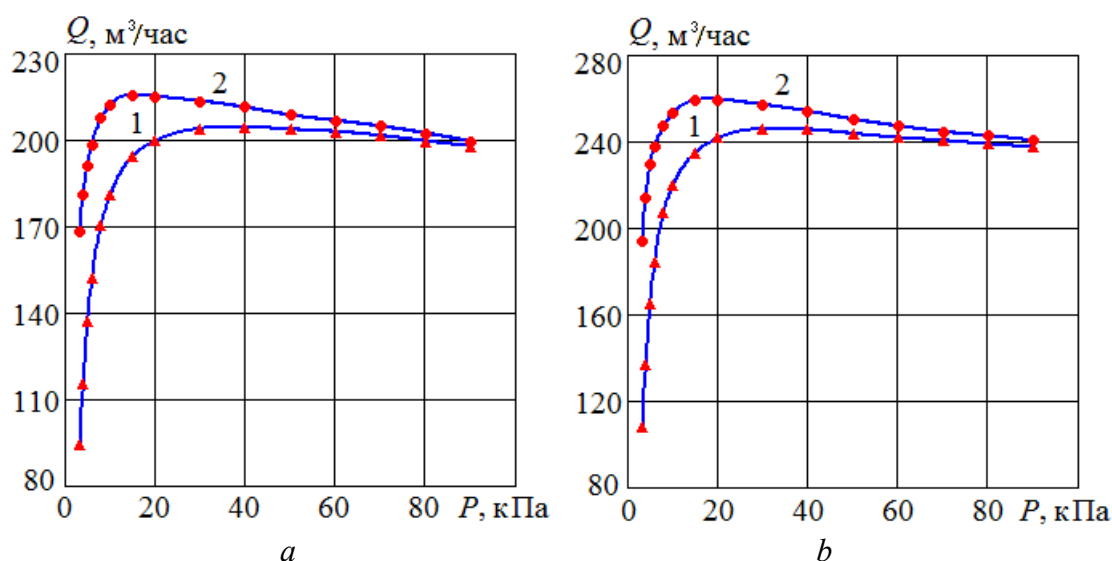


Рис. 2. Зависимость производительности ВКН TRM 40-200 от давления всасывания: a – 1450, b – 1750 об/мин; 1 – сухой воздух, 2 – влажный воздух.

Точки – экспериментальные данные [12], линии – результаты расчета
 Fig. 2. Performance dependence of WRP TRM 40-200 on suction pressure:
 a – 2900 rpm, b – 3500 rpm; 1 – dry air, 2 – wet air.

Points – experimental data [12], lines – calculation results

Приведенная в [12] мощность на валу ВКН (затраченная) N не отличается для сухого и влажного воздуха (рис. 3). Энергетическую эффективность ВКН разных моделей можно сравнить с помощью изотермного КПД [1, 9]:

$$\eta_u = N_u / N; \quad (3)$$

$$N_u(P) = P \cdot Q(P) \cdot \ln(P_a / P), \quad (4)$$

где расход Q нужно выразить в кубометрах в секунду ($\text{м}^3/\text{с}$), давление – в килопаскалях (кПа). Тогда изотермная мощность N_u получится в киловаттах (кВт).

По рис. 3 видно, что значения N_u несущественно отличаются для сухого и влажного воздуха (линии 2 и 3), поэтому для них малó различие КПД η_u , рассчитанного по формулам (3)-(4) (рис. 4).

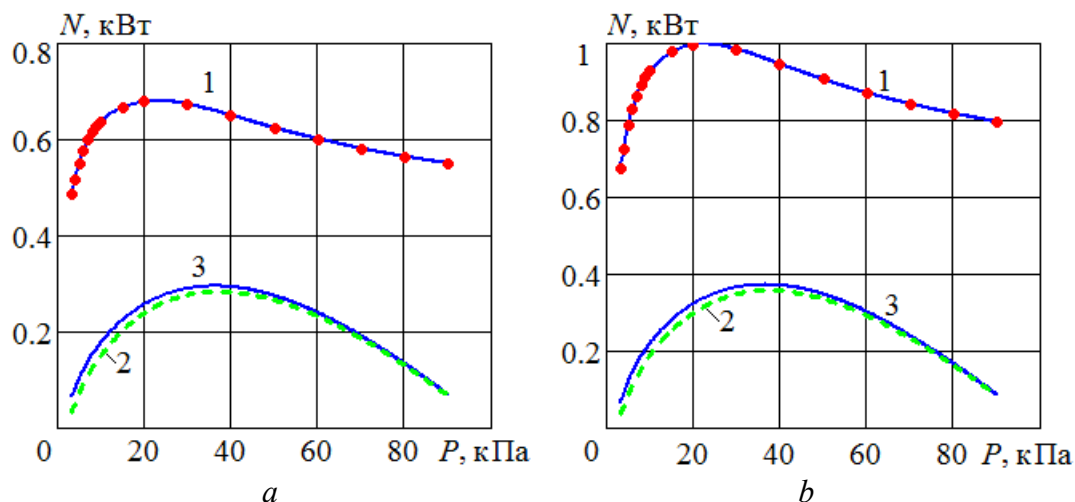


Рис. 3. Зависимость мощности ВКН TRM 25-30 от давления всасывания: *a* – 2900, *b* – 3500 об/мин; 1 – затраченная мощность, 2 – изотермная мощность при сухом воздухе, 3 – изотермная мощность при влажном воздухе.

Точки – экспериментальные данные [12], линии – результаты расчета

Fig. 3. The dependence of WRP TRM 25-30 power on suction pressure: *a* – 2900 rpm, *b* – 3500 rpm; 1 – supplied power, 2 – isothermal power in dry air, 3 – isothermal power in wet air. Points – experimental data [12], lines – calculation results

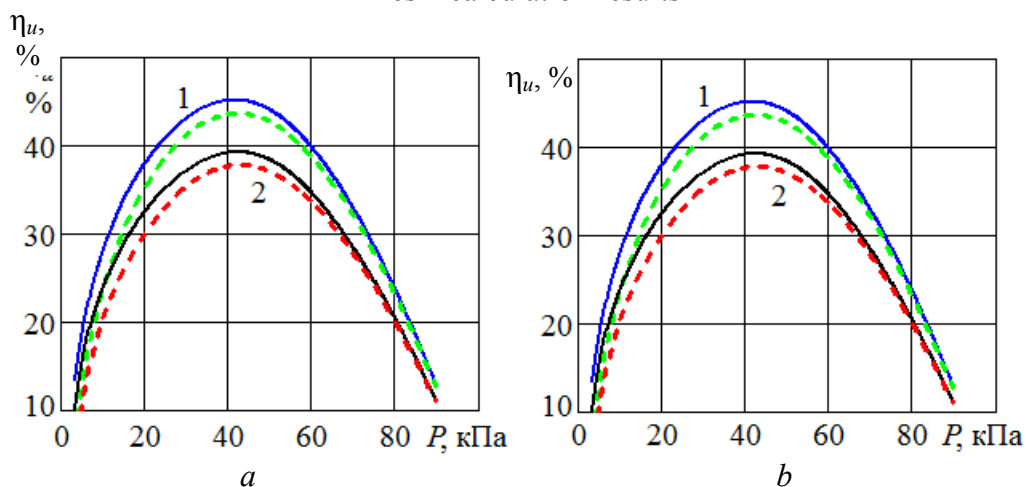


Рис. 4. Зависимость изотермного КПД от давления всасывания: *a* – ВКН TRM 25-30, 1 – 2900, 2 – 3500 об/мин; *b* – ВКН TRM 40-200, 1 – 1450, 2 – 1750 об/мин. Штриховые линии – расчет при сухом воздухе, сплошные линии – расчет при влажном воздухе

Fig. 4. Dependence of isothermal efficiency on suction pressure: *a* – WRP TRM 25-30, 1 – 2900 rpm, 2 – 3500 rpm; *b* – WRP TRM 40-200, 1 – 1450 rpm, 2 – 1750 rpm. Dashed lines – calculation in dry air, solid lines – calculation in wet air

На рис. 4 максимум изотермного КПД получается во всех случаях при давлении всасывания примерно 45 кПа. Рост частоты вращения вала приводит к снижению η_{is} .

В [1] были опубликованы рабочие характеристики некоторых моделей ВКН фирмы «Siemens». Приведены зависимости от давления всасывания расхода воздуха и удельной мощности на валу насоса $N_y = N/Q$ (рис. 5). По ним можно рассчитать изотермную мощность по формуле (4) и затраченную мощность по (5):

$$N(P) = Q(P) \cdot N_y(P). \quad (5)$$

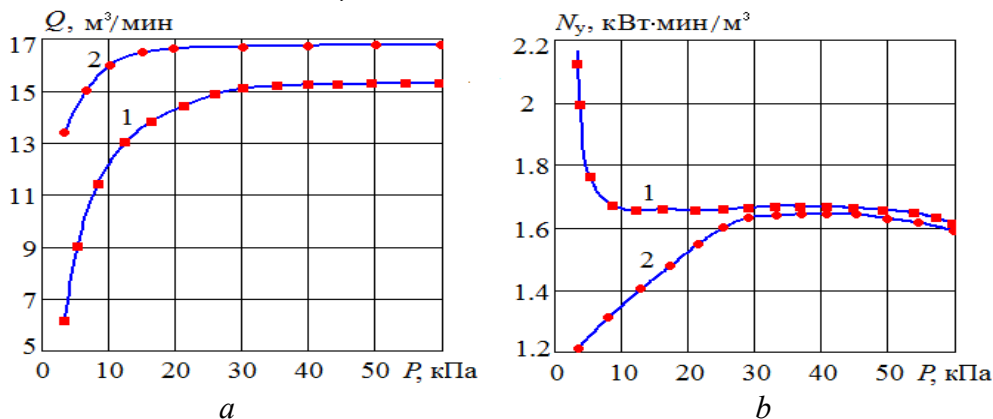


Рис. 5. Рабочие характеристики ВКН 2BA372 фирмы «Siemens» (970 об/мин): a – производительность, b – удельная мощность; 1 – сухой воздух, 2 – влажный воздух. Точки – экспериментальные данные [1], линии – результаты расчета

Fig. 5. Performance characteristics of WRP Siemens KN 2BA372 (970 rpm):

a – performance, b – specific power; 1 – dry air, 2 – wet air.

Points – experimental data [1], lines – calculation results

По рис. 6а видно, что при влажном воздухе затраченная мощность может быть на 10 % больше, чем при сухом. Это позволяет выполнить расчет изотермного КПД (рис. 6б) точнее, чем по рис. 3, где величина N считалась независимой от влажности воздуха. На рис. 3б при давлении всасывания ниже 20 кПа изотермный КПД ВКН, работающего на влажном воздухе, примерно на 5 % больше, чем при работе на сухом воздухе. Данные результаты получены для температуры воздуха 20°C.

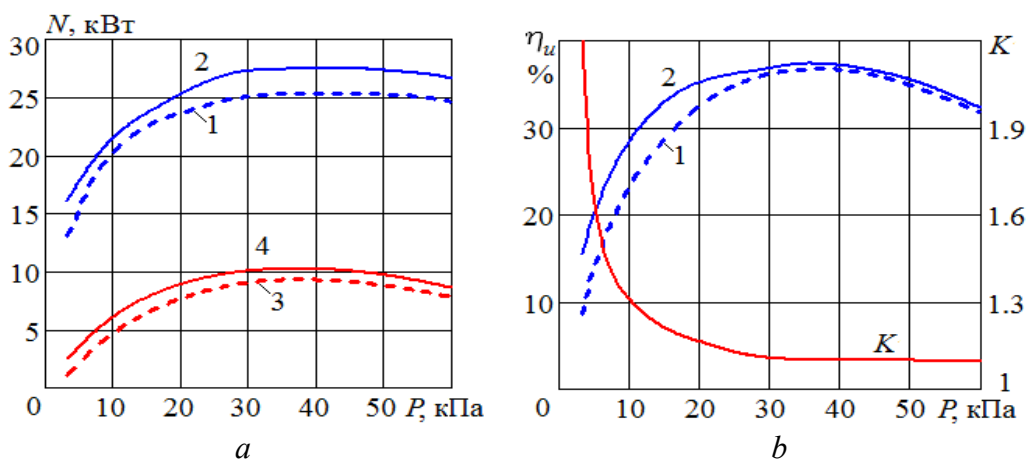


Рис. 6. Рассчитанные рабочие характеристики ВКН 2BA372 фирмы «Siemens»: a – мощность (1, 2 – затраченная; 3, 4 – изотермная); b – изотермный КПД.

Штриховые линии – при сухом воздухе, сплошные – при влажном воздухе

Fig. 6. Calculated performance characteristics of Siemens 2BA372:

a – power (1, 2 – expended; 3, 4 – isothermal); b – isothermal efficiency.

Dashed lines – in dry air, solid – in wet air

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВЛАЖНОГО ВОЗДУХА
НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ

На рис. 7-8 представлены зависимости поправочного коэффициента производительности ВКН двух фирм от давления всасывания при разных температурах влажного воздуха T . Значение K растет с уменьшением давления всасывания и увеличением T .

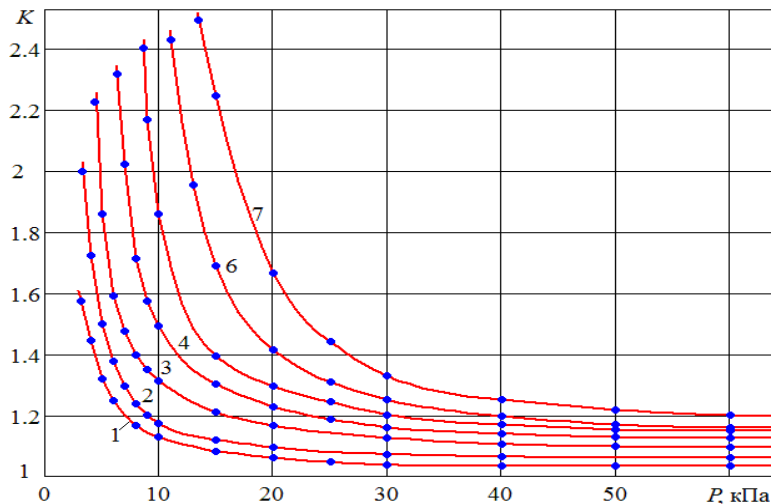


Рис. 7. Поправочный коэффициент производительности ВКН серии TRS фирмы «Travaini»: 1 – температура влажного воздуха 15 °С; 2 – 20; 3 – 25; 4 – 35; 5 – 40; 6 – 45; 7 – 50 °С. Точки – экспериментальные данные [12], линии – результаты расчета

Fig. 7. Travaini TRS series WRP performance correction factor: 1 – wet air temperature 15 °С; 2 – 20; 3 – 25; 4 – 35; 5 – 40; 6 – 45; 7 – 50 °С. Points – experimental data [12], lines – calculation results

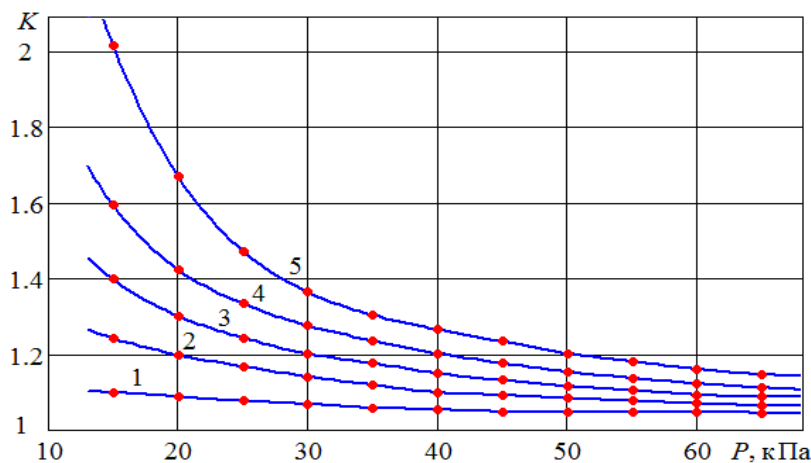


Рис. 8. Поправочный коэффициент производительности ВКН серии CL фирмы «Nash»: 1 – температура влажного воздуха 70 °F (21,1°С); 2 – 90 (32,2); 3 – 100 (37,8); 4 – 110 (43,3); 5 – 120 °F (48,9 °С). Точки – экспериментальные данные [15], линии – результаты расчета

Fig. 8. Nash CL series WRP performance correction factor: 1 – wet air temperature 70 °F (21,1 °С); 2 – 90 (32,2); 3 – 100 (37,8); 4 – 110 (43,3); 5 – 120 °F (48,9 °С). Points – experimental data [15], lines – calculation results

Как и указано в [1], поправочный коэффициент K может достигнуть 2,5. Но только при температуре воздуха не менее 50°C и небольшом давлении всасывания. При температурах до 30°C и давлениях выше 20 кПа поправочный коэффициент производительности ВКН не превосходит 1,2.

Для сравнения поправочного коэффициента производительности ВКН разных фирм на рис. 9 его значения приведены при одинаковых условиях эксплуатации насосов (температура влажного воздуха 20°C, температура воды 15°C). Видно, что величины K у разных моделей ВКН производства фирм «Travaini» и «Nash» отличаются на 5 % только при давлении менее 10 кПа. При большем давлении различия еще меньше. Коэффициент ВКН фирмы «Siemens» может быть выше на 8-10 %. Поправочный коэффициент ВКН фирмы «Samson» выделяется из этого ряда. Так, при $P = 20$ кПа (см. таблицу) значение $K = 1,34$, что на 24 % больше, чем у ВКН фирм «Nash» и «Travaini». Возможно, это связано с конструктивными особенностями ВКН фирмы «Samson».

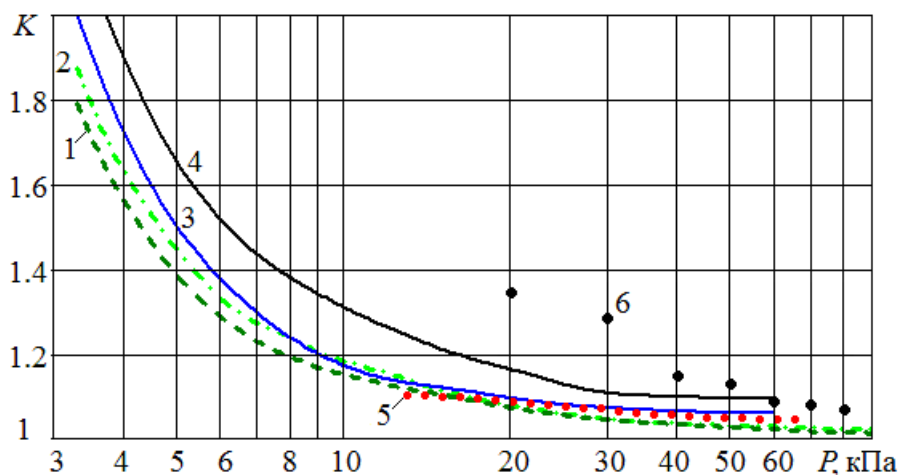


Рис. 9. Поправочный коэффициент производительности ВКН при температуре влажного воздуха 20 и воды 15 °С: 1 – TRM 40-200, 2 – TRM 25-30; 3 – TRS фирмы «Travaini»; 4 – 2BA372 фирмы «Siemens»; 5 – серии CL фирмы «Nash»; 6 – «Samson»

Fig. 9. Performance correction factor WRP at humid air temperature 20°C, water temperature 15°C: 1 – Travaini TRM 40-200, 2 – TRM 25-30; 3 – TRS; 4 – Siemens 2BA372; 5 – Nash CL series; 6 – Samson

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ нагрузочных характеристик ВКН разных производителей подтвердил увеличение скорости откачки влажного воздуха по сравнению с сухим. При этом максимум изотермного КПД возрастает всего на несколько процентов при давлении всасывания $P = 25-45$ кПа. Показано, что увеличение частоты вращения вала может привести к некоторому снижению изотермного КПД.

Зависимости поправочного коэффициента производительности K от P при одинаковых условиях (воздух 100%-ной влажности с температурой 20°C, температура воды 15°C) схожи почти у всех моделей исследованных ВКН. Вплоть до $P \geq 10$ кПа величина K не превышает 1,2-1,3. Только при предельно малом давлении можно получить значение K , близкое к двум. На практике при таких давлении

ях ВКН не эксплуатируются из-за низкой энергетической эффективности. Исключение составляют данные фирмы «Samson», которые показывают увеличение производительности на 34% уже при $P = 20$ кПа.

С ростом температуры влажного воздуха T увеличивается скорость откачки ВКН. Если $T = 50^\circ\text{C}$, то уже при $P = 15$ кПа поправочный коэффициент производительности K достигает 2,5. Таким образом, используя в качестве рабочего тела влажный воздух, можно подобрать условия для значительного роста производительности ВКН. При этом повышение энергетической эффективности ВКН будет небольшим.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Райзман, И. А. Жидкостнокольцевые вакуумные насосы и компрессоры: моногр. / И. А. Райзман. – Казань: Изд-во Казанского государственного технологического университета, 1995. – 258 с.
2. Yu, H. M. Analysis on selection of water ring vacuum pumps in the chemical industry / H. M. Yu // *Applied Mechanics and Materials*. – 2013. – Vol. 325-326. – P. 1435-1439.
3. Шилин, В. А. Теоретические исследования работы водокольцевого вакуумного насоса / В. А. Шилин, О. А. Герасимова // *Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации*. – 2015. – № 1 (17). – С. 142–158.
4. Huang, S. Theoretical model for the performance of liquid ring pump based on the actual operating cycle / S. Huang, J. He, X. Wang, G. Qiu // *International Journal of Rotating Machinery*. – 2017. – 9 p. – URL: <https://doi.org/10.1155/2017/3617321>.
5. Великанов, Н. Л. Динамические характеристики вакуумных насосов и компрессоров рыбонасосных установок / Н. Л. Великанов, В. А. Наумов // *Рыбное хозяйство*. – 2019. – № 1. – С. 79-83.
6. Смирнов, О. В. Исследование производительности водокольцевых вакуумных насосов различных типов / О. В. Смирнов, В. Н. Костеренко // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. – 2011. – № 7. – С. 390-395.
7. Герасимова, О. А. Экспериментальное исследование энергосберегающего привода водокольцевого вакуумного насоса для доения коров на пастбищах / О. А. Герасимова, Т. Н. Карасева, Е. В. Радкевич // *Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации*. – 2016. – № 1 (21). – С. 168-181.
8. Qiu, G. Q. Performance monitoring analysis of liquid ring vacuum pumps / G. Q. Qiu, S. Huang, L. L. Zhu, Y. Chen, J. He // *Applied Mechanics and Materials*. – 2017. – Vol. 853. – P. 463-467.
9. Великанов, Н. Л. Компрессорные машины вакуумных рыбонасосов / Н. Л. Великанов, В. А. Наумов // *Рыбное хозяйство*. – 2018. – № 6. – С. 78-81.
10. Naumov, V. A. Simulation of operational characteristics of the water-ring vacuum pumps / V. A. Naumov, N. L. Velikanov // *IOP Conference. Series: Materials Science and Engineering*. – 2019. – Vol. 537. – 5 p. – URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/537/3/032029/pdf>.
11. Samson Pumps [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.samson-pumps.com/downloads/vacuum-pumps.html> (дата обращения: 20.07.2019).

12. Travaini Vacuum Pumps [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.travaini.com/vacuumpumps.html> (дата обращения: 20.07.2019).
13. ERSTVAK. Catalogs of the equipment. Water ring vacuum pumps. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.erstvsk.com/katalog/vodokolcevye-vakuumnye-nasosy.pdf> (дата обращения: 25.06.2018).
14. Наумов, В. А. Прикладная математика: учеб. пособие по решению профессиональных задач в среде Mathcad / В. А. Наумов. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2014. – 144 с.
15. Gardner Denver Nash. Liquid Ring Vacuum Pumps [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.gardnerdenver.com/en-us/nash/products-and-systems/liquid-ring-vacuum-pumps> (дата обращения: 20.07.2019).

REFERENCES

1. Rajzman I. A. *Zhidkostnokol'cevye vakuumnye nasosy i kompressory* [Liquid ring vacuum pumps and compressors]. Kazan', Kazan State Technological University Publ., 1995. 258 p.
2. Yu H. M. Analysis on selection of water ring vacuum pumps in the chemical industry. *Applied Mechanics and Materials*, 2013, vol. 325-326, pp. 1435-1439.
3. Shilin V. A., Gerasimova O. A. Teoreticheskie issledovaniya raboty vodokol'cevogo vakuumnogo nasosa [Theoretical studies of water ring vacuum pump]. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii*, 2015, no 1 (17), pp.142-158.
4. Huang S., He J., Wang X., Qiu G. Theoretical model for the performance of liquid ring pump based on the actual operating cycle. *International Journal of Rotating Machinery*. 2017. 9 p. URL: <https://doi.org/10.1155/2017/3617321>.
5. Velikanov N. L., Naumov V. A. Dinamicheskie kharakteristiki vakuumnykh nasosov i kompressorov rybonasosnykh ustanovok [Dynamic characteristics of vacuum pumps and compressors of fish pump units]. *Rybnoe khozyaystvo*, 2019, no. 1, pp. 79-83.
6. Smirnov O. V., Kosterenko V. N. Issledovanie proizvoditel'nosti vodokol'cevykh vakuumnykh nasosov razlichnykh tipov [Study of the performance of liquid ring vacuum pumps of various types]. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*, 2011, no. 7, pp. 390-395.
7. Gerasimova O. A., Karaseva T. N., Radkevich E. V. Eksperimental'noe issledovanie energosberegayushchego privoda vodokol'cevogo vakuumnogo nasosa dlya doeniya korov na pastbishchakh [Experimental study of energy-saving drive of water-ring vacuum pump for milking cows in pastures]. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii*, 2016, no. 1 (21), pp. 168-181.
8. Qiu G. Q., Huang S., Zhu L. L. et al. Performance monitoring analysis of liquid ring vacuum pumps. *Applied Mechanics and Materials*, 2017, vol. 853, pp. 463-467.
9. Velikanov N. L., Naumov V. A. Kompessornye mashiny vakuumnykh rybonasosov [Compressor machines of vacuum fish pumps]. *Rybnoe khozyaystvo*, 2018, no. 6, pp. 78-81.
10. Naumov V. A., Velikanov N. L. Simulation of operational characteristics of the water-ring vacuum pumps. IOP Conference. Series: Materials Science and Engineering, 2019, vol. 537, 5 p. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/537/3/032029/pdf>.

11. Samson Pumps [Electronic resource]. – URL: <https://www.samson-pumps.com/downloads/vacuum-pumps.html> (Accessed 20.07.2019).
12. Travaini Vacuum Pumps [Electronic resource]. URL: <http://www.travaini.com/vacuumpumps.html> (Accessed 20.07.2019).
13. ERSTVAK. Catalogs of the equipment. Water ring vacuum pumps. [Electronic resource]. URL: <http://www.erstvak.com/katalog/vodokolcevye-vakuumpye-nasosy.pdf> (Accessed 25.06.2018).
14. Naumov V. A. Prikladnaya matematika: uchebnoe posobie po resheniyu professional'nykh zadach v srede Mathcad [Applied mathematics: tutorial for solving professional problems in Mathcad environment]. Kaliningrad, KGTU Publ., 2014. 144 p.
15. Gardner Denver Nash. Liquid Ring Vacuum Pumps [Electronic resource]. URL: <https://www.gardnerdenver.com/en-us/nash/products-and-systems/liquid-ring-vacuum-pumps> (Accessed 20.07.2019).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Наумов Владимир Аркадьевич – Калининградский государственный технический университет; доктор технических наук, профессор;
зав. кафедрой водных ресурсов и водопользования;
E-mail: van-old@rambler.ru

Naumov Vladimir Arkadievich – Kaliningrad State Technical University;
Doctor of Engineering, Professor; Head of the Department of Aquatic Resources
and Water Management; E-mail: van-old@rambler.ru

УДК 577.161.32: 543.544.33: 535.243.2

БИОПОТЕНЦИАЛ СЕМЯН КЕДРОВОЙ СОСНЫ СИБИРСКОЙ
И ЕГО ИЗМЕНЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ ХРАНЕНИЯ

Ю. О. Некрасова, О. Я. Мезенова, Й.-Т. Мерзель, С. Кюн

BIOPOTENTIAL OF SEEDS OF SIBERIAN CEDAR PINE AND ITS CHANGES
DURING STORAGE

Yu. O. Nekrasova, O. Ya. Mezenova, Y.-T. Myorzel, S. Kyun

Семена сосны кедровой сибирской – ценный источник биологически активных веществ. Кедровые орешки и продукты их переработки представляют научный и практический интерес для создания новых функциональных продуктов питания. Объектом исследования являлись семена кедровой сосны сибирской (*Pinus sibirica*), собранные в разных регионах России в 2017 и 2018 гг., всего семь образцов. Проведены анализы кедрового масла на содержание витамина Е (альфа-, бета-, гамма- и дельта-токоферол), жирных кислот (ЖК), летучих веществ и перекисного числа жира в процессе хранения. Витамин Е обладает антиоксидантными свойствами, поэтому его содержание служит качественной характеристикой биопотенциала семян. Жирные кислоты, особенно полиненасыщенные, легко окисляются, в результате ухудшаются потребительские свойства орехов и их пищевая ценность. Жирнокислотный состав липидов – их качественная характеристика и показатель хранимоспособности. Перекисное число показывает степень окисления жировой фракции семян. Летучие вещества образуются при окислении жирных кислот и являются индикатором порчи орехов. Содержание витамина Е в кедровых орехах устанавливали методом высокоэффективной жидкостной хроматографии. Жирные кислоты и летучие вещества идентифицировали с помощью газовой хроматографии. Относительное перекисное число жира определяли спектрофотометрическим методом анализа. По итогам проведенного анализа установлено, что в процессе хранения происходит ухудшение качества кедровых орехов, уменьшается содержание витамина Е, увеличивается содержание насыщенных жирных кислот, появляются транс-жирные кислоты. В результате окисления моно- и полиненасыщенных жирных кислот образуются летучие вещества. Установлено, что орехи лучше сохраняются в шишках и в вакуумной упаковке (производство г. Барнаул).

кедровые орехи, хранимоспособность, витамин Е, жирнокислотный состав, перекисное число, ВЭЖХ, ГХ, спектрофотометрия

Siberian cedar pine seeds are a valuable source of biologically active substances. Pine nuts and their processed products are of scientific and practical interest for the creation of new functional food products. The object of the study was the seeds of Siberian

cedar pine (*Pinus sibirica*), collected in different regions of Russia. Material for the study was collected in 2017 and 2018, a total of 7 samples were studied. Cedar oil was analyzed for changes in the content of vitamin E (alpha-, beta-, gamma- and delta-tocopherol), fatty acids, volatile substances, and peroxide value during storage. Vitamin E has antioxidant properties, so its content is a qualitative characteristic of the seed biopotential. Fatty acids, especially polyunsaturated ones, are easily oxidized, as a result of which the consumer properties of nuts and their nutritional value deteriorate. The fatty acid composition of lipids is also their qualitative characteristic and an indicator of storage stability. The peroxide value indicates the degree of oxidation of the fat fraction of the seeds. Volatile substances are formed during the oxidation of fatty acids, which indicates spoilage of seeds. The high-performance liquid chromatography method (HPLC) was used to determine the content of vitamin E. Fatty acids and volatile substances were identified by gas chromatography. The peroxide value of fat was determined by spectrophotometric analysis. The results show that during storage the quality of pine nuts decreases, the content of vitamin E decreases, saturated fatty acids increase, and trans-fatty acids appear. Volatile substances are formed as a result of oxidation of mono- and polyunsaturated fatty acids. At the same time, seeds are better stored in cones and in vacuum packaging (production of Barnaul).

cedar nuts, storage stability, vitamin E, fatty acid composition, peroxide value, HPLC, GC, spectrophotometry

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день важной задачей агропромышленного комплекса (АПК) России является рациональное использование природно-сырьевых ресурсов и обеспечение населения высококачественными, биологически полноценными и безопасными продуктами питания. Поэтому особую актуальность приобретают вопросы рационального использования местных природных ресурсов, особенно дикорастущих, которые являются богатым источником питательных и биологически активных веществ. Разработка пищевых продуктов общего и функционального назначения, в том числе диетической и лечебно-профилактической направленности, обусловлена широким распространением так называемых алиментарных заболеваний, связанных с недостаточностью питания и повсеместным дефицитом в рационе незаменимых пищевых веществ – полиненасыщенных жирных кислот, полноценных белков, пищевых волокон, витаминов и минеральных веществ [1].

Обширные лесные массивы Сибири уникальны по запасам дикорастущих растений. Особое место среди них занимает сосна кедровая сибирская, или кедр сибирский, который является источником семян (кедровых орехов). Семена сосны кедровой сибирской и продукты их переработки представляют научный и практический интерес для изучения возможности их использования при создании новых функциональных продуктов питания [1].

Сибирский кедр (правильное ботаническое название – сосна кедровая, сибирская – *Pinus sibirica* Du Tour) можно по праву считать российским национальным деревом, ибо растет оно в естественном состоянии почти исключительно в России [2]. Кедр сибирский – теневыносливое дерево. По сравнительной шкале

он менее теневынослив, чем пихта сибирская и ель сибирская, но значительно превосходит сосну обыкновенную. Будучи нетребовательным к теплу, кедр предпочитает места с влажным воздухом [3]. В центральной части ареала повсеместно растет на участках, где среднегодовая относительная влажность воздуха в 13 ч дня превышает 60 %, а наименее влажного месяца – 40-45 % [4]. Однако кедр может расти на площадях, где показатели влажности воздуха значительно ниже указанных, но имеется повышенная влажность почвы. Нормальный рост кедра возможен при сумме осадков за год не менее 350 мм, а в период с апреля по октябрь – не менее 270 [1].

Главное достоинство сибирского кедра – это его семена (орехи), вкусные, высококалорийные, целебные и питательные. По морфологическим характеристикам семена кедровых сосен относятся к смешанным орехоплодным: семена-орехи заключены в сложное соплодие – шишку [5].

Систематизация исследований химического состава орехов показывает, что их пищевая ценность обусловлена наличием полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК, с преобладанием линолевой кислоты), витаминов (токоферолы, витамины группы В), фенольных соединений (флавоноиды Р-витаминного типа, фенольные кислоты, дубильные вещества, лигнотуминовые соединения), фосфолипидов, терпеноидов, аминокислот, макро- и микроэлементов золы (фосфор, магний, марганец, железо, кобальт, медь, йод и т. д.), различающихся по степени растворимости и усвояемости фракций пищевых волокон. Таким широким набором полезных ингредиентов не обладает, пожалуй, ни одно другое растительное сырье [5, 6].

Целью настоящего исследования являлось изучение химических изменений в семенах кедровой сосны, выращенных в разных регионах, и установление наилучших условий их хранения. Для осуществления данной цели необходимо было решить следующие задачи:

- изучить биопотенциал кедровых орехов;
- исследовать и проанализировать изменения в количественном и качественном составе кедрового масла в процессе хранения.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

При выполнении работы объектами исследования являлись семена кедровой сосны без скорлупы из разных регионов России (Бурятия, Горный Алтай, Горный Алтай 2, г. Барнаул – вакуумная упаковка) – 2018 г.; шишки (2017 и 2018 гг.); семена в скорлупе, но без шишек – 2018 г. Исследования проводились в экспериментальной биохимической лаборатории научно-консультационного центра UBF – Untersuchungs-Beratungs-Forschungslaboratorium GmbH (г. Альтландсберг, Германия) с конца мая до середины июля 2019 г. В начале исследования были сделаны анализы собранных семян, затем их поместили в термостат при температуре 60°C и каждую неделю (в течение шести недель) исследовали кедровое масло. Отжим масла из семян производили с помощью электрического пресса для масла фирмы Rosenstein & Söhne Öl Presser: Elektrische Ölpreße EHP-460 (Ölpresen für Hausgebrauch).

Содержание витамина Е (альфа-, бета-, гамма- и дельта-токоферол) определяли методом высокоэффективной жидкостной хроматографии на жидкостном хроматографе фирмы «Shimadzu» с установленными на нем двумя помпами LC-6A «Shimadzu», детектором SPD-6A «Shimadzu». Характеристики хроматографа: подвижная фаза – изооктан/этилацетат (96/4 мл), неподвижная фаза – колонка EC 250/4.6 NUCLEOSIL 100-5, скорость подвижной фазы – 1,2 мл/мин, длина волны – 298 нм, объем инъекции – 20 мкл. Для определения витамина Е взвешивали 0,1 г кедрового масла и растворяли его в 10 мл изооктана. Время обработки каждой пробы в хроматографе составляло 30 мин.

Содержание жирных кислот устанавливали на газовом хроматографе серии GC-2010 Plus фирмы «Shimadzu» со встроенным автосемплером AOS-20s «Shimadzu» – капиллярная колонка supelco 2380 (30м x 0,25 мм x 0,2 мкм), фотоионизационный детектор (FID), газы – гелий, водород и синтетический воздух. Характеристика хроматографа: температура детектора (FID) – 270°C, объем инъекции – 1,0 мкл, температура инжектора – 250°C, начальная температура – 75°C, конечная температура – 250°C. Для определения жирных кислот пипеткой вносили одну каплю кедрового масла в баночку для газовой хроматографии, добавляли 0,5 мл трет-бутилметилового эфира (ТБМЭ) и 0,25 мл ТМСГ. Время обработки каждой пробы в хроматографе – 40 мин.

Содержание летучих веществ устанавливали на газовом хроматографе серии GC-14В фирмы «Shimadzu»: автосемплер HeadSpace Sampler HS 40 Perkin Elmer, газы – гелий, водород, синтетический воздух, колонка – HP-Plot (30m x 0,53mm x 4m). Характеристика хроматографа: температура образцов 90°C, время термостабилизации – 20 мин, температура инжектора – 250, детектора – 250, начальная температура – 90, конечная – 245°C, газы – гелий, водород, синтетический воздух. Для определения содержания летучих веществ взвешивали 1 г масла в специальных баночках для газовой хроматографии. Время обработки каждой пробы в хроматографе – 40 мин.

Для установления перекисного числа использовали спектрофотометр фирмы Hitachi Spectrophotometer U-3000, абсорбцию измеряли при длине волны – 233 нм. Для определения перекисного числа взвешивали 0,01 г кедрового масла, растворяли в 10 мл н-гексана, переливали раствор в кварцевую кюветку и определяли абсорбцию при длине волны 233 нм. Если значение абсорбции было больше 1, то корректировали массы навесок [7].

Номера образцов кедровых орехов, использованных при анализе:

1. Бурятия, 2018 г.;
2. Горный Алтай, 2018 г.;
3. Горный Алтай 2, 2018 г.;
4. Барнаул, 2018 г.;
5. Орехи в шишках, 2017 г.;
6. Орехи в скорлупе, без шишек, 2017 г.;
7. Орехи в шишках, 2018 г.

Образцы № 6 и 7 представлены в недостаточном количестве, поэтому были проведены анализы кедрового масла только до термостата и после одной недели хранения в термостате.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Биопотенциал кедровых орехов оценивали по содержанию витамина Е, жирнокислотному составу жировой фракции и хранимоспособности, которую устанавливали по минимальным химическим и окислительным изменениям липидов в процессе хранения в течение шести недель.

В табл. 1 представлены результаты по изменению содержания витамина Е в семенах кедровой сосны в процессе хранения в течение шести недель.

Таблица 1. Суммарное содержание витамина Е в образцах кедровых орехов (мг/100 г)
Table 1. Content of vitamin E in pine nuts (mg/100 g)

Номер образца	0 недель*	Неделя					
		1-я	2-я	3-я	4-я	5-я	6-я
1	62,8	35,0	26,6	26,4	24,6	20,9	19,0
2	56,0	36,6	24,6	22,4	20,8	15,3	8,6
3	61,3	38,5	31,7	26,6	24,8	22,1	16,5
4	52,6	40,1	32,7	28,1	22,9	22,9	20,9
5	59,9	44,1	31,3	30,3	26,1	24,9	22,6
6	58,0	34,1	-	-	-	-	-
7	62,0	-	-	-	-	-	-

* Результаты исследования образцов до термостатирования.

Как видно из табл. 1, суммарное содержание витамина Е уменьшается в процессе хранения во всех образцах кедрового ореха. Динамика анализируемого процесса подтверждается данными по содержанию отдельных токоферолов: гамма-токоферола, альфа-токоферола, бета-токоферола, которые также во всех видах орехов уменьшаются в процессе хранения (табл. 2-4). Дельта-токоферола не было обнаружено ни в одном образце.

Таблица 2. Содержание гамма-токоферола (мг/100 г)
Table 2. Content of gamma-tocopherol (mg/100g)

Номер образца	Первые пробы	Неделя					
		1-я	2-я	3-я	4-я	5-я	6-я
1	13,4	10,2	7,1	10,3	9,7	8,0	7,9
2	10,2	10,1	6,2	8,6	8,1	6,3	4,1
3	12,8	11,8	7,8	10,3	9,6	9,2	6,9
4	11,0	12,6	7,9	10,7	9,1	9,0	7,9
5	12,7	14,2	8,9	11,5	10,5	10,1	8,9
6	13,2	11,3	-	-	-	-	-
7	12,9	-	-	-	-	-	-

Таблица 3. Содержание альфа-токоферола (мг/100 г)

Table 3. Content of alpha-tocopherol (mg/100g)

Номер образца	0 неделя	Неделя					
		1-я	2-я	3-я	4-я	5-я	6-я
1	48,9	24,8	19,5	16,1	14,9	12,8	11,1
2	45,1	26,4	18,4	13,8	12,8	9,1	4,5
3	47,8	26,7	23,9	16,4	15,2	12,8	9,6
4	41,1	27,5	24,8	17,4	13,8	13,7	13,0
5	46,4	29,9	22,3	18,8	15,6	14,9	13,7
6	44,9	22,8	-	-	-	-	-
7	48,5	-	-	-	-	-	-

Бета-токоферол (табл. 4) был обнаружен в первых образцах в небольшом количестве. Также стоит обратить внимание на образцы № 5 и 6. Эти орехи одного и того же года (2017 г.), но бета-токоферол был обнаружен только в семенах, которые хранились в шишках (образец № 5), а в семенах без шишек он отсутствует (образец № 6). Это свидетельствует, что хранение семян в шишках повышает хранимоспособность кедровых орехов.

Таблица 4. Содержание бета-токоферола (мг/100 г)

Table 4. Content of beta-tocopherol (mg/100 g)

Номер образца	0 неделя	Неделя					
		1-я	2-я	3-я	4-я	5-я	6-я
1	0,6	0	0	0	0	0	0
2	0,8	0	0	0	0	0	0
3	0,8	0	0	0	0	0	0
4	0,5	0	0	0	0	0	0
5	0,8	0	0	0	0	0	0
6	0	0	-	-	-	-	-
7	0,6	-	-	-	-	-	-

В табл. 5 приведен жирнокислотный состав липидов исследованных орехов, свидетельствующий об их высоком биопотенциале. Основные жирные кислоты (ЖК): олеиновая, линолевая, пальмитиновая, стеариновая, линоленовая, гондоиновая, вакценовая, арахидоновая кислоты обуславливают высокую биологическую ценность орехов.

Таблица 5. Жирнокислотный состав липидов кедровых орехов, собранных в различных районах России (%)

Table 5. Fatty acid composition of pine nut lipids collected in various regions of Russia (%)

Наименование ЖК	Номер образца						
	1	2	3	4	5	6	7
	Содержание, %						
Пентадециловая	0	0,1	0,1	0,1	0	0,1	0,1
Пальмитиновая	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,0
Пальмитолеиновая	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Стеариновая	3,0	3,1	3,1	3,0	3,3	3,6	3,1
Олеиновая	27,5	30,5	29,8	27,8	29,9	28,8	30,2
Цис-вакценовая	2,1	2,2	2,3	2,1	2,5	2,5	2,7
Линолевая	57,5	54,4	55,1	57,2	54,6	55,6	54,5
Гамма-линоленовая	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2
Альфа-линоленовая	0,9	0,8	0,8	0,9	0,8	0,8	0,7
Арахиновая	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Гондоиновая	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,5	1,6
Эйкозодиеновая	0,3	0,3	0,3	0,3	0,5	0,3	0,5
Бегеновая	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1
Докозодиеновая	0,2	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0
Арахидоновая	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6

В табл. 6-10 приведены качественные и количественные показатели масла кедровых орехов. Из табл. 6 видно, что сумма насыщенных жирных кислот (НЖК) в масле орехов увеличивается в процессе хранения на 0,5-1%, что свидетельствует об окислении полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК) и некотором ухудшении качества орехов. При этом сумма омега-3 жирных кислот увеличивается на 0,3-0,5 % (табл. 7), сумма мононенасыщенных жирных кислот (МНЖК) уменьшается на 0,5-3% (табл. 8), а сумма ПНЖК сначала увеличивается, затем уменьшается (табл. 9).

Таблица 6. Сумма насыщенных жирных кислот (%)

Table 6. Amount of saturated fatty acids (%)

Номер образца	Первые пробы	Неделя					
		1-я	2-я	3-я	4-я	5-я	6-я
1	8,78	9,31	9,55	9,56	9,70	9,74	10,07
2	8,94	9,05	9,45	9,46	9,75	9,89	10,30
3	9,00	9,31	9,56	9,49	9,76	9,87	9,91
4	8,90	9,35	9,55	9,49	9,54	9,71	9,75
5	9,18	9,76	9,88	9,80	10,00	10,06	10,24
6	9,56	9,74	-	-	-	-	-
7	8,83	-	-	-	-	-	-

Таблица 7. Сумма омега-3 жирных кислот (%)

Table 7. Amount of omega-3 fatty acids (%)

Номер образца	0 неделя	Неделя					
		1-я	2-я	3-я	4-я	5-я	6-я
1	0,87	0,76	0,99	1,05	1,07	1,15	1,34
2	0,80	1,39	0,91	0,99	0,91	1,08	1,52
3	0,79	1,13	0,77	0,96	0,87	1,00	1,38
4	0,90	1,40	0,89	1,11	1,06	1,12	1,21
5	0,77	1,22	1,10	0,94	1,02	0,99	1,24
6	0,77	1,31	-	-	-	-	-
7	0,73	-	-	-	-	-	-

Таблица 8. Сумма мононенасыщенных жирных кислот (%)

Table 8. Amount of monounsaturated fatty acids (%)

Номер образца	0 неделя	Неделя					
		1-я	2-я	3-я	4-я	5-я	6-я
1	31,44	30,10	29,98	30,04	30,06	30,00	29,90
2	34,48	32,69	33,47	33,50	33,40	33,50	33,91
3	33,84	32,42	32,37	32,19	32,19	32,36	32,38
4	31,70	30,31	30,35	30,34	30,40	30,25	30,30
5	34,15	31,16	31,02	30,92	31,25	31,41	31,18
6	32,93	33,10	-	-	-	-	-
7	34,59	-	-	-	-	-	-

Таблица 9. Сумма полиненасыщенных жирных кислот (%)

Table 9. Amount of polyunsaturated fatty acids (%)

Номер образца	0 неделя	Неделя					
		1-я	2-я	3-я	4-я	5-я	6-я
1	59,79	60,59	60,46	60,40	60,24	60,25	60,02
2	56,58	58,26	57,08	57,04	56,84	56,61	55,79
3	57,16	58,27	58,07	58,32	58,05	57,87	57,71
4	59,40	60,34	60,10	60,17	60,06	60,04	59,94
5	56,67	59,08	59,10	59,29	58,75	58,54	58,58
6	57,51	57,17	-	-	-	-	-
7	56,57	-	-	-	-	-	-

Трансжирные кислоты являются нежелательными компонентами масла орехов. Они обнаруживаются на 3-й и последующих неделях хранения, однако лишь в некоторых образцах и в относительно небольших количествах (табл. 10).

Таблица 10. Сумма трансжирных кислот (%)

Table 10. Amount of transfatty acids (%)

Номер образца	0 неделя	Неделя					
		1-я	2-я	3-я	4-я	5-я	6-я
1	0	0	0	0	0,17	0,09	0,09
2	0	0	0	0,15	0,12	0	0,09
3	0	0	0	0,11	0	0,08	0
4	0	0	0	0,12	0	0,08	0
5	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	-	-	-	-	-
7	0	-	-	-	-	-	-

Также проводились анализы на образование летучих веществ, а именно гексаналя, декадиенала, нонанала и деценала. Гексаналь не был обнаружен ни в одном образце. Наличие декадиенала установлено лишь в образце № 2 (Горный Алтай, 2018 г.) на 5-й неделе хранения (233 площадь пика), № 3 (Горный Алтай 2, 2018) – на 3-й и 5-й неделях хранения (688 и 52 площадь пика соответственно), что свидетельствует о деструкции ПНЖК, а именно линолевой кислоты, в данных орехах. Деценаль был обнаружен в 4, 5 и 6-м образцах до термостата (г. Барнаул, шишки 2017 г. и орехи в скорлупе 2017 г.). Обнаружение деценала говорит о деструкции омега-9 НЖК, а именно олеиновой кислоты. Содержание нонанала установлено лишь во 2-м и 3-м образцах орехов (Горный Алтай и Горный Алтай 2) на 5-й неделе хранения (соответственно 233 и 52 площадь пика). Обнаружение нонанала говорит о деструкции омега-9 НЖК, а именно олеиновой кислоты.

Показатели окисления масла орехов, установленные при анализе перекисного числа кедрового масла в процессе хранения, приведены в табл. 11.

Таблица 11. Динамика относительных показателей перекисного числа кедрового масла в процессе хранения (площадь пика)

Table 11. The number of the peroxide value of cedar oil during storage

Номер образца	0 неделя	Неделя					
		1-я	2-я	3-я	4-я	5-я	6-я
1	77,37	226,50	232,41	271,62	333,46	419,65	421,67
2	45,66	247,05	279,07	349,74	595,96	553,98	766,50
3	219,87	234,48	202,92	320,21	500,30	616,53	637,37
4	69,40	209,50	210,33	263,66	268,99	270,73	316,77
5	160,47	208,33	204,79	274,03	276,72	325,79	348,60
6	318,30	822,03	-	-	-	-	-
7	155,06	-	-	-	-	-	-

Как видно из табл. 11, значение перекисного числа кедрового масла постоянно увеличивается в процессе хранения, что свидетельствует об окислительном прогоркании. Наиболее интенсивно окислительная порча жировой фракции оре-

хов наблюдалась во 2-м и 6-м образцах. Семена кедрового ореха лучше хранить непосредственно в шишках (7-й образец) или в бескислородной среде (вакуумировать).

Исходя из всех полученных данных, можно заключить, что орехи кедровой сосны представляют собой ценное сырье для функциональных продуктов питания.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ биопотенциала исследованных кедровых орехов, собранных в разных регионах России, и динамики химических показателей качества при хранении в различных условиях позволил сделать следующие выводы:

1. Все виды кедровых орехов содержат ценные биологически активные вещества (витамин Е (альфа-, бета- и гамма-токоферолы), жирные кислоты (олеиновая, линолевая, арахидоновая, пальмитиновая, вакценовая, стеариновая, гондоиновая), обуславливающие их высокий биопотенциал и полезное использование.

2. В процессе хранения семян сосны кедровой сибирской во всех случаях уменьшается содержание витамина Е в 2,5-3 раза.

3. Установлено, что в процессе хранения увеличивается содержание насыщенных жирных кислот, при этом уменьшается содержание моно- и полиненасыщенных жирных кислот, в некоторых образцах появляются трансжирные кислоты.

4. В процессе хранения образуются летучие вещества, что свидетельствует о деструкции моно- и полиненасыщенных жирных кислот в результате их окисления.

5. Во всех случаях увеличивается перекисное число жира, что свидетельствует об окислительной порче масляной фракции кедровых семян.

6. Семена сосны кедровой сибирской менее подвержены порче, если их хранить в шишках или в вакуумной упаковке.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Мезенова, О. Я. Функциональное и специализированное питание: проблемы и перспективы / О. Я. Мезенова // Пищевая и морская биотехнология: VII Международная научно-практическая конференция: материалы VI Международного Балтийского морского форума, 3-6 сентября 2018 года. – Калининград, 2018. – Т. 4. – С. 80-86.

2. Субботина, М. А. Научное обоснование и практическая реализация технологий молочных продуктов с использованием семян сосны кедровой сибирской: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.18.04 / Субботина Маргарита Александровна; Кем-ТИПП. – Кемерово, 2012. – 18 с.

3. Бех, И. А. Кедр – жемчужина Сибири / И. А. Бех, С. Л. Кривец, Э. М. Бисирова. – Томск: Печатная мануфактура, 2009. – 50 с.

4. Игнатенко, М. М. Сибирский кедр (биология, интродукция, культура) / М. М. Игнатенко. – Москва: Наука, 1988. – 160 с.

5. Егорова, Е. Ю. Научно-практические аспекты производства, экспертизы и применения масла кедрового ореха: моногр. / Е. Ю. Егорова. – Бийск: Изд-во АлтГТУ, 2011. – 345 с.
6. Руш, В. А. Витаминный и минеральный состав кедрового ореха / В. А. Руш, В. В. Лизунова // Известия вузов. Пищевая технология. – 1969. – № 2. – С. 12-13.
7. Fiebig, H. Spezifische UV-Absorption bei 233 nm, 268 nm und 270 nm / H. Fiebig // Deutsche Einheitsmethoden zur Untersuchung von Fetten, Fettprodukten, Tensiden und verwandten Stoffen. – 2014. – 55-60 p.

REFERENCES

1. Mezenova O. Ya. Funktsionl`noe i spetsializirovannoe pitanie: problemy i perspektivy [Functional and specialized nutrition: problems and prospects]. *Materialy VI Mezhdunarodnogo Baltiyskogo morskogo foruma, 3-6 sentyabrya 2018 goda. Tom 4 «Pishchevaya i morskaya biotekhnologiya: VII Mezhdunarodnaya nauchno-prkticheskaya konferentsiya»* [Materials of the VI International Baltic Maritime Forum, September 3-6, 2018. Volume 4 "Food and Marine Biotechnology: VII International Scientific and Practical Conference]. Kaliningrad, 2018, pp. 80-86.
2. Subbotina M. A. *Nauchnoe obosnovanie i prakticheskaya realizatsiya tekhnologiy molochnykh produktov s ispol'zovaniem semyan sosny kedrovoy sibirskoy. Avtoreferat diss. kand. tekhn. nauk* [Scientific substantiation and practical implementation of dairy products technologies using Siberian cedar pine. Abstract of dis. cand. sci.]. Kemerovo, 2012, 18 p.
3. Bekh I. A., Krivets S. L., Bisirova E. M. *Kedr – zhemchuzhina Sibiri* [Cedar – jewel in the crown of Siberia]. Tomsk, Pechatnaya manufaktura, 2009, 50 p.
4. Ignatenko M. M. *Sibirskiy kedr (biologiya, introduktsiya, kul'tura)* [Siberian pine (biology, introduction, culture)]. Moscow, Nauka, 1988, 160 p.
5. Egorova E. Yu. *Nauchno-prakticheskie aspekty proizvodstva, ekspertizy i primeneniya masla kedrovogo orekha* [Scientific and practical aspects of the production, examination and use of cedar oil]. Biysk, AltGTU Publ., 2011, 345 p.
6. Rush V. A. *Vitaminnyy i mineral'nyy sostav kedrovogo orekha* [Vitamin and mineral composition of cedar nuts]. *Izvestiya vuzov, Pishchevaya tekhnologiya*, 1969, no. 2, pp. 12-13 .
7. Fiebig H. *Spezifische UV-Absorption bei 233 nm, 268 nm und 270 nm. Deutsche Einheitsmethoden zur Untersuchung von Fetten, Fettprodukten, Tensiden und verwandten Stoffen*, 2014, pp. 55-60.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Некрасова Юлия Олеговна – Калининградский государственный технический университет; студентка кафедры пищевой биотехнологии;
E-mail: yulya.nekrasova.1998@mail.ru

Nekrasova Yuliya Olegovna – Kaliningrad State Technical University; student;
Department of Food Biotechnology; E-mail: yulya.nekrasova.1998@mail.ru

Мезенова Ольга Яковлевна – Калининградский государственный технический
университет; доктор технических наук, профессор;
заведующая кафедрой пищевой биотехнологии; E-mail: mezenova@klgtu.ru

Mezenova Olga Yakovlevna – Kaliningrad State Technical University;
Doctor of Technical Sciences, Professor; Head of the Department of Food Biotechnology;
E-mail: mezenova@klgtu.ru

Мерзель Йорг-Томас – Научно-исследовательская и консультационная
лаборатория UBF (Альтландсберг, Германия); доктор естественных наук;
генеральный директор; E-mail: thomas.moersel@ubf-research.com

Myorsel Yorg-Tomas – Scientific and consulting laboratory UBF
(Altlandsberg, Germany); Doctor of Natural Sciences; Director General;
E-mail: thomas.moersel@ubf-research.com

Кюн Саша – Научно-исследовательская и консультационная лаборатория
UBF (Альтландсберг, Германия); заведующий лабораторией;
E-mail: sascha.kuehn@ubf-research.com

Kyun Sasha – Scientific and consulting laboratory UBF (Altlandsberg, Germany);
Head of laboratory; E-mail: sascha.kuehn@ubf-research.com

СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

УДК 633.15

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЗЕРНОВОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ ГИБРИДОВ
КУКУРУЗЫ (*ZEA MAYS* L.) В УСЛОВИЯХ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Л. М. Григорович, А. Е. Тулупов

COMPARATIVE EVALUATION OF GRAIN PRODUCTIVITY OF CORN
(*ZEA MAYS* L.) HYBRIDS IN CONDITIONS OF THE KALININGRAD REGION

L. M. Grigorovich, A. E. Tulupov

Получение продовольственного зерна и корма для сельскохозяйственных животных в результате выращивания кукурузы решает многие экономические и социальные проблемы. Соответствие биоэкологических требований кукурузы почвенно-климатическим условиям региона является предпосылкой для использования культуры в качестве источника кормов в активно развивающейся отрасли животноводства Калининградской области. Рост зерновой продуктивности кукурузы обусловлен применением современных гибридов, которые способны хорошо адаптироваться к условиям произрастания. Поэтому проблема научного обоснования выбора гибридов, обеспечивающих высокую урожайность зерна, является актуальной для аграриев и требует оптимального решения. Изучение сортифта и определение наиболее продуктивных гибридов кукурузы для внедрения в производство с целью повышения объема валового продукта зерновых культур имеют первостепенное значение в эффективности функционирования сельскохозяйственных предприятий. Целью исследований явилось проведение сравнительной оценки зерновой продуктивности кукурузы в агроэкологических условиях Калининградской области. Полевой опыт по испытанию раннеспелых и среднеранних гибридов проведен в соответствии с «Методикой государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур». Соблюдалась интенсивная технология возделывания кукурузы, принятая в регионе. Фенологические наблюдения за развитием растений от стадии появления всходов (09 ВВСН) до цветения (65 ВВСН) показали, что все изучаемые гибриды кукурузы достигли полного цветения в оптимальные сроки и способны сформировать урожай до конца вегетационного периода. Установлено, что при стандартной влажности зерна 22% урожайность гибридов кукурузы составила от 11,90 до 16,15 т/га. Сравнительная оценка семенной продуктивности показала формирование более высокой урожайности (13,23 – 16,15 т/га) у гибридов среднеранней группы с числом ФАО от 200 до 240.

Zea mays, гибриды, зерновая продуктивность, урожайность

Production of food grain and forage for domestic animals in the result of corn cultivation solves many economic and social problems. The conformity of biological requirements with the soil - climatic regional conditions is a prerequisite for using corn as forage in the rapidly developing cattle breeding in the Kaliningrad region. The rise of corn productivity is conditioned by the usage of modern hybrids which are able to adapt to the vegetation conditions. Therefore the problem of scientific grounding for the choice of hybrids providing the high corn yield is urgent for agrarians and needs optimum solutions. The research of hybrid corn sorts and identification of the most productive ones to increase the grain gross product is of prior importance in the efficient functioning of agricultural enterprises. The aim of the research is to make a comparative evaluation of corn productivity in the agro-ecological conditions of the Kaliningrad region. The field experiments on early-ripe and moderate-ripe hybrids were made according to 'Methodology of state sort testing of agricultural crops.' The corn cultivation technology was intensive, being practiced in the region. Phenological observations of plant growing from emergence of seedlings stage (09 BBCH) to (65 BBCH) proved that all observed corn hybrids have reached full bloom in the optimum time and are able to crop before the vegetation period. It has been proved that in case when the grain moisture reaches 22%, the crop harvest amounts to 11.90 -16.15 t/ha. The comparative estimation of seed productivity has demonstrated formation of higher crop yield (13.23 – 16.15 t/ha) of hybrids having FAO from 200 to 400.

Zea mays, hybrids, grain productivity, crop yield

ВВЕДЕНИЕ

Получение продовольственного зерна и корма для сельскохозяйственных животных в результате выращивания кукурузы решает многие экономические и социальные проблемы. Зерно кукурузы содержит 87% сухого вещества, имеет богатый химический состав, включающий до 70% крахмала, от 9 до 12% белка, от 4 до 6% жира, и является источником получения муки, крупы, масла, кукурузных хлопьев, крахмала, глюкозы, спирта, патоки [1]. Эти показатели обуславливают перспективность возделывания культуры в условиях Калининградской области, где активно развивается отрасль животноводства. Стоит учесть, что почвенно-климатические условия региона в основном соответствуют биоэкологическим требованиям кукурузы.

Современное растениеводство региона ориентировано на выращивание кукурузы на зерно, площади которой занимают около половины всех посевов этой культуры. В последние годы эти площади составляли от 9 до 15 тыс. га, урожайность зерна – от 5 до 11 т/га [1].

В настоящее время расширение посевов кукурузы, выращиваемой на зерно, повышение ее зерновой продуктивности обусловлены использованием современных гибридов, которые обладают высокой жизнеспособностью и приспособленностью к условиям произрастания.

Известно, что в почвенно-климатических условиях региона получить высокие урожаи зерна кукурузы возможно при использовании раннеспелых гибридов, успевающих своевременно сформировать урожай и обеспечить уборку качественного зерна.

Подбор сортимента гибридов, способных обеспечить высокую зерновую продуктивность кукурузы для повышения объема валового продукта зерновых культур, имеет первостепенное значение в эффективности функционирования сельскохозяйственных предприятий.

Целью исследований явилось проведение сравнительной оценки зерновой продуктивности гибридов кукурузы для обоснования выбора наиболее высокоурожайных в агроэкологических условиях Калининградской области. Задачи работы в условиях полевого опыта включали фенологические наблюдения за развитием растений, определение урожайности зерна раннеспелых и среднеранних гибридов кукурузы разного срока созревания и массы 1000 зерен.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Полевой опыт по определению зерновой продуктивности гибридов кукурузы проведен на базе Калининградского государственного сортоиспытательного участка ФГБУ «Государственная комиссия РФ по испытанию и охране селекционных достижений».

Испытывали гибриды венгерской семеноводческой компании «Вудсток», которые внесены в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию в Российской Федерации по Северо-Западному региону [2].

Для сравнения гибридов кукурузы по группам спелости применяют числа ФАО (Организации по продовольствию и сельскому хозяйству Организации Объединенных Наций), в регионах восточной Европы выращивают гибриды с ФАО-числами до 300 (всего их существует от 100 до 900) [3].

Из группы раннеспелых гибридов (число ФАО от 150 до 199) в полевых испытаниях использовали ТК 175 - число ФАО 165; Анжела - 170; Дорка МГТ - 170; ГС 180 – 180; ТК 178 – число ФАО 190.

Группа среднеранних гибридов (число ФАО от 200 до 299) содержала: Далма МГТ - число ФАО 200; ГС 210 - 210; ТК 202 - 220; ТК 195 - 230; ГС 240 - 240; Ида МГТ - число ФАО 240 [2].

Полевой опыт по оценке зерновой продуктивности гибридов, проведенный в соответствии с «Методикой государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур», включал 11 вариантов в двух повторностях. Каждая опытная делянка занимала площадь 21 м² (длина 7,5 м, ширина 2,8 м). Расстояние между рядами – 0,7 м, оптимальное при посеве кукурузы. Опытный участок размещен после одного из лучших предшественников для кукурузы – озимой пшеницы. Посев семян проведен 12 мая в оптимальные для условий региона сроки. На каждый гектар высевали по 70 тыс. семян.

Почвы опытного участка дерново-подзолистые, характерные для сельскохозяйственных угодий региона. Гранулометрический состав – средний суглинок, окультуренность – средняя, кислотность (рН) – от 5,20 до 5,50, содержание гумуса – от 2,02 до 2,20%. В почве содержится: фосфор – 23,1-30,8 мг/100 г почвы; калий – 23,9-26,7 мг/100 г; сера – 4,8 мг/кг; кальций – 8,2-9,8 моль/100 г; магний – 1,3-1,4 моль/100 г почвы.

Глубина залегания грунтовых вод составляет около 1 м. На территории, введенной в севооборот, проводились агротехнические работы. Мелиоративная сеть находилась в удовлетворительном состоянии.

Климатические показатели в районе расположения опытного поля свидетельствуют об умеренном количестве выпадающих осадков и благоприятном температурном режиме с достаточным запасом тепла в вегетационный период. Но весной иногда отмечались резкие переходы от холода к теплу, а вероятность поздних весенних заморозков ухудшает климатические условия, что указывает на необходимость строгого выполнения всех агротехнических мероприятий. В целом во время проведения полевого опыта обеспеченность влагой и тепловой режим соответствовали биоэкологическим требованиям культуры и были благоприятны для развития растений кукурузы [1].

При выращивании кукурузы использовалась принятая в регионе интенсивная технология возделывания. В систему удобрения входили: внесение основное (Р 90, К180 кг д. в./га) и предпосевное (N100-120 кг д.в./га), подкормка в стадию развития кукурузы 15 по шкале ВВСН (пять листьев) аммиачной селитрой – 100 кг/га. В стадию развития 16 по шкале ВВСН (шесть листьев) для снижения засоренности проведено опрыскивание гербицидом МайсТер Пауэр (действующее вещество форамсульфурон + йодосульфурон-метил-натрий + тиенкарбазон-метил) с нормой расхода 1,5 л/га [4].

Фенологические наблюдения за развитием растений осуществляли визуально в соответствии с общей унифицированной расширенной шкалой ВВСН стадий развития растений [3], а оценку гибридов кукурузы по зерновой продуктивности – с «Методикой государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур».

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Основная предпосылка получения высоких урожаев зерна кукурузы – это правильный выбор гибридов, адаптированных к почвенно-климатическим условиям региона, при этом важно ориентироваться на результаты испытаний, проведенных в этих условиях.

Утверждается, что выбор гибридов для выращивания кукурузы на зерно следует остановить на тех, которые при формировании урожайности более полно используют сложившиеся погодные условия вегетационного периода. Ключевые показатели при выборе гибрида – это группа спелости, устойчивость к полеганию, урожайность зерна [3].

Продолжительность периода вегетации гибридов кукурузы влияет на высоту растений, общую листовую поверхность и урожайность.

По фенологическим наблюдениям в рамках полевого опыта определена продолжительность периодов развития растений гибридов кукурузы.

Величина и сроки формирования урожая зерна во многом зависят от длительности вегетативного (макростадии «развитие листьев» и «вытягивание стебля» – стадии развития 10-39) и генеративного (макростадия «образование закладок цветков, выбрасывание метелок» – стадии 51-59 и макростадия «цветение» – стадии 61-69 по коду ВВСН) периодов развития растений кукурузы [3].

Нашими исследованиями установлено, что стадия 53 ВВСН («начало выметывания метелки») у раннеспелых гибридов наступала в период с 16 до 19 июля, у гибрида Дорка МГТ – 16 июля, на два дня позднее – у ТК 175. Остальные гибриды достигли появления метелки 19 июля. Полное выметывание (стадия 59 ВВСН) наступило через два дня после его начала у всех гибридов, кроме ГС 180 – у него спустя три дня.

Сроки наступления стадии 65 ВВСН – цветения растений имеют существенное значение при сортоизучении гибридов [3]. Полное цветение растений произошло через шесть дней после полного появления метелки у гибридов ТК 175 и Дорка МГТ, через семь дней – у Анжелы и ТК 178. У гибрида ГС 180 цветение наступило через восемь дней после появления метелки.

В группе среднеранних гибридов метелки у растений начали появляться в период 21 – 23 июля: у гибридов Далма МГТ, ТК 195 и ИДА МГТ – 21 июля, у ГС 210 и ТК 202 – 22 июля, у ГС 240 – 23 июля. Полное появление метелки (стадия 59 ВВСН) наступило через два дня после его начала у всех гибридов, кроме ТК 202 – у него через пять дней. Но полное цветение растений этого гибрида произошло уже через четыре дня (31 июля), тогда как другие гибриды вступили в эту стадию только через пять-восемь дней. Через пять дней после полного появления метелки зацвели растения ТК 195, через шесть дней – ГС 210 и ГС 240, через семь дней – ИДА МГТ, через восемь дней – Далма МГТ.

В условиях полевого опыта у растений гибридов кукурузы раннеспелой группы этап от всходов до полного появления метелки продолжался от 59 (Дорка МГТ) до 63 (ГС 180) дней. У гибрида ТК 175 он составил 61 день, у Анжелы и ТК 178 – 62 дня.

У среднеранних гибридов этот период был продолжительнее – от 64 (Далма МГТ и ТК 195) до 68 (ТК 202) дней. У ГС 210 он длился 65, у ГС 240 – 66 дней.

Утверждается, что ассимиляционная поверхность листьев кукурузы достигает максимума в стадию выметывания метелки [3]. Установлено, что в условиях Калининградской области, к примеру, у растений гибрида ТК 202 в этот период она составляла 23,5 тыс. м²/га [5].

По времени достижения стадии цветения, т. е. продолжительности вегетативного и генеративного периодов развития, у растений кукурузы разных групп созревания не выявлено значительной разницы. Раннеспелые гибриды период

своего развития от всходов до цветения прошли в течение 65-71 дня. У среднеранних гибридов всходы растений появились одновременно с раннеспелыми и достигли полного цветения через 69-72 дня.

Следует отметить, что среди раннеспелых выделяется гибрид Дорка МГТ, растения которого достигли цветения за 65 дней, тогда как для других эта стадия наступила за 67-71 день. В группе среднеранних быстрее других вступили в стадию цветения растения гибрида ГС 240 – за 69 дней, остальные – за 71-72 дня.

Таким образом, фенологические наблюдения за развитием растений от стадии появления всходов (09 ВВСН) до цветения (65 ВВСН) показали, что все изучаемые гибриды кукурузы достигли полного цветения в оптимальные сроки – через 65-72 дня после всходов – и способны сформировать урожай до конца вегетационного периода. Отмечена тенденция к небольшой разнице во времени достижения стадии цветения у растений кукурузы этих групп созревания.

Восковая спелость (стадия 85 ВВСН) отмечена в третьей декаде сентября. Зерно у раннеспелых гибридов Анжела, ТК 178 и среднеспелого гибрида Далма МГТ достигло восковой консистенции через 124 дня после появления всходов кукурузы. Полная уборочная спелость (стадия 89 ВВСН) наступила спустя 12 дней. Длина вегетационного периода составила 137 дней. Остальные гибриды достигли уборочной спелости практически одновременно – спустя 2-3 дня.

В процессе испытания гибридов провели морфометрические исследования: в фазе ранней восковой спелости зерна (стадии 81-83 ВВСН) определили высоту растений кукурузы. У разных гибридов она варьировала от 235 до 260 см, в группе раннеспелых высота стеблестоя составила 240 - 250, среднеранних 235 – 260 см. Самый низкий показатель отмечен у гибрида ГС 210 из группы среднеранних – 235 см, наиболее высоким оказался ГС 240 из той же группы – 260 см. Разница в высоте стеблестоя у разных гибридов не превысила 25 см.

Отмечено, что современные гибриды кукурузы более пластичны, у них устойчивость к полеганию повышается. Этот показатель важен при уборке растений, позволяет провести ее в сжатые сроки с наименьшими потерями [3].

Оценка степени устойчивости растений к полеганию, проведенная по пятибалльной шкале, показала, что все гибриды при испытании обладали высокой устойчивостью, соответствующей высшему баллу.

Для объективной оценки зерновой продуктивности гибридов кукурузы определены урожайность зерна, отклонение ее от средней стандартной (13,40 т/га) и масса 1000 зерен. Результаты исследований представлены в таблице.

Таблица. Сравнительная урожайность гибридов кукурузы по результатам сортоиспытания

Table. Comparative hybrid corn crop yield according to the sort testing results

Название гибрида	Число ФАО	Урожайность, т/га	Отклонение от стандарта, т/га, +/-	Масса 1000 зерен, г
Раннеспелые				
ТК 175	165	12,73	- 0,67	353,1
Анжела	170	11,90	-1,50	335,4
Дорка МГТ	170	13,75	0,35	361,2
ГС 180	180	13,02	- 0,38	366,4
ТК 178	190	12,44	- 0,96	353,2
Среднеранние				
Далма МГТ	200	15,56	2,16	359,3
ГС 210	210	13,23	- 0,17	341,1
ТК 202	220	13,72	0,32	344,4
ТК 195	230	14,74	1,34	361,3
ГС 240	240	13,82	0,42	365,2
ИДА МГТ	240	16,15	2,75	384,5

Установлено, что при стандартной влажности зерна 22% урожайность гибридов кукурузы составила от 11,90 до 16,15 т/га. Сравнительная оценка семенной продуктивности показала формирование более высокой урожайности (13,23 – 16,15 т/га) у гибридов среднеранней группы с числом ФАО от 200 до 240.

В среднеранней группе следует отметить гибриды ИДА МГТ с числом ФАО 240 и Далма МГТ (ФАО 200), обеспечившие наиболее высокую урожайность – 16,15 и 15,56 т/га соответственно.

Гибриды в группе раннеспелых с числом ФАО от 165 до 190 имели урожайность ниже, чем в среднеранней группе – от 11,90 до 13,75 т/га. Эти показатели оказались ниже стандартного на 0,38 - 0,96 т/га, лишь у гибрида Дорка МГТ (число ФАО 170) урожайность составила 13,75 т/га.

Полученные результаты подтвердили проведенные ранее исследования о высокой зерновой продуктивности кукурузы в условиях Калининградской области при интенсивной технологии возделывания [6].

Масса 1000 зерен колебалась у гибридов раннеспелой группы от 335,4 до 366,4 г, среднеранней от 341,1 до 384,5 г. При этом более крупное зерно сформировалось у гибрида ИДА МГТ.

Опыт возделывания кукурузы на зерно в разных регионах указывает на необходимость всестороннего изучения новых гибридов кукурузы до внедрения в производство [7].

Сельскохозяйственным предприятиям предпочтительнее постоянно подбирать новые гибриды с учетом их адаптивности к технологиям и погодноклиматическим условиям, ориентироваться на гибриды разных групп спелости для снижения рисков, вызванных нестабильными погодными условиями.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сравнительная оценка зерновой продуктивности гибридов кукурузы в условиях Калининградской области показала, что на дерново-подзолистых почвах в рамках полевого опыта сформировалась урожайность зерна от 11,90 до 16,15 т/га.

Более высокие показатели отмечены у гибридов среднеранней группы с числом ФАО от 200 до 240, которые обеспечили выход зерна с каждого гектара от 13,23 до 16,15 т/га.

Особенно продуктивными оказались гибриды ИДА МГТ с числом ФАО 240 и Далма МГТ с числом ФАО 200, обеспечившие урожайность 16,15 и 15,56 т/га соответственно.

Результаты сортоизучения позволили оптимизировать выбор гибридов кукурузы при выращивании на зерно, наиболее адаптированных для агроэкологических условий Калининградской области.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Удобрение, технологии и урожай: справочник агронома по химизации земледелия / В. И. Панасин [и др.]. – Калининград: Изд-во БФУ им. И. Канта, 2018. – 315 с.

2. Сорты культуры «Кукуруза» [Электронный ресурс] / Сорты растений, включенные в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию - Режим доступа: <http://reestr.gossort.com>.

3. Кукуруза / Д. Шпаар [и др.]. – Москва: ИД ООО «DLV АГРОДЕЛО», 2009. – 390 с.

4. Проворова, О. Н. Влияние гербицидной защиты на семенную продуктивность агроценоза кукурузы (*Zea mays* L. ssp. *mays*) / О. Н. Проворова, Л. М. Григорович // Инновации в науке, образовании и предпринимательстве – 2016: IV Международный Балтийский морской форум, XIV Международная научная конференция (22-28 мая): тезисы докладов / ФГБОУ ВО КГТУ; БГА РФ. – Калининград: Изд-во БГА РФ, 2016. – С. 135 – 137.

5. Григорович, Л. М. Влияние гербицидной защиты на рост и развитие растений кукурузы (*Zea mays* L.) при возделывании на зерно на дерново-подзолистых почвах Калининградской области / Л. М. Григорович, О. Н. Проворова // Инновации в науке, образовании и предпринимательстве – 2018: VI Международный Балтийский форум, XVI Международная научная конференция (3-6 сентября): тезисы докладов / ФГБОУ ВО КГТУ; БГА РФ. – Калининград: Изд-во БГА РФ, 2018. – С. 258-263.

6. Проворова, О. Н. Эффективность гербицидной защиты растений при возделывании кукурузы (*Zea mays* L.) на зерно в агроэкологических условиях Калининградской области / О. Н. Проворова, Л. М. Григорович // Известия КГТУ. – 2018. – № 49. – С. 220-227.

7. Багринцева, В. Н. Сортовая агротехника – основа высоких урожаев гибридов кукурузы / В. Н. Багринцева // Зерновое хозяйство России. – 2013. – № 4 (28). – С. 43–46.

REFERENCES

1. Panasin V. I. i dr. *Udobrenie, tekhnologii i urozhay: spravochnik agronoma po khimizatsii zemledeliya* [Fertilizer, technologies and crops: agronomist's handbook on the chemization of agriculture]. Kaliningrad, Izd-vo BFU im. I. Kanta, 2018, 315 p.

2. *Sorta rasteniy, vklyuchennyye v gosudarstvennyy reestr selektsionnykh dostizheniy, dopushchennykh k ispol'zovaniyu* [Plant varieties included in the state register of selection achievements allowed for use]. Available at: <http://reestr.gossort.com> (Accessed 13 September 2019).

3. Shpaar D. i dr. *Kukuruza* [Maize]. Moscow, ID ООО «DLV AGRODELO», 2009, 390 p.

4. Provorova O. N., Grigorovich L. M. Vliyanie gerbitsidnoy zashchity na semennuyu produktivnost' agrotsenoza kukuruzy (*Zea mays* L. ssp. *mays*) [The influence of herbicidal plant protection on seed productivity of corn agrocenosis (*Zea mays* L. ssp. *mays*)]. *XIV mezhdunarodnaya nauchnaya konferentsiya «Innovatsii v nauke, obrazovanii i predprinimatel'stve-2016» v ramkakh IV mezhdunarodnogo «Baltiyskogo morskogo foruma» (22-28 maya 2016 g.). Tez. dokl.* [XIV International scientific conference 'Innovations in science, education and entrepreneurship-2016 at IV International Baltic Maritime Forum (22-28 May 2016). Report thesis]. Kaliningrad, 2016, pp. 135-137.

5. Grigorovich L. M., Provorova O. N. Vliyanie gerbitsidnoy zashchity na rost i razvitie rasteniy kukuruzy (*Zea mays* L.) pri vozdeleyvanii na zerno na dernovopodzolistykh pochvakh Kaliningradskoy oblasti [The influence of herbicide protection on the growth and plant vegetative development of corn (*Zea mays* L.) in the grain cultivation process on sodpodzolic soils in the Kaliningrad region]. *Innovatsii v nauke, obrazovanii i predprinimatel'stve-2018: VI Mezhdunarodnyy Baltiyskiy forum, XVI Mezhdunarodnaya nauchnaya konferentsiya: tezisy dokladov. FGBOU VO KGTU; BGA RF (3-6 sentyabrya)* [Innovations in science, education and entrepreneurship 2018 at VI International Baltic Maritime Forum, XVI International scientific conference. Report thesis FSEI HE KSTU; BFFSA (3-6 Sept)]. Kaliningrad, 2018, pp. 258-263.

6. Provorova O. N., Grigorovich L. M. Effektivnost' gerbitsidnoy zashchity rasteniy pri vozdeleyvanii kukuruzy (*Zea mays* L.) na zerno v agroekologicheskikh usloviyakh Kaliningradskoy oblasti [Effectiveness of herbicidal plant protection in maize cultivation (*Zea mays* L.) for grain in agroecological conditions of the Kaliningrad region]. *Izvestiya KGTU*, 2018, no. 49, pp. 220-227.

7. Bagrintseva V. N. Sortovaya agrotekhnika – osnova vysokikh urozhaev gibridov kukuruzy [Sorting agrotechnology – the basis for rich corn hybrids crops]. *Zernovoe khozyaystvo Rossii*, 2013, no. 4 (28), pp. 43-46.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Григорович Людмила Михайловна – Калининградский государственный технический университет; кандидат биологических наук; доцент кафедры агрономии; E-mail: lmg05@mail.ru

Grigorovich Lyudmila Mikhailovna – Kaliningrad State Technical University; PhD in Biology, Associate Professor of the Department of Agronomy; E-mail: lmg05@mail.ru

Тулупов Александр Евгеньевич – ИП «Тулупов А. Е.»; индивидуальный предприниматель; E-mail: tulupov-a83@mail.ru

Tulupov Aleksandr Evgenyevich – Private Entrepreneur “Tulupov A. E.”; self-employed individual; E-mail: tulupov-a83@mail.ru

УДК 631.839

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГЛАУКОНИТА В КАЧЕСТВЕ
УДОБРЕНИЯ ДЛЯ ЯРОВЫХ ЗЕРНОВЫХ

Б. И. Макаров, Н. Н. Терещенко, М. А. Рудмин

EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF THE USE OF GLAUCONITE
AS A FERTILIZER FOR SPRING GRAIN

B. I. Makarov, N. N. Tereshchenko, M. A. Rudmin

Интенсификация растениеводческой отрасли России и расширение площадей возделываемых земель обуславливает постоянно растущий спрос на минеральные удобрения, а также поиск альтернативных недорогих источников основных биогенных элементов питания растений. В работе рассмотрены результаты серии модельных лабораторных и полевых экспериментов, имевших целью оценку перспективности использования в качестве альтернативы фосфорно-калийным удобрениям глауконита Бакчарского месторождения при выращивании овса голозерного (*Avena sativa*) сорт Тюменский в условиях Томской области. В опытах изучали действие различных доз глауконитового концентрата (эквивалентно 30, 60 и 90 кг/га), а также разные способы его применения: внесение в почву в качестве удобрения, предпосевная обработка семян в качестве стимулятора роста. Помимо глауконитового концентрата в экспериментах оценивали эффективность использования различных его производных: глауконитолита, гранулометрической фракции (125-500 мкм) глауконитолита, гранулометрической фракции (125-500 мкм) глауконитового песчаника и магнитной фракции (125-500 мкм) глауконитового песчаника. Установлено, что внесение глауконитового концентрата в дозе 60 кг/га оказывает наилучшее стимулирующее воздействие на процессы роста и развития растений овса и улучшение агрохимических свойств почвы. Предпосевная обработка семян овса голозерного водной взвесью глауконита положительно сказалась на всхожести и энергии прорастания семян, он является экологически безопасным удобрением. Результаты полевого и лабораторных экспериментов позволяют сделать вывод о перспективности применения глауконита и глауконитовых пород Бакчарского железорудного месторождения в качестве альтернативного калийного удобрения для выращивания зерновых культур, а также улучшения агрохимических свойств почвы.

глауконит, глауконитовые породы, калийные удобрения, овес голозерный, всхожесть, энергия прорастания, зеленая масса

Intensification of the crop industry in Russia and the expansion of the area of cultivated land leads to a constantly growing demand for mineral fertilizers, as well as the search for alternative sources of the main biogenic elements of plant nutrition. The paper discusses the results of a series of model laboratory experiments aimed at assessment of perspectiveness of the use of Bakcharsky deposit glauconite as an alternative to

phosphorus-potassium fertilizers in growing naked oat (*Аvéna satíva*) of the Tyumen variety in conditions of the Tyumen region. We have studied the effect of various doses of glauconite concentrate (equivalent to 30, 60 and 90 kg / ha), as well as different methods of its application: application to the soil as a fertilizer, presowing treatment of seeds as a growth promoter. In addition to glauconite concentrate, the experiments evaluated the effectiveness of using its derivatives: glauconitolite, particle size fraction (125-500 microns) of glauconitolite, particle size fraction (125-500 microns) of glauconitic sandstone, and magnetic fraction (125-500 microns) of glauconitic sandstone. It has been established that introduction of glauconite concentrate at a dose of 60 kg / ha has the best stimulating effect on the growth and development of oat plants relative to the products studied, as well as the improvement of the agrochemical properties of the soil. Pre-sowing treatment of naked oat seeds with a glauconite water suspension had a positive effect on the germinating capacity and germinating power of the seeds. The results of the field and laboratory experiments allow us to conclude that the use of glauconite and glauconitic rocks of the Bakchar iron-ore deposit as a fertilizer for growing crops is fundamentally promising.

glauconite, glauconitic rocks, potash fertilizers, naked oat, germinating capacity, germinating power, green mass

ВВЕДЕНИЕ

Интенсификация аграрной отрасли обуславливает постоянное возрастание спроса на минеральные удобрения. Ожидается, что до 2020 г. рост мирового спроса на калийные удобрения может превысить 2 % в год [1]. В настоящее время этот спрос обеспечивается в основном за счет разработки калийных солей (хлоридов и сульфатов калия) из морских эвапоритовых залежей. Большая часть таких месторождений находится в Канаде, России, Белоруссии, Бразилии, Китае, Чили, Германии и США [2,3,4]. В России основная часть запасов калийных солей сосредоточена в Пермском крае (Верхнекамское месторождение) и разрабатывается крупнейшим мировым производителем ОАО «Уралкалий» [1].

Большинство сельхозпроизводителей в сибирском регионе ограничивается использованием только азотных минеральных удобрений, таких как аммиачная селитра и карбамид, что связано с довольно высокой стоимостью калийных и фосфорных удобрений, а также их слабой сырьевой доступностью. Обусловленный этим дисбаланс вносимых в почву основных биогенных элементов закономерно приводит к нарушениям минерального питания сельскохозяйственных растений и существенно снижает эффективность используемых азотных удобрений. Одним из решений проблемы дефицита фосфорных и калийных удобрений может стать более активное использование таких нетрадиционных источников калийных солей, как калийсодержащие филлосиликаты, к числу которых принадлежит глауконит.

Вопросы применения глауконита в качестве удобрения широко изучались как российскими, так и зарубежными исследователями. Так, например, в Нью-Джерси, Делавэре и Мэриленде (США) глауконитовые зеленые пески уже давно активно используются для удобрения почв [5]. В Аргентине в качестве альтернативы калийным солям также активно применяются глауконитовые пески из палеоценовых пластов Саламанка в Патагонии [6]. В Иране установили, что глауконитовые пески с содержанием K_2O – 2.2 % из Маравеха (северо-восток Ирана) мо-

гут служить источником калия для сельскохозяйственных почв в течение длительного времени [7]. В связи с тем, что глауконитсодержащие осадочные породы очень широко распространены на территории России, вопрос их сельскохозяйственного применения находится в сфере внимания аграрной науки уже на протяжении более чем 50 лет. При этом основной объем исследований выполнен на базе сырья верхнемелового Каринского месторождения в Челябинской области и Белозерского месторождения в Саратовской области, а также нижнемелового Бондарского месторождения в Тамбовской области [8].

Ресурсы глауконита на Бакчарском месторождении в Томской области составляют около 800 млн. т [9], что позволяет рассматривать их как крупнейшую сырьевую базу для сибирских регионов. Глауконитовые породы Бакчарского месторождения, будучи вскрышными, локализованы среди верхнемеловых осадочных железорудных горизонтов [10] и при добыче железа неизбежно пополнят и без того значительные объемы отходов производства.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Целью исследований было изучение перспективности и эффективности применения глауконитовых пород Бакчарского месторождения в качестве альтернативы дорогостоящим калийным удобрениям. Использование глауконитовых вскрышных пород в качестве сырья для получения калийных удобрений, помимо чисто экономических выгод, полностью соответствует требованиям рационального использования месторождения в будущем.

Основными объектами наших исследований, представленных в данной работе, являются глауконитовый концентрат с содержанием глауконита до 92 % по массе и его производные из верхнемеловых глауконитовых пород Бакчарского месторождения. Глауконитовый концентрат получали по схеме, представленной в работе [9].

В лабораторном вегетационном опыте 1 исследовали эффективность применения глауконитового концентрата при его внесении в темно-серую среднеподзоленную среднесуглинистую почву в следующих дозах: 30; 60 и 90 кг/га. В качестве контроля использовали почву без глауконита, рН почвы – 5,1, содержание гумуса – 6,5 %, содержание подвижного фосфора и обменного калия в 100 г почвы составляет 17,8 и 8,0 мг соответственно. Содержание основных оксидов в глауконитовом концентрате: K_2O – 5,59, Fe_2O_3 – 29,96, MgO – 2,01, CaO – 0,66, Al_2O_3 – 7,93, SiO_2 – 53,96, Na_2O – 0,34, P_2O_5 – 0,09, TiO_2 – 0,16, MnO – 0,01 % [9].

После внесения расчетных количеств глауконитового концентрата в почву высаживали семена овса голозерного (сорт Тюменский), который использовали в качестве тест-объекта. Норма высева семян – 50 шт./сосуд. Растения выращивали в течение 14 сут при 12-часовом светопериоде, влажность почвы поддерживали путем полива сосудов по массе. Определение всхожести и энергии прорастания производили согласно ГОСТ 12038-84 на 4-й и 7-й день после высева. На 14-й день были измерены высота и зеленая масса растений. Масса сухих растений определялась после высушивания по методике подготовки растительного сырья в сушильном шкафу при $t=103,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 1 ч.

Сорбционную способность глауконита оценивали по параметрам пористой структуры и удельной поверхности материалов с помощью автоматического газо-

адсорбционного анализатора 3Flex Micromeritics (США) в соответствии с объемным вариантом сорбционного метода. Удельная поверхность рассчитывалась по изотерме низкотемпературной сорбции паров азота. Измерение удельной поверхности проводили методом Брюнера-Эммета-Теллера (БЭТ), с относительной погрешностью метода $\Delta \pm 10\%$ и интервалом спрямления ВЕТ (p/p°) – 0,05-0,25.

В лабораторном вегетационном опыте 2 исследовали влияние приема предпосевной обработки семян овса водной взвесью глауконитового концентрата на энергию прорастания, всхожесть, высоту и зеленую массу растений овса голозерного (сорт Тюменский). В опыте применяли глауконитовую взвесь в концентрациях 0,001, 0,005, 0,01, 0,05 и 0,1%. В качестве контроля использовали семена, обработанные дистиллированной водой. Семена обработанного овса высаживали в вегетационные сосуды, заполненные темно-серой среднеподзоленной среднесуглинистой почвой, в норме 50 шт./сосуд. Режим выращивания растений описан в опыте 1.

В лабораторном вегетационном опыте 3 исследовали эффективность внесения в темно-серую среднеподзоленную среднесуглинистую почву различных глауконитсодержащих продуктов (ГСП), полученных из пород Бакчарского месторождения, а именно: глауконитолита исходного (I), гранулометрической фракции глауконитолита 125-500 мкм (II), гранулометрической фракции глауконитового песчаника 125-500 мкм (III) и магнитной фракции глауконитового песчаника 125-500 мкм (IV). Минеральный состав пород и минеральных фракций определялся на основе классического минералогического анализа с использованием оптического микроскопа, а также на основе рентгенодифракционного анализа (Bruker D2 Phaser). Содержание основных оксидов измерялось при помощи энергодисперсионного рентгенофлуоресцентного анализа (HORIBA XGT 7200). Минералого-химическая характеристика используемых продуктов представлена в табл. 1.

Таблица 1. Минералого-химическая характеристика используемых ГСП
Table 1. Mineralogical and chemical characteristics of the used glauconite containing products

Состав	I, %	II, %	III, %	IV, %
Глауконит	58,4	90,4	27,5	61,8
Кварц и полевые шпаты	14,0	1,8	52,5	1,8
Шамозитовые ооиды	—	—	11,5	20,5
Иллит	37,0	7,8	8,5	15,8
Na ₂ O	0,36	0,33	0,04	0,03
MgO	2,21	1,82	0,26	0,29
Al ₂ O ₃	10,87	6,85	6,60	6,68
SiO ₂	53,94	46,84	55,21	36,96
P ₂ O ₅	0,20	0,08	0,37	0,57
K ₂ O	4,12	6,27	3,35	4,03
CaO	0,59	0,71	1,61	1,88
TiO ₂	0,40	0,12	0,33	0,43
MnO	0,03	0,01	0,05	0,13
Fe ₂ O ₃	18,96	28,87	18,22	35,68
ППК (потери при прокаливании)	5,25	8,09	13,97	13,32

Все вышеуказанные виды ГСП вносили в почву в сухом виде в дозах: 30, 60, 90 кг/га. После внесения расчетных количеств глауконитового концентрата в вегетационные сосуды высаживали семена овса голозерного в норме 50 шт./сосуд. В контрольном варианте использовалась чистая почва.

Поскольку исследуемый глауконит, как любые природные глины, могут содержать некоторое количество радионуклидов, для оценки его возможного влияния на возделываемые растения был поставлен лабораторный опыт 4, в котором качестве тест-объекта использовали растение – индикатор радиоактивности – тимофеевку луговую (*Phleum L.*). Растения выращивали на темно-серой среднеоподзоленной почве с рН – 5,1 и содержанием: гумуса – 6,5 %, P_2O_5 – 17,8 мг/ 100 г почвы, K_2O – 8,0 мг/100 г почвы. Повторность опыта – двухкратная. В соответствии со схемой опыта глауконит вносили в одном варианте в дозе 270 кг/га, во втором – 540. Столь высокие дозы глауконита, в три и шесть раз превышающие объемы внесения глауконита в предыдущих опытах, применены для повышения вероятности фиксирования возможных негативных эффектов. В качестве контроля использовали чистую почву. Растения выращивали в течение 14 дней, затем проводили анализ зеленой массы на радиоактивность прибором Gamma Ray Spectrometer GS 512 с NaI (Tl) детектором.

В полевом опыте оценивали влияние глауконита на урожайность овса голозерного в сравнении с сульфатом калия – одним из наиболее часто применяемых на практике калийных удобрений. И глауконит, и сульфат калия вносили в почву в дозе 0,3 т/га. Опыт закладывали на серой лесной оподзоленной почве с рН – 5,1 и содержанием гумуса – 6,5 % на метрочках по общепринятой методике [11] при систематическом распределении вариантов в трех повторениях. В качестве контроля использовали вариант без внесения мелиорирующих компонентов. Отбор образцов растений на учет урожайности проводился в конце вегетации.

Определение основных агрохимических показателей почвы в полевом и модельных экспериментах осуществляли согласно: рН – ГОСТ 26483-85, нитраты – ГОСТ 26488-85, обменный аммоний – ГОСТ 26489-85, подвижный фосфор – ГОСТ 54650-2011, обменный калий – ГОСТ 54650-2011, органическое вещество – ГОСТ 26213-91, влажность – ГОСТ Р 28268-89, обменный кальций и магний – ГОСТ 26487-85.

Во всех экспериментах достоверность различий данных, полученных в опытных вариантах и контроле, определяли по критерию Стьюдента с использованием пакета программ «Statistica for Windows» 10.0.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

По имеющимся в научной литературе сведениям при изучении удобрительных свойств глауконита оценивают эффективность его использования как в виде неочищенного глауконитового песка, так и в смеси с различными дополнительными компонентами в широком диапазоне доз: от 90 кг/га до 40 т/га [12]. Назаров с соавт. [13] определяли эффективность 60-65%-ного глауконитового концентрата при его внесении в почву в дозе 0,1, 0,3 и 0,5 % от массы субстрата. Максимальная прибавка зеленой массы опытных растений к контролю составила 32,1, 10,7 и 23,2 %. При этом максимально эффективной оказалась наименьшая 0,1%-ная доза.

Для определения максимально эффективной дозы внесения глауконита и снижения экономических затрат нами были предприняты модельные эксперименты, в которых оценивали влияние внесения в почву глауконита в дозах, составляющих 0,03, 0,05 и 0,08% от веса почвы, соответствующих внесению 90, 60 и 30 кг/га.

Анализ морфометрических параметров овса показал, что внесение глауконитового концентрата в почву в сухом виде во всех концентрациях, за исключением 90 кг/га, оказал стимулирующее воздействие на высоту растений. Увеличение всхожести и энергии прорастания отмечено во всех вариантах. Энергия прорастания и всхожесть возросли с 84,6 и 88 % в контроле до 88–94,6 и 90,6–96,6 % в опытных вариантах, соответственно (табл. 2).

Как известно, урожайность в значительной степени определяется темпами начального развития растений: чем энергичнее развивается проросток, тем быстрее он переходит на корневое питание, уходит от болезней и легче переносит неблагоприятные почвенно-климатические условия. Внесение в почву всех использованных доз глауконитового концентрата способствовало увеличению зеленой массы растений. Наиболее эффективной оказалась доза, соответствующая 60 кг/га, обусловившая почти 12%-ную прибавку зеленой массы овса по сравнению с контролем. В данном варианте также была отмечена максимальная по опыту высота растений. Максимальная, соответствующая 90 кг/га, доза глауконита оказалась неэффективной, так как не только не обеспечила увеличение зеленой массы растений, но, напротив, негативно сказалась на их высоте (табл. 2).

Таблица 2. Влияние различных доз глауконитового концентрата на энергию прорастания, всхожесть и биометрические параметры растений овса
Table 2. The effect of various doses of glauconite concentrate on germinating power, germinating capacity and biometric parameters of oat

Вариант опыта	Энергия прорастания, %	Всхожесть, %	Высота растений, см	Зеленая масса, г
Контроль	84,6±5,8	88,0±5,1	12,00±1,2	0,451
30 кг/га	88,0±5,1	90,6±4,6	12,28±1,1	0,488
60 кг/га	92,0±4,3	94,6±3,6	12,60±0,8	0,504
90 кг/га	94,6±3,6	96,6±2,9	10,78±0,9	0,457

Снижение биометрических показателей в варианте с максимальной дозой (90 кг/га), вероятно, объясняется тем, что для опыта использовалась среднесуглинистая почва, а глауконитовый концентрат вносился в почву в виде мелкодисперсного порошка, вследствие чего происходило цементирование почвы и ухудшение водно-физических свойств почвы, что оказывало ингибирующее воздействие на рост и развитие растений.

Согласно данным агрохимического анализа почвы добавление глауконита в целом обусловило тенденцию к увеличению содержания в почве аммонийного азота и снижению нитратного относительно контроля (табл. 3). Максимальное пятикратное увеличение содержания аммонийного азота было отмечено в варианте с внесением в почву наибольшей дозы глауконитового концентрата (90 кг/га). В этом варианте также было отмечено максимальное по опыту содержание об-

менного калия и магния. Внесение глауконита во всех использованных дозах практически не сказалось на содержании в почве обменного кальция и органического вещества, вероятно, в связи с их незначительным содержанием в самом глауконите (табл. 3).

Таблица 3. Влияние глауконитового концентрата на агрохимические свойства почвы

Table 3. The effect of glauconite concentrate on the agrochemical properties of the soil

Показатель	Вариант опыта			
	Контроль	30 кг/га	60 кг/га	90 кг/га
pH сол.	5,2	5,1	5,0	5,0
N-NO ₃ , млн ⁻¹	11,0	11,7	10,1	8,2
N-NH ₄ , млн ⁻¹	6,54	12,4	16,4	31,1
P ₂ O ₅ , млн ⁻¹	465,5	453,5	463,8	448,8
K ₂ O, млн ⁻¹	140,0	145,0	141,0	146,0
Обменный Ca (ммоль/100 г)	15,5	16,0	15,5	15,5
Обменный Mg (ммоль/100 г)	2,75	2,75	2,75	3,0
Общее содержание Fe (мг/100 г)	10,4	9,5	13,3	7,15
Органическое вещество, %	5,5	5,4	5,6	5,5

Глауконит, использованный нами в модельных экспериментах, входит в состав вскрышных пород железорудного месторождения и потому содержит небольшое количество фосфора. Снижение содержания железа в почве варианта с максимальной дозой глауконита может быть обусловлено высокими сорбционными свойствами исследуемых глауконитовых концентратов, площадь удельной поверхности составляет 74 м²/г, суммарный объем пор достигает 0,12 см³/г, а средний размер пор – 6,3 нм.

Как известно, в составе глауконитового концентрата содержится большой набор макро- и микроэлементов, таких как Mg, Ca, K, Mn, Ba, Co, Cu и других, являющихся основой минерального питания растений и необходимых для их устойчивого роста и развития, особенно на начальных этапах [10]. Стимулирующее влияние предпосевной обработки семян овса различными концентрациями водной взвеси глауконитового концентрата исследовали в модельном лабораторном опыте 2. Как и в опыте 1 с непосредственным внесением глауконита в почву, использование глауконитового концентрата для предпосевной обработки семян способствовало увеличению энергии прорастания семян во всех опытных вариантах. При этом наиболее эффективной оказалась наименьшая из исследованных концентраций, соответствующая 0,001 % (табл. 4).

Таблица 4. Влияние предпосевной обработки семян водной взвесью глауконита на энергию прорастания, всхожесть и биометрические параметры овса
 Table 4. The effect of pre-sowing treatment of seeds with a water suspension of glauconite on germinating power, germinating capacity and biometric parameters of oat

Вариант опыта	Энергия прорастания, %	Всхожесть, %	Высота растений, см	Зеленая масса, г	Оводненность, %
Контроль	88,6±5,1	92,6±4,1	12,39±0,7	0,498	87,6
0,001%	95,4±3,3	96,6±2,9	12,20±0,9	0,514	88,3
0,005%	92,0±4,3	94,0±3,8	12,89±0,4	0,497	88,2
0,01%	90,6±4,6	95,4±3,3	12,12±0,6	0,504	87,4
0,05%	89,4±4,9	90,6±4,6	12,06±0,9	0,475	87,2
0,1%	92,6±4,1	92,0±4,3	12,45±0,4	0,501	87,3

Предпосевная обработка семян низкими концентрациями водной взвеси глауконита оказала стимулирующее воздействие также и на всхожесть семян, которая возросла с 92,6 в контроле до 94-96,6 % в вышеуказанных опытных вариантах. Концентрация 0,05 % способствовала незначительному снижению всхожести семян овса.

В целом предпосевная обработка семян водной взвесью глауконита не оказала заметного влияния на высоту и зеленую массу растений: незначительное увеличение высоты растений овса относительно контроля было отмечено в вариантах с 0,005 и 0,1% концентрациями глауконитовой взвеси; максимальная зеленая масса овса – в варианте с наименьшей 0,001%-ной концентрацией. Анализ оводненности растений показал, что предпосевная обработка семян овса минимальными концентрациями водной взвеси глауконитового концентрата (0,001 и 0,005 %) также способствует увеличению запасов влаги в растениях (табл. 4).

Поскольку при разработке железорудных месторождений вскрышные породы представляют собой смесь разнообразных глиносодержащих пород с практической точки зрения весьма интересно оценить эффективность различных глауконитсодержащих продуктов, таких, например, как исходный глауконитолит и различные фракции глауконитолита и глауконитовых песчаников. Согласно данным табл. 1 все эти ГСП могут существенно различаться по содержанию основных макро- и микроэлементов.

Результаты модельного лабораторного эксперимента, целью которого было изучение влияния внесения в почву трех доз (30, 60 и 90 кг/га) вышеуказанных ГСП на энергию прорастания и основные биометрические параметры растений овса, показали, что, независимо от использованной дозы, все исследованные ГСП способствовали увеличению энергии прорастания растений овса. Максимальные прибавки относительно контроля составили 1,3-5,7 %. В целом максимальные эффекты наблюдались в вариантах с применением исходного глауконитолита и его фракции – 125-500 мкм (рис. 1, 2).

Анализ зависимости энергии прорастания овса от дозы использованных ГСП показал, что наиболее заметно этот показатель реагирует на увеличение дозы ГСП в вариантах с использованием фракции глауконитового песчаника и магнитной фракции глауконитового песчаника (рис. 1). Вероятно, это связано с тем, что именно эти продукты отличаются наибольшим содержанием таких важных мак-

розлементов, как фосфор и калий, а также кальций. Магнитная фракция глауконитового песчаника также отличается довольно высоким содержанием марганца. Кроме того, ППК данных продуктов в 1,5-2,0 раза выше, чем в исходном глауконитолите и его фракции (табл. 1).

Измерение морфометрических параметров растений, выращенных на почве с внесением производных глауконитолита, показало, что все исследованные продукты способствуют увеличению высоты и зеленой массы растений овса (рис. 2, 3).

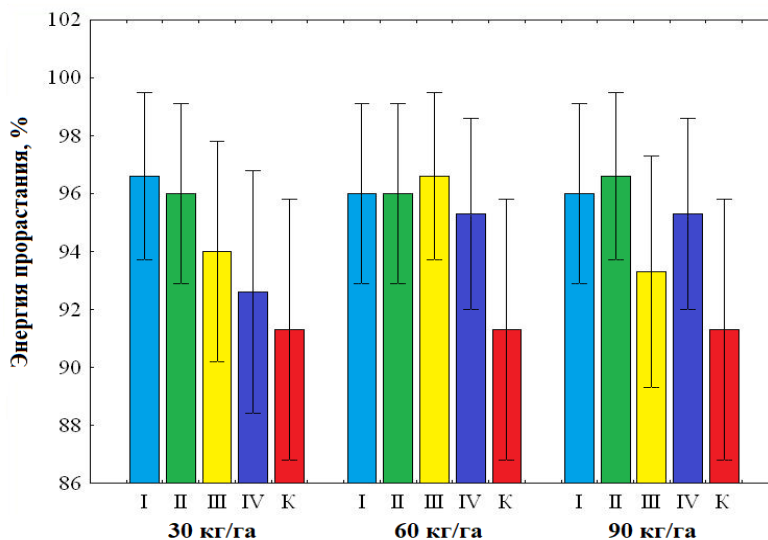


Рис. 1. Влияние исследованных ГСП на энергию прорастания овса
 Fig. 1. The effect of the studied glauconite containing products on the germinating energy of oats

Высота растений в опытных вариантах по сравнению с контролем увеличилась на 1,6 – 40,6 %. Максимальное увеличение относительного контрольного варианта было отмечено в варианте с использованием магнитной фракции глауконитового песчаника в дозе 90 кг/га. В двух других испытанных дозах (30 и 60 кг/га) данный глауконитовый продукт также оказал наибольшее стимулирующее воздействие на увеличение высоты растений овса (рис. 2). Как и в случае с энергией прорастания, в отношении высоты растений при оценке эффективности магнитной фракции глауконитового песчаника и гранулометрической фракции глауконитового песчаника прослеживается зависимость «доза – эффект»: наибольший отклик растений был отмечен при использовании вышеупомянутых продуктов в максимальной дозе, соответствующей 90 кг/га. Для двух других ГСП таких зависимостей установлено не было (рис. 2).

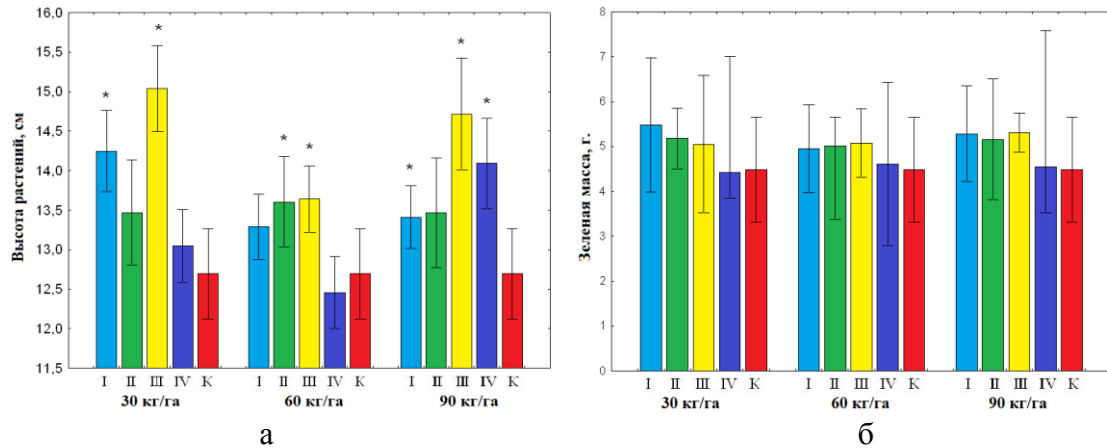


Рис. 2. Влияние исследованных ГСП на высоту (а) и зеленую массу (б) растений овса

Fig. 2. The effect of the investigated glauconite containing products on the height (a) and green mass (b) of oat

Примечание. * Различия с соответствующим контролем достоверны при $p < 0,05$

Внесение всех исследованных ГСП, независимо от дозы, также способствовало увеличению зеленой массы растений овса. Максимальную 66-67%-ную прибавку обеспечило внесение в почву исходного глауконита в дозах 30 и 90 кг/га. Несколько меньшие эффекты были отмечены в вариантах с использованием гранулометрической фракции (125-500 мкм) глауконитолита во всех испытанных дозах.

В работах, посвященных изучению строения глауконитов, отмечается, что в единичных случаях на поверхности глауконитов и в корродированных полостях присутствуют фрамбоидальные скопления пирита и агрегаты куларита. Однако пирит – это сульфид, содержащий до 46,6 % железа и 53,4 % серы, теоретически также способный включать в себя примеси кобальта, никеля, мышьяка, сурьмы, селена, тория [9]. Торий, как известно, обладает высокой токсичностью. В наземных экосистемах к хорошим индикаторам, накапливающим радионуклиды, относится тимopheевка луговая [14].

Результаты измерения уровня радиоактивности растений тимopheевки луговой (*Phleum pratense* L.), выращенной на почве, содержащей высокие дозы глауконита, показали, что незначительное количество потенциально опасных примесей в глауконитовом концентрате не оказывает никакого воздействия на присутствие радиоактивных элементов в зеленой массе. Растения на чистой почве показали радиоактивность 11,7 ppm Ueq, а выращенные на почве с внесением глауконита – больше рекомендуемой нормы 11,35 и 11,75 ppm Ueq, что соответствует фону.

Поскольку калийные удобрения имеют высокую стоимость и слабую сырьевую доступность, схема внесения минеральных удобрений в аграрном секторе России часто ограничивается азотными и фосфорными удобрениями. Глауконит, в силу высокого содержания калия (табл. 1), может использоваться как нетрадиционное калийное удобрение. По итогам полевого опыта с овсом голозерным было установлено, что внесение в почву глауконита обеспечивает содержание в почве подвижного K_2O , сопоставимое с его содержанием в варианте с внесением тра-

диционного калийного удобрения – сульфата калия. Кроме того, внесение в почву глауконита также способствовало обогащению почвы подвижным фосфором: агрохимический анализ почвы в конце периода вегетации показал максимальное содержание P_2O_5 в варианте с глауконитом. Содержание органического вещества в почве под воздействием глауконита также демонстрировало тенденцию к увеличению (табл. 6).

Таблица 6. Влияние глауконита на агрохимические свойства почвы в сравнении с сульфатом калия

Table 6. The effect of glauconite on the agrochemical properties of the soil in comparison with potassium sulfate

Вариант	pH	N- NO ₃ , млн ⁻¹	N- NH ₄ , млн ⁻¹	P ₂ O ₅ , млн ⁻¹	K ₂ O, млн ⁻¹	Орг. в-во, мг/100 г	Ca, ммоль /100 г	Mg, ммоль /100 г
Август, фаза выхода в трубку								
Контроль	6,41	17,94	4,60	587,6	304,5	6,6	17,68	4,58
Глауконит	6,46	23,53	2,43	575,7	460,1	7,35	16,70	3,70
K ₂ SO ₄	6,33	21,60	3,03	554,1	442,7	7,99	17,81	4,80
Октябрь, конец вегетации								
Контроль	6,39	24,38	2,33	1060,0	417,5	7,52	21,00	3,97
Глауконит	6,81	24,40	2,06	1200,0	437,0	7,79	17,90	4,05
K ₂ SO ₄	6,25	24,10	1,65	1081,0	495,3	7,93	22,10	3,17

Обогащение почвы органическим веществом и элементами минерального питания растений за счет внесения в почву глауконита обусловили более чем 32%-е увеличение высоты растений по сравнению с контролем и 18%-е увеличение урожайности зерна овса (табл. 7).

Таблица 7. Влияние глауконита на высоту растений овса и урожай зерна

Table 7. The effect of glauconite on the height of oat and oat grain yield

Вариант опыта	Урожайность, ц/га (октябрь)	Высота растений, см (август)
Контроль	13,6±0,12	52,6 ± 6,0
Глауконит	16,1±0,08*	69,6 ± 4,4*
Сульфат калия (K ₂ SO ₄)	16,4±0,11*	70,6 ± 6,0*

Примечательно, что внесение в почву традиционного калийного удобрения K₂SO₄ оказалось лишь не намного эффективнее глауконита (табл. 7).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Внесение в почву 30 и 60 кг/га глауконитового концентрата в модельных лабораторных экспериментах оказало стимулирующее воздействие на всхожесть, энергию прорастания, высоту и зеленую массу растений овса голозерного. Применение глауконита в дозе 90 кг/га обеспечило пятикратное возрастание содержания в почве аммонийного азота, а также способствовало увеличению содержания обменного калия и магния. Использование водной взвеси глауконитового концентрата для предпосевной обработки семян овса голозерного также стало причиной

увеличения энергии прорастания семян, всхожести и оводненности растений. Внесение в почву всех исследованных глауконитсодержащих продуктов обеспечило увеличение энергии прорастания овса, высоты и зеленой массы растений, а также их оводненности.

Измерение уровня радиоактивности растений тимopheевки луговой, выращенной на почве, содержащей высокие дозы глауконита, показало, что незначительное количество потенциально опасных примесей в глауконитовом концентрате не оказывает никакого воздействия на содержание радиоактивных элементов в зеленой массе растений.

В полевом опыте внесение в почву глауконита в дозе 0,3 т/га обеспечило 18%-е увеличение урожайности зерна овса голозерного, сопоставимое с эффективностью применения такого традиционно используемого калийного удобрения, как калийная соль.

Таким образом, результаты предпринятых лабораторных и полевого исследований свидетельствуют о принципиальной возможности и высокой эффективности применения глауконита Бакчарского месторождения в качестве нетрадиционного калийного удобрения для выращивания зерновых культур, отличающегося к тому же низкой стоимостью и обширной сырьевой базой.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Волкова, А. В. Рынок минеральных удобрений / А. В. Волкова; Национальный исследовательский институт «Высшая школа экономики». – 2015. – 67 с.
2. Левченко, Т. П. Производство калийных удобрений в России / Т. П. Левченко, И. С. Константинов // Горный журнал. – 2016. – № 4. – С.10-14.
3. Rawashdeh, R. The potash market and its future prospects / R. Rawashdeh, E. Xavier-Oliveira, P. Maxwell. // Resources Policy. – 2016. – Vol 47. – P. 154-163.
4. Zheng, M.-P. The leading role of salt formation theory in the breakthrough and important progress in potash deposit prospecting / M.-P. Zheng, X.-H. Hou, C.-Q. Yu, H.-P. Li, H.-W. Yin, Z. Zhang, X.-L. Deng, Y.-S. Zhang, T.-F. Guo, Z. Wei, X.-B. Wang, L.-Y. An, Z. Nie, X.-H. Tan, X.-F. Zhang, X.-S. Niu. // Acta Geoscientica Sinica. – 2015. – Vol. 36. – P. 129-139.
5. Heckman J. R. Green sand as a soil Amendment / J.R. Heckman, J.C.F. Tedrow // Better Crops. – 2004. – Vol. 88. – P. 1-17.
6. Franzosi, C. Technical Evaluation of Glauconies as Alternative Potassium Fertilizer from the Salamanca Formation, Patagonia, Southwest Argentina. / C. Franzosi L.N. Castro, A.M. Celeda // Natyral Resoursers Research. – 2014. – Vol. 23. – № 3. – P. 311-320.
7. Karimi, E. The potential of glauconitic sandstone as a potassium fertilizer for olive plants / E. Karimi, A. Abdolzadeh, H.R. Sadeghipour, A. Aminei. // Archives of Agronomy and Soil Science. – 2012. – Vol. 58. – P. 983-993.
8. Levchenko, E. Glauconite deposits of Russia: perspectives of development / E. Levchenko, N. Patyk-kara, M. Levchenko // Abstract for the 33rd International Geological Congress (Oslo, Norway) 2008.
9. Rudmin, M. Economic potential of glauconitic rocks in Bakchar deposit (S-E Western Siberia) for alternate potash fertilizer / M. Rudmin, S. Banerjee, A. Ma-

zurov, B. Makarov, D. Martemyanov // *Applied Clay Science*. – 2017. – Vol. 150. – P. 225–233.

10. Rudmin, M. Compositional variation of glauconites in Upper Cretaceous-Paleogene sedimentary iron-ore deposits in South-Eastern Western Siberia / M. Rudmin, S. Banerjee, A. Mazurov // *Sedimentary Geology*. – 2017. – Vol. 355. – P. 20-30.

11. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б. А. Доспехов. – Москва: Книга по требованию, 2012. – 352 с.

12. Васильев, А. А. Глауконит – эффективное природное минеральное удобрение картофеля / А. А. Васильев // *Аграрный вестник Урала*. – 2009. – № 6. – С. 35-37.

13. Назаров, В. А. Изучение эффективности глауконитов в качестве комплексного местного удобрения: отчет / В. А. Назаров, С. В. Яковлева, Н. П. Волосатая // *Саратовский сельскохозяйственный институт им. Н. И. Вавилова*, Саратов. – 1984. – с. 8.

14. Каплин, В. Г. Биоиндикация состояния экосистем: учеб. пособие для студ. биол. специальностей ун-тов и с.-х. вузов / В.Г. Каплин // Самарская ГСХА. – Самара. – 2001. – 143 с.

REFERENCES

1. Volkova A. V. *Rynok mineralnykh udobreniy* [Mineral fertilizer market]. Natsional'nyy issledovatel'skiy institut "Vysshaya shkola ekonomiki", 2015, 67 p.

2. Levchenko T. P., Konstantinov I. S. Proizvodstvo kaliynykh udobreniy v Rossii [Potash fertilizers production in Russia]. *Gornyy zhurnal*, 2016, no. 3 pp. 10-14.

3. Rawashdeh R. Al., Xavier-Oliveira E., Maxwell P. The potash market and its future prospects. *Resources Policy*, 2016, no. 47, pp. 154-163.

4. Zheng M.-P., Hou X.-H., Yu C.-Q., Li H.-P., Yin H.-W., Zhang Z., Deng X.-L., Zhang Y.-S., Guo T.-F., Wei Z., Wang X.-B., An L.-Y., Nie Z., Tan X.-H., Zhang X.-F., Niu X.-S. The leading role of salt formation theory in the breakthrough and important progress in potash deposit prospecting. *Acta Geoscientica Sinica*, 2015, no. 36, pp. 129-139.

5. Heckman J. R., Tedrow J. C. F. Green sand as a soil Amendment. *Better Crops*, 2004, no. 88, pp. 1-17.

6. Franzosi C., Castro L.N., Celeda A. M. Technical Evaluation of Glauconies as Alternative Potassium Fertilizer from the Salamanca Formation, Patagonia, South-west Argentina. *Natyral Resoursers Research*, 2014, vol. 23, no. 3, pp. 311-320.

7. Karimi E., Abdolzadeh A., Sadeghipour H. R., Aminei A. The potential of glauconitic sandstone as a potassium fertilizer for olive plants. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 2012, no. 58, pp. 983-993.

8. Levchenko E., Patyk-kara N., Levchenko M. Glauconite deposits of Russia: perspectives of development. Abstract for the 33rd International Geological Congress (Oslo, Norway) 2008.

9. Rudmin M., Banerjee S., Mazurov A., Makarov B., Martemyanov D. Economic potential of glauconitic rocks in Bakchar deposit (S-E Western Siberia) for alter-nate potash fertilizer. *Applied Clay Science*, 2017, no. 150, pp. 225-233.

10. Rudmin M., Banerjee S., Mazurov A. Compositional variation of glauconites in Upper Cretaceous-Paleogene sedimentary iron-ore deposits in South-Eastern Western Siberia. *Sedimentary Geology*, 2017, no. 355, pp. 20-30.

11. Dospexov B. A. *Metodika polevogo eksperimenta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy)* [Field experiment technique (with bases of statistical processing of research results)]. Moscow, Kniga po trebovaniyu, 2012, 352 p.

12. Vasil'ev A. A. Glaukonit – effektivnoe natural'noe mineral'noe udobrenie kartofelya [Glauconite – an effective natural mineral fertilizer of potatoes]. *Agrarnyy vestnik Urala, Agrokhimiya*, 2009, no. 6, pp. 35-37.

13. Nazarov V. A., Yakovleva S. V., Volosataya N. P., Petaeva N. I. *Otchet "Izucheniye effektivnosti glaukonitov v kachestve kompleksnogo mestnogo udobreniya"* [Report "Study of glauconite effectiveness as a complex local fertilizer"]. Saratovskiy sel'skokhozyaystvennyy institut im. N. I. Vavilova, Saratov, 1984, 8 p.

14. Kaplin V. G. *Bioindikatsiya sostoyaniya ekosistemy. Uchebnik dlya studentov biol. spetsial'nosti vuzov i agrarnykh vuzov* [Bioindication of ecosystem state. Textbook for students of biol. specialties of universities and agricultural universities]. Samarskaya GSHA. Samara, 2001, 143 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Макаров Борис Игоревич – Сибирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства и торфа, филиал Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий Российской академии наук (г. Томск); младший научный сотрудник; E-mail: makar189@mail.ru

Makarov Boris Igorevich – Siberian Research Institute of Agriculture and Peat, branch of the Siberian Federal Scientific Center of Agro-Bio Technologies of the Russian Academy of Sciences (Tomsk); junior researcher; E-mail: makar189@mail.ru

Терещенко Наталья Николаевна – Сибирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства и торфа, филиал Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий Российской академии наук (г. Томск); доктор биологических наук; главный научный сотрудник; E-mail: ternat@mail.ru

Tereshchenko Natalya Nikolaevna – Siberian Research Institute of Agriculture and Peat, branch of the Siberian Federal Scientific Center of Agro-Bio Technologies of the Russian Academy of Sciences (Tomsk); PhD of Biology; Leading Researcher; E-mail: ternat@mail.ru

Рудмин Максим Андреевич – Томский национальный исследовательский политехнический университет; кандидат геолого-минералогических наук; E-mail: rudminma@tpu.ru

Rudmin Maxim Andreevich – Tomsk Polytechnic University; PhD in Geology and Mineralogy; E-mail: rudminma@tpu.ru

СУДОСТРОЕНИЕ, МАШИНОСТРОЕНИЕ И ЭНЕРГЕТИКА

УДК 629.5.01

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СКАНИРОВАНИЯ МЕЛКОГАБАРИТНЫХ СУДОВЫХ ИЗДЕЛИЙ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ ЧАСТИ СО СЛОЖНОЙ ВНУТРЕННЕЙ КОНСТРУКЦИЕЙ ПРИ ПОМОЩИ РАЗЛИЧНЫХ МОДЕЛЕЙ 3D-СКАНЕРОВ

П. Г. Зобов, А. В. Дектярев, В. Н. Морозов

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE SCANNING OF SMALL-SIZED SHIPBOARD PRODUCTS OF AN ENGINEERING PART WITH A COMPLEX INTERNAL STRUCTURE USING VARIOUS MODELS OF 3D SCANNERS

P. G. Zobov, A. V. Dektyarev, V. N. Morozov

На сегодняшний день трехмерное сканирование является одним из самых перспективных направлений в области точных измерений. При этом в Российской Федерации существует явная потребность в повышении точности изготовления судовых деталей машиностроительной части (МСЧ), что обуславливает актуальность проведения работ в данном направлении. Для предприятий Группы Объединенной Судостроительной Корпорации (АО «ОСК») серьезным вопросом является подбор соответствующего оборудования. В данной работе рассмотрены вопросы сканирования малогабаритных судовых изделий МСЧ на примере элемента разборной соединительной муфты, имеющего наибольший габаритный размер 15 мм, сложное строение внутренней полости, стопорные насечки, а также повышенные требования к точности изготовления. Опытным работам по сканированию предшествовал обзор типов 3D-сканеров с разделением их на группы по функционалу и технологии работы. В основе такого разделения лежат два основополагающих типа 3D-сканеров – лазерные и оптические сканирующие системы, при этом первые подразделяются на оборудование с эталонными метками и без них; полученная классификация делится еще на виды исполнения – стационарные, мобильные и условно-мобильные устройства. Всего выделено девять групп. Сами опытные работы были проведены на нескольких типах оборудования с анализом и сравнением полученных данных. В результате, исходя из них, было подобрано оптимальное оборудование для изделий подобного вида. Также для упрощения работ по подбору необходимого оборудования результаты проведенных исследований представляются визуально в виде диаграммы зависимости характеристик сканирующего оборудования от конструктивных особенностей с разделением на группы и выделением таких параметров, как универсальность, восприимчивость к цвету поверхности, стоимость, мобильность, фактическая точность.

3D-сканирование, 3D-сканеры, обратный инжиниринг, реверс-инжиниринг, МСЧ, изделия машиностроительной части, судостроение, точность

Today, three-dimensional scanning is one of the most promising areas in the field of accurate measurements. At the same time, in the Russian Federation there is a

clear need to improve the accuracy of manufacturing ship parts of the engineering part, which determines the relevance of work in this direction. For enterprises of the United Shipbuilding Corporation Group, a serious issue is selection of equipment that meets the tasks set. This paper discusses the scanning issues of small-sized shipboard products of the engineering part using the example of an element of a collapsible coupler having the largest overall size of 15 mm, a complex structure of the internal cavity, locking notches, as well as increased requirements for manufacturing accuracy. The experimental work on scanning has been preceded by a review of the types of 3D scanners with their division into groups according to their functionality and technology. Such a separation is based on two fundamental types of 3D scanners - laser and optical scanning systems, while the former are divided into equipment with and without reference marks; the resulting classification is further divided into types of performance - stationary, mobile and semi-mobile devices. A total of nine groups have been allocated. The experimental work itself has been carried out on several types of equipment with analysis and comparison of the data obtained. As a result, based on the experimental data, the optimal equipment for products of this kind has been selected. Also, to simplify the selection of the necessary equipment, the results of the studies have been presented visually in the form of a dependence diagram of the characteristics of the scanning equipment on design features with the division into groups and highlighting such parameters as universality, susceptibility to surface color, cost, mobility, and actual accuracy.

3D-scanning, 3D-scanners, reverse engineering, engineering part, the product of the machine-building, shipbuilding, accuracy

ВВЕДЕНИЕ

В представленной работе проводится исследование относительно применения различного оборудования 3D-сканирования к мелкогабаритным изделиям судовой МСЧ со сложной геометрией и внутренними конструкциями. Подобные работы проводились еще в начале 2010-х годов как для российского [1-3], так и для зарубежного [4, 5] производств, однако все еще не потеряли своей актуальности. Сегодня любое предприятие, руководствуясь принципами бережливого производства, стремится получить качество за относительно небольшую цену. Одним же из главных и значительных недостатков 3D-сканеров является их неудовлетворительная работа с мелкими деталями, у которых имеются сложные внутренние структуры (резьба, насечки). Ввиду этого в данной работе проведены исследования способностей работы 3D-сканеров различного ценового ряда и технологий к подобным деталям.

На сегодняшний день на рынке представлено сканирующее оборудование достаточно широкого спектра и типов исполнения. Из всех типов сканирующих устройств можно выделить сканирующие установки, основанные на стереоскопическом восприятии волн оптического диапазона без излучателя эталонной волны (оптические сканеры) и с использованием излучателя эталонной волны (лазерные сканеры). Лазерные сканирующие установки дополнительно подразделяются на работающие без опорных эталонных меток, устанавливаемых на изделие, и с опорными эталонными метками. Для различных задач оба класса оборудования могут иметь портативное (ручной сканер), стационарное и условно-мобильное исполнение (рис. 1).

Сканирующие системы								
Лазерные						Оптические		
с метками			без меток			Условно-мобильные	Мобильные	Стационарные
Условно-мобильные	Мобильные	Стационарные	Условно-мобильные	Мобильные	Стационарные			
Группа 1							Группа 8	
	Группа 2							Группа 9
		Группа 3	Группа 4					
				Группа 5				
					Группа 6			
						Группа 7		

Рис. 1. Группы сканирующего оборудования
Fig. 1. Scanning equipment groups

Представленная классификация не включает в себя дополнительное деление на сканирующее оборудование с механизированным датчиком с изменяемым вектором направления и стационарным датчиком по той причине, что данные исполнения встречаются исключительно в оборудовании для крупногабаритных изделий.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Под малогабаритными деталями судового МСЧ понимаются детали, наибольший габаритный размер которых не превышает 50 мм. Нами было проведено исследование на примере элемента разборной соединительной муфты (рис. 2) (далее – деталь).



Рис. 2. Муфта в сборном и разборном виде
Fig. 2. Clutch assembled and disassembled

Данная деталь (рис. 3) имеет наибольший габаритный размер 15 мм, сложное строение внутренней полости и мелкие элементы сложной геометрии (стопорные насечки), а также повышенные требования к точности изготовления. Такая конструкция является объективным примером современного судового изделия МСЧ.



Рис. 3. Сканируемый объект
Fig. 3. Scanned object

Выбор конструкции сканирующего устройства обусловлен его назначением и ценовой категорией. Так, устройства групп 1, 4, 7 применяются преимущественно для сканирования крупных объектов и при больших объемах работы (здания цехов, судовые помещения, элементы корпуса и набора и пр.). Данный тип приборов не отличается высокой точностью и мобильностью ввиду того, что для сканирования должен быть развернут в рабочее положение в определенной точке. Отличительной особенностью такого оборудования является наличие механизированной части наведения сканирующего блока. Система позволяет обеспечить сканирование во всех направлениях вокруг точки установки сканера в автоматическом режиме, однако это приводит к серьезному удорожанию прибора. Также при учете характеристик сканирующего блока выясняется, что для судостроительного производства применимы только приборы группы 1. Приборы групп 4 и 7 не обладают достаточной точностью и сильно зависимы от внешних факторов.

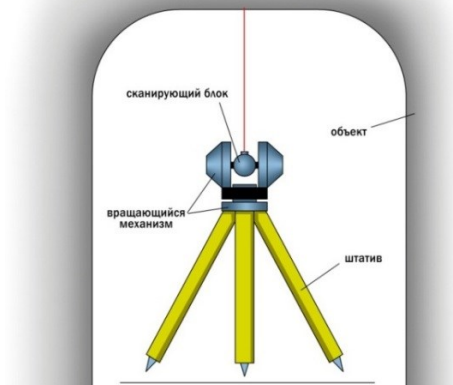


Рис. 4. Схема устройств групп 1, 4, 7
Fig. 4. Scheme of devices of groups 1, 4, 7

Устройства групп 2, 5 и 8 применимы для сканирования изделий средних и малых габаритов. Такие сканеры являются удобными при работе «на месте» благодаря малому весу и габаритам, что, однако, накладывает некоторые ограничения на вычислительные мощности. При работе сканер ориентируется вручную, и это дает возможность сканирования деталей сложной геометрии. Типовыми при-

мерами применения в судостроении являются фланцы и соединительные муфты трубопроводов, корпуса редукторов, элементы грузоподъемных устройств и т. д.

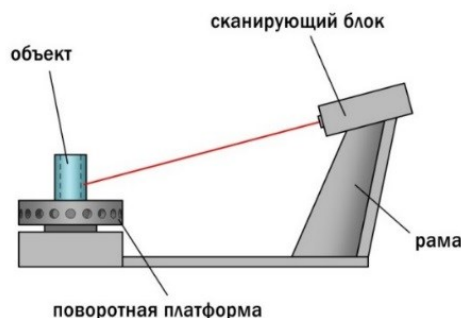


Рис. 5. Схема устройств групп 2, 5, 8
Fig. 5. Scheme of devices of groups 2, 5, 8

Устройства групп 3, 6, 9 могут иметь различную реализацию и характеристики. Общим для них является стационарное расположение. В условиях судостроительной промышленности такой тип сканера применим только для малогабаритных изделий. Отдельно следует отметить гибридные устройства, сочетающие в себе коллаборативный шестиосевой манипулятор с обратной связью и оптический сканер. Данный тип устройств обладает наиболее высокой точностью, но при этом полностью не применим при сканировании внутренних полостей малогабаритных изделий МСЧ. Наиболее распространены конструкции, совмещающие в себе сканирующий блок и одноосевую поворотную платформу. Такая конструкция исключает применение IMU-сенсоров, что дает существенное преимущество в точности приборам группы 9 перед приборами группы 8 при сохранении малой цены устройства. Типовыми примерами применения в судостроении являются малогабаритные изделия без внутренних полостей: корпуса электронных устройств и датчиков, рычаги, кулачки и другие элементы валов и механизмов.

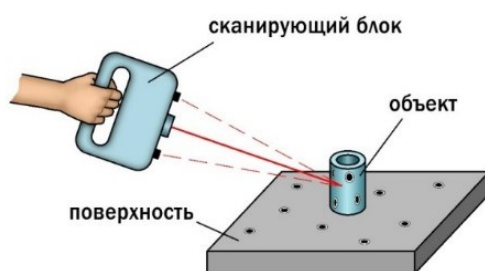


Рис. 6. Схема устройств групп 3, 6, 9.
Fig. 6. Scheme of devices of groups 3, 6, 9

Проблема со сканированием внутренних полостей обусловлена конструкцией прибора. Угол и базовая поверхность в данном случае фиксированы, а распространение луча подчиняется законам линейной оптики. Дополнительные трудности возникают при сканировании изделий, не имеющих плоских граней – их размещение на поворотной платформе без дополнительных опор не представ-

ляется возможным. Дополнительно по тем же причинам обычно требуется проведение сканирования дважды, так как одна из поверхностей изделия находится на платформе и любая геометрия в пределах данной плоскости не может быть отсканирована. Такой недостаток серьезно увеличивает трудоемкость последующей обработки и получения модели ввиду необходимости объединения облаков точек в одно общее.

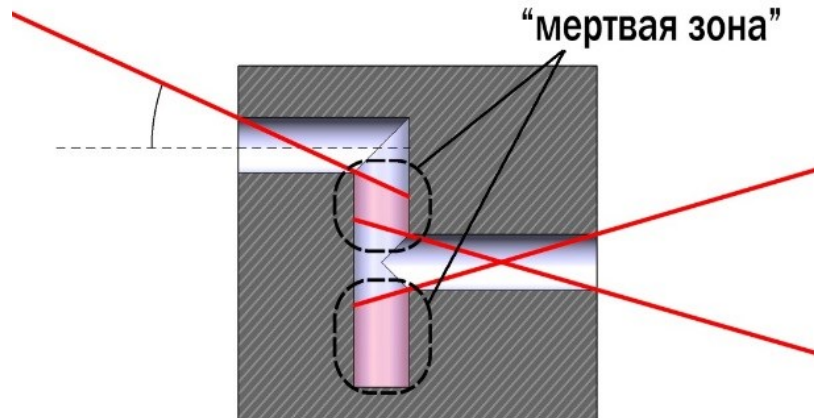


Рис. 7. Проблема сканирования внутренних полостей сканерами групп 3, 6, 9
 Fig. 7. The problem of scanning internal cavities with scanners of groups 3, 6, 9

Важным фактором, определяющим различия между блоками, является реализация сканирующего излучателя и приемников. На сегодняшний день наиболее распространены пары излучатель-приемник, работающие с отраженным светом всего видимого диапазона (группы 7-9) и со светом определенной длины волны (группы 1-6). В свою очередь, лазерные блоки могут быть как независимыми (группы 4-6), так и работающими с коррекцией по меткам (группы 1-3). Для сканирующего оборудования характерна явная зависимость точности измерений от типа и способа реализации сканирующего блока, но главным фактором, влияющим на выбор типа сканирующего блока, обычно является стоимость прибора.

При этом сканирующие блоки группы 1-6, имея монохромный и при этом когерентный источник светового излучения, имеют серьезное преимущество на практике. Так, они менее подвержены воздействию со стороны внешних источников света, менее восприимчивы к цветовой гамме. Проблемы наблюдаются только при совпадении цвета объекта с цветом источника излучения и при значительных значениях отражающей способности. В ходе эксплуатации сканирующих устройств из данных групп был разработан способ проведения сканирования с предварительным покрытием детали слоем матового состава белого цвета [6]. Данный подход позволяет полностью решить вышеописанные проблемы и проводить сканирование узлов любой цветовой гаммы и уровня блеска.

Отдельного упоминания заслуживает работа с изделиями, части которых имеют предельно малые габариты, близкорасположенные мелкие насечки. В судовых изделиях МСЧ примером таких деталей являются решетки систем охлаждения, зубчатые рейки точных линейных передач и элементы разборных муфт труб малого диаметра. Ограничивающим фактором в таком случае может быть

квантовая природа света. Определить минимальное расстояние между двумя мелкими элементами можно исходя из критерия Рэля (1) [7, 8]:

$$\frac{d}{D} > 1.22 \frac{\text{длина волны}}{\text{диаметр объектива}}. \quad (1)$$

К примеру, для сканера Creaform Handyscan 300, который представлен в данной статье, имеются следующие ограничения разрешения по оптической части исходя из формулы (1):

$$\frac{d}{1000} > 1.22 \frac{0.00065}{4.5},$$

$$d = 0.17 \text{ мм.}$$

Данные результаты хорошо согласуются с заявленными характеристиками сканера. По паспорту устройства его разрешающая способность составляет 0.2 мм.

Разрешающая способность сканеров групп 7-9 согласно критерию (1) будет сильно зависеть от цвета сканируемой поверхности. Так, разрешающая способность на синих поверхностях может быть на 30-35% меньше, чем на красных. Зависимость (в рамках реальных диапазонов оборудования) представлена на рис. 8.

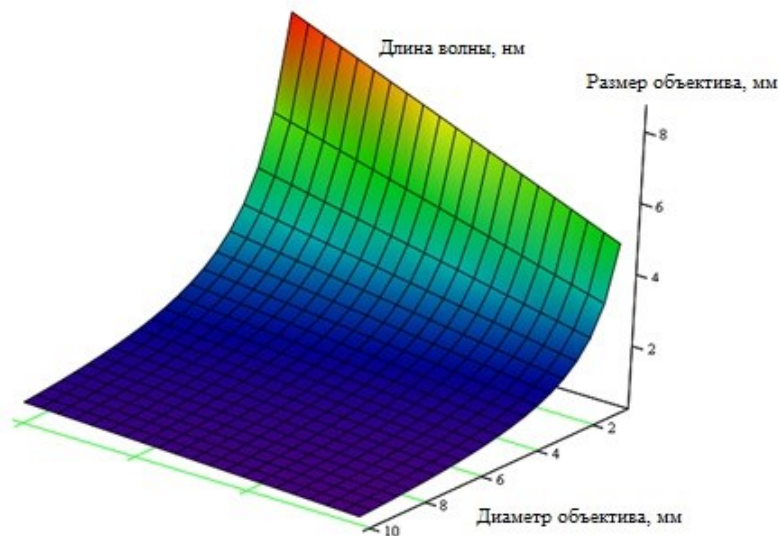


Рис. 8. График зависимости разрешающей способности от конструктивного исполнения излучателя и оптики приемника согласно критерию Рэля
 Fig. 8. Resolution graph of the design of the emitter and receiver optics according to the Rayleigh criterion

Для сканирующих блоков устройств групп 5 и 8 характерно применение в своем составе IMU сенсора, отвечающего за определение положения сканирующего блока в пространстве, так как такие сканеры лишены какой-либо механической связи с базовой плоскостью. В общем случае современный IMU сенсор пред-

ставляет собой комплексный датчик, реализующий функции инерциальной системы навигации и имеющий в составе акселерометр, гироскоп и компас. Работоспособность компаса в составе IMU сенсора в условиях судостроительного производства, а в особенности при работе вблизи мест проведения сварочных работ и других источников электромагнитных и магнитных полей, не представляется выполнимой по причине того, что фоновая напряженность поля в большинстве случаев превышает напряженность магнитного поля Земли и сбивает ориентацию датчика. Однако реализация систем инерциальной навигации при условии заранее заданного азимута не требует коррекции по компасу, а следовательно, возможна работа сканирующего устройства исключительно по данным гироскопа и акселерометра.

Рассмотрим возможные угловые отклонения на основе микросхемы трехосевого гироскопа L3G4200D, относящегося к классу высокопроизводительных гироскопов последнего поколения. Стандартная скорость измерения для данного датчика составляет 1.78575 град/с. Таким образом, любое угловое перемещение устройства быстрее приведет к угловой ошибке, которая будет накапливаться каждый раз при превышении максимально допустимой скорости углового поворота. Такой наглядный пример демонстрирует стандартную проблему накопления ошибки в инерциальных системах навигации. Данный факт делает устройства без коррекции по меткам менее точными по сравнению с их корректируемыми аналогами.

Стоит отметить, что проблемы ошибки IMU сенсора вкуче с недостатками оптического сканирующего блока без источника эталонной монохромной волны являются определяющими факторами, не позволяющими применять устройства группы 8 в качестве точного измерительного устройства, несмотря на его доступность.

Описанные выше недостатки в конструкции устройств группы 8 характерны и для всех видов AR-устройств, использующих в своем составе малогабаритные сканеры, построенные по данной схеме. Таким образом, имеющиеся на рынке AR-устройства не могут быть применены в качестве точного измерительного прибора и могут быть рассмотрены в таком качестве только при условии наличия в их составе сканирующего блока, характерного для сканеров группы 2.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В рамках проводимой работы было просканировано мелкогабаритное судовое изделие МСЧ, а именно – кольца разборной муфты для соединения патрубков малого диаметра (см. рис. 1, 2). Данное изделие имеет малые линейные габариты, насечки по всему внешнему диаметру и сложное строение внутренних полостей.

Для проведения опытных работ были использованы сканеры, представляющие наиболее подходящие группы устройств для данного вида работ, а именно:

- Creaform Handyscan – группа 2;
- 3D Sense – группа 8;
- EinScan SE – группа 9.

В результате проведения пробных измерений было выяснено, что сканеры, представляющие группы 8 и 9, не могут захватить изделие и отличить его от внешней обстановки силами встроенного ПО. При запуске принудительного ска-

нирования в ручном режиме сканер 3D Sense не смог выполнить корректное согласование измеряемых расстояний и перемещения сканирующего устройства. Таким образом, на сканере 3D Sense получить какой-либо результат не представляется возможным. Сканер группы 9 смог провести согласование измерений и углов вращения, однако на итоговом облаке точек не присутствовали различия в диаметре нижней и верхней поверхностей цилиндра. Из проведенных опытов делаем вывод, что сканеры групп 7-9 для сканирования малогабаритных изделий судового МСЧ непригодны.

Представитель группы 2 показал удовлетворительные результаты. Полученное облако точек представлено на рис. 9.

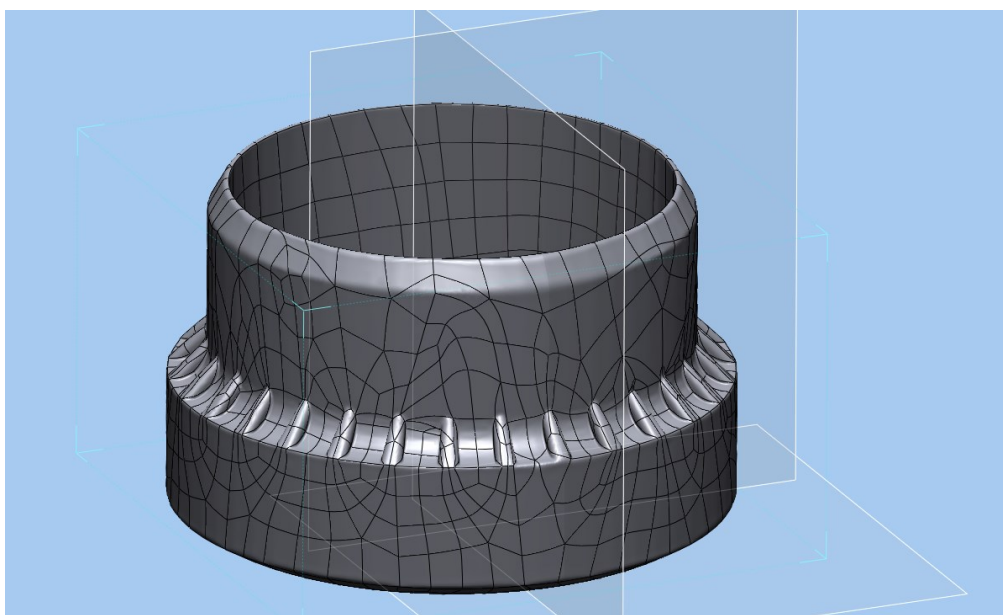


Рис. 9. Поверхностная модель, полученная из облака точек с помощью сканера группы 2 с коррекцией по данным стандартных измерений
Fig. 9. Surface model obtained from a point cloud using a group 2 scanner with correction according to standard measurements

Однако для получения облака точек пришлось использовать матирующее покрытие. Размещение стандартных меток на детали таких габаритов невозможно, поэтому был применен метод размещения меток на двух перпендикулярных базовых плоскостях вокруг сканируемой детали. По облаку можно наблюдать наглядную демонстрацию работы критерия Рэлея – небольшие повторяющиеся элементы в районе изменения диаметров остались неразличимы. Таким образом, итоговая точность измерений составила $\pm 0.45-0.5$ мм при сравнении данных из облака точек и значений внешнего диаметра, полученных с помощью классических методов. Мелкие элементы были потеряны. Проведенный опыт показывает возможность ограниченного применения сканеров группы 2 для сканирования изделий, подобных опытному.

В практике ремонтных мастерских, занимающихся восстановлением поврежденных узлов механики печатающего оборудования, распространен метод

получения размеров плоских деталей с помощью стандартных офисных сканеров высокого разрешения.

Среднее разрешение сканирования для названных устройств составляет 600 dpi, что примерно равно минимальному расстоянию между двумя различными точками в 0.04 мм. Образмеривание изображения производится при помощи стандартных средств редактирования PDF-файлов. С помощью подобного оборудования возможно получение точных размеров плоских деталей, имеющих сложные пазы и форму грани. Стандартным примером такой детали является шестерня механизма привода фотобарабана лазерного принтера.

В рамках работы был проведен анализ применимости данного метода для получения размеров изделий судового МСЧ.

Опыт показал, что получение внешних размеров изделий таким образом возможно. При этом точность измерений достигает значений в 0.05-0.1 мм, что находится выше трехмерных сканеров всех изученных типов. Наглядный пример изображения, полученного этим способом, приведен на рис. 10.

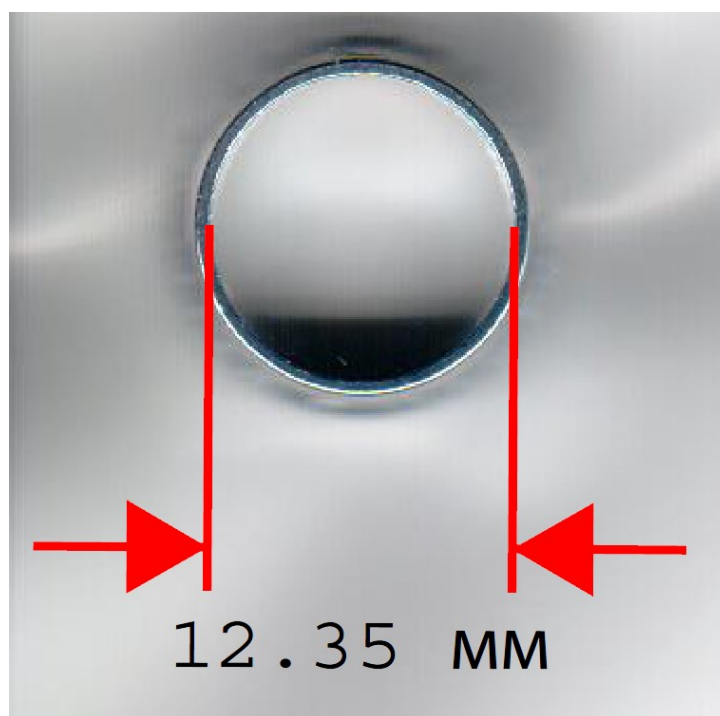


Рис. 10. Изображение торца детали и размер, полученный с помощью офисного сканера (истинный размер 12.30 мм)

Fig. 10. The image of the front edge of the part and the size obtained using the office scanner (true size 12.30 mm)

ВЫВОДЫ

Визуально результаты работы представлены на рис. 11.

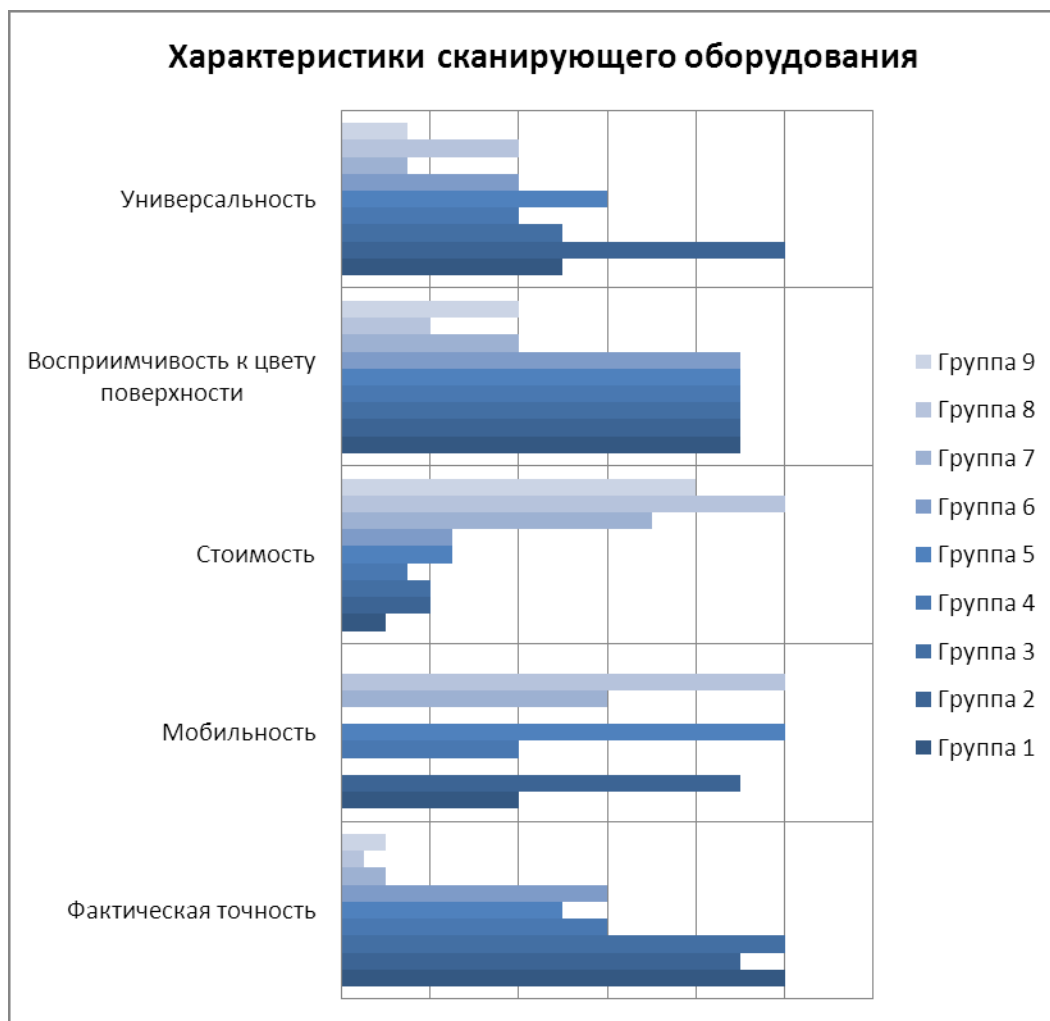


Рис. 11. Диаграмма зависимости характеристик сканирующего оборудования от конструктивных особенностей

Fig. 11. The dependence diagram of the characteristics of the scanning equipment on the design features

В ходе экспериментальной работы по сканированию элемента разборной муфты для патрубков малого диаметра, являющейся примером малогабаритного изделия судового МСЧ, были описаны основные типы сканирующих устройств, определены их достоинства и недостатки как по механической, так и оптико-электронной части. Теоретические выкладки были подтверждены опытными данными, наглядно продемонстрирован критерий Рэлея и влияние квантовой природы света на разрешающую способность сканирующих устройств. Исходя из теоретических и практических данных справедлив вывод о том, что для сканирования малогабаритных судовых изделий МСЧ ограничено применимы только сканеры группы 2, при этом стоит отдавать предпочтение сканерам, имеющим коррекцию по базовым меткам и лазерный излучатель красного или инфракрасного

спектра. Продемонстрирован способ применения офисного оптического сканера в качестве измерительного устройства. Получены графики, наглядно иллюстрирующие возможности современного сканирующего оборудования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Прямыцын, И. Б. Лазерные сканеры: распознавание и воспроизведение в 3D-модели мелких подробностей рельефа / И. Б. Прямыцын [и др.] // Вестник евразийской науки. – 2012. – № 4. – С. 1-9.
2. Прямыцын, И. Б. Настольные лазерные сканеры: новые области применения и точностные характеристики / И. Б. Прямыцын, И. Б. Челпанов, С. П. Аржанухина // Вестник евразийской науки. – 2012. – № 3. – С. 1-7.
3. Рутковский, В. О. Метод получения трехмерных цифровых моделей технических объектов, основанный на применении искусственных текстур / В. О. Рутковский, М. А. Рутковская // Сибирский журнал науки и технологий. – 2010. – № 5. – С. 249-254.
4. Vagovský J., Buranský I., Görög A. Evaluation of Measuring Capability of the Optical 3D Scanner. *Procedia Engineering*. 2015. Vol. 100. pp. 1198-1206.
5. Morovič L., Pokorný P. Optical 3D Scanning of Small Parts. *Advanced Materials Research*. 2012. Vol. 468-471, pp. 2269-2273.
6. Спиридонов, А. Ю. Применение лазерного сканирования для увеличения точности гидрогазодинамических расчетов / А. Ю. Спиридонов [и др.] // Известия КГТУ. – 2019. – № 55. – С. 267-277.
7. Зубайри, М. С. Квантовая оптика / М. С. Зубайри, С. М. Орвил. – Москва: Физматлит, 2003. – 512 с.
8. Шляйх, В. Квантовая оптика в фазовом пространстве / В. Шляйх. – Москва: Физматлит, 2005. – 760 с.

REFERENCES

1. Pryamitsyn I. B., Chelpanov I. B., Kochetkov A. V., Balaban O. M. Lazernye skanery: raspoznavanie i vosproizvedenie v 3D-modeli melkikh podrobnostey rel'efa [Laser scanners: recognition and reproduction of small features in a 3D-model]. *Vestnik evraziyskoy nauki*, 2012, no. 4, pp. 1-9.
2. Pryamitsyn I. B., Chelpanov I. B., Arzhanukhina S. P. Nastol'nye lazernye skanery: novye oblasti primeneniya i tochnostnye kharakteristiki [Desktop laser scanners: new areas of applications and accuracy characteristics]. *Vestnik evraziyskoy nauki*, 2012, no. 3, pp. 1-7.
3. Rutkovskiy V. O., Rutkovskaya M. A. Metod polucheniya tryokhmernykh tsifrovyykh modeley tekhnicheskikh ob'ektov, osnovanny na primenenii iskustvennykh tekstur [Method of 3D digitalization of technical objects based on artificial textures]. *Sibirskiy zhurnal nauki i tekhnologiy*, 2010, no. 5, pp. 249-254.
4. Vagovský J., Buranský I., Görög A. Evaluation of Measuring Capability of the Optical 3D Scanner. *Procedia Engineering*. 2015, vol. 100, pp. 1198-1206.
5. Morovič L., Pokorný P. Optical 3D Scanning of Small Parts. *Advanced Materials Research*. 2012, vol. 468-471, pp. 2269-2273.

6. Spiridonov A. YU., Zobov P. G., Dektyarev A. V., Morozov V. N. Prime-nenie lazernogo skanirovaniya dlya uvelicheniya tochnosti gidrogazodinamicheskikh raschetov [The use of laser scanning to increase the accuracy of hydro and gas dynamic calculations]. *Izvestiya KGTU*, 2019, no. 55, pp. 267-277.

7. Zubayri M. S., Orvil S. M. *Kvantovaya optika* [Quantum optics]. Fizmatlit, 2003, 512 p.

8. SHlyaykh V. *Kvantovaya optika v fazovom prostranstve* [Quantum optics in phase space]. Fizmatlit, 2005, 760 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Зобов Павел Геннадьевич – Институт судостроения и морской арктической техники; бакалавр 4-го курса; направление «Судостроение и системотехника объектов морской инфраструктуры»;
E-mail: pavelzobov98@mail.ru

Zobov Pavel Gennadievich – Institute of Shipbuilding and Marine Arctic Technology; Bachelor of the 4-th year of Shipbuilding and systems engineering of marine infrastructure; E-mail: pavelzobov98@mail.ru

Дектярев Александр Владимирович – Калининградский государственный технический университет; аспирант кафедры кораблестроения;
E-mail: a.dektyarev@shipyard-yantar.ru

Dektyarev Alexandr Vladimirovich – Kaliningrad State Technical University; Post-graduate student; Department of Shipbuilding;
E-mail: a.dektyarev@shipyard-yantar.ru

Морозов Владимир Николаевич – Калининградский государственный технический университет; кандидат технических наук; доцент; академик РАЕН;
E-mail: mvn3613@gmail.com

Morozov Vladimir Nikolaevich – Kaliningrad State Technical University; Doctor of Technical Science; Associate Professor; Academician of RANS;
E-mail: mvn3613@gmail.com

УДК 624.042: 629.5.024

ПРИМЕНЕНИЕ ДЕМПФИРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ
В СИСТЕМЕ АМОРТИЗАЦИИ СУДОВОГО МЕХАНИЗМА

В. И. Сутырин, И. А. Шинкаренко

APPLICATION OF DAMPING MATERIALS
IN THE VIBRATION CONTROL SYSTEM OF THE SHIP MECHANISM

V. I. Sutyurin, I. A. Shinkarenko

Задача защиты команды и пассажиров от вибрации и шума, возникающих при работе судовых механизмов, заключается в том, чтобы по возможности не превышать допустимых значений. Этого можно достичь, если использовать малозумные машины, вспомогательные механизмы и гребные винты; выбирать общее расположение помещений на судне на максимально возможном расстоянии от источников вибрации и шума; устанавливать источники вибрации и шума так, чтобы на корпус судна передавалось меньше звуковой и вибрационной энергии; применять шумопоглощающие материалы и устройства в судовых помещениях и др. Перечисленные мероприятия относятся к акустическому проектированию судовых конструкций. Наиболее широко применяемыми способами борьбы с вибрацией являются виброизоляция и вибродемпфирование. Максимально эффективным представляется оптимальное совместное применение этих двух средств виброзащиты в одной колебательной системе. Если виброизоляция, осуществляемая посредством амортизаторов, эффективно используется и может быть рассчитана с достаточной точностью, то вибродемпфирование применяется менее широко и лишь в виде покрытий на фундаментных конструкциях. К тому же это далеко не всегда дает положительный эффект. В данной работе исследуется возможность демпфирования конструкций сыпучими материалами, а также водой. Такой вид, называемый сдвиговым, оказывается проще и дешевле в реализации, позволяет изменять коэффициент демпфирования в некоторых пределах. В то же время подобное демпфирование, как правило, нелинейное, практически не поддается точному расчету и требует экспериментального обоснования. В работе описана апробация экспериментального метода, предназначенного для определения коэффициента демпфирования сыпучих материалов и жидкостей.

вибрация, демпфирование, амортизация, резонанс, виброизоляция, частотный анализ

The task of protecting the crew and passengers from vibration and noise arising from the operation of ship mechanisms is, if possible, not to exceed the permissible values of vibration and noise levels. This can be achieved by using low-noise machines, auxiliary mechanisms and propellers; choosing the general arrangement of rooms on the

ship at the maximum possible distance from sources of vibration and noise; installing vibration and noise sources so that less sound and vibrational energy is transmitted to the hull; applying sound-absorbing materials and devices in ship premises, etc. These activities relate to the acoustic design of ship structures. The most widely used methods of combating vibration are vibration isolation and vibration damping. The most effective is the optimal combined use of these two means of vibration protection in one oscillatory system. If the vibration isolation carried out by means of shock absorbers is effectively applied and can be calculated with sufficient accuracy, vibration damping is applied less widely and only in the form of coatings on foundation structures. In addition, vibration damping does not always give a positive effect. This paper explores the possibility of damping structures with bulk materials, as well as water. This type of damping of the structure, called shear, is easier and cheaper to implement, and it allows you to change the damping coefficient within certain limits. At the same time, such damping, as a rule, is nonlinear, practically cannot be accurately calculated, and requires experimental substantiation. The work describes the testing of an experimental method designed to determine the damping coefficient of bulk materials and liquids.

vibration, damping, depreciation, resonance, vibration isolation, frequency analysis

ВВЕДЕНИЕ

Демпфирование является одной из основных динамических характеристик, используемых при описании вынужденных колебаний технических систем. Параметр демпфирования, например, важен для инженерного проектирования оснований и фундаментов зданий и сооружений, а также при учете влияния на вибрацию наливных и сыпучих грузов, находящихся в замкнутых объёмах (трюмах, отсеках, танках судов различного назначения). Если для применяемых в судостроении вибродепфирующих мастик методика определения коэффициента демпфирования разработана и реализована на практике, то для жидких и сыпучих материалов, которые используются значительно реже, практически реализованных конструкций не предложено. В ходе проведения авторами экспериментальных исследований предпринята попытка реализовать экспериментальный метод, предложенный в [1, 2]. Также в ходе работы определено влияние коэффициента демпфирования сыпучих материалов и воды на характеристики эффективности специально сконструированной амортизации электродвигателя. Эксперимент проводился таким образом, чтобы при изменении параметров демпфирующего материала минимизировать сопутствующее влияние массы и жесткости конструктивных элементов анализируемой системы.

ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Установка представляет собой имитационный стенд, включающий два уровня амортизации. Каждый из уровней представлен соответствующей массой и амортизирующим креплением. Рабочий механизм стенда – двигатель постоянного тока, вращающий диск с эксцентриком. Двигатель зафиксирован на массивной опорной металлической пластине. Вся данная конструкция, имеющая массу 180 кг, закреплена посредством четырех амортизаторов типа ЭСА–50 к промежу-

точной раме. В свою очередь, промежуточная рама, выполняющая роль массы амортизации второго уровня, закреплена на фундаменте стенда посредством четырех амортизаторов аналогичного типа. Особенность стенда заключается в том, что его промежуточная рама выполнена в виде контейнера (ящика) с жесткими стенками, который может закрываться с одной или с двух сторон, обеспечивая удобную загрузку материалами и требуемую герметичность внутреннего объема. Подобное решение дает возможность производить эксперименты с заполнением полости рамы сыпучими демпфирующими материалами или жидкостями. Данный имитационный стенд позволяет производить опыты и делать измерения характеристик вынужденной вибрации, обусловленной как работой электродвигателя, так и ударным возбуждением системы при помощи специального молотка. Частота вращения ротора электродвигателя изменяется в диапазоне от 1 до 45 об/с.

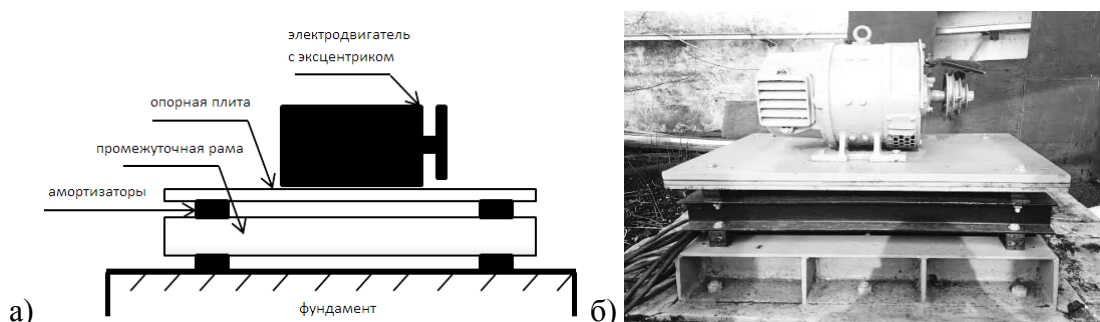


Рис. 1. Устройство имитационного стенда (а) и вид на фото (б)
 Fig. 1. Simulation stand arrangement (a) and the view of the photo (б)

Определение собственных частот механической системы производится резонансным методом, изложенным в [1]. Искомые собственные частоты, формы колебаний и коэффициенты демпфирования определяются по резонансным пикам амплитудных характеристик (рис. 1.) согласно следующей зависимости

$$\xi = (\omega_2 - \omega_1) / 2\omega_{рез} \quad (1)$$

где ω_1 и ω_2 – частоты колебаний, соответствующие точкам а и б пересечения i -го резонансного пика прямой, проведенной параллельно оси абсцисс на расстоянии, равном высоте пика $A_i = A_{max}$, деленной на $(2)^{1/2}$, т.е. $A_0 = 2^{-1/2} A_{max}$; $\omega_{рез}$ – резонансная частота или абсцисса амплитудного пика.

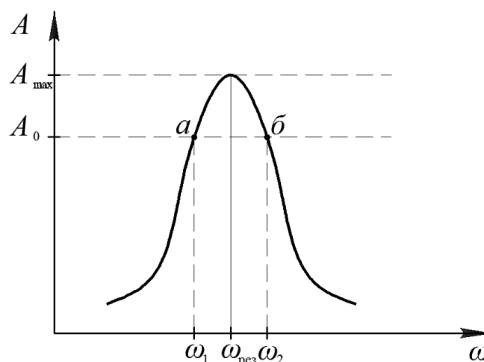


Рис. 2. Определение коэффициента демпфирования по резонансной кривой
 Fig. 2. Determination of the damping coefficient by the resonance curve

Эксперимент проводился таким образом, чтобы оценить влияние на эффективность амортизации именно коэффициента демпфирования, сводя к минимуму изменения других параметров системы амортизации. Чтобы обеспечить указанное условие, промежуточная рама стенда в каждом из экспериментов была наполнена исследуемым материалом так, чтобы масса рамы и, соответственно, ее собственная частота сохранялись одинаковыми. Определяющей при этом считалась масса рамы, наполненной водой с открытой поверхностью. При необходимости дополнительная масса набиралась стальными грузами. Равенство масс промежуточной рамы стенда контролировалось также по значению ее собственной частоты. При необходимости производилась коррекция.

Рассматриваемая колебательная система имеет две характерные резонансные частоты [3, 4]. Первая собственная частота F_{p1} определяется массой и жесткостью системы в целом. На второй частоте F_{p2} максимум амплитуды приходится на промежуточную массу, которая колеблется противофазно относительно основной массы. Эту частоту можно назвать резонансной частотой промежуточной рамы. Ее значение существенно зависит от массы промежуточной рамы. Значение резонансной частоты F_{p2} , а также коэффициент демпфирования ξ_2 на этой частоте представляют основной интерес при оценке влияния демпфирующего материала.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для измерения уровней вибрации и ее частотного анализа использовался анализатор спектра A19-U2 фирмы ZetLab, снабженный датчиками вибрации AP98-100 фирмы Глобалтест. При измерении перепада уровня вибрации с опорной рамы двигателя на фундамент стенда использовались значения среднеквадратических уровней сигнала в третьоктавной полосе анализа, центральная частота которой соответствовала частоте возбуждения (частоте вращения двигателя). При частотном анализе использовался линейный метод усреднения. Усреднение производилось в течение 5 с.

Ударное возбуждение системы выполнялось с помощью ударного молотка 8208 фирмы Bruel & Kaer. Сигналы с датчика вибрации и ударного молотка анализировались с помощью специализированного программного обеспечения «Модальный анализ», входящего в пакет программного обеспечения анализатора спектра A19-U2. По сигналу с ударного молотка компьютер выполнял регистрацию сигналов и преобразование Фурье. Результат представлялся в виде спектра собственных частот конструкции. Для исключения случайных погрешностей выбиралось среднее значение по десяти измерениям.

Экспериментальные измерения проводились последовательно при заполнении полости промежуточной рамы сначала водой с открытой и закрытой поверхностью (в герметичной полости), затем песком различной зернистости, а также эквивалентной массой без демпфирующего материала. В каждом случае производились вибрационные измерения при ударном возбуждении молотком В&К 8208, а затем при работе двигателя на максимальной частоте вращения. В результате в каждом из экспериментов получали набор собственных частот, коэффициентов демпфирования указанными материалами, а также эффективность амортизации, представленную перепадом уровня вибрации. Проанализируем полученные результаты.

1. Ударное возбуждение

Как указывалось выше, при ударном возбуждении определялись основные собственные частоты и коэффициенты демпфирования. Результаты измерений в каждом из экспериментов приведены в табл. 1.

Таблица 1. Измеренные коэффициенты демпфирования и собственные частоты для разных типов материала

Table 1. Measured damping factors and natural frequencies for different types of material

№ п/п	Материал заполнения	Результаты измерения		Примечание
		F_{p2} , Гц	ξ_2 , отн.ед	
1	Вода открытая	34,34	0,0379	
2	Песок крупнозернистый	34,45	0,0401	Песок карьерный 1,6-1,8 мм
3	Песок мелкозернистый	34,41	0,0494	Песок морской 0,6-1,1 мм
4	Вода закрытая	34,51	0,0310	
5	Эквивалентная масса	34,35	0,0306	

Каждое значение получено путем обработки данных по 20 ударам молотком. Видно, что значения частоты F_{p2} очень близки, что обеспечивалось плавным подбором массы материала по значению частоты F_{p2} , полученному в первом случае с заполнением рамы водой. По этим данным можно сделать ряд выводов.

Во-первых, как песок, так и вода, заполняющая полость промежуточной рамы, приводят к значительному увеличению коэффициента демпфирования, т. е. их можно использовать в качестве демпфера в системе амортизации.

Во-вторых, в случае с песком коэффициент демпфирования и, следовательно, потери в системе существенно зависят от величины зернистости песка. Путем изменения зернистости песка имеем возможность изменять коэффициент демпфирования без существенного изменения других параметров системы.

Третий важный вывод касается применения воды. Находясь в герметичном сосуде, не имея открытой границы с воздушной средой, вода мало повлияла на коэффициент демпфирования. Наиболее вероятно, что основную роль в поглощении вибрационной энергии играют поверхностные колебания (волны), сопровождающиеся трением слоев жидкости.

Строго говоря, вышеизложенные выводы справедливы лишь для рассматриваемой собственной частоты. Однако их можно распространить на диапазон частот, в котором элементы экспериментального стенда ведут себя как жесткие твердые тела, т. е. без значимых изгибных деформаций. Для данного стенда, имеющего первую собственную изгибную частоту промежуточной рамы 181 Гц, можно считать конструкцию рамы жесткой вплоть до частот порядка 80-100 Гц.

2. Гармоническое возбуждение

В эксперименте гармоническое возбуждение осуществлялось посредством установленного на стенде электродвигателя постоянного тока. На валу двигателя на расстоянии 50 мм от оси вала был закреплен груз-эксцентрик массой 150 г. Как видно из табл. 1, значение второй резонансной частоты $F_{p2} \approx 34,35$ Гц. Измерения проводились при частоте вращения 34,4 Гц. Таким образом, можно считать, что колебательная система была введена в резонансный режим.

При измерении оценивался перепад уровня вибрации, представляющий собой разницу между среднеквадратическими уровнями вибрации, измеренными на опорной плите механизма (двигателя) и фундаменте стенда. Точки измерений выбирались в местах крепления амортизаторов к плите и опоре фундамента – по четыре на каждой поверхности. Поскольку в представленном эксперименте рассматривалась лишь вертикальная составляющая вибрации, то датчик вибрации ориентировался вертикально и последовательно перемещался по измеряемым точкам. Регистрация сигнала производилась в диапазоне 5-10000 Гц в третьоктавных полосах частот, но в учет бралась лишь полоса 31,5 Гц, в границы которой попадает частота F_{p2} . Пример измеренного третьоктавного спектра показан на рис. 3. Нулевой порог для расчета уровней виброускорения – $0,0003 \text{ м/с}^2$.

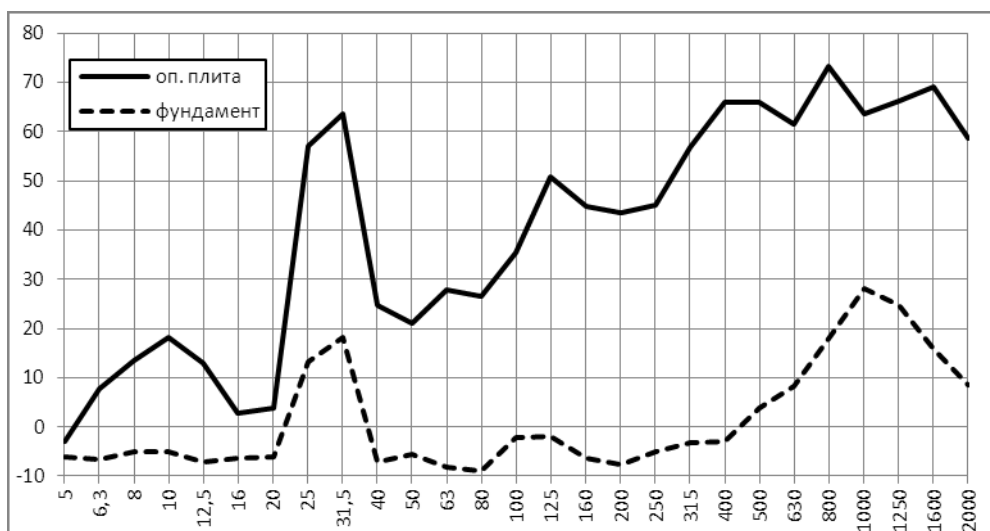


Рис. 3. Третьоктавные спектры вибрации на опорной плите и фундаменте
Fig. 3. The third-octave vibration spectra on the base plate and on the foundation

Как видно из графика, вибрация на частоте вращения двигателя наблюдается как отчетливый пик. В табл. 2 приведены измеренные уровни виброускорений в полосе 31,5 Гц в каждом из случаев заполнения промежуточной рамы демпфирующим материалом.

Таблица 2. Измеренные уровни вибрации на элементах стенда и полученная эффективность амортизации

Table 2. Measured vibration levels on the stand elements and the resulting vibration isolating efficiency

№ п/п	Материал заполнения	Усредненные уровни виброускорения, дБ от-но 300 мкм/с^2		Эффективность амортизации, дБ
		опорная плита	фундамент	
1	Вода открытая	81,7	53,4	28,3
2	Вода закрытая	81,5	55,3	26,2
3	Песок крупнозернистый	80,8	49,9	30,9
4	Песок мелкозернистый	81,0	47,1	33,9
5	Эквивалентная масса	82,0	55,7	26,3

Как видно из табл. 2, при заполнении рамы мелкозернистым песком, вносящим самое большое демпфирование системы, получен максимальный перепад уровней вибрации. При изменении коэффициента демпфирования на 60 % наблюдается изменение перепада вибрации на 7,6 дБ (более чем в два раза в пересчете на абсолютные единицы).

Полученный в ходе данного эксперимента результат, демонстрирующий значительное влияние демпфирования на уровень вибрации на фундаменте, является ожидаемым. Действительно, от введения потерь в систему, преобразующего часть вибрационной энергии в тепловую, следует ожидать уменьшения энергии колебаний, проходящей через амортизаторы. Однако согласно теории [5], такой явный эффект проявляется лишь в области резонансных частот, где потери в максимальной степени определяют свойства системы. Вне резонансных областей влияние демпфирования значительно меньше. В более современной работе [6] на примере однокаскадной системы амортизации методом электромеханических аналогий показано, что для частот выше $\sqrt{2}F_p$ эффективность виброизоляции с увеличением коэффициента демпфирования несколько снижается, но с учетом опасности резонансных режимов работы механизмов демпфирование системы дает в целом положительный эффект, особенно на переходных режимах работы механизмов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе работы экспериментально подтверждена эффективность метода измерения коэффициента демпфирования сыпучих материалов и жидкостей, предложенная в [1, 2].

Установлено, что применение сыпучих материалов позволяет значительно увеличить коэффициент демпфирования системы амортизации. Полученное в ходе эксперимента увеличение измеренного коэффициента демпфирования составило более 60 %.

В ходе эксперимента с вынужденным возбуждением стенда получены данные, согласно которым введение демпфирования улучшает эффективность амортизации в области резонансных частот.

В связи с тем, что коэффициент демпфирования может меняться путем заполнения промежуточной рамы демпфирующими материалами, предложенный метод может применяться как один из методов управления системой амортизации с целью получения требуемых параметров. Один из перспективных вариантов применения – введение регулируемого демпфирования в системе с амортизаторами, характеризующимися малыми потерями, например пружинными или пневматическими.

Коэффициент демпфирования, как показал эксперимент, различен для песка разной зернистости. Также определено, что в случае с заполняющей водой важную роль играет наличие и состояние свободной поверхности, благодаря которой происходит интенсивное движение и внутреннее трение слоев.

Представляет интерес проведение расширенных измерений для экспериментального определения зависимостей коэффициента демпфирования от свойств материалов при возбуждении стенда как в вертикальном, так и горизонтальном направлениях.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Сутырин, В. В. Экспериментальный стенд для определения демпфирующих свойств материалов / В. И. Сутырин, И. А. Шинкаренко, Э. Р. Кужахметова // Известия КГТУ. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2019. – № 52. – С. 177-183.
2. Патент на полезную модель №184 676 РФ, МПК G01N 19/10. Устройство для определения коэффициента демпфирования сыпучих материалов и жидкостей / В. И. Сутырин, И. А. Шинкаренко, Э. Р. Кужахметова // Заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «БФУ им. Им. Канта». – № 2018125340; заявл. 10.07.2018; опубл. 02.11.2018. – 7 с.
3. Сутырин, В. В. Влияние динамических свойств фундамента на виброизоляцию центробежных насосов / В. И. Сутырин, И. А. Шинкаренко // Транспорт и сервис. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «БФУ им. Им. Канта», 2018. – № 6. – С. 117-126.
4. Шинкаренко, И. А. Эффективная виброизолирующая подвеска судового валопровода / И. А. Шинкаренко, В. И. Сутырин // Известия КГТУ. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «КГТУ», 2019. – № 53. – С. 193-201.
5. Клюкин, И. И. Борьба с шумом и звуковой вибрацией на судах / И. И. Клюкин. – Ленинград: Судпромгиз, 1961. – 356 с.
6. Стрелков, С.П. Введение в теорию колебаний: учебник / С. П. Стрелков. – Санкт-Петербург: Лань, 2005. – 440 с.

REFERENCES

1. Sutyurin V. I., Shinkarenko I. A., Kuzhakhmetova E. R. Eksperimental'nyy stand dlya opredeleniya dempfiruyushchikh svoystv materialov [A test stand for determining the damping properties of construction elements and materials]. *Izvestiya KGTU*, 2019, no. 52, pp. 177-183.
2. Patent № 184 676 RF, MPK G01N 19/10. *Ustroystvo dlya opredeleniya koeffitsienta dempfirovaniya syuchikh materialov i zhidkostey* [A device for determining the damping coefficient of bulk materials and liquids]. Sutyurin V. I., Kuzhakhmetova E. R., Shinkarenko I. A.; Zayavitel' i patentoobladatel' FGAOU VO «BFU im. I. Kanta»; № 2018125340; zayavl. 10.07.2018; opubl. 02.11.2018, 7 p.
3. Sutyurin V. I., Shinkarenko I. A. Vliyanie dinamicheskikh svoystv fundamenta na vibroizolyatsiyu tsentrobezhnykh nasosov [Influence of the dynamic properties of the foundation on the vibration insulation of centrifugal pumps]. *Transport i servis*, 2018, no. 6, pp. 117-126.
4. Shinkarenko I. A., Sutyurin V. I. Effektivnaya vibroizoliruyushchaya podveska sudovogo valoprovoda [Efficient vibration isolating suspensions of ship pipelins]. *Izvestiya KGTU*, 2019, no. 53, pp. 193-201.
5. Klyukin I. I. *Bor'ba s shumom i zvukovoy vibratsiey na sudakh* [Combating noise and sonic vibration in ships]. Leningrad, Sudpromgiz Publ., 1961, 356 p.
6. Strelkov S. P. *Vvedenie v teoriyu kolebaniy* [Introduction to the theory of oscillations]. Saint- Petersburg. Lan' Publ., 2005, 440 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Сутырин Валерий Игоревич – Балтийский федеральный университет имени И. Канта; Инженерно-технический институт; доктор технических наук, профессор кафедры машиноведения и технических систем; E-mail: vsutyrin@mail.ru

Sutyurin Valeriy Igorevich – Immanuel Kant Baltic Federal University; Institute of Engineering and Technology; Doctor of Engineering, Professor of the Department of machine and technical systems; E-mail: vsutyrin@mail.ru

Шинкаренко Иван Александрович – Прибалтийский судостроительный завод «Янтарь»; инженер; E-mail: van-125@mail.ru

Shinkarenko Ivan Aleksandrovich – Baltic shipyard «Yantar»; Engineer; E-mail: van-125@mail.ru

УДК 629.5.01.(047)

ПРОВЕРКА СУДНА ТИПА МАЛОГО РЫБОЛОВНОГО БОТА
НА СТАТИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ БУКСИРНОГО КАНАТА

Е. А. Чуреев, И. И. Николаев, Д. В. Злыгостев, И. В. Якута

CHECKING A SFB-TYPE VESSEL FOR STATIC IMPACT OF A TOW ROPE

E. A. Chureev, I. I. Nikolaev, D. V. Zlygostev, I. V. Yakuta

В статье выполнена проверка остойчивости малого рыболовного бота (МРБ) нового проекта при действии буксирного каната в соответствии с требованиями Правил классификации и постройки судов (ПКПС) Российского Речного Регистра. Проверочные расчеты показали, что максимальное статическое плечо восстанавливающего момента судна в два раза меньше плеча кренящего момента от действия на судно статически натянутого буксирного каната, рассчитанного в соответствии с ПКПС. Плечо кренящего момента от динамического действия на судно натянутого буксирного каната на порядок меньше плеча динамической остойчивости судна. Далее была проведена экспериментальная проверка модели МРБ707 на действие рывка буксирного троса в опытовом бассейне научно-исследовательского центра судостроения (НИЦС) КГТУ. Для проведения эксперимента эта модель была выбрана в масштабе 1:5. Расчетный случай нагрузки – наименьшая метацентрическая высота при эксплуатации. Модель не имеет гребного винта и пера руля. С помощью одного троса она набирала необходимую скорость хода, затем трос отпускался, и модель теряла ход. Второй трос в такой момент начинал натягиваться, это означало имитацию обгона буксируемого судна возом. В результате проведенного эксперимента установлено, что при увеличении скорости буксировки возрастала скорость разворота модели судна после натяжения второго троса. Только при скорости 7 уз борт модели вошел в воду, следовательно, можно сделать вывод о достаточной остойчивости судов данного типа, так как при таких высоких скоростях буксировку не проводят. Выполненные исследования позволяют утверждать, что формулы Правил требуют корректировки, при статическом действии буксирного каната палуба модели не входила в воду.

метацентрическая высота, модельный эксперимент, опыт кренования, кренящий момент, буксирный канат, остойчивость

The article has checked the stability of a small fishing boat (SFB) of a new project under the action of a tow rope in accordance with the requirements of the Rules for the Classification and Construction of Ships (RCCS) of the Russian River Register. Verification calculations have showed that the maximum statical lever of the recovery moment of the vessel is two times less than the upsetting lever from action on the vessel of a statically stretched tow rope calculated in accordance with RCCS. The upsetting lever from the dynamic action on the tow rope is by an order smaller than the dynamical-stability lever of the vessel. Next, an experimental verification of the model

«MRB707» (SFB) has been carried out on the effect of tugging of the towing rope in the experimental pool of the science-research center of shipbuilding (SRCS) of Kalinin-grad State Technical University (KSTU). For the experiment, a model has selected on a scale of 1:5. The load case of the vessel has been the lowest metacentric height during operation. The model does not have a propeller screw and a rudder plate. With the help of a cable, the model gained the necessary speed, then the cable was released and the model lost its course. The cable at this moment began to stretch, it meant imitation of overtaking the towed vessel. As a result of the experiment, it has been established that the formulas of the Rules require adjustment. Under the static action of the tow rope, the model deck does not enter the water, it enters the water at a towing speed of 7 knots, but at such a high speed towing is not performed.

metacentric height, model experiment, inclining experiment, heeling moment, tow rope, stability

ВВЕДЕНИЕ

Малые рыболовные боты буксируют лодки с неводами, а после выборки улова загруженные им лодки – обратно [1]. Так как эти суда занимаются буксировкой, то в соответствии с Правилами классификации и постройки судов Российского Речного Регистра [2] считаются буксирами и к их остойчивости предъявляются дополнительные требования, в частности, МРБ должны быть проверены на статическое и динамическое действие буксирного каната.

ПРОВЕРКА ОСТОЙЧИВОСТИ В СООТВЕТСТВИИ С ТРЕБОВАНИЯМИ ПРАВИЛ РОССИЙСКОГО РЕЧНОГО РЕГИСТРА

Согласно п. 3.1.1 ч. II Правил классификации и постройки судов Российского Речного Регистра [2] остойчивость всех судов, имеющих буксирное устройство, должна быть достаточной при статическом воздействии буксирного каната.

Кренящий момент от действия на судно статически натянутого буксирного каната M_c определяется по формуле

$$M_c = F[(z_r/B + f_1)f_2f_3 + 0,65h'_0/B],$$

где F – коэффициент, принимаемый равным $1,12P_c$; P_c – номинальная мощность главных двигателей, в нашем случае $P_c = 30$ кВт; z_r – отстояние точки приложения силы натяжения буксирного каната, измеренное по вертикали от основной плоскости, $z_r = 1,87$ м; B – ширина судна по действующей ватерлинии, $B = 3,3$ м; h'_0 – малая метацентрическая высота судна, вычисляемая с учетом поправки на влияние свободной поверхности жидких грузов, $h'_0 = 0,755$ м; f_1, f_2, f_3 – коэффициенты, которые определяются по формулам, действительным в диапазоне $2,25 < B/T < 8,0$; $B/T = 3,3/0,7 = 4,714$.

$$\begin{aligned} f_1 &= -0,0209 (B/T)^2 + 0,3767 B/T + 1,18; & f_1 &= 2,4464; \\ f_2 &= 0,0058 (B/T)^3 - 0,0904 (B/T)^2 + 0,3512 B/T + 0,3216; \\ f_2 &= 0,576; \end{aligned}$$

f_3 – коэффициент, который принимается равным $0,85$ при условии, что $x'_r > 0,3L$; где x'_r – отстояние точки приложения силы натяжения буксирного каната от центра тяжести судна; $x'_r = 4,647$ м; $0,3L = 3,09$ м;

$4,647$ м $>$ $3,09$ м, следовательно, условие выполняется.

Таким образом, кренящий момент от действия на судно статически натянутого буксирного каната $M_c = 54,54$ кН·м. Плечо кренящего статического момента $l_c = 0,472$ м.

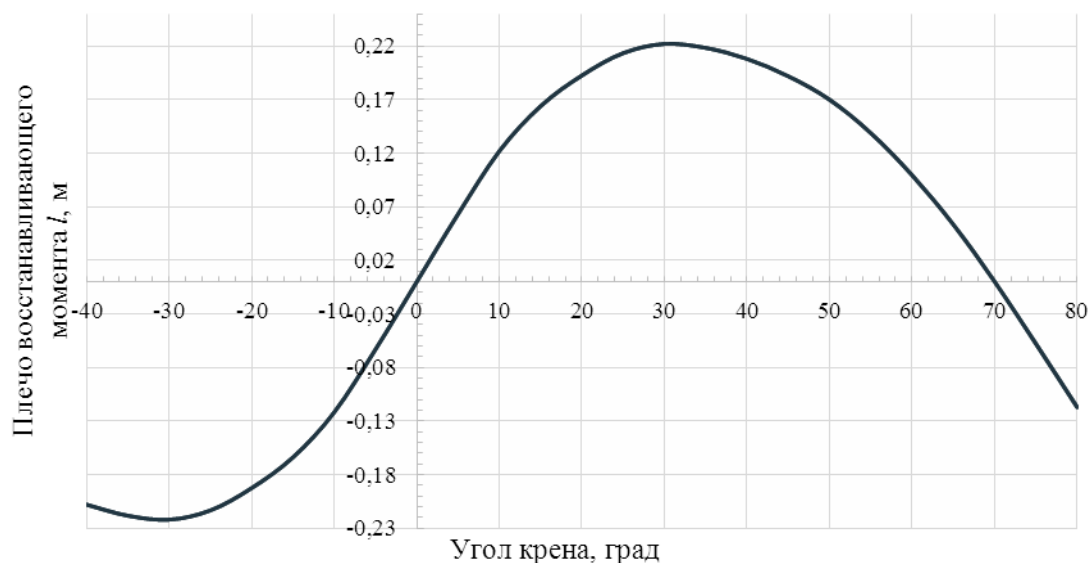


Рис. 1. Диаграмма статической остойчивости для заданного случая нагрузки
 Fig. 1. Static stability diagram for a given load case

Как видно из рис. 1, максимальное статическое плечо восстанавливающего момента судна равно 0,22 м, что в два раза меньше плеча кренящего момента, рассчитанного в соответствии с п. 3.3.3 ч. 2 ПКПС [2].

Остойчивость судов с $z_r > 1,2 z_g$ (z_g – возвышение центра тяжести над основной плоскостью, $z_g = 1,27$ м); (в нашем случае $1,870 > 1,2 \cdot 1,27$) следует проверять при динамическом действии буксирного каната.

Кренящий момент от динамического действия на судно натянутого буксирного каната M_p рассчитывается по формуле

$$M_p = 1,85 wD(k_1 k_2)^2,$$

где w – коэффициент, зависящий от номинальной мощности судна, определяется по формуле (3.3.8-2) [2]; $w = 0,168$; k_1, k_2 – коэффициенты, учитывающие влияние на кренящий момент инерционных и демпфирующих свойств судна, вычисляются по формулам:

$$k_1 = \sqrt{q_2(z_r/B - 1,2 z_g/B) / [0,8 + (x'_r/L)^2 q_1 + (z_r/B - 1,2 z_g/B)^2 q_2]};$$

$$k_2 = 1 + q_3 / \sqrt{(z_r - 1,2 z_g) / B},$$

где q_1, q_3 – находим по табл. 3.3.8-3 [2]; $q_1 = 17,086$; $q_3 = 0,133$; q_2 – параметр, определяемый при $2,25 < B/T < 8,0$ по следующей формуле:

$$q_2 = -13z_g/B + 0,56B/T + 11,56; \quad q_2 = 9,197.$$

Кренящий момент от динамического действия на судно натянутого буксирного каната $M_p = 0,377$ кН·м. Плечо кренящего динамического момента $l_p = 0,003$ м.

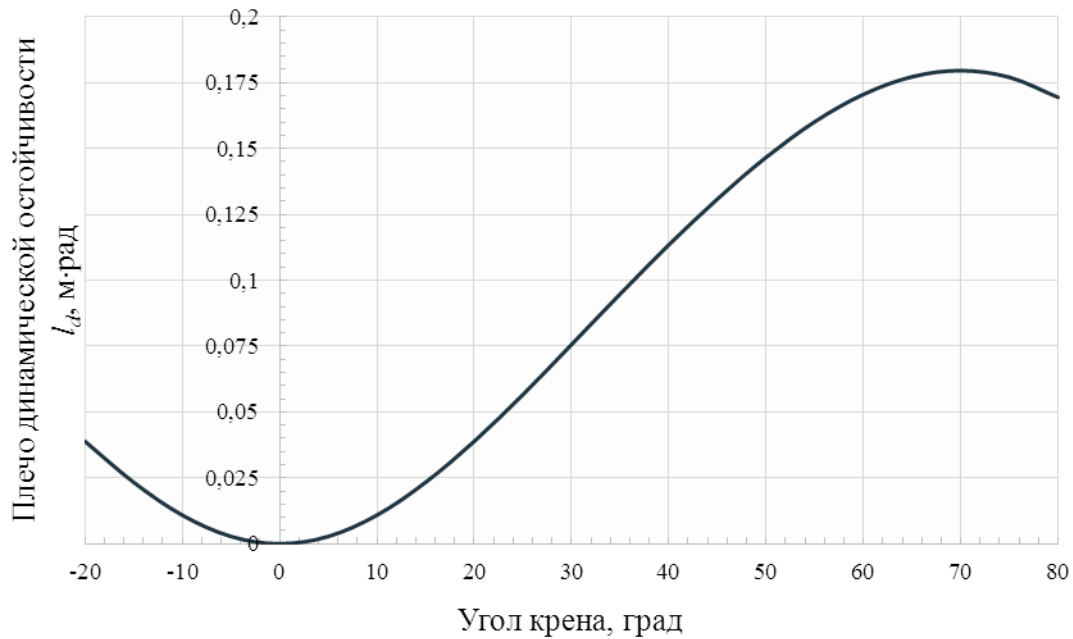


Рис. 2. Диаграмма динамической остойчивости для заданного случая нагрузки
 Fig. 2. Dynamic stability diagram for a given load case

Плечо динамически приложенного момента на порядок меньше плеча динамической остойчивости судна (рис. 2), поэтому проверка по данному пункту пройдена.

ВЫБОР МОДЕЛИ И СЛУЧАЯ ЗАГРУЗКИ. ПОДГОТОВКА МОДЕЛИ К ЭКСПЕРИМЕНТУ

Экспериментальная проверка модели МРБ707 на действие рывка буксирного троса производилась в опытовом бассейне НИЦС КГТУ.

Для проведения эксперимента был выбран масштаб модели 1:5. Случай нагрузки – наименьшая метацентрическая высота при эксплуатации. Модель не имеет гребного винта и пера руля. В табл. 1 приведены характеристики натурного судна и модели.

Таблица 1. Характеристики судна и его модели

Table1. Characteristics of the vessel and its model

№ п/п	Наименование	Размерность	Обозначение	Судно	Модель (1:5)
1	Водоизмещение массовое	т	M	11,77	-
2	Водоизмещение объёмное	м ³	V	11,77	-
3	Ширина корпуса	м	B	3,30	0,66
4	Длина по ватерлинии (ВЛ)	м	L	10,3	2,06
5	Абсцисса центра величины судна	м	x_c	-0,14	-0,028
6	Апplikата центра величины судна	м	z_c	0,43	0,086
7	Исправленная метацентрическая высота	м	h	0,755	0,151
8	Осадка судна носом	м	T_n	0,520	0,104
9	Осадка судна кормой	м	T_x	0,880	0,176

Для данного эксперимента требовалось, чтобы модель была подобна натурному судну по следующим параметрам [3-5]:

- посадка;
- начальная остойчивость (метацентрическая высота h);
- момент инерции относительно продольной оси (I_y).

Вначале модель была нагружена таким образом, чтобы посадка её соответствовала посадке судна. Для этого на модели были отмечены риски, обозначающие необходимую осадку носом и кормой (осадку см. в табл. 1).

Балластировка модели осуществляется грузами на стенде, исходя из кубического отношения объёма натурального судна и модели.

$$M_m = V/125 \cdot \rho_m, \quad (1)$$

где M_m – масса модели с грузом, необходимая для подобия; ρ_m – плотность воды в опытном бассейне, $\rho_m = 999 \text{ кг/м}^3$;

$$M_m = 11,77/125 \cdot 999 = 94,07 \text{ кг}.$$

Далее модель переносится в небольшой бассейн для удифферентовки по заданной посадке. После удифферентовки модель судна достается из воды и взвешивается на весах. Масса модели составила $M_m = 89,7 \text{ кг}$. Отклонение массы от расчетного значения, определённого по формуле (1), равно 4,65%.

Чтобы начальная остойчивость модели и натурального судна были подобны, необходимо соблюдение следующего условия: $h_m = h/5$.

Для определения метацентрической высоты судна проводился опыт кренования, который осуществлялся в малом бассейне с помощью грузов и квадранта.

Опыт проводили следующим образом: два груза (каждый массой 2 кг) перемещали поочередно с одного борта на другой, для измерения угла крена применяли оптический квадрант (он позволяет фильтровать мелкие колебания судна, поэтому для определения угла крена не приходится ждать полного успокоения водной глади, в отличие от электронного инклинометра).

Масса, посадка и начальная остойчивость модели во время испытаний на действие рывка отличаются от их значений во время опыта кренования. Для определения метацентрической высоты модели необходимо снять излишний груз – грузы для кренования и квадрант. Их положения относительно основной плоскости модели известны, поэтому с помощью кривых элементов теоретического чертежа определяется центр тяжести модели без груза во время проведения эксперимента, а затем и метацентрическая высота.

После нахождения метацентрической высоты модели её необходимо привести к значению, подобному натурному судну [5]. Это выполняется с помощью поднятия или опускания груза по оси Z. По формуле (2) можно определить требуемое смещение.

$$\begin{aligned} \Delta z_{zp} &= M_m \cdot \Delta z_g / M_{zp}; \\ \Delta z_g &= -\Delta h_m, \end{aligned} \quad (2)$$

где M_m – масса модели; Δz_g – необходимое смещение центра тяжести модели; Δz_{zp} – перемещение относительного начального положения выбранного груза; M_{zp} – масса выбранного груза для смещения.

Продольный момент инерции I_y модели определяется эмпирическим методом. На специальном устройстве модель раскачивается, как на качелях, а затем полученные углы наклона и период качки используются в расчётах.

ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА

На рис. 3 представлена схема эксперимента.

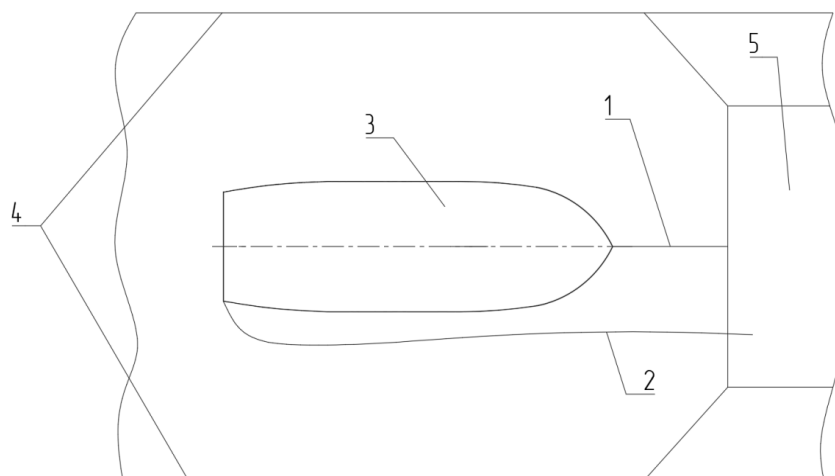


Рис. 3. Схема испытаний:

1 – трос для разгона модели; 2 – имитация буксировочного троса;
3 – модель; 4 – стенки опытового бассейна; 5 – буксировочная тележка

Fig. 3. Test scheme:

1 – cable for acceleration of the model; 2 – imitation of a towing rope;
3 – model; 4 – walls of the experimental basin; 5 – towing trolley

С помощью троса 1 модель набирала необходимую скорость хода. Затем трос отпускался, и модель теряла ход. Трос 2 в этот момент начинал натягиваться, так как тележка 5 имеет постоянную скорость, в отличие от модели судна 3. Когда трос 2 натягивался, это означало имитацию обгона буксируемого судна возом. При этом размеры буксируемого судна (воза) можно принять как бесконечно большие [4].

Испытания проводились на скоростях, представленных в табл. 2.

На рис. 4-8 показаны фото испытаний модели при скоростях от 3 до 7 уз. В результате проведённого эксперимента установлено, что при увеличении скорости буксировки возрастала скорость разворота модели судна после натяжения троса. Только при скорости 7 уз борт модели вошел в воду, следовательно, можно сделать вывод о достаточной остойчивости судов данного типа, так как при таких высоких скоростях буксировку не проводят.

Таблица 2. Скорость модели при испытаниях

Table 2. The speed of the model during tests

№ п/п	Скорость судна v_s , уз	Число Фруда Fr	Скорость модели v_m , м/с
1	3,00	0,153	0,690
2	4,00	0,205	0,919
3	5,00	0,256	1,149
4	6,00	0,307	1,379
5	7,00	0,358	1,609



Рис. 4. Испытание модели при скорости буксировки 3 уз
Fig. 4. Model test at a towing speed of 3 knots



Рис. 5. Испытание модели при скорости буксировки 4 уз
Fig. 5. Model test at a towing speed of 4 knots



Рис. 6. Испытание модели при скорости буксировки 5 уз
Fig. 6. Model test at a towing speed of 5 knots



Рис. 7. Испытание модели при скорости буксировки 6 уз
Fig. 7. Model test at a towing speed of 6 knots



Рис. 8. Испытание модели при скорости буксировки 7 уз
Fig. 8. Model test at a towing speed of 7 knots

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные теоретические исследования устойчивости МРБ на статическое и динамическое действие буксирного каната показали, что судно выдерживает кренящий момент от действия динамически натянутого каната, а вот кренящий момент от статического воздействия буксирного каната в два раза больше плеча восстанавливающего момента.

В результате проведенного эксперимента установлено, что формулы Правил [2] требуют корректировки: при статическом действии буксирного каната палуба модели не входила в воду. Она вошла в нее при скорости буксировки 7 уз, а при такой высокой скорости буксировку не выполняют. Теоретические и экспериментальные исследования показали, что суда типа МРБ представляют собой буксиры с достаточным запасом устойчивости.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Батуев, А. Д. Статическое действие буксирного каната на бот / А. Д. Батуев // VI Международный Балтийский морской форум [Электронный ресурс]: материалы форума. – Калининград: Изд-во БГАРФ, 2018. – С. 87-90. URL: http://www.klgtu.ru/upload/science/conferences/bmf/2018/mat_forum/2_staty.pdf (дата обращения 15.03.2019).
2. Правила классификации и постройки судов (ПКПС), ч. 2. Российский речной регистр, Москва, 2015 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.rivreg.ru/assets/Uploads/rules2015/rules062018.pdf> (дата обращения 15.03.2019).
3. Гайкович, А. И. Теория проектирования водоизмещающих кораблей и судов: моногр.: в 2 т. / А. И. Гайкович. – Санкт-Петербург: МОРИНТЕХ, 2014. – Т. 2 – 872 с.
4. Войткунский, Я. И. Справочник по теории корабля: в 3-х т. / Я. И. Войткунский. – Ленинград: Судостроение, 1985. – Т. 2. Статика судов. Качка судов. – 440 с.
5. Гальчук, В. Я. Техника научного эксперимента / В. Я. Гальчук, А. П. Соловьев. – Ленинград: Судостроение, 1982. – 256 с.

REFERENCES

1. Batuev A. D. *Stichesкое deystvie buksirnogo kanata na bot* [Static effect of the tow rope on the boat]. VI Mezhdunarodnyy Baltiyskiy morskoy forum [VI International Baltic Maritime Forum]. Kaliningrad, 2018, pp. 87-90, available at: http://www.klgtu.ru/upload/science/conferences/bmf/2018/mat_forum/2_staty.pdf (Accessed 15 March 2019).
2. *Pravila klassifikatsii i postroyki sudov (PKPS), chast' 2. Rossiyskiy rechnoy registr* [Rules for the classification and construction of ships (RCCS), Part 2. Russian River Register]. Moscow, 2015, available at: <https://www.rivreg.ru/assets/Uploads/rules2015/rules062018.pdf> (Accessed 15 March 2019).
3. Gaykovich A. I. *Teoriya proektirovaniya vodoizmeshchayushchikh korablye i sudov* [Theory of the design of displacement ships and vessels]. Saint-Petersburg, MORINTEKH, 2014, 872 p.
4. Voytkunskiy Ya. I. *Spravochnik po teorii korablya: v trekh tomakh. Tom 2. Statika sudov. Kachka sudov* [Ship theory handbook: in three volumes. Volume 2. Statics of ships. Ship motions]. L., Sudostroenie, 1985, 440 p.
5. Gal'chuk V. Ya., Solov'ev A. P. *Tekhnika nauchnogo eksperimenta* [Science Experiment Technique]. L., Sudostroenie, 1982, 256 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Чуреев Евгений Андреевич – Калининградский государственный технический университет; старший преподаватель кафедры кораблестроения;
E-mail: e.chureev@klgtu.ru

Chureev Evgeniy Andreevich – Kaliningrad State Technical University;
Senior Lecturer of the Department of Shipbuilding; E-mail: e.chureev@klgtu.ru

Николаев Игорь Игоревич – Калининградский государственный технический университет; инженер-конструктор КБ научно-исследовательского центра судостроения; E-mail: igor.nikolaev@klgtu.ru

Nikolaev Igor Igorevich – Kaliningrad State Technical University;
Design Engineer at the Design Bureau of the Shipbuilding Research Center;
E-mail: igor.nikolaev@klgtu.ru

Злыгостев Денис Валерьевич – Калининградский государственный технический университет; директор научно-исследовательского центра судостроения;
E-mail: denis.zlygostev@klgtu.ru

Zlygostev Denis Valerievich – Kaliningrad State Technical University;
Director of the Shipbuilding Research Center;
E-mail: denis.zlygostev@klgtu.ru

Якута Ирина Владимировна – Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота; кандидат технических наук; доцент кафедры безопасности мореплавания;
E-mail: kaf-bm@bga.gazinter.net

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

ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ АПК

УДК 331.5

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РЫНКА ТРУДА В ПЕРВИЧНОМ СЕКТОРЕ
РОССИЙСКОГО АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА В УСЛОВИЯХ
ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭКОНОМИКИ

А. Г. Мнацаканян, О. Г. Огий, А. Г. Харин

CURRENT STATE AND PROSPECTS OF THE LABOR MARKET
IN THE PRIMARY SECTOR OF RUSSIAN AGRICULTURE IN TERMS
OF DIGITALIZATION OF THE ECONOMY

A. G. Mnatsakanyan, O. G. Ogij, A. G. Kharin

Человеческий капитал, определяющий качество рабочей силы, выступает главным фактором современного экономического развития. Инновационная цифровая экономика предъявляет особые требования к работникам всех отраслей и профессий, в том числе занятым в агропромышленном комплексе (АПК). Первичный сектор АПК, включающий сельское, лесное и рыбное хозяйство, – наименее изученная с точки зрения возможностей и особенностей процесса цифровизации часть российской экономики. Вместе с тем сектор находится на пороге масштабных перемен, обусловленных переходом к принципам и моделям цифровой экономики. Главной движущей силой этих перемен являются люди – работники, знания и трудовые навыки которых во многом определяют успех реформ в экономике. Цель исследования состоит в оценке текущего и перспективного состояния рынка труда в отраслях первичного сектора АПК. Последовательно рассматриваются тенденции развития российского АПК, прежде всего, обусловленные фактором «труд». Анализируется состояние сельского рынка труда и выявляются его основные особенности и ключевые проблемы. Оценивается текущая и будущая востребованность специалистов АПК с позиций требований, предъявляемых к системе профессионального образования. Результатом исследования стал вывод о дефиците на сельском рынке труда работников, имеющих знания и компетенции для эффективной работы в условиях инновационной цифровой экономики. Методологической основой исследования является системный подход, позволяющий связать тенденции развития АПК с состоянием и перспективами отраслевого рынка труда. Информационную базу работы составляют нормативные документы, данные Росстата, а также материалы аналогичных исследований других авторов.

агропромышленный комплекс, инновации, цифровая экономика, рынок труда, рабочая сила, система профессионального образования

Human capital determines the quality of the workforce and is a key factor in the development of the modern economy. The digital economy has special requirements for workers in all sectors and professions, including the agroindustrial sector. A primary agroindustrial sector, including agriculture, forestry and fisheries, is the least studied part of the Russian economy in terms of capabilities and features of the digitalization

process. But this sector is on the verge of large-scale changes due to the transition to a digital economy. The main driving force behind these changes is people - workers, whose knowledge and labor skills largely determine the success of economic reforms. The purpose of this paper is to assess the current and future state of the labor market in the primary agroindustrial sector. We are consistently considering the development trends of the Russian primary agroindustrial sector, first of all, due to the "labor" factor. Then we analyze the state of the rural labor market, and its main features and key problems are revealed. In conclusion, we evaluate the current and future demand for agricultural specialists from the standpoint of the requirements for professional education. The result of our study is the conclusion that the rural labor market lacks for workers with knowledge and competencies for an innovative and digital economy. The methodological basis of this study is a system approach linking agricultural development trends with the current situation and labor market prospects. The information base of our study is normative documents, state statistics and materials from similar studies of other authors.

agroindustrial sector, innovations, digital economy, labor market, labor force, vocational training system

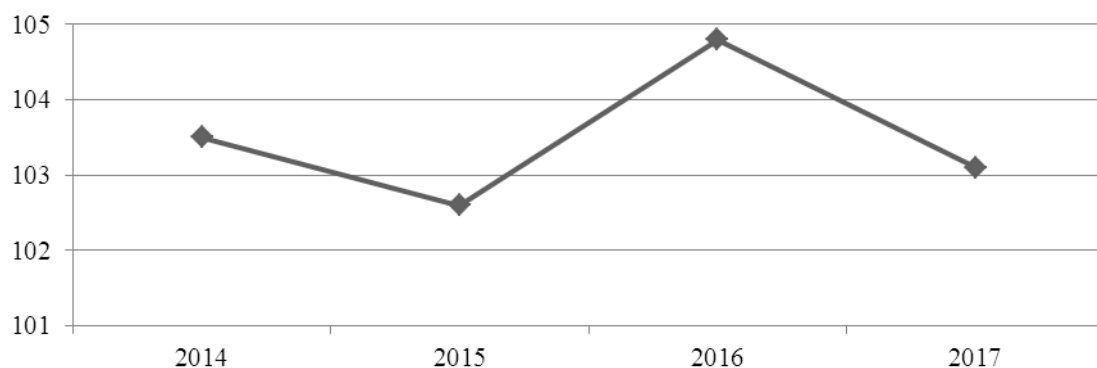
ВВЕДЕНИЕ

Рынок труда наряду с другими рынками выступает неотъемлемой частью современной экономики, обеспечивая ее полноценное функционирование и развитие. Как все другие рынки, он основывается на категориях спроса и предложения. Известно, что спрос на рабочую силу определяется общей потребностью экономики в данном ресурсе, в то время как предложение зависит от наличия свободной рабочей силы и ее способности к труду. Сегмент рынка труда – сельский рынок труда, опосредующий социально-экономические отношения между работниками и работодателями, осуществляющими деятельность в сфере сельского, лесного и рыбного хозяйства, функционирует в рамках общих закономерностей рыночной экономики. Но наряду с универсальными, общеэкономическими факторами, такими как численность сельских трудовых ресурсов, сложившаяся структура и уровень занятости населения, предпринимательская активность и т. п., особенностью современного этапа развития сельского рынка труда является рост спроса на работников, умеющих действовать в условиях динамично меняющихся требований к знаниям и компетенциям. Указанная особенность является прямым следствием активизации процессов технологической модернизации и цифровой трансформации отечественного агропроизводства, перспективы которых во многом зависят от возможностей трудоворесурсной базы. На фоне быстрого роста российского агропромышленного сектора в последние годы существует неудовлетворенный спрос на работников как традиционных профессий, так и связанных с использованием современной техники и технологий, особенно основанных на цифровых методах ведения хозяйственной деятельности. Данное обстоятельство обуславливает актуальность изучения сельского рынка труда с точки зрения его готовности к поддержке процессов инновационного развития и цифровизации российской экономики.

1. ТЕНДЕНЦИИ И ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ ПЕРВИЧНОГО СЕКТОРА РОССИЙСКОГО АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

Сельское и лесное хозяйство, рыболовство и рыбоводство относятся к числу ключевых отраслей российской экономики и образуют первичный сектор агропромышленного комплекса (АПК), в состав которого помимо них также входит обрабатывающая промышленность, ряд поддерживающих и обеспечивающих отраслей, таких как сельскохозяйственное машиностроение, судостроение, производство кормов, удобрений и средств защиты, логистика и др. В 2017 г. в валовом внутреннем продукте (ВВП) страны доля сельского и лесного хозяйства составляла 4,4 %, рыбного хозяйства – 0,3 %, в абсолютном измерении данный показатель в сумме по двум отраслям превышал 600 млрд. руб. [1]. Несмотря на то, что удельный вес сельского, лесного и рыбного хозяйства в структуре ВВП относительно невелик, данные отрасли выступают одним из драйверов роста экономики России. Также следует отметить, что АПК на сегодняшний день является главным направлением не только социально-экономического развития России, но и входит в число приоритетов обеспечения продовольственной и, в более широком смысле, национальной безопасности.

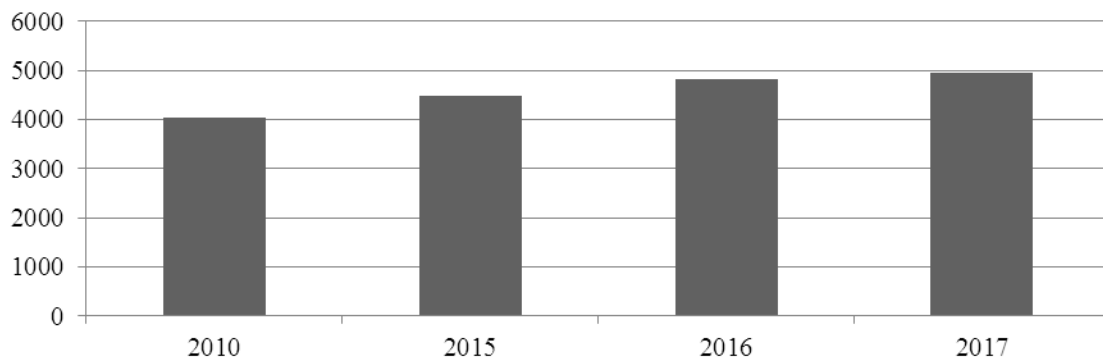
В последнее время на фоне общих тенденций развития российской экономики проявилась специфическая особенность сельского, лесного и рыбного хозяйства – эти отрасли в меньшей степени, чем многие другие подвержены влиянию кризисных явлений и в случае благоприятных природных условий способны обеспечивать высокие результаты. Дополнительными факторами роста рассматриваемых отраслей стала стратегия государства, нацеленная на поддержку АПК и в частности политика импортозамещения, получившая новый импульс после введения эмбарго на импорт в Россию некоторых видов продовольствия в 2014 г. В результате в течение нескольких лет в Российской Федерации наблюдается устойчивый (ежегодно на 3-5%) рост производства продукции сельского и рыбного хозяйства (рис. 1 и 2).



Источник: Росстат

Рис. 1. Индексы производства продукции сельского хозяйства, %

Fig. 1. Indices of agricultural production, %



Источник: Росстат

Рис. 2. Улов рыбы и других водных биоресурсов, тыс. т

Fig. 2. Catch of fish and other aquatic biological resources, thousand tons

Достиженные показатели производства продукции сельского и рыбного хозяйства свидетельствуют об успешности политики импортозамещения и росте уровня продовольственной безопасности нашей страны. Доля импортной продукции в обороте розничной торговли продовольствием снизилась с 36 % в 2013 г. до 23 % в 2016 г., а обобщенный показатель импортозависимости России с уровня 11-14 %, на котором он оставался более 10 лет, сократился до 6 % в 2016 г. [2]. Деятельность АПК в целом положительно отразилась на обеспеченности и доступности продуктов питания. В настоящее время по большинству основных видов продовольствия фактический уровень потребления на душу населения достиг или даже превысил рекомендуемые медицинские нормы потребления (хлеб и хлебобулочные изделия, картофель, мясо и мясопродукты, яйцо, сахар, масло растительное). Также близок к рекомендуемому уровень потребления овощей и рыбопродуктов.

Вместе с тем на фоне в целом успешного развития российского АПК во входящих в его состав отраслях остается ряд нерешенных вопросов. Наиболее важную и общую для всех отраслей АПК проблему составляет низкий потребительский спрос и отсутствие в обозримом будущем перспектив роста реальных доходов населения. Другой не менее существенной проблемой отечественного АПК является обеспечение устойчивой конкурентоспособности, в том числе за счет массового перехода его отраслей на инновационный путь развития. В частности, согласно исследованию компании «Делойт» подавляющее большинство (89 %) руководителей российского АПК среди первоочередных задач называют повышение конкурентоспособности и эффективности за счет автоматизации ключевых процессов – использования систем точного земледелия, «умных» ферм и аквакультурных хозяйств, углубления степени переработки продукции [3]. Решающую роль в осуществлении этих нововведений играют работники предприятий, уровень знаний и квалификация которых во многом являются залогом успешного развития отрасли.

Сложность решения задачи полноценной реализации потенциала сельской рабочей силы в качестве одного из драйверов устойчивого развития АПК определяется тем, что в настоящее время значительная часть сельского населения занята вне сферы «видимой» экономики, официально числясь безработными или самозанятыми на приусадебных участках, где преобладают архаичные технологии производства. Данная проблема является следствием несбалансированности сельских

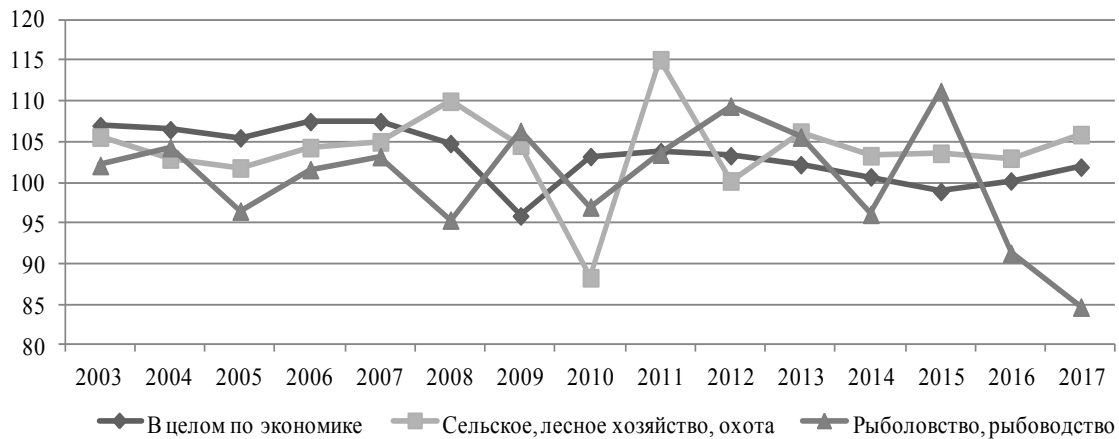
трудовых ресурсов, выражающейся в их избыточности в одних регионах (например, юг России и Северный Кавказ) и недостаточности в других (Нечерноземье, северные и восточные регионы РФ). Кроме того, при относительно большой доле сельского населения существует острый дефицит квалифицированных сотрудников рабочих специальностей, чему способствует неэффективная система профессионального образования. Хроническое недофинансирование аграрного образования и науки в течение многих лет привело к их деградации и дефициту соответствующих требованиям современной экономики специалистов АПК [2].

Инновации в экономике неразрывно связаны с прогрессом в области экономики знаний, главной движущей силой которого выступают люди, обладающие знаниями и воплощающими их на практике. Современные цифровые технологии создают высокоэффективную организационную среду, которая, с одной стороны, минимизирует влияние человеческого фактора, а с другой – предъявляет новые, более высокие требования к работникам, использующим эти технологии. Ключевым условием успеха развития цифровой экономики во многих традиционных отраслях, в том числе в АПК, выступают не технологии как таковые, а работники, эффективно применяющие эти технологии. Поэтому важное место в процессе инновационного развития и цифровизации отраслей АПК занимает проблема развития человеческого капитала. Изменение требований к знаниям и навыкам работников и специалистов этих отраслей имеют последствия не только для компаний, но и для систем формального образования всех уровней, готовящих работников отрасли. Эти изменения требуют модернизации систем образования и профессионального обучения, включая разработку новых учебных планов, в целях их приведения в соответствие с текущими и перспективными тенденциями развития цифровых технологий. Приоритетом отраслевого образования должно стать формирование у учащихся – будущих работников и специалистов АПК когнитивных, коммуникационных и специальных профессиональных навыков, отвечающих потребностям цифровой экономики [4].

Текущее относительное благополучие отрасли во многом обеспечивается за счет низкого уровня конкуренции на внутреннем продовольственном рынке. Немаловажным фактором также является рост технико-технологической вооруженности АПК. Так, согласно рассчитываемому Росстатом индексу изменения фондовооруженности, темпы прироста уровня оснащенности труда в первичном секторе АПК заметно опережают соответствующий показатель всей российской экономики (106,7 % против 103,9 % в 2017 г.) [5]. В результате в последнее время сельская экономика быстро генерирует новые высокопроизводительные рабочие места. Если в целом в российской экономике за период с 2014 по 2018 г. темпы роста числа высокопроизводительных рабочих мест в среднем составляли 3 % в год, то в первичном секторе АПК этот рост был 8 %, причем в 2017-2018 гг. ежегодные темпы роста достигали 19 %, почти в 2 раза опережая среднероссийские [6].

Наряду с благоприятной рыночной конъюнктурой рост уровня технико-технологической вооруженности труда обусловил высокую динамику производительности труда в ряде отраслей АПК. Начиная с 2013 г., темпы роста производительности труда в сельском и лесном хозяйстве стабильно опережают соответствующий среднероссийский показатель. Так, если за последние пять лет среднегодовые темпы роста производительности труда в российской экономике не превышали 1 %, то в сельском и лесном хозяйстве они составляли 4,4 % [7]. В то же

время рыболовство и рыбоводство демонстрируют резкое снижение производительности труда на фоне прочих высоких производственных и финансовых результатов (рис. 3). Причины такого падения многогранны [8, 9]. Они, помимо прочего, связаны с масштабной модернизацией рыбной отрасли, что также повышает требования к качеству рабочей силы.



Источник: Росстат

Рис. 3. Динамика индекса производительности труда в российской экономике и отраслях первичного сектора АПК, %

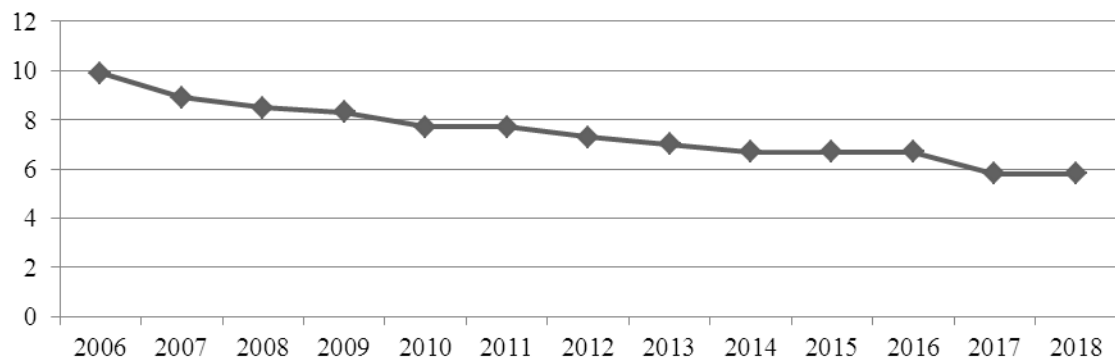
Fig. 3. Dynamics of the labor productivity index in the Russian economy and in the sectors of the primary agroindustrial sector, %

Таким образом, несмотря на благополучную динамику большинства экономических показателей отраслей первичного сектора российского АПК, в условиях технологической модернизации и цифровой трансформации отечественной экономики перспективы их развития во многом обусловлены возможностями трудоресурсной базы.

2. ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ РЫНКА ТРУДА В ПЕРВИЧНОМ СЕКТОРЕ РОССИЙСКОГО АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

Сектор, представленный видами деятельности в сфере сельского, лесного и рыбного хозяйства, занимает видное место на рынке труда в РФ. Он формирует 8,7 % всех рабочих мест в российской экономике. Особенностью данного сектора является то, что значительная часть рабочих мест в нем организована в рамках бизнесов без образования юридического лица и в фермерских хозяйствах. На их долю приходится 22,2 % аналогичных рабочих мест, имеющих во всей российской экономике. Сельская экономика также доминирует по числу работников, осуществляющих трудовую деятельность по производству продукции для личного использования (94,7 % от соответствующего общероссийского показателя) [10].

Роль рассматриваемого сектора в обеспечении занятости населения последовательно сокращается. В течение более чем десятка лет существует устойчивая тенденция уменьшения доли трудоспособного населения страны, работающего в первичном секторе АПК. В результате доля сельского, лесного и рыбного хозяйства в общей численности трудоспособных граждан, занятых в экономике, за последние 12 лет сократилась в 1,7 раза (рис. 4). Первичный сектор АПК стал лидером среди отраслей российской экономики по сокращению работников.



Источник: Росстат

Рис. 4. Доля видов экономической деятельности «Сельское, лесное хозяйство, охота, рыболовство и рыбоводство» в общей численности занятого населения в возрасте 15-72 лет, %

Fig. 4. The share of economic activities «Agriculture, forestry, hunting, fishing and fish farming» in the total number of employed people aged 15-72 years, %

Несмотря на сокращение общего числа занятых в сельской экономике, на фоне негативной миграционной динамики в виде стабильного оттока сельского населения в города в последние годы наблюдается рост уровня занятости на селе. В 2014 г. данный показатель среди сельского населения в трудоспособном возрасте достиг 70,7 %. Устойчиво растет занятость и среди сельской молодежи в возрасте 20-29 лет. Одновременно уровень занятости лиц в возрасте 15-19 лет снижается в связи с увеличением числа молодых людей, обучающихся по дневной форме обучения, и неконкурентоспособностью профессионально неподготовленной молодежи на рынке труда [11]. Сельский рынок труда также имеет определенные отличия в гендерной структуре занятости [12].

Высокий текущий уровень занятости на селе и рост АПК, генерирующего новые рабочие места, находят отражение в снижении коэффициента напряженности на сельском рынке труда (рассчитывается как отношение общей численности безработных к количеству вакансий). Однако неблагоприятной тенденцией является увеличение лага между общей и зарегистрированной безработицей на селе. Численность сельских безработных, состоящих на регистрационном учете в государственных органах занятости, сокращается опережающими темпами по сравнению с общей численностью сельских безработных, учтенных по методологии МОТ. В результате разрыв между уровнями зарегистрированной и общей безработицы с 2010 по 2014 г. вырос на 35 % [11]. Помимо методологических причин, такая ситуация является следствием сохраняющейся неконкурентоспособности значительной части сельского населения на рынке труда.

Сфера аграрного производства по-прежнему остается основным местом приложения труда на сельских территориях во многих российских регионах. Согласно данным государственной статистики наибольший уровень агроризации сельских территорий сложился в Тамбовской области, где удельный вес сельского населения, занятого в сельском хозяйстве, составляет 39 %, а также в Белгородской (37 %), Омской (31 %), Оренбургской (30 %) областях, республиках Татарстан (36 %) и Кабардино-Балкария (31 %) [10]. Столь важное значение АПК в обеспечении занятости населения определяет необходимость специальной госу-

дарственной политики в этой сфере. Одним из ключевых ее элементов выступает Стратегия устойчивого развития сельских территорий Российской Федерации до 2030 г., в которой определены приоритетные направления в области повышения занятости населения и регулирования рынка труда в сельской местности:

- создание новых и модернизированных рабочих мест в сельскохозяйственных организациях, обеспечивающих переход агропромышленного производства на инновационные технологии и индустриальные формы ведения хозяйства;
- стимулирование развития предпринимательства, крестьянских (фермерских) хозяйств, самозанятости и форм семейной занятости на базе личных подсобных хозяйств и потребительской кооперации, а также содействие интеграции крупного и малого бизнеса;
- повышение территориальной и профессиональной мобильности граждан, проживающих в сельской местности, доступности для них профессионального обучения и дополнительного профессионального образования;
- создание условий для привлечения и закрепления квалифицированных молодых специалистов в сельской местности.

Ожидается, что результатами реализации данной стратегии, помимо прочего, станут формирование сбалансированной системы механизмов и стимулов развития и эффективного использования трудовых ресурсов села, а также внедрение в сельской экономике новых действенных механизмов хозяйствования [13].

3. ПОТРЕБНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РЫНКА ТРУДА В ПЕРВИЧНОМ СЕКТОРЕ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННОЙ ЭКОНОМИКИ

На фоне сокращения продовольственного импорта и роста спроса на отечественную продукцию в РФ в последние годы увеличились потребности предприятий российского АПК в новых сотрудниках. Несмотря на наличие на сельском рынке труда свободной рабочей силы, отрасль испытывает дефицит кадров, особенно новых профессий и специальностей, адаптированных к работе в условиях динамично меняющихся требований к знаниям и компетенциям персонала. Согласно оценкам экспертов рынка труда работодателям в сфере АПК не хватает технических специалистов (65 % предприятий, участвовавших в опросе) и специалистов в области производства (65 %), сотрудников со специализацией в продажах и маркетинге (35 и 33 %, соответственно) [14]. В структуре спроса в первичном секторе АПК преобладают представители рабочих профессий – их доля значительно превышает долю заявленных потребностей на эту категорию работников в целом по экономике. В аграрном секторе также остро ощущается нехватка квалифицированных кадров, особенно в регионах и тех сферах, где необходимо сочетать навыки продавца и технического специалиста, например, агронома. В настоящее время спрос на указанных специалистов удовлетворяется, прежде всего, за счет перетока работников из других секторов экономики и лишь в незначительной части благодаря деятельности системы профессионального образования.

Российская система профессионального образования ежегодно выпускает 35-45 тыс. специалистов, бакалавров и магистров, 18-20 тыс. квалифицированных рабочих и служащих и около 15 тыс. специалистов среднего звена по профессиям и специальностям в сфере сельского, лесного и рыбного хозяйства [10]. Однако качество подготовленной рабочей силы для этих отраслей не удовлетворяет по-

требностям рынка труда. Согласно выборочному обследованию рабочей силы, проведенному Росстатом, в 2013-2017 гг. только 36 % выпускников среднего профессионального образования (СПО) по программе подготовки специалистов среднего звена в области сельского, лесного и рыбного хозяйства (напомним, наиболее востребованных рынком) трудоустроились в соответствии с полученной специальностью (в среднем по экономике – 60 %). Аналогичный показатель для выпускников СПО по программе подготовки квалифицированных рабочих и служащих в области сельского, лесного и рыбного хозяйства составил 37% (в среднем – 55 %) [15].

Для российского рынка труда, особенно его сегмента, связанного с деятельностью в области сельского, лесного и рыбного хозяйства, характерны серьезные диспропорции. Главная из них – несоответствие качества рабочей силы требованиям работодателей. В условиях усиления конкуренции и активизации процессов автоматизации производства, сопровождающихся масштабным внедрением цифровых технологий, меняются и существенно возрастают требования к уровню подготовки, умениям и навыкам работников. Устойчивый спрос на рабочую силу на фоне общего тренда на тотальную автоматизацию и роботизацию производств, повсеместное внедрение в бизнес-процессы информационных технологий указывают на то, что работодателям нужны как работники традиционных профессий и специальностей, имеющие базовые навыки работы с новой техникой и технологиями, так и работники принципиально новых профессий, пока отсутствующих на отечественном рынке труда.

Последний аспект – прогнозирование и оценка перспективного спроса на новые профессии в сфере АПК – заслуживает отдельного изучения. Набирающий силу в первичном секторе комплекса процесс технологических нововведений формирует новые требования к качеству используемого в предпринимательской деятельности человеческого капитала. По общему мнению, агроспециалисты будущего должны обладать системным мышлением, иметь развитые организаторские способности и знания в сфере ИТ и биотехнологий. Ожидается, что вместе с развитием отрасли также изменятся требования и к экологическим аспектам ее деятельности – вредные для человека и негативно воздействующие на природную среду удобрения и технологии производства будут постепенно заменяться на более безопасные, что потребует использования труда специалистов, обладающих соответствующими знаниями и компетенциями.

Оценка будущих потребностей в новых специальностях крайне сложна и часто дает неверные результаты, а низкая предсказуемость российской экономики придает такой оценке дополнительные трудности. Поэтому следует с большой осторожностью относиться к данному рода прогнозам. Одной из наиболее авторитетных попыток прогнозирования будущего спроса на профессии на российском рынке труда является исследование, выполненное московской школой управления «Сколково» и Агентством стратегических инициатив, согласно которому ожидается, что до 2030 г. появятся 136 новых профессий [16]. Среди них – шесть профессий, непосредственно связанных с агропроизводством, в том числе:

- агроном-экономист (ожидается, что данная профессия появится до 2020 г.) – высококвалифицированный специалист по обеспечению конкурентоспособности выпускаемой продукции и экономически эффективной работы сельскохозяйственной компании, организующий работу предприятия в соответствии с нужда-

ми и потребностями рынка. Данный специалист также отвечает за управление экономическими рисками предприятия. В исследовании отмечается, что хотя такие специалисты и готовятся рядом российских вузов, потребность в них уже сейчас превышает предложение на рынке труда;

- сельскохозяйственный эколог (профессия появится после 2020 г.) – специалист по утилизации отходов сельскохозяйственного производства и переработки, отвечающий за разработку и реализацию мероприятий, минимизирующих негативные экологические и социальные последствия агрохозяйственной деятельности;

- оператор, управляющий автоматизированными сельскохозяйственными системами, машинами, механизмами и устройствами (профессия появится до 2020 г.) – специалист, управляющий автоматизированной техникой на ферме: системами компьютеризированного оборудования, беспилотными обслуживающими аппаратами, агроботами и т. п.;

- сити-фермер (профессия появится до 2020 г.) – специалист по обустройству и обслуживанию агропромышленных хозяйств на крышах и в зданиях крупных городов. Появление этой профессии обусловлено прогнозами, что вертикальные фермы – автономные и экологичные конструкции, позволяющие выращивать растения, разводить животных и водные организмы в черте города – получат широкое распространение в самом ближайшем будущем;

- ГМО-агроном (профессия появится после 2020 г.) – специалист по использованию генно-модифицированных продуктов в сельском хозяйстве и рыбоводстве; занимается внедрением биотехнологических достижений и получением продуктов с заданными свойствами. Несмотря на общественную полемику вокруг этой темы, большинство ученых придерживаются мнения о безопасности ГМО, использование которых в мире постоянно растет. Например, в 2013 г. свыше 11 % посевных площадей в мире были заняты генно-модифицированными культурами, в США 91 % сои, 88 – хлопка и 85 – кукурузы производятся из генетически модифицированного семенного материала. Не отстает от этой тенденции и наша страна. В частности, начиная с 2014 г. в России осуществляется регистрация ГМ-семян, а первый урожай генно-модифицированной сои в нашей стране был собран в 2016-2017 гг. Развитие ГМО-производства потребует соответствующих специалистов;

- агроинформатик / агрокибернетик (профессия появится до 2020 г.) – высококвалифицированный специалист по внедрению новых технологий, который обеспечивает процесс информатизации и автоматизации сельскохозяйственных предприятий.

Другой точкой зрения, основанной на более прагматичном и осторожном подходе к развитию экономики и ситуации на рынке труда, выглядит официальная оценка текущего и перспективного спроса на выпускников системы профессионального образования. В частности, в составленный на основании этой оценки и утвержденный Правительством РФ список 50 наиболее востребованных на рынке труда, новых и перспективных профессий, требующих среднего профессионального образования, вошла только одна профессия, непосредственно связанная с агропроизводством, – техник-механик в сельском хозяйстве. Помимо этого в перечень перспективных были включены еще несколько профессий, в том числе обладающих высоким потенциалом спроса в АПК в случае сохранения тенденции его автоматизации и цифровизации. К числу таких профессий могут быть отнесены: специалист в области контрольно-измерительных приборов и автоматики (по

отраслям), специалист по информационным ресурсам и системам, специалист по техническому контролю качества продукции, техник по автоматизированным системам управления технологическими процессами, техник по биотехническим и медицинским аппаратам и системам, техник по обслуживанию роботизированного производства и др. [17]. Данный перечень хотя и является крайне узким, тем не менее в ближайшей перспективе, вероятно, позволит удовлетворить основные потребности АПК в специалистах среднего звена, обладающих необходимыми знаниями для работы в условиях автоматизации и цифровизации отрасли.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ тенденций развития российского АПК, обусловленных особенностями и состоянием сельского рынка труда, позволил выявить ключевые проблемы на пути дальнейшего развития входящих в состав АПК отраслей первичного сектора – сельского, лесного и рыбного хозяйства. Оценка текущего и перспективного спроса на специалистов в этих отраслях указывает на несоответствие значительной части имеющейся рабочей силы и выпускников системы профессионального образования требованиям, предъявляемым к ним современной экономикой. Несмотря на наличие свободных трудовых ресурсов, в настоящее время российский сельский рынок труда испытывает дефицит в работниках, имеющих знания и компетенции для эффективной работы в условиях инновационной цифровой экономики. В связи с этим необходима перестройка системы профессионального образования в области сельского, лесного и рыбного хозяйства, прежде всего, ее сегмента, готовящего квалифицированных рабочих и специалистов среднего звена, наиболее востребованных рынком. Главными направлениями такого реформирования должны стать: изменение стандартов качества отраслевого образования [18], переход на индивидуализацию траекторий обучения, развитие открытых отраслевых цифровых образовательных платформ, внедрение аналитических обоснований и прогнозов человеческих ресурсов на основе анализа больших данных, расширение используемых форматов взаимодействия «образовательная организация – работодатель».

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Субъекта РФ (Грант 19-410-390005 p_a)

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Российский статистический ежегодник. – Москва: Росстат. – 2018.
2. Шагайда, Н. И. Тенденции развития и основные вызовы аграрного сектора России: аналитический доклад / Н. И. Шагайда, В. Я. Узун. – Москва: Центр стратегических разработок, РАНХиГС, 2017. – 89 с.
3. Обзор рынка сельского хозяйства – 2018. – Москва: Исследовательский центр компании «Делойт» в СНГ, 2018. – 63 с.
4. Харин, А. Г. Цифровая экономика и ее перспективы в рыбной отрасли / А. Г. Харин // Балтийский экономический журнал. – 2019. – № 3 (27). – С. 75-87.
5. Росстат. Регламентная таблица «Индекс изменения фондовооруженности и фондоотдачи» [Электронный ресурс]. – URL: http://www.gks.ru/free_doc/new_site/technol/1-3-4_2017.xlsx
6. Росстат. Регламентные таблицы «Число высокопроизводительных рабочих мест по видам экономической деятельности за 2013-2016 гг. и за 2017-2018

гг.» [Электронный ресурс]. – URL: http://www.gks.ru/free_doc/new_site/effect/rb-mest-sub.xls; http://www.gks.ru/free_doc/new_site/effect/rb-mest-sub_2017.xls

7. Росстат. Регламентные таблицы «Индекс производительности труда по России и основным отраслям экономики РФ в 2003-2014 гг. и в 2015-2017 гг.» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.gks.ru/free_doc/new_site/vvp/vvp-god/pr-tru.xlsx; http://www.gks.ru/free_doc/new_site/vvp/vvp-god/ipt-okved2.xlsx

8. Мнацаканян, А. Г. О некоторых современных тенденциях в развитии российского рыбного хозяйства / А. Г. Мнацаканян, В. И. Кузин, А. Г. Харин // Балтийский экономический журнал. – 2018. – №2 (22), ч. 2 «Проблема модернизации производственного потенциала». – С. 28-39.

9. Мнацаканян, А. Г. О некоторых современных тенденциях в развитии российского рыбного хозяйства / А. Г. Мнацаканян [и др.] // Балтийский экономический журнал. – 2018. – № 4 (24), ч. 3 «Специфика оплаты труда в рыболовстве и ее влияние на результаты отрасли». – С. 62-76.

10. Труд и занятость в России. Статсборник. – Москва: Росстат, 2017.

11. Бондаренко, Л. В. Сельский рынок труда: состояние и перспективы / Л. В. Бондаренко // Вестник сельского развития и социальной политики. – 2015. – № 3 (7). – С. 2-10.

12. Shershova L.V., Malakhovskaya M.V., Kuzin V.I. Labor market of urbanist system: approach to research of gender features of motivation of households // Information, Innovative, Technologies. – 2017. – № 1. – Pp. 528-532.

13. Стратегия устойчивого развития сельских территорий Российской Федерации на период до 2030 года. Утверждена распоряжением правительства РФ от 2 февраля 2015 года №151-р.

14. Сельское хозяйство ощутило кадровый голод. Сектору не хватает квалифицированного персонала // Газета "Коммерсантъ" №198 от 25.10.2016 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.kommersant.ru/doc/3125265>

15. Росстат. Регламентная таблица «Соответствие работы трудоустроенных выпускников 2015-2017 гг. выпуска специальности, полученной в образовательной организации среднего профессионального образования». [Электронный ресурс]. – URL: http://www.gks.ru/free_doc/new_site/population/trud/vps5.xlsx

16. Атлас новых профессий. Сельское хозяйство. – Москва: Сколково, Агентство стратегических инициатив [Электронный ресурс]. – URL: <http://atlas100.ru/catalog/selskoe-khozyaystvo/>

17. Приложение к приказу Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 2 ноября 2015 года № 831.

18. Мнацаканян, А. Г. Оптимизация структуры образовательных программ, разрабатываемых по стандартам нового поколения, с применением модульного подхода / А. Г. Мнацаканян, О. Г. Огий // Известия БГАРФ: психолого-педагогические науки. – Калининград: Изд-во БГАРФ. – № 4 (46). – 2018. – С. 23-27.

REFERENCES

1. *Rossiyskiy statisticheskiy yezhegodnik* [Russian statistical annual book]. Moscow, Rosstat, 2018.

2. Shagayda N. I., Uzun V. YA. *Tendentsii razvitiya i osnovnyye vyzovy agrarnogo sektora Rossii. Analiticheskiy doklad* [Development trends and main challenges of

the agricultural sector of Russia. Analytical report]. Moscow, Tsentr strategicheskikh razrabotok, RANKhiGS, 2017, 89 p.

3. *Obzor rynka sel'skogo khozyaystva- 2018* [Overview of the agricultural market-2018]. Moscow, Issledovatel'skiy tsentr kompanii «Deloyt» v SNG, 2018, 63 p.

4. Kharin A. G. Tsifrovaya ekonomika i yeye perspektivy v rybnoy otrasli [Digital economy and its prospects in the fishing industry]. *Baltiyskiy ekonomicheskyy zhurnal*, 2019, no. 3 (27), pp. 75-87.

5. Rosstat. Reglamentnaya tablitsa «Indeks izmeneniya fondovooruzhennosti i fondootdachi» [Rosstat. Schedule “Index of changes in capital-labor ratio and capital productivity”]. Available at: http://www.gks.ru/free_doc/new_site/technol/1-3-4_2017.xlsx

6. Rosstat. Reglamentnyye tablitsy «Chislo vysokoproizvoditel'nykh rabochikh mest po vidam ekonomicheskoy deyatel'nosti za 2013-2016 gg. i za 2017-2018 gg.» [Rosstat. Regulatory tables “The number of high-performance jobs by type of economic activity for 2013-2016 and for 2017-2018”]. Available at: http://www.gks.ru/free_doc/new_site/effect/rb-mest-sub.xls; http://www.gks.ru/free_doc/new_site/effect/rb-mest-sub_2017.xls

7. Rosstat. Reglamentnyye tablitsy «Indeks proizvoditel'nosti truda po Rossii i osnovnym otraslyam ekonomiki RF v 2003-2014 gg. i v 2015-2017 gg.» [Rosstat. Regulatory tables “Labor productivity index for Russia and the main sectors of the Russian economy in 2003-2014 and in 2015-2017”]. Available at: http://www.gks.ru/free_doc/new_site/vvp/vvp-god/pr-tru.xlsx; http://www.gks.ru/free_doc/new_site/vvp/vvp-god/ipt-okved2.xlsx

8. Mnatsakanyan A. G., Kuzin V. I., Kharin A. G. O nekotorykh sovremennykh tendentsiyakh v razvitii rossiyskogo rybnoho khozyaystva. Chast' 2. Problema modernizatsii proizvodstvennogo potentsiala [On some modern trends in the development of Russian fisheries. Part 2. The problem of modernization of production potential]. *Baltiyskiy ekonomicheskyy zhurnal*, 2018, no. 2 (22), pp. 28-39.

9. Mnatsakanyan A. G., Karlov A. M., Kuzin V. I., Kharin A. G. O nekotorykh sovremennykh tendentsiyakh v razvitii rossiyskogo rybnoho khozyaystva. Chast' 3. Spetsifika oplaty truda v rybolovstve i yeye vliyaniye na rezul'taty otrasli [About some modern trends in the development of Russian fisheries. Part 3. The specifics of remuneration in fisheries and its impact on industry results]. *Baltiyskiy ekonomicheskyy zhurnal*, 2018, no. 4 (24), pp. 62-76.

10. *Trud i zanyatost' v Rossii. Statsbornik* [Labor and employment in Russia. Statistical book]. Moscow, Rosstat, 2017.

11. Bondarenko L. V. Sel'skiy rynek truda: sostoyaniye i perspektivy [Rural labor market: state and prospects]. *Vestnik sel'skogo razvitiya i sotsial'noy politiki*, 2015, no. 3 (7), pp. 2-10

12. Shershova L. V., Malakhovskaya M. V., Kuzin V. I. Labor market of urbanist system: approach to research of gender features of motivation of households, *Information, Innovative, Technologies*, 2017, no. 1, pp. 528-532.

13. Strategiya ustoychivogo razvitiya sel'skikh territoriy Rossiyskoy Federatsii na period do 2030 goda [Strategy for sustainable development of rural territories of the Russian Federation for the period until 2030]. Utverzhdena rasporyazheniyem pravitel'stva RF 02.02 2015 №151-р.

14. Sel'skoye khozyaystvo oshchutilo kadrovyy golod. Sektoru ne khvatayet kvalifitsirovannogo personala [Agriculture experienced personnel shortages. The sector lacks qualified personnel]. *Kommersant*, no. 198, available at: <https://www.kommersant.ru/doc/3125265>

15. Rosstat. Reglamentnaya tablitsa «Sootvetstviye raboty trudoustroyennykh vypusnikov 2015-2017 gg. vypuska spetsial'nosti, poluchennoy v obrazovatel'noy organizatsii srednego professional'nogo obrazovaniya» [Rosstat. Schedule “Conformity of the work of employed graduates of 2015-2017 graduation year with a specialty received in an educational organization of secondary vocational education”]. Available at: http://www.gks.ru/free_doc/new_site/population/trud/vps5.xlsx

16. Atlas novykh professiy. Sel'skoye khozyaystvo [Atlas of new professions. Agriculture]. Moscow, Skolkovo, Agentstvo strategicheskikh initsiativ. Available at: <http://atlas100.ru/catalog/selskoe-khozyaystvo/>

17. Prilozheniye k prikazu Ministerstva truda i sotsial'noy zashchity Rossiyskoy Federatsii ot 2 noyabrya 2015 g. № 831 [The annex to the Order of the Ministry of Labor and Social Protection of the Russian Federation of 2 November 2015 № 831]

18. Mnatsakanyan A. G., Ogiy O. G. Optimizatsiya struktury obrazovatel'nykh programm, razrabatyvayemykh po standartam novogo pokoleniya, s primeneniyyem modul'nogo podkhoda [Optimization of the structure of educational programmes developed according to the new generation standards, using a modular approach]. *Izvestiya BGARF: psikhologo-pedagogicheskiye nauki*, 2018, no. 4 (46), pp. 23-27.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Мнацаканян Альберт Гургенович – Калининградский государственный технический университет; доктор экономических наук, профессор; зав. кафедрой отраслевых и корпоративных финансов; E-mail: mag@klgtu.ru

Mnatsakanyan Albert Gurgenovich – Kaliningrad State Technical University; Doctor of Economics, Professor; Head of the Department of Industry and Corporate Finance; E-mail: mag@klgtu.ru

Огий Оксана Геннадьевна – Калининградский государственный технический университет; кандидат социологических наук, доцент; первый проректор; E-mail: oksana.ogij@klgtu.ru

Ogiy Oksana Gennadievna – Kaliningrad State Technical University; PhD in Social Sciences, Associate Professor; First Vice-rector; E-mail: oksana.ogij@klgtu.ru

Харин Александр Геннадьевич – Калининградский государственный технический университет; кандидат социологических наук, доцент кафедры отраслевых и корпоративных финансов; E-mail: aleksandr.harin@klgtu.ru

Kharin Aleksandr Gennadievich – Kaliningrad State Technical University; PhD in Social Sciences, Associate Professor at the Department of Industry and Corporate Finance; E-mail: aleksandr.harin@klgtu.ru

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ ЖУРНАЛА «ИЗВЕСТИЯ КГТУ»

Общие требования

Журнал публикует оригинальные неопубликованные ранее статьи, прошедшие обязательное рецензирование и 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 (иногородние могут выслать электронной почтой).

В дальнейшем с автором заключается **Лицензионный договор** и оформляется **Акт передачи – приемки рукописи**.

Объем статьи

Объем статьи составляет от восьми до четырнадцати 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** (выделять разделы «Постановка задачи», «Материалы и методы», «Результаты исследования, их обсуждение» – по центру, прописными буквами, кегль 12, шрифт обычный). Основную часть можно разбивать на разделы с названиями, отражающими их содержание;

– **Заключение** (выводы – по центру, 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 1-й раз дается полностью, сокращение – в скобках, далее используется только сокращение). Числительные, если не являются первым словом, передаются цифрами. Нельзя использовать аббревиатуры (например, названий учреждений) без расшифровки и сложные элементы форматирования (например, верхние и нижние индексы). Категорически не допускаются вставки через меню «Символ», знак разрыва строки, знак мягкого переноса, автоматический перенос слов. Значения t° 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 ис-**

пользовать 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 ВПО «КГТУ», 2013. – 106 с.
2. Бухановский, А. В. Моделирование нелинейных систем в сложных динамических средах: моногр. / А. В. Бухановский, С. В. Иванов, Ю. И. Нечаев. – Санкт-Петербург: Издательский центр НИУ ИТМО, 2013. – 263 с.

Книга

Книги одного - трех авторов

1. Розенштейн, М. М. Методы оптимизации проектных характеристик орудий рыболовства: моногр. / М. М. Розенштейн. – Калининград: ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2013. – 185 с.
2. Новикова, А. М. Универсальный экономический словарь / А. М. Новикова, Н. Е. Новиков, К. А. Погосов. – Москва: Экономика, 1995. – 135 с.

Книги более трех авторов

- Религии мира: пособие для преподавателей / Я. Н. Шапов [и др]. – Санкт-Петербург: Питер, 1996. – 496 с.

Книги, не имеющие индивидуальных авторов (под редакцией)

- Сборник задач по физике: учеб. пособие для вузов / под ред. С. М. Павлова. – 2-е изд., доп. – Москва: Высшая школа, 1995. – 347 с.

Статья в журнале

1. Толкачева, О. В. Влияние барьерных факторов на стойкость пресервов / О. В. Толкачева, Б. Л. Нехамкин, В. И. Шендерюк // Рыбная промышленность. – 2006. – №2. – С. 14-16.
2. Байдалинова, Л. С. Перспективы использования растительных антиоксидантов для стабилизации гидролитических и окислительных процессов в препаратах полиненасыщенных жирных кислот / Л. С. Байдалинова, С. В. Андропова // Известия Калининградского государственного технического университета. – 2013. – № 29. – С. 74-80.

Статья в электронном журнале

1. Белоус, Н. А. Прагматическая реализация коммуникативных стратегий в конфликтном дискурсе / Н. А. Белоус // Мир лингвистики и коммуникации: электронный научный журнал. – 2006. – № 4 [Электронный ресурс]. – URL: http://www.tverlingua.by.ru/archive/005/5_3_1.htm (дата обращения: 15.12.2007).
2. Орехов, С. И. Гипертекстовый способ организации виртуальной реальности / С.И. Орехов // Вестник Омского государственного педагогического университета: электронный научный журнал. – 2006 [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.omsk.edu/article/vestnik-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. научн. конф. (25-27 сент.): тр.: к 100-летию высш. рыбохоз. образования в России: в 2 ч. / Федер. Агентство по рыболовству; ФГБОУ ВПО «КГТУ». – Калининград: ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2013. – Ч. 2. – С. 29-32.

Диссертация или автореферат диссертации

1. Данилов, Г. В. Как же быть?: дис. ... канд. экон. наук: 05.13.10 / Данилов Геннадий Петрович; МАИ. – Москва, 1999. – 138 с.
2. Манилов А. В. Кто виноват?: автореф. дис. ... канд. юрид. наук: 05.13.10 / Манилов Алексей Владимирович; МЮИ. – Москва, 1999. – 16 с.

Переводная книга

1. Себехей, В. Теория орбит: ограниченная задача трех тел / В. Себехей / пер. с англ. под ред. Г. Н. Дубошина. – Москва: Наука, 1982. – 656 с. [Victor G. Szebehely. Theory of Orbits: the Restricted Problem of Three Bodies. New York : Academic Press, 1967].
2. Дейт, К. Дж. Введение в системы баз данных / К. Дж. Дейт: пер. с англ. – Москва: Вильямс, 2006. – 1328 с. [Date C. J. An Introduction to Database Systems. 8th ed. Addison-Wesley, 2003. – 1024 p.].

Ссылки на все приведенные в списке литературы источники в тексте заключаются в квадратные скобки, например: [2], [4–7], [1, 18, 25]. Если в тексте есть прямая цитата, заключенная в кавычки, то обязательно должна быть указана страница, на которой эта цитата находится в цитируемом источнике. Например: [7, с. 28]. **Ссылки на неопубликованные работы и работы, находящиеся в печати, не допускаются.**

12. Через 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-online.ru/> и настроив перевод: я → уа; е → е; ё → уо; й → у; х → всегда kh; ц → ts; щ → shch; э → е (транслитерируют только после оформления списка по образцу).

Образцы оформления ссылок:

Монография, книга

1. Shorygin A. A. *Pitanie i pishchevye vzaimootnosheniya ryb Kaspiyskogo morya* [Diet and food relations of fish in the Caspian Sea]. Moscow, Pishchepromizdat Publ., 1952, 268 p.
2. Latyshev V. N. *Tribologiya rezaniya. Kn. 1: Friksionnye protsessy pri rezanii metallov* [Tribology of Cutting, Vol. 1: Frictional Processes in Metal Cutting]. Ivanovo, Ivanovskiy Gos. Univ., 2009.

Статья в журнале

1. Zagurenko A. G., Korotovskikh V. A., Kolesnikov A. A., Timonov A. V., Kardymon D.V. Tekhniko-ekonomicheskaya optimizatsiya dizayna gidrorazryva plasta [Techno-economic optimization of the design of hydraulic fracturing]. *Neftyanoe khozyaystvo*, 2008, no. 11, pp. 54-57.
2. Sokolov L. I. Pitaniye sibirskogo osetra *Acipenser baerii* Brandt r. Leny [Diet of the Siberian sturgeon of the river Lena]. *Voprosy ikhtiologii*, 1966, vol. 6, iss. 3 (40), pp. 550–560.

Статья в электронном журнале

1. Ivanova A. E. Problemy 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 resursos-beregayushchie tekhnologii nedropol'zovaniya i povysheniya neftegazootdachi"* [Proc. 6th Int. Technol. Symp. "New Energy Saving Subsoil Technologies and the Increasing of the Oil and Gas Impact"]. Moscow, 2007, pp. 267-272.

Диссертация и автореферат

1. Turkovskaia O. V. *Biologicheskie i tekhnologicheskie aspekty mikrobnoy ochistki stochnykh vod i prirodnykh ob"ektov ot poverkhnostno-aktivnykh veshchestv i nefteproduktov. Diss. dokt. biol. nauk* [Biological and technical aspects of microbial purification of sewage and nature objects from surface-active substances and oil products. Dis. dr. biol. sci.]. Saint-Petersburg, 2000, 360 p.

2. Dolganova N. V. *Razrabotka ekologicheskikh chistykh tekhnologiy belkovykh kormovykh produktov na osnove vtorichnykh resursov. Avtoreferat diss. dokt. tekhn. nauk* [Development of ecological pure technologies of protein feeding products on the basis of water resources. Abstract of dis. dr. sci.]. Saratov, 1997, 54 p.

Переводная книга

1. Timoshenko S.P., Yound D.H., Weaver W. Vibration problems in engineering. 4th ed. New York, Wiley, 1974. 521 p. (Russ. Ed.: Timoshenko S.P., Iang D.Kh., Uiver U. Kolebaniya v 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 (аббревиатуру расшифровать) и город; 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 – Калининградский государственный технический университет; доктор технических наук, профессор; зав. кафедрой пищевых и холодильных машин; E-mail: petrov@mail.ru; тел. 8(905)31-33-456

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

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»).

Таблицы, 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 Тав. Номер формулы вводится в круглые скобки и выравнивается вправо. При наборе формул рекомендуется использовать следующие кегли шрифтов: основной – 11; крупный индекс – 7; мелкий индекс – 5; крупный символ – 14; мелкий символ – 10. Гарнитура шрифта Times New Roman. Для набора математических формул используют буквы латинского алфавита (светлый курсив), греческого алфавита (светлый прямой шрифт) и готический шрифт (светлый прямой). Индексы формул, обозначенные буквами латинского алфавита, набирают курсивом (m_i – масса i -го элемента), а обозначенные буквами русского алфавита – прямым шрифтом (l_p – длина разбега; $V_{\text{пос}}$ посадочная скорость). Сокращенные обозначения физических величин и единиц измерения (кВт, Ф/м, W/m) – светлым прямым без точек. Числа и дроби в формулах

должны быть набраны светлым прямым шрифтом. Прямым шрифтом набирают также некоторые математические обозначения (sin, tg; max, min; const; log, det, exp и т. д.). Векторные величины следует обозначать жирным курсивом, а не надсимвольной чертой: e не \bar{e} . Перенос в формулах допускается делать в первую очередь на знаках (=, », <, > и др.), во вторую очередь – на отточии (...), на знаках сложения и вычитания (+, –), в последнюю – на знаке умножения в виде косоугольного креста (\times). Перенос на знаке деления не допускается. Математический знак, на котором разрывается формула при переносе, обязательно должен быть повторен в начале второй строки. При переносе формул нельзя отделять выражения, содержащиеся под знаком интеграла, логарифма, суммы, произведения, от самих знаков. Небольшие формулы, не имеющие самостоятельного значения, набираются внутри строк текста. Наиболее важные формулы, все нумерованные формулы, а также длинные и громоздкие формулы, содержащие знаки суммирования, произведения и т. п., набирают отдельными строками. Отбивка до и после строки с формулой в этом случае – 6 пунктов. Вместо выражения вида $\frac{a}{b}$ рекомендуется писать a/b. Отдельные элементы математических формул, вынесенные в текст, набираются по приведенным выше правилам (прямой шрифт в формуле – прямой шрифт в тексте, курсив в формуле – курсив в тексте).

Химические символы (Ag, Cu) набирают прямым шрифтом. Для набора рекомендуется использовать редактор Chem Window.

Единицы физических величин следует приводить в международной системе СИ по ГОСТ 8.417-2002. ГСИ. Единицы величин.

Все аббревиатуры в тексте должны быть расшифрованы. Разрешаются лишь общепринятые сокращения названий мер, физических, химических и математических величин.

Электронный вариант материалов

Текст статьи, рефераты, ключевые слова и сведения об авторе(ах) размещаются в одном файле. Материалы должны быть оформлены с применением средств Microsoft Office 2003 (расширение текстового файла *.doc). Для передачи информации подойдут любые электронные носители.

Редакция журнала оставляет за собой право производить сокращения и редакционные изменения рукописи.

Статьи, не соответствующие вышеперечисленным требованиям, могут быть возвращены автору(ам) для доработки.

Рукописи статей, принятых к публикации, авторам не возвращаются.

Публикации статей бесплатные. Рукописи статей сотрудников ФГБОУ ВПО «КГТУ» направляются в редакционную коллегию журнала по рекомендациям научно-методических семинаров кафедр. Все статьи проходят обязательное внешнее или внутреннее рецензирование. Автор самостоятельно или в соавторстве может представить в номер не более одной статьи. Статьи публикуются на русском или английском языке. Страницы не нумеровать.

Адрес редакции:

236022, г. Калининград, Советский проспект, 1,
Калининградский государственный технический университет
Тел. (4012) 99-59-74
E-mail: svetlana.suprunova@klgtu.ru
<http://klgtu.ru/science/magazine/index.php>

Издание зарегистрировано в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор),
Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС77-47915
от 22.12.2011 г.

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 29.01.2020. Выход в свет 01.02.2020. Формат 60 x 88 (1/8)
Печ. л. 26,9. Уч.-изд. л. 17,2. Тираж 1000 экз. Заказ № 8.