

ИЗВЕСТИЯ

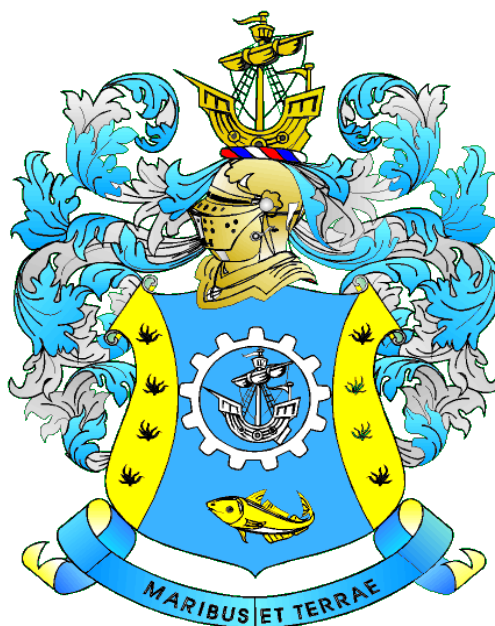
КГТУ

2018

№ 49

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

Научный журнал



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

Калининград

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

Научный журнал
Основан в 2002 г.

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

Редакционный совет:

Главный редактор: В. А. Волкогон, канд. экон. наук, доц.

Зам. главного редактора: Н. А. Кострикова, канд. физ.-мат. наук, доц.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Тадеуш Пецух, д-р техн. наук, проф., Кошалинский политехнический университет (Польша, г. Кошалин), заведующий кафедрой утилизации отходов;

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

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

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

Редакционная коллегия:

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

Выпускающий редактор С. В. Супрунова

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

© ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет», 2018



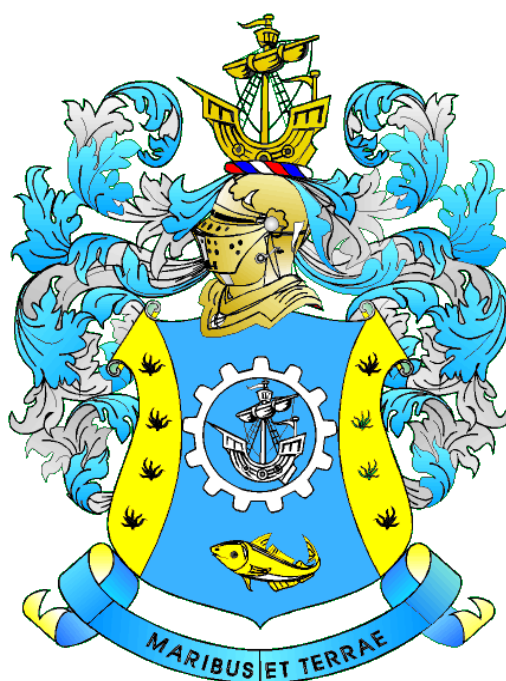
KSTU NEWS

2018

№ 49

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

SCIENTIFIC JOURNAL



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

Kaliningrad

СОДЕРЖАНИЕ

Биология, экология и рыбное хозяйство

<i>Манаков Д. В.</i> Редкие брюхоногие моллюски водоемов Калининградской области	13
<i>Мычкова А. В., Шибяев С. В.</i> О питании сига озера Виштынецкого в весенне-летний период	23
<i>Цветкова Н. Н., Берникова Т. А., Шибяев С. В.</i> Оценка качества воды основных водных объектов природного парка «Виштынецкий» после окончания туристического сезона	32
<i>Цупикова Н. А., Костыря Ю. С.</i> Особенности гидрохимических условий пруда Форелевого в 2016–2017 гг.	43
<i>Цупикова Н. А., Лозицкая Е. А., Алдушин А. В.</i> Морфометрические характеристики пруда Пелавского (г. Калининград)	55

Техника и технология пищевых производств

<i>Агафонова С. В.</i> Вторичное сырье рыбоперерабатывающих предприятий Калининградской области – источник ценного пищевого жира	69
<i>Агеев О. В., Фатыхов Ю. А., Самойлова Н. В.</i> Выбор и идентификация реологической модели структурно-механических свойств мышечной ткани рыбы	75
<i>Байдалинова Л. С., Городниченко Л. В.</i> Зависимость степени разделения компонентов вторичного рыбного сырья (голов рыб) от условий ферментализации и термолиза	92
<i>Гусев Н. А., Байдалинова Л. С.</i> Использование сухих измельченных ягодных компонентов для обогащения масла сливочного	104
<i>Левченко Е. В., Мезенова О. Я.</i> Микробиологические аспекты безопасности в технологии кофейного желе	115
<i>Мезенова О. Я., Волков В. В., Хёлинг А., Мерзель Т., Гримм Т., Мезенова Н. Ю.</i> Сравнительная оценка способов гидролиза при получении протеиновых продуктов из коллагенсодержащего рыбного сырья и оценка их качества ...	126
<i>Наумов В. А., Коржавина Ю. Н., Шибек А. Г., Сингаев В. И., Альшевский Д. Л.</i> Регрессионная модель плотности имитационного шпика	145
<i>Шадрин Е. В., Максимова С. Н., Богданов В. Д.</i> Способы подготовки морских звезд к промышленной переработке	154

Сельское хозяйство и природопользование

<i>Анциферова О. А.</i> Титан в почвообразующих породах и почвах западной части Калининградской области	163
<i>Анциферова О. А., Самарина Е. Д.</i> Продуктивность озимой пшеницы на фоне лимитирующих почвенных факторов	172

<i>Бедарева О. М., Федюнина О. П.</i> Фитотопологическая классификация сенокосов и пастбищ южной и юго-восточной частей Гурьевского района Калининградской области	184
<i>Кондратьев М. Н., Роньжина Е. С., Ларикова Ю. С.</i> Влияние абиотических стрессов на метаболизм вторичных соединений в растениях	203
<i>Проворова О. Н., Григорович Л. М.</i> Эффективность гербицидной защиты растений при возделывании кукурузы (<i>Zea mays</i> L.) на зерно в агроэкологических условиях Калининградской области	220
<i>Троян Т. Н., Новожилова Э. С.</i> Рост и развитие тыквы крупноплодной (<i>Cucurbita maxima</i> Duchesne) при возделывании в кормовых целях	228
<i>Троян Т.Н., Шульга И.М.</i> Урожайность кормовой свёклы на дерново-подзолистых почвах	236

Судостроение, машиностроение и энергетика

<i>Витренко О. С.</i> Методика выбора геометрии накатного инструмента в зависимости от геометро-кинематических параметров накатки	244
<i>Гришин П. Р., Дятченко С. В., Шевелёва С. И.</i> Совершенствование сборочно-сварочной оснастки для изготовления секций судов	252
<i>Сутырин В. И., Шинкаренко И. А.</i> Расчет крутильных колебаний судового валопровода буксира пр. 1606	265

Естественные и математические науки

<i>Антипов Ю. Н., Константинова Е. И., Боркунов Р. Ю., Царьков М. В., Самусев И. Г., Брюханов В. В.</i> Динамика температурного поля в тонкой полимерной пленке с наночастицами серебра после воздействия импульсного ИК-лазера	280
---	-----

Экономика и управление АПК

<i>Сергеев Л. И.</i> Особенности актуализации и аудит результатов программного развития рыбохозяйственного комплекса	293
--	-----

CONTENT

Biology, Ecology and Fishing Industry

<i>Manakov D. V.</i> Rare gastropods of the Kaliningrad region water bodies	13
<i>Mychkova A. V., Shibaev S. V.</i> Nutrition of whitefish in lake Vishtynetskoe in the spring-summer period	23
<i>Tsvetkova N. N., Bernikova T. A., Shibaev S. V.</i> Assessment of water quality of water bodies in the nature park «Vishtynetsky» after the end of tourism season	32
<i>Tsupikova N. A., Kostyrya Yu. S.</i> Peculiarities of hydrochemical conditions of the Forelevy pond in 2016–2017	43
<i>Tsupikova N. A., Lozitskaya E. A., Aldushin A. V.</i> Morphometric characteristics of the Pelavsky pond (Kaliningrad)	55

Food Production Techniques and Technology

<i>Agafonova S. V.</i> Secondary raw materials of the Kaliningrad region fish-processing enterprises as a source of valuable edible fat	69
<i>Ageev O. V., Fatykhov Ju. A., Samojlova N. V.</i> Selection and identification of a rheological model of structural-mechanical properties of muscular fish tissue	75
<i>Baydalinova L. S., Gorodnichenko L. V.</i> Dependence of the components separability of secondary fish raw material (fish heads) on fermentolysis and thermolysis conditions	92
<i>Gusev N. A., Baydalinova L. S.</i> Using dry ground berry components for butter supplementation	104
<i>Levchenko E. V., Mezenova O. Ya.</i> Microbiological aspects of safety in technology of coffee jelly	115
<i>Mezenova O. Ya., Volkov V. V., Moersel T., Hoehling A., Grimm T., Mezenova N. Yu.</i> Comparative assessment of hydrolysis methods for production of protein products from collagen-containing fish raw material and evaluation of their quality	126
<i>Naumov V. A., Korzhavina Yu. N., Shibeko A. G., Singaev V. I., Alshevsky D. L.</i> Regression model of imitation lard density	145
<i>Shadrina E. V., Maksimova S. N., Bogdanov V. D.</i> Methods of preparing sea stars for industrial processing	154

Agriculture and Nature Management

<i>Antsiferova O. A.</i> Titanium in parent rocks and soils of the Western part of the Kaliningrad region	163
<i>Antsiferova O. A., Samarina E. D.</i> Productivity of winter wheat on the background of limiting soil factors	172
<i>Bedareva O. M., Fedyunina O. P.</i> Phytotopological classification of haylands and pastures of the South and Southeast parts of the Guryevsk district of the Kaliningrad region	184

<i>Kondrat'ev M. N., Ron'zhina E. S., Larikova Ju. S.</i> Effect of abiotic stressorson secondary metabolism in plants	203
<i>Provorova O. N., Grigorovich L. M.</i> Efficiency of plant herbicidic protection when corn is cultivated for grain under agroecological conditions of the Kalinin-grad region	220
<i>Troyan T. N., Novozhilova E. S.</i> Growth and development of the large-fruited pumpkin (<i>Cucurbita maxima</i> Duchesne) when cultivated for fodder purposes	228
<i>Troyan T. N., Shulga I. M.</i> Productivity of fodder beet on sod-podzolic soils	236

Ship Building, Machinery and Power-Engineering

<i>Vitrenko O. S.</i> Methodology for selecting geometry of a knurling instrument depending on geometric-kinematic parameters of knurling	244
<i>Grishin P. R., Dyatchenko S. V., Shevelyova S. I.</i> Upgrading assembly-welding tools for manufacturing of ship panels	252
<i>Sutyryn V. I., Shinkarenko I. A.</i> Calculation of ship shafting torsional oscillations of a towing vessel pr.1606	265

Earth and Mathematical Sciences

<i>Antipov Yu. N., Konstantinova E. I., Borkunov R.Yu., Tzarkov M. V., Samusev I. G., Bryukhanov V. V.</i> Temperature pattern dynamics in a thin polymer film with silver nanoparticles after the impulse IR-laser impact	280
--	-----

Economy and Management of agribusiness industry

<i>Sergeev L. I.</i> Features of updating and audit of fisheries industry programme development results	293
---	-----

БИОЛОГИЯ, ЭКОЛОГИЯ И РЫБНОЕ ХОЗЯЙСТВО

УДК 594.3: 574.587

РЕДКИЕ БРЮХОНОГИЕ МОЛЛЮСКИ ВОДОЕМОВ
КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Д. В. Манаков

RARE GASTROPODS OF THE KALININGRAD REGION WATER BODIES

D. V. Manakov

В водоемах Калининградской области в 2006–2014 гг. зарегистрированы 22 вида редких брюхоногих моллюсков (частота встречаемости менее 1,5%), из которых 4 вида переднежаберные. 9 видов обитает в водно-болотных угодьях (*Aplexa hypnorum*, *Bathyomphalus contortus*, *Omphiscola glabra*, *Stagnicola fuscus*, *Anisus spirorbis*, *Valvata macrostoma*, *Radix lagotis*, *Gyraulus rossmaessleri*, *Anisus leucostoma*), 10 видов – в постоянных стоячих водоёмах (*Planorbis carinatus*, *Myxas glutinosa*, *Valvata cristata*, *Gyraulus albus*, *Borysthenia naticina*, *Radix ampla*, *Hippeutis complanatus*, *Anisus vorticulus*, *Gyraulus crista*, *Bithynia troschelii*), 1 вид – в малых реках (*Ancylus fluviatilis*). Кроме перечисленных обнаружено два редких чужеродных вида (*Gyraulus parvus*, *Physella acuta*). Анализ литературных источников показал отсутствие в наших сборах 11 относительно редких видов, ранее отмеченных в водоёмах области. Мы рекомендуем внести в Красную книгу Калининградской области следующие виды: *Stagnicola fuscus*, *Gyraulus rossmaessleri*, *Myxas glutinosa*, *Gyraulus laevis* и *Borysthenia naticina*. Предложены основные мероприятия по охране редких брюхоногих: сохранение луговых болот, организация гидрологических памятников природы на богатых водной жизнью малых реках и некрупных постоянных водоёмах.

моллюски, брюхоногие, редкие виды, охрана природы, Калининградская область

In reservoirs of the Kaliningrad region in 2006-2014 years we were found 22 species of rare gastropods (frequency of occurrence less than 1.5%), 4 of which – prosobranchia. Nine of these species inhabits wetlands (*Aplexa hypnorum*, *Bathyomphalus contortus*, *Omphiscola glabra*, *Stagnicola fuscus*, *Anisus spirorbis*, *Valvata macrostoma*, *Radix lagotis*, *Gyraulus rossmaessleri*, *Anisus leucostoma*), 10 species were found in standing water bodies (*Planorbis carinatus*, *Myxas glutinosa*, *Valvata cristata*, *Gyraulus albus*, *Borysthenia naticina*, *Radix ampla*, *Hippeutis complanatus*, *Anisus vorticulus*, *Gyraulus crista*, *Bithynia troschelii*), one species- in small rivers (*Ancylus fluviatilis*). In addition, two rare alien species (*Gyraulus parvus*, *Physella acuta*) were found. Analysis of literature sources show us the absence of 11 relatively rare species previously found in the waters of our region. We recommend the following new species for the Red Book of the Kaliningrad region: *Stagnicola fuscus*, *Gyraulus rossmaessleri*, *Myxas glutinosa*, *Gyraulus laevis* and *Borysthenia naticina*. Main activities to protect rare gastropods are: conservation of wetlands, organization

of protected water bodies in rich of water life small rivers and small perennial impounded bodies.

molluscs, gastropods, rare species, nature conservation, Kaliningrad region

ВВЕДЕНИЕ

Брюхоногие моллюски – основополагающая часть сообществ макрозообентоса в водных экосистемах Калининградской области. Они населяют все без исключения типы водоёмов, но особенно обильно селятся на их мелководьях, около уреза воды и легкодоступны для сбора и изучения.

Несмотря на хорошую доступность водоёмов области, развитую транспортную сеть и относительно небольшой размер региона, до настоящего времени отсутствуют работы, характеризующие распространение моллюсков на значительной части её территории и в разных типах водоёмов. Мы частично выполнили эту трудоёмкую задачу и смогли картировать местообитания отдельных видов *Gastropoda* на территории области.

Обнаружение редких видов брюхоногих моллюсков нашего края всегда большая удача. Они, несомненно, нуждаются в охране, что может быть реализовано в виде сохранения неизменной среды их обитания. Выявление подобных экосистем, исключение их из хозяйственного освоения и грамотное управление ими – ключ к построению продуманной экологической политики в регионе.

Согласно данным за 2016 г. в Красную книгу Калининградской области [1] было внесено только 6 видов моллюсков: *Anisus vorticulus* (Troschel, 1834), *Gyraulus albus* (Müller, 1774), *Radix lagotis* (Schränk, 1803), *Gyraulus riparius* (Westerlund, 1865), *Omphiscola glabra* (Müller, 1774), *Planorbis carinatus* (Müller, 1774). Однако в наших водах обитает больше редких видов, в том числе и тех, что охраняются в Европе [2, 3], их нужно взять под охрану в Калининградской области.

Цель нашей работы: характеристика редких и малораспространённых видов брюхоногих моллюсков водоёмов Калининградской области, нуждающихся в защите, и рекомендации по их охране.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Моллюски были собраны нами в Зеленоградском, Гурьевском, Багратионовском, Полесском, Нестеровском районах Калининградской области, а также в водоёмах Калининграда, Полесска, Зеленоградска и Светлогорска (рис. 1). Сборы велись ежегодно с 2006 по 2014 гг., с мая по сентябрь. Всего было обследовано 200 прибрежных участков 144 водных объектов (это 27 рек, 7 ручьёв, 5 каналов, 14 мелиоративных каналов, 11 озёр, 31 русловой пруд, 15 карьеров, 22 малых водоёма, 12 временных водных объектов). Кроме этого, были обследованы участки побережья и танатоценозы Куршского и Вислинского заливов, Балтийского моря и оз. Виштынецкого.

Живых моллюсков добывали во время не периодических, но не повторяющихся пешеходных экскурсий (15–25 км), маршруты которых соединяли водоёмы и остановки общественного транспорта. Сбор материала производили гидробиологическим сачком (рама 13 × 15 см, ячея сетки 1 мм) и вручную вдоль уреза воды до глубины в 0,5 м с использованием забродного костюма L-1 по общепринятым методикам [4–6]. Материал фиксировали тузлуком (перенасыщенный раствор

NaCl), либо высушивали. Было собрано и обработано в камеральной обстановке около 400 качественных проб. Идентификация видовой принадлежности производилась по раковине с использованием определителей [7–10]. Виды рода *Stagnicola* и *Omphiscola* определены по анатомическим признакам. Мы придерживаемся системы моллюсков, общепринятой в Европе [11–13].

Под редкими видами мы понимаем моллюсков с частотой встречаемости менее 1,5% (доля вида в общем объеме собранной коллекции или группа видов с близкими значениями по гистограмме частоты встречаемости в её пологой части, близкой к нулю). Чужеродные виды – те, что несвойственны водоемам нашего региона. Критерий выделения – результаты анализа основных региональных публикаций [14].

Сокращения, принятые в тексте для описания мест обнаружения моллюсков: Багр. – Багратионовский район, Зел. – Зеленоградский район, Гур. – Гурьевский район, Пол. – Полесский район, Нест. – Нестеровский район, Гус. – Гусевский район, Клгд. – Калининград, Висл. зал. – Вислинский залив, Курш. зал. – Куршский залив, Курш. коса – Куршская коса, Висл. коса – Вислинская коса, р. – река, руч. – ручей, бух. – бухта, бол. – болото, пр. – пруд, у. – устье, оз. – озеро, вдхр. – водохранилище, кан. – канал, г. – город, пос. – поселок, тан. – танатоценоз (-зы), ж/д ст. – железнодорожная станция.

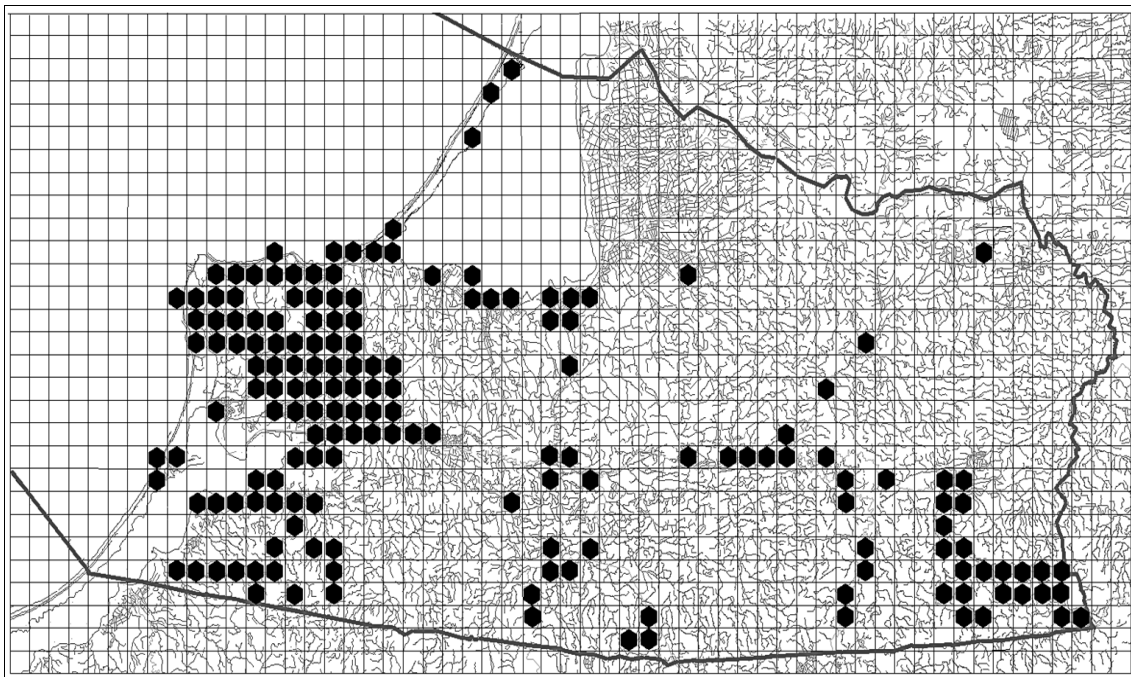


Рис. 1. Места сбора моллюсков
Fig. 1. Mollusks samples collecting points

РЕЗУЛЬТАТЫ

Можно выделить несколько групп редких брюхоногих:

1. Моллюски, обитающие в биотопах пересыхающих водоемов:

Aplexa hypnorum (L., 1758) (9 проб из 711/ частота = 1,28%). Сложившиеся луговые (не торфяные) водно-болотные угодья всех районов области, но из-за не-

многочисленности таких биотопов попадает относительно редко. Места находок: выпасы пос. Заливное (Курш. зал., Гур.), болото около ул. Слепенкова в Полесске, лужи в пос. Низовье (Гур.) и у р. Раковки (пос. Дальнее, около Гусева, Гус.), канавы у ж/д ст. 1312 км и у пос. Береговое в Ладушкине (Багр.), канавы на 6-ом километре Куршской косы (Зел.) и лужи в устье р. Тростянки (бол. Швентлунд), водоемы у оз. Боровиково (Проточное) (Нест.), малые водоёмы у пос. Ольховатка (Нест.).

Bathyomphalus contortus (L., 1758) (7 проб/1,00%). Водно-болотные угодья низменного побережья Куршского залива, возможно, других частей области, относительно редко попадает в постоянных водоёмах. Он многочислен в пос. Заливное в мелиоративных канавах и среди наносов всплывшего тростника Куршского залива (массовое скопление особей ряда видов катушек). Другие находки: р. Дейма (Полесск), мелиоративный кан. у оз. Дивного (Клгд.), р. Граевка (пос. Взморье), тан. в устье р. Забавы, пр. Мельничный и Верхний (Клгд.).

Omphiscola glabra (Müller, 1774) (1/0,14). Немногочисленные находки этого редкого вида сделаны в лужах и «оплывших» канавах на подтопляемом выпасе пос. Заливное (Курш. зал.), а также в водно-болотном угодье около ветеринарной станции в г. Полесск, ул. Слепенкова (единично). Вместе со *Stagnicola palustris* (Müller, 1774).

Stagnicola fuscus (C. Pfeiffer, 1821) (3/0,43). Найден в окрестностях пос. Заливное и Заливино (южное побережье Курш. зал.), в тростниковом поясе у пос. Прибрежный (Висл. зал.) (определен по строению копулятивного аппарата). Вместе со *Stagnicola palustris* (Müller, 1774).

Anisus spirorbis (L., 1758) (3/0,43). Длительно существующие водно-болотные угодья и луговые болота области. Это влажный луг у Ветеринарной станции в г. Полесске около ул. Слепенкова (биотоп уничтожен мелиораторами в 2014 г.), подтопляемые выпасы пос. Заливное (Курш. зал.), мелкие водоёмы около пос. Заливино (Пол.) южнее Мордовского канала. Местами многочислен на польдерах около Куршского залива.

Anisus leucostoma (Millet, 1813) и *Anisus septemgyratus* (Ziegler in Rossmässler, 1835) (2/0,28). Оба вида заселяют сложившиеся водно-болотные угодья и луговые болота области (луг у «Ветстанции» в г. Полесске около ул. Слепенкова, подтопляемые выпасы пос. Заливное (Курш. зал.)). Локально многочисленны на польдерах у Куршского залива.

Radix lagotis (Schrank, 1803) (5/0,71). Обнаружен в выкопанных водоёмах с глиняным дном и в мелиоративном канале у шоссе в пос. Охотное (Зел., у Янтарного), в р. Корневке (Высокое) и в р. Витушке (Богдановка) (Багр.). В канаве у перрона ж/д ст. 1312 км и в оз. Лесном в г. Ладушкине (Багр.) и на выпасах, в мелиоративных сетях г. Полесска.

Gyraulus rossmaessleri (Auerswald in A. Schmidt, 1851) (1/0,14). Самые сухие мочажины и лужи на затопленной части выпаса пос. Заливное (южное побережье Курш. зал.).

Valvata macrostoma (Steenbuch in Mörch, 1864) (1/0,14). Во временных водоемах и мелкой мелиоративной сети пос. Заливное (южное побережье Курш. зал.). Обитает в наиболее эфемерных луговых лужах с травостоем и кочкарником.

2. Виды брюхоногих постоянных водоёмов (чаще всего обнаруживаются в танатоценозах на побережье водоёмов):

Planorbis carinatus (Müller, 1774) (10/1,42): относительно редкий вид, обитающий в постоянных водных объектах. Найден: р. Дейма (Полесск), тан. Висл. зал. у ж/д ст. Сосновый Бор и около Голубых озёр (Клгд.), тан. Курш. зал. в пос. Каширское и Заливное, тан. Курш. зал. около Мордовского болота (пос. Каменка) в трех километрах западнее мыса Штрале Екке, в оз. Рыбном (пос. Лесистое) и в руч., впадающем в оз. Боровиково (Проточное), р. Писса ниже пос. Ягодное (а также в пр. в самом поселке) (Нест.), в оз. Виштынецком (бух. Тихая). В Калининграде вид обнаружен в оз. Шенфлиз и водоёмах в пойме руч. Мюлен у мотеля «Балтика».

Muxas glutinosa (Müller, 1774) (6/0,85). Вид отмечен в р. Гурьевке в пос. Заливное (Курш. зал., Гур.), в Западном канале (у.) и тан. Курш. зал. в непосредственной близости к устью р. Гурьевки (Гур.). Единичная находка в тан. Висл. зал. у пос. Прибрежного (мыс Дряхлый) и бух. Тихой (оз. Виштынецкое). Вероятно, чаще этого моллюска можно обнаружить в восточной части области, например, в оз. в пос. Малое Путятино у Озёрска или в оз. Виштынецком.

Valvata cristata Müller, 1774 (5/0,71) – в малых временных водоёмах пос. Рыбачьего на Куршской косе, а также в пос. Заливное (южное побережье Курш. зал.), где обнаруживается при внимательном разборе проб танатоценозов в лабораторных условиях. Найден у берега на корягах в оз. Мариново и Рыбное (Лесистое) на Виштынецкой возвышенности, в притоке р. Русской (пос. Чистые Пруды, Нест.), тан. р. Писса ниже пр. в пос. Ягодное (Нест.).

Gyraulus albus (Müller, 1774) (4/0,57). Вид нечасто встречается в постоянных водных объектах области. Обнаруживается в наносах мелкого органического материала на берегу среди самых мелких раковин. Находки: Дейма (Полесск) и Полесский канал, Верхняя Преголя (Гвардейск), небольшое оз. около пос. Новостроевка у р. Русской (Нест.), тан. в у. Западного канала и побережья Курш. зал. (пос. Заливное). Чаще, чем обычно, попадает на побережье Куршского залива и в постоянных водоёмах Виштынецкой возвышенности (лес Красный, например, в р. Красной в пос. Токаревка – ж/д мост).

Borysthenia naticina (Menke, 1846) (4/0,57). Найден в речном мусоре р. «Ледяная (Чертова)», притоке р. Прохладной, ниже Чертова моста на Берлинском шоссе (Багр.); в реках Прохладной (Ушаково) (Гур.), Лаве (Правдинск), Дейме (Полесск); оз. Форелевом (карьер Прибрежный, Клгд.).

Radix ampla (W. Hartmann, 1821) (4/0,57). Селится в постоянных водоёмах с развитыми песчано-супесчаными отмелями с наилком, где обитает на грунте в наиболее пологих и мелких, хорошо прогреваемых участках мелководий. Отмечен в р. Дейме (г. Полесск), р. Нижняя Преголя (Клгд.); найден в танатоценозах Курш. зал. у болота Швентлунд (Зеленоградск), в пос. Заливное (Гур.) и восточнее устья Деймы (вдоль Полесского канала в Полесске).

Bithynia troschelii (Paasch, 1842) (3/0,43). Найден только в оз. Нижнем (Клгд.), в мелиоративной сети в пос. Заливное (Курш. зал.) западнее устья р. Гурьевки и в Дейме (Полесск).

Anisus vorticulus (Troschel, 1834) (3/0,43). Мелиоративная сеть в пос. Заливное (Курш. зал.), оз. Форелевом (Клгд.), оз. Виштынецком (бухта Тихая). Чаще всего обнаруживается в танатоценозах на берегу водоёмов.

Gyraulus crista (L., 1758) (3/0,43). Постоянные водоемы г. Калининграда (пр. Верхний и Мельничный, оз. Голубое у поворота на пос. Прибрежный). В «богатых» высшей водной растительностью и моллюсками прудах.

Hippeutis complanatus (L., 1758) (2/0,28). Найден в г. Калининграде в пр. Верхнем и Мельничном в танатоценозах промытых илов под скоплениями водной растительности (роголистник).

3. Моллюски, обитающие в водотоках области:

Ancylus fluviatilis Müller, 1774 (11/1,56) – литореофильный вид, заселяющий камни и песчано-гравийные отмели наиболее чистых водотоков области. Встречается на Вармийской (Багр.) и Виштынецкой (Нест.) возвышенностях. Обнаружен в реках: «Ледяная» («Чертова») ниже Чертова моста (автобан «Берлинка», Багр.), Гурьевка у «Орловского» пр. (Гур.), Корневка (Высокое) и Лавя (приток р. Витушки (Багр.)), Анграпа (пос. Веселовка и 10 км ниже Озерска), Писса (пос. Ягодное, Нест.), Красная выше пос. Токаревка. Ручьи: приток р. Майской в пос. Высокое (Багр.), руч., впадающий в оз. Боровиково (Проточное) (Нест.).

4. Чужеродные виды:

Physella acuta (Draparnaud, 1805) (2/0,28). Единственные две раковины вида были обнаружены в донных илах пр. Верхнего и в танатоценозе р. Нижняя Преголя около ул. Грига (Клгд.) до строительства променада в 2013 г.

Gyraulus parvus (Say, 1817) (1/0,14). Ранее для малакофауны области не упоминался; одна раковина в танатоценозе в устье Западного канала (Курш. зал., Гур.).

ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ списка видов брюхоногих моллюсков, составленного нами по некоторым региональным работам [14], показал, что в сборах 2006–2014 гг. отсутствовали следующие относительно редкие виды: *Radix labiata* (Rossmassler, 1835); *Gyraulus riparius* (Westerlund, 1865); *Gyraulus laevis* (Alder, 1838); *Gyraulus acronicus* (Férussac, 1807); *Marstoniopsis scholtzi* (Schmidt, 1856); *Planorbella duryi* (Wetherby, 1879); *Stagnicola terebra* (Westerlund, 1885); *Menetus dilatatus* (Gould 1841); *Valvata piscinalis antiqua* Sowerby, 1838; *Lymnaea fragilis* (L., 1758).

В 2015 г. нами найдены: *R. labiata* (Куршский залив, пос. Заливное), *G. laevis* (среднее течение р. Анграпы, Озерский район), *G. Acronicus* (оз. Виштынецкое, бух. Тихая у смотровой площадки).

G. riparius, *M. scholtzi*, *F. wautieri* и *P. duryi*, упоминаемые в литературе как обитающие в Калининградской области, нами до 2016 г. не были обнаружены. Возможность обитания последних двух видов в области сомнительна. Мы нашли два первых вида в 2017 г. в водоемах Виштынецкой возвышенности (*M. scholtzi* – оз. Рыбное (пос. Лесистое), *G. riparius* – р. Синяя (пос. Краснолесье).

Чтобы уверенно отличить *S. terebra* от *S. palustris*, необходимы находки живых моллюсков, т. к. по раковине они почти неотличимы. Это же относится и к *Stagnicola turricula* (Held, 1836).

M. dilatatus (обитает в Польше в подогреваемых водах) и *L. fragilis* (Гамбург) нами не встречены из-за того, что подобные водоёмы, «богатые» моллюсками, в нашей области отсутствуют. Лишенный водной растительности охладитель ТЭЦ-2 в Калининграде заселен только дрейссеной и *P. planorbis*.

Подвид *V. piscinalis antiqua* обнаружен в Куршском заливе в танатоценозе в пос. Заливное восточнее устья Западного канала в 2015 г. Дополнительно следует упомянуть найденный в том же году *Theodoxus fluviatilis littoralis* (L., 1758), который обитает в Вислинском заливе в 1 км северо-восточнее устья р. Прохладной (пос. Ушаково). Его раковины можно обнаружить в танатоценозе на берегу залива.

Можно полагать, что список редких видов брюхоногих водоёмов области будет еще пополнен.

Мы предлагаем следующие рекомендации по охране редких видов вышеперечисленных моллюсков.

Благодаря далеко зашедшим процессам осушения, мелиорации и сельскохозяйственного освоения области (особенно до 1945 г.) на большей части её территории были почти целиком утрачены малые водоёмы, эфемерные водные объекты и луговые не торфяные болота. Эти местообитания более широко представлены и наиболее хорошо сохранились в пониженных, польдерных и пойменных угодьях долин основных рек (каналов), низин побережья заливов и дельты р. Неман. Постепенное развитие зон поверхностного заболачивания на неиспользуемых землях улучшило условия обитания видов водно-болотных угодий, но обнаруживаются они не часто из-за малого числа подходящих по условиям биотопов, поэтому эти водоёмы не подлежат мелиорированию и нуждаются в охране. Эти экосистемы просто нужно оставить «в покое», что легко осуществимо.

Обнаружение редких брюхоногих постоянных водоёмов связано с тщательным и длительным обследованием богатых водной жизнью консервативных экосистем, в которых не происходят катастрофические изменения условий обитания моллюсков, резко снижающие их разнообразие. Часто причины, формирующие богатую фауну водоёма, неясны, но при первичном обследовании становится понятно, что именно в подобных местообитаниях следует искать редкие виды: варьировать места облова в зависимости от особенностей растительности, субстрата и т.п. Такие биотопы охранять наиболее трудно, так как из-за их обилия затруднен выбор объекта охраны, а многие из них вовлечены в хозяйственную деятельность человека или являются приёмниками сточных вод. Необходим целенаправленный поиск водоёма, подходящего для объявления его памятником природы.

A. fluviatilis (речная чашечка), вероятно, ранее населяла большинство малых водотоков региона, но особенно часто могла встречаться на возвышенностях. Типичный субстрат ее обитания – камни на течении малых рек. Следует признать, что водотоки Варминой (Багратионовский район), Виштынецкой (Нестеровский район) и Самбийской (Зеленоградский район) возвышенностей претерпели существенные изменения благодаря деятельности человека. Это – заиливание всех субстратов (в том числе и камней) из-за эрозии земель; изъятие камней и валунов из русла водотоков для строительства булыжных мостовых и фундаментов (до 1945 г.); целенаправленная интродукция человеком обыкновенного бобра (50-е гг. XX в.), которая привела к преобразованию малых рек; сточные воды населенных пунктов и производств (пивоварни, производство молочных продуктов, скотофермы), которые ведут к развитию обрастаний. Всё это является причиной столь резкого обеднения фауны многих малых рек нашего края, что складывается впечатление о их «запустении» в отношении бентоса.

Сложившуюся ситуацию в малых реках области так же трудно исправить, как остановить эрозию сельскохозяйственных земель. Следовательно, нужно со-

здавать гидрологические заказники регионального значения в тех случаях, когда водоток сохранился более полно (богат водной жизнью), и следить за типом землепользования на его водосборной площади. Наибольшую ценность представляют малые реки и ручьи, защищенные лесными насаждениями, с сохранившимися каменистыми отмелями в русле без развитых песчаных наносов и заиления (например, руч. Великопальный, р. Коневка и р. Витушка, р. «Чертова» (Чёртов мост на «Берлинке»)). Пример такого памятника природы – р. Красная на Виштынецкой возвышенности в Красном лесу (Роминтенская пуца).

Чужеродные виды – свидетельство постоянного процесса расселения моллюсков. Роль этих моллюсков в экосистемах Калининградской области невелика, так как они не дают больших всплесков численности. Чужеродные виды нуждаются в мониторинге их расселения, но не в охране.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Отталкиваясь от европейских списков охраняемых брюхоногих [2] и результатов наших исследований, рекомендуем включить в Красную книгу Калининградской области следующие виды: *S. fuscus* (категория 1), *G. rossmaessleri* (категория 1), *M. glutinosa* (категория 2), *G. laevis* (категория 1) и *B. naticina* (категория 3).

БЛАГОДАРНОСТИ

Выражаю глубокую признательность за предоставленные материалы иностранным коллегам: Zoltán Fehér (Hungarian Natural History Museum, Department of Zoology, Budapest, Hungary), Michael L. Zettler (Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemuende, Biologische Meereskunde, Rostock, Bundesrepublik Deutschland); Albertas Gurskas (Каунасский зоологический музей им. Т. Ивананускаса, Литва), Виталию Анистратенко (Институт зоологии им. И. И. Шмальгаузена НАН Украины, Киев); а также читавшим рукопись и сделавшим ряд существенных замечаний Р. Н. Буруковскому (КГТУ, Калининград) и М. В. Винарскому (СПбГУ). Материально-техническую и методическую помощь в организации пешеходных и водных походов оказывал Д. Ю. Данилов (МАУДО ДТД и М, Калининград).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Красная книга Калининградской области / под ред. В. П. Дедкова, Г. В. Гришанова. – Калининград: Изд-во РГУ им. И. Канта, 2010. – 333 с.
2. Byrne A. Ireland Red List No. 2. Non-Marine Molluscs / A. Byrne, E. A. Moorkens, R. Anderson, I. J. Killeen, E. C. Regan – Dublin: National Parks and Wildlife Service, 2009. – 49 p.
3. Cuttelod A. European Red List of Non-marine Molluscs / A. Cuttelod, M. Seddon E. Neubert – Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2011. – 97 p.
4. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений / под ред. В. А. Абакумова. – Ленинград: Гидрометеоздат, 1983. – 240 с.
5. Жизнь пресных вод / под ред. Е. Н. Павловского, В. И. Жадина. – Москва – Ленинград: Академия наук СССР, 1956. – Т. 4, Ч. 1. – 470 с.

6. Жадин, В. И. Моллюски пресных и солоноватых вод СССР / В. И. Жадин. – Москва – Ленинград: Академия наук СССР, 1952. – 376 с.
7. Glöer P. Süßwassermollusken (Ein Bestimmungsschlüssel für die Bundesrepublik Deutschland, 13 neubearbeitete Auflage) / P. Glöer, C. Meier-Brook. – Hamburg: DJN, 2003. – 135 s.
8. Glöer P. Süßwassergastropoden Nord- und Mitteleuropas. Bestimmungsschlüssel / P. Glöer, Lebensweise, Verbreitung. – 2. Aufl., – Hackenheim: Conchbooks, 2002. – 327 s.
9. Macan T. T. A Key to the British Fresh- and Brackish-Water Gastropods, with Notes on their Ecology / T. T. Macan, 4 Ed. – Ambleside: Freshwater Biological Association, Scientific Publication No. 13, 1977. – 46 p.
10. Piechocki A. Fauna słodkowodna Polski. Mięczaki (Mollusca), ślimaki (Gastropoda) / A. Piechocki. – Warszawa-Poznań: Państwowe Wydawnictwo Naukowe, 1979. – 187 p.
11. Anderson R. An annotated list of the non-marine Mollusca of Britain and Ireland // Journal of Conchology. – 2005. Vol. 38. – P. 607–638.
12. Glöer P. Kommentierte Artenliste der Süßwassermollusken Deutschlands / P. Glöer, M. Zettler // Malakologische Abhandlungen. – 2005. Bd. 23. – S. 3–26.
13. Horsák M. Komentovaný seznam měkkýšů zjištěných ve volné přírodě České a Slovenské republiky / M. Horsák, L. Juříčková, L. Beran, T. Čejka, L. Dvořák // Malacologica Bohemoslovaca. – 2010. № 1. – P. 1–37.
14. Манаков, Д. В. Список водных брюхоногих моллюсков (Mollusca, Gastropoda) Калининградской области (литературный обзор) / Д. В. Манаков // Альманах современной науки и образования. – 2015. – № 1 (91). – С. 68–72.

REFERENCES

1. *Krasnaya kniga Kaliningradskoy oblasti* [The Red Book of the Kaliningrad region], ed. V. P. Dedkov, G. V. Grishanov. Kaliningrad, I. Kant RSU, 2010, 333 p.
2. Byrne A., Moorkens E. A., Anderson R., Killeen I. J., Regan E. C. *Ireland Red List No. 2. Non-Marine Molluscs*. Dublin, National Parks and Wildlife Service, 2009, 49 p.
3. Cuttelod A., Seddon M., Neubert E. *European Red List of Non-marine Molluscs* Luxembourg, Publications Office of the European Union, 2011, 97 p.
4. *Rukovodstvo po metodam gidrobiologicheskogo analiza poverkhnostnykh vod i donnykh otlozheniy* [Guide to methods of hydrobiological analysis of surface water and sediments], ed. V. A. Abakumov. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1983, 240 p.
5. *Zhizn' presnykh vod* [Freshwater life], ed. E. N. Pavlovsky, V. I. Zhadin. Moscow, Leningrad, Akademiya nauk SSSR, 1956, vol. 4, part 1, 470 p.
6. Zhadin V. I. *Mollyuski presnykh i solonovatykh vod SSSR* [Mollusks of freshwater and brackish waters of USSR]. Moscow, Leningrad, Akademiya nauk SSSR, 1952, 376 p.
7. Glöer P., Meier-Brook C. *Süßwassermollusken* (Ein Bestimmungsschlüssel für die Bundesrepublik Deutschland, 13 neubearbeitete Auflage). Hamburg, DJN, 2003, 135 p.
8. Glöer P. *Süßwassergastropoden Nord- und Mitteleuropas*. Bestimmungsschlüssel, Lebensweise, Verbreitung, 2. Aufl., Hackenheim, Conchbooks, 2002, 327 p.

9. Macan T. T. *A Key to the British Fresh- and Brackish-Water Gastropods, with Notes on their Ecology*. 4 Ed. Ambleside, Freshwater Biological Association, Scientific Publication, no. 13, 1977, 46 p.
10. Piechocki A. *Fauna słodkowodna Polski*. Mięczaki (Mollusca), ślimaki (Gastropoda). Warszawa-Poznań, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, 1979, 187 p.
11. Anderson R. An annotated list of the non-marine Mollusca of Britain and Ireland. *Journal of Conchology*, 2005, no. 38, pp. 607–638.
12. Glöer P., Zettler M. Kommentierte Artenliste der Süßwassermollusken Deutschlands. *Malakologische Abhandlungen*, 2005, no. 23, pp. 3–26.
13. Horsák M., Juříčková L., Beran L., Čejka T., Dvořák L. Komentovaný seznam měkkýšů zjištěných ve volné přírodě České a Slovenské republiky. *Malacologica Bohemoslovaca*, 2010, no 1. pp. 1–37.
14. Manakov D. V. Spisok vodnykh bryukhonogikh mollyuskov (Mollusca, Gastropoda) Kaliningradskoy oblasti (literaturnyy obzor) [List of water gastropods (Mollusca, Gastropoda) of the Kaliningrad region (literature review)]. *Al'manakh sovremennoy nauki i obrazovaniya*, 2015, no. 1(91), pp. 68–72.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Манаков Дмитрий Валерьевич – Балтийский федеральный университет
им. И. Канта, Издательско-библиотечный центр (г. Калининград);
E-mail: echo_tc2@rambler.ru

Manakov Dmitry Valeryevich – Immanuel Kant Baltic Federal University, Library;
E-mail: echo_tc2@rambler.ru

УДК 597.552.51

О ПИТАНИИ СИГА ОЗЕРА ВИШТЫНЕЦКОГО
В ВЕСЕННЕ-ЛЕТНИЙ ПЕРИОД

А. В. Мычкова, С. В. Шибает

NUTRITION OF WHITEFISH IN LAKE VISHTYNETSKOE
IN THE SPRING-SUMMER PERIOD

A. V. Mychkova, S. V. Shibaev

Представлены результаты исследования питания сига обыкновенного (*Coregonus lavaretus*, L.) оз. Виштынецкого (Калининградская область). Выявлены бентосные организмы, которые составляют основу пищевого комка, в составе которого в мае 2010 г. было обнаружено 11 групп организмов. В описании характеристики спектра питания рыб использовались такие показатели, как частота встречаемости и доля каждого компонента пищи по массе. В связи с высокой степенью переваренности кормовых объектов идентификация видового состава пищи в основном проводилась до крупных таксономических групп. Описана характеристика изменения видового состава бентосных организмов в пищевом комке в зависимости от длины и возраста сига. В результате анализа изменений от длины сига существенных отличий не выявлено, в свою очередь исследования пищевого комка в зависимости от возраста дали более значимые результаты. Осуществлен анализ избирательности пищи при помощи коэффициента Ивлева. Наиболее любимыми объектами в питании сига согласно данному коэффициенту были представители подкласса пиявки и отряд ручейники. С использованием литературных данных проведен сравнительный анализ состава пищи сига за последние 30 лет, что необходимо для выяснения влияния возможной эвтрофикации оз. Виштынецкого на снижение численности. Установлено, что никаких принципиальных изменений в составе пищи сига не наблюдается, а даже, наоборот, отмечено расширение спектра питания. Это может свидетельствовать о том, что причина снижения численности не связана с эвтрофированием озера.

бентос, сиг, питание, озеро Виштынецкое

The paper presents research results of whitefish nutrition in Lake Vishtynetsкое. Benthic organisms that form the basis of the food bolus are identified. Due to the high degree of digestion of feed objects, identification of the species composition of food was mainly conducted up to large taxonomic groups. In May 2010, 11 groups of organisms were found in the composition of the food bolus. The characteristic of the change in the species composition of benthic organisms in the food lump was made, depending on the length and age of the whitefish. As a result of the analysis of the dependency in the species structure from the length of the whitefish, no significant differences has been identified, therefore the study of the food bolus depending on the age gave more significant results. The most favored objects in the diet of the whitefish according to this ratio were representatives of a leech subclass and a caddis flies order. With the use of litera-

ture data, a comparative analysis of the composition of the whitefish food over the last 30 years has been carried out, which is necessary to determine the effect of the possible eutrophication of Lake Vishtynetskoe. It has been established that no fundamental changes in the composition of the food are observed, but on the contrary there is an expansion of the food spectrum.

benthic organisms, whitefish, nutrition, Lake Vishtynetskoe

ВВЕДЕНИЕ

Рыба проявляет высокую степень пластичности питания в зависимости от среды обитания и от пищевых ресурсов, которые потребляет. Исследование питания рыб позволяет идентифицировать трофические связи в экосистеме, уточняет качественные и количественные характеристики сообществ, что, в свою очередь, дает возможность оценки экологического состояния водоема. Кроме того, данные одновременно являются необходимым элементом для рыбохозяйственных исследований. Промысел рыбы преимущественно основан на облове массовых ее скоплений. Поэтому очень важно знать закономерности этих скоплений и путей миграций. Изучение питания рыб может поспособствовать получению таких знаний. По наличию в кишечниках фрагментов форм, характерных для определенных мест и биотопов, можно судить, где, на каких грунтах и глубинах рыба брала пищу и, следовательно, где она побывала.

Сиг являлся промысловым объектом оз. Виштынецкого, максимальный улов его в этом озере (в объеме 4,5 т) наблюдался в 1972 г., но к 1990 г. он существенно снизился, как считается, в связи с развалом рыбной отрасли и прекращением неводного лова. Помимо этого, одной из причин снижения уловов сига может быть и эвтрофикация водоема, которая, однако, проявляется пока незначительно [1].

Трофические взаимосвязи водных объектов оз. Виштынецкого достаточно хорошо изучены в 1970–80 гг. [2–4], однако в дальнейшем исследования были прекращены, долгое время им не уделялось должного внимания, имеются лишь некоторые современные данные по изучению питания рыб этого водоема [5–6].

Цель настоящей работы – дать характеристику современного состава пищи сига и проанализировать его возможные изменения через 30 лет в связи с предполагаемой эвтрофикацией водоема.

Представленная работа является первым этапом для дальнейших исследований и предоставляет первичные современные данные о питании сига оз. Виштынецкого.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Материал для исследований собирался в мае 2010 г. В качестве орудий лова использовались ставные сети с ячеей от 14 до 70 мм. Контрольные обловы проводились в зоне типичных биотопов. Облов осуществлялся таким образом, чтобы получить достоверную характеристику распределения, видового и размерного состава сига в целом по водоему. Всего было отловлено и взято на биологический анализ около 100 экземпляров сиговых рыб.

Популяция сига оз. Виштынецкого в уловах была представлена особями в возрасте от 2 до 6 лет, промысловая длина – 15–39 см, масса – 52–1066 г. Мо-

дальний класс распределений по длине – 36–39 см (25%), по массе – 650–850 г (25%).

В весенне-летний период сиг населяет глубоководную зону, имеющую низкую температуру воды в течение всего года и хороший кислородный режим. Достоверный материал по его питанию удалось собрать только в мае, когда про-исходил его нагул в зоне литорали. При прогреве воды до 12–15 °С и выше он мигрирует в профундаль озера, где и питается в течение всего летнего периода [2].

Для исследования питания было отобрано 60 экземпляров рыб. Анализ проводился по стандартным методикам. Идентификация видового состава пищевого комка в основном проводилась до крупных таксономических групп в связи с высокой степенью переваренности кормовых объектов.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В составе зообентосного сообщества оз. Виштынецкого были обнаружены 206 видов и форм зообентоса, принадлежащим девяти таксономическим группам. Большим количеством видов отличаются хирономиды (65 видов), моллюски, ручейники и олигохеты. В прибрежной зоне обнаружено максимальное количество видов – 188. С увеличением глубины их количество значительно падает, и в центральной глубоководной части озера зообентос представлен в основном некоторыми видами хирономид и олигохет [7–9].

В составе пищевого комка сига оз. Виштынецкого в мае 2010 г. было обнаружено 11 групп организмов, в том числе: тип моллюски (*Mollusca*), вид речная дрейсена (*Dreissena polymorpha*), семейство комаров-звонцов (*Chironomidae*), куколки сем. *Chironomidae*, подкласс малощетинковые черви (*Oligochaeta*). Подтип ракообразные (*Crustacea*) в пищевом комке был представлен следующими видами: водяной ослик (*Asellus aquaticus*) и бокоплав (*Gammarus lacustris*). Также в питании сига обнаружены подсемейство жуков-плавунцов (*Agabus sp.*), личинки класса насекомых (*Insecta*), отряд ручейники (*Trichoptera*) и подкласс пиявки (*Hirudinea*).

Основу спектра питания составляли представители таксономических групп *Crustacea* и *Mollusca* (34,5% и 30% по биомассе соответственно), у отдельных рыб в желудках отмечено значительное количество представителей семейства комаров-звонцов (*Chironomidae*) и подкласса малощетинковых червей (*Oligochaeta*), по 11% и 9% на долю биомассы соответственно (рис. 1).

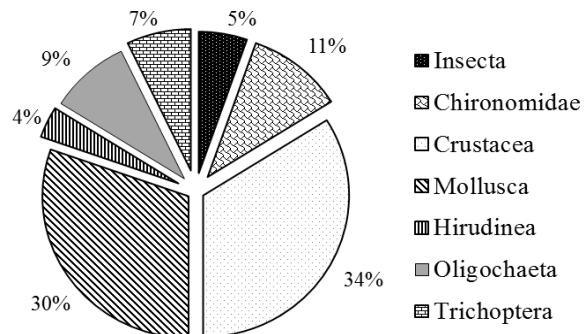


Рис. 1. Видовая структура питания сига оз. Виштынецкого, в % от биомассы
 Fig. 1. Species structure of the food of the whitefish, in % of biomass

В описании характеристики спектра питания рыб использовались такие показатели, как частота встречаемости и доля каждого компонента пищи по массе.

Среди исследованных рыб в пищевых комках по частоте встречаемости преобладали моллюски (25,9%) и представители подтипа ракообразные, такие как: вид *Asellus aquaticus* (17,2%) и *Gammarus lacustris* (15,5%) (рис. 2).

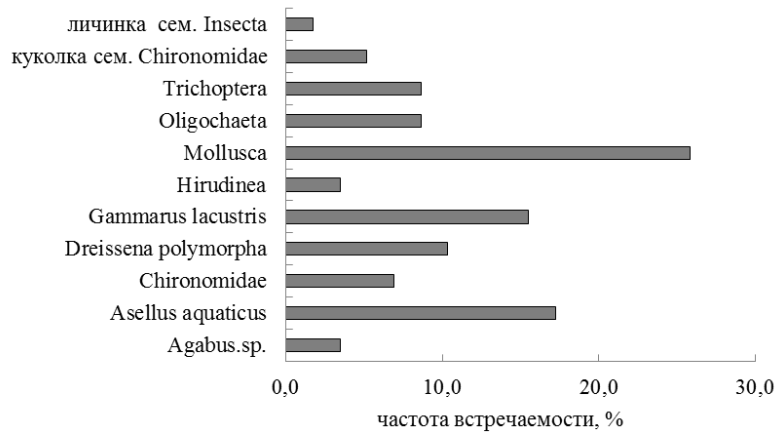


Рис. 2. Спектр питания сига оз. Виштынецкого (частоты встречаемости, %)
 Fig. 2. Nutrition spectrum of whitefish (frequency of occurrence, %)

Дальнейшая оценка качественного состава пищевого комка, оценка изменения компонентов питания в зависимости от длины рыбы и ее возраста, а так же определение пищевой избирательности сига оз. Виштынецкого проводились у семи таксономических групп.

В результате анализа изменений видовой структуры пищевого комка от длины сига значимых отличий не выявлено (рис. 3). Для выявления более значимых различий был проведен анализ возрастных изменений в пищевом комке.

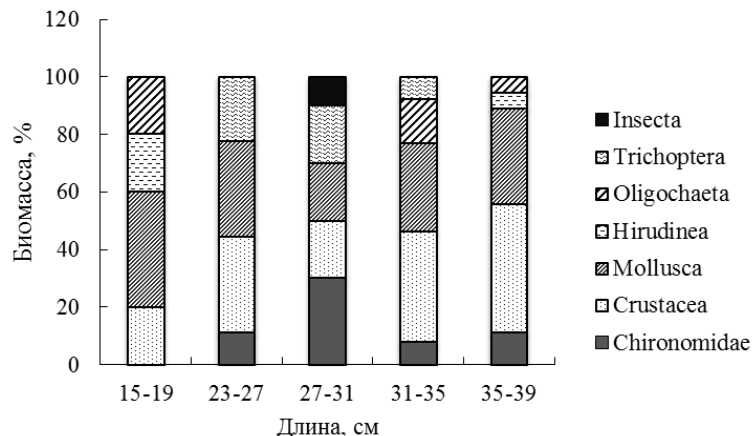


Рис. 3. Изменение видового состава питания сига в зависимости от длины
 Fig. 3. Change in the species composition of the food of the whitefish, depending on the length

Анализ изменений видового состава пищевого комка в зависимости от возраста сига дал более значимые результаты. В питании взрослых половозрелых особей (от трех лет), в отличие от неполовозрелых, начинают встречаться представители таких таксономических групп, как: Chironomidae, Insecta и Trichoptera, что связано с видовыми особенностями питания сига (рис. 4).

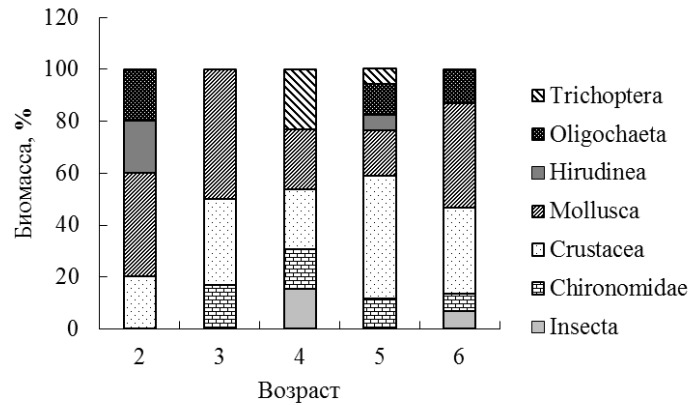


Рис. 4. Возрастные изменения видового состава питания сига
 Fig. 4. Age-related changes in the species composition of the whitefish nutrition

Анализ избирательности питания проводился с использованием коэффициента Ивлева (табл. 1), который позволяет выявить излюбленную и энергетически важную пищу для различных видов рыб.

Таблица 1. Значение коэффициента Ивлева для питания сига оз. Виштынецкого
 Table 1. The value of the Ivlev coefficient for whitefish nutrition in Lake Vishtynetsкое

Вид пищи	Коэффициент Ивлева
Insecta	-0,36387
Chironomidae	0,166861
Crustacea	-0,2583
Mollusca	0,120072
Hirudinea	0,509952
Oligochaeta	-0,28212
Trichoptera	0,431601

Коэффициент Ивлева учитывает влияние концентрации пищевых организмов в окружающей среде и тем самым выявляет наиболее излюбленные для питания сига виды бентоса [10]. Так, наиболее предпочитаемыми группами организмов в пищевом комке сига оз. Виштынецкого были подкласс пиявки (*Hirudinea*) и отряд ручейники (*Trichoptera*), в то время как лидирующий по всем показателям подтип ракообразные (*Crustacea*) показал отрицательную избирательность.

Для анализа изменений питания сига вследствие возможной эвтрофикации озера полученные результаты были сопоставлены с данными 80-х гг.

Согласно фондовым данным 1981–1982 гг., в мае основу пищи сига составляли п/тип *Crustacea* (ракообразные), на их долю приходилось 95–99% от массы всех обнаруженных организмов. С повышением температуры в пищевом

комке сига доминировали крупные хирономиды, в профундали оз. Виштынецкого они были представлены личинками мотыля и *Sergentia coracina* [2].

В 1989 г. для изучения питания были взяты всего два экземпляра сига, имевших наполненные желудочно-кишечные тракты. Основу пищевых комков составляли моллюски, а именно *Bithynia*, на долю которых приходилось около 80 % массы пищи. Остальная часть содержимого приходилось на ракообразных (*Isopoda*, *Amphipoda*) и личинок насекомых (*Chironomidae*, *Trichoptera*). Причем из ракообразных преобладали водяные ослики, а из насекомых – хирономиды [4].

Наиболее отчетливую картину по питанию можно увидеть в материалах 1988 г., где на изучение было взято 14 желудков (табл. 2).

Таблица 2. Общие показатели по исследованию питания сига в различные годы
Table 2. General indicators for the study of whitefish feeding in different years

Год исследований	1988	2010
Количество рыб, шт.	14	60
Длина, см	32,0–42,5	15,4–39,2
Количество питающихся рыб, %	36,0	64,0
Общий индекс наполнения, ‰	34,8	52,2

Основу пищи сига в мае 1988 г. составляли моллюски, на долю которых приходилось 80 % массы всей пищи (рис. 5). Эта же пищевая группа имеет и наибольшее значение частоты встречаемости (рис. 6).

Доминировал вид *Bithynia tentaculata*. Второе место по частоте встречаемости и по массе занимал водяной ослик (*Asellus aquaticus*), на долю остальных пищевых групп (*Amphipoda*, *Chironomidae*, *Trichoptera*, *Insecta*) приходилось в сумме 10 % содержимого желудков. Из них относительно часто потреблялись личинки ручейников, личинки и куколки хирономид [3].

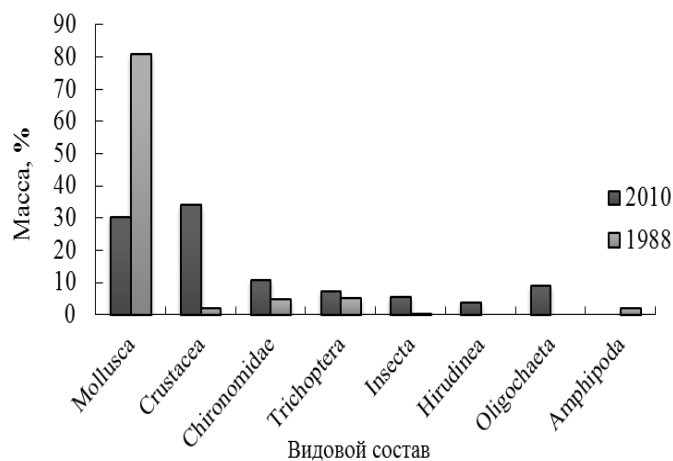


Рис. 5. Изменения видовой структуры питания сига оз. Виштынецкого в различные годы исследований
Fig. 5. Changes in the species structure of the food of whitefish in Lake Vishtynetskoe in different years of research

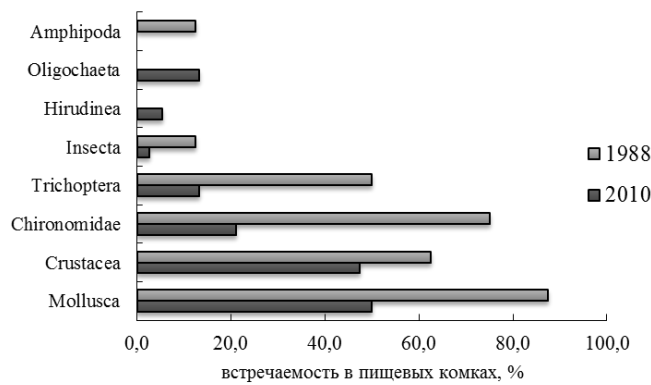


Рис. 6. Спектр питания сига оз. Виштынецкого в различные годы исследований (частота встречаемости в пищевых комках, %)

Fig. 6. Nutrition spectrum of whitefish in Lake Vishtynetskoe in different years of research (frequency of occurrence in food bolus, %)

Сравнивая современные показатели с данными 80-х гг., можно сделать вывод, что общие тенденции в питании сига оз. Виштынецкого за последние 30 лет изменились незначительно. В рацион добавились представители подкласса олигохет (*Oligochaeta*) и пиявок (*Hirudinea*). Такие изменения можно считать несущественными ввиду малой выборки проб в 1988 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, установлено, что основными компонентами питания сига оз. Виштынецкого являются ракообразные и моллюски, которые наиболее часто встречаются в пищевом комке (в сумме процент встречаемости превышал 60 %). Видимых различий в рационе сига в зависимости от длины не наблюдалось, в то же время были отмечены возрастные изменения. Так, у половозрелых особей (с трехлетнего возраста) в рационе появляются представители сем. *Chironomidae*, *Insecta* и *Trichoptera*.

Наиболее излюбленными объектами в питании сига согласно коэффициенту Ивлева являлись представители подкласса пиявки (*Hirudinea*) и отряд ручейники (*Trichoptera*), что объясняется высоким уровнем их калорийности.

Интенсивность питания не подвержена изменениям в результате эвтрофикации оз. Виштынецкого. Кроме того, интенсивность откорма в современный период выше, чем 30 лет назад. Состав пищи был очень разнообразен, но тип *Mollusca* и п/тип *Crustacea* являлись доминирующими объектами во все годы наблюдений.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Озеро Виштынецкое / К. В. Тылик [и др.] – Калининград, 2008. – 143 с.
2. Герасимов, Ю. В. Условия нагула бентосоядных рыб в зоне зарослей макрофитов: дис. на соискание уч. степени канд. биол. наук: 03.00.10 / Герасимов Юрий Викторович; КТИ. – Калининград, 1983. – 200 с.

3. Определение биологических характеристик, состояния запасов основных промысловых и массовых видов рыб оз. Виштынецкого: отчет о НИР (промежуточ.) / рук. В. И. Скорняков. – Калининград: [б. и.], 1989. – 62 с.
4. Определение биологических характеристик, состояния запасов основных промысловых и массовых видов рыб оз. Виштынецкого: отчет о НИР (заключительный) / рук. В. И. Скорняков. – Калининград: [б. и.], 1989. – 62 с.
5. Кривоpuskova, E. V. О питании европейской ряпушки в оз. Виштынецком в современный период / E. V. Кривоpuskova, A. V. Соколов, A. V. Мычкова // Водные биоресурсы, аквакультура и экология водоемов: III Балтийский форум: междунар. науч. конф.: труды. – Калининград, ФГБОУ ВО «КГТУ», 2015. – С. 43–46.
6. Щербина, Г. X. Изменение видового состава и структурно-функциональных характеристик макрозообентоса водных экосистем северо-запада России под влиянием природных и антропогенных факторов: автореф. дис. ... д. б. н.: 03.00.16 / Щербина Георгий Харлампиевич; ФГНУ «ГосНИОРХ». – Санкт-Петербург, 2009. – 49 с.
7. Масюткина, Е. А. Оценка экологического состояния оз. Виштынецкого с применением различных гидробиологических индексов / Е. А. Масюткина // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. – 2014. – № 7. – С. 66–76.
8. Мордухай-Болтовская, Э. Д. Зоопланктон и зообентос оз. Виштынецкого / Э. Д. Мордухай-Болтовская, П. И. Иванова, И. П. Машинец // Труды КТИ. – Калининград, 1971. – № 26. – С. 38–47.
9. Рыбохозяйственный кадастр трансграничных водоемов России (Калининградская область) и Литвы / С. В. Шибаев [и др.]. – Калининград, 2008. – 198 с.
10. Ивлев, В. С. Экспериментальная экология рыб: моногр. / В. С. Ивлев. – Москва: Пищепромиздат, 1995. – 253 с.

REFERENCES

1. Tylik K. V. *Ozero Vishtyneckoe* [Lake Vishtynetsкое]. Kaliningrad, 2008, 143 p.
2. Gerasimov J. V. *Uslovija nagula bentosojadnyh ryb v zone zaroslej makrofitov. Diss. dokt. biol. nauk* [Conditions for feeding benthic fishes in the zone of macrophyte thickets. Dis. dr. biol. sci]. Kaliningrad, 1983, 200 p.
3. Skornjakov V. I. *Opredelenie biologicheskikh harakteristik, sostojanija zapasov osnovnyh promyslovyh i massovyh vidov ryb oz. Vishtyneckogo: otchet o NIR (promezhutoch.)* [Determination of biological characteristics, state of the stocks of the main commercial and mass fish species of Lake Vishtynetsкое: report on scientific research (interim)]. Kaliningrad, 1989, 62 p.
4. Skornjakov V. I. *Opredelenie biologicheskikh harakteristik, sostojanija zapasov osnovnyh promyslovyh i massovyh vidov ryb oz. Vishtyneckogo: otchet o NIR (zakljuchitel'nyj)* [Determination of biological characteristics, state of the stocks of the main commercial and mass fish species of Lake Vishtynetsкое: report on scientific research (final)]. Kaliningrad, 1989, 62 p.
5. Krivopuskova E. V., Sokolov A. V., Mychkova A. V., Halmatova E. R. *O pitanii evropejskoj rjapushki v ozere Vishtyneckom v sovremennyj period* [On nutrition of European rypushki in Lake Vishtynetsкое in the modern period]

tion of European vendace in Lake Vishtynetskoe in the recent period]. *Trudy 3 Baltijskogo foruma, mezhdunarodnaja nauchnaja konferencija «Vodnye bioresursy, akvakul'tura i jekologija vodoemov»* [Proc. 3 Baltic Forum. International Scientific Conference “Aquatic bioresources, aquaculture and ecology of water bodies”]. Kaliningrad, 2015, pp. 43–46.

6. Shherbina G. H. *Izmenenie vidovogo sostava i strukturno-funkcional'nyh harakteristik makrozoobentosa vodnyh jekosistem severo-zapada Rossii pod vlijaniem prirodnyh i antropogennyh faktorov. Avtoreferat dis. dokt. biol. nauk* [Changes in the species composition and structural and functional characteristics of macrozoobenthos of aquatic ecosystems in the north-west of Russia under the influence of natural and anthropogenic factors. Abstract of dis. dr. boil. sci.]. Saint-Petersburg, 2009, 49 p.

7. Masjutkina E. A. *Ocenka jekologicheskogo sostojanija oz. Vishtyneckogo s primeneniem razlichnyh gidrobiologicheskikh indeksov* [Assessment of the ecological state of Lake Vishtynetskoe with the use of various hydrobiological indices]. *Vestnik Baltijskogo federal'nogo universiteta im. I. Kanta*, 2014, no 7, pp. 66-76.

8. Morduhaj-Boltovskaja E. D. Ivanova P. I., Mashinec I. P. *Zooplankton i zoobentos ozera Vishtyneckogo* [Zooplankton and zoobenthos of Lake Vishtynetskoe]. *Trudy KTI [Proc. KTI]*. Kaliningrad, 1971, no. 26, pp. 38–47.

9. Shibaev S. V. *Rybohozjajstvennyj kadastr transgranichnyh vodoemov Rossii (Kaliningradszkaja oblast') i Litvy* [Fishery cadastre of transboundary reservoirs of Russia (Kaliningrad region) and Lithuania]. Kaliningrad, 2008, 198 p.

10. Ivlev V. S. *Jeksperimental'naja jekologija ryb* [Experimental ecology of fish]. Moscow, Pishhepromizdat Publ., 1995, 253 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Мычкова Алёна Валерьевна – Калининградский государственный технический университет; аспирант кафедры «Ихтиология и экология»;
E-mail: alena_mychkova@mail.ru

Mychkova Alyona Valeryevna – Kaliningrad State Technical University;
PhD student of the Department of Ichthyology and Ecology;
E-mail: alena_mychkova@mail.ru

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

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

УДК 551.462(470)(06)

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОДЫ ОСНОВНЫХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ
ПРИРОДНОГО ПАРКА «ВИШТЫНЕЦКИЙ»
ПОСЛЕ ОКОНЧАНИЯ ТУРИСТИЧЕСКОГО СЕЗОНА

Н. Н. Цветкова, Т. А. Берникова, С. В. Шibaев

ASSESSMENT OF WATER QUALITY OF WATER OBJECTS
IN THE NATURE PARK «VISHTYNETSKY»
AFTER THE END OF TOURISM SEASON

N. N. Tsvetkova, T. A. Bernikova, S. V. Shibaev

Приводится оценка качества воды по гидрохимическим показателям на основании скрининговых исследований после окончания туристического сезона на основных водных объектах природного парка «Виштынецкий» – р. Красной и оз. Виштынецком в пределах Калининградской области. По большинству исследованных нормируемых показателей вода в р. Красной удовлетворяет требуемым нормативам предельно допустимых концентраций, предъявляемых к водоемам рыбохозяйственного значения. Исключение составляют концентрация фосфат-иона и содержание органических веществ. Основной объем загрязнений река получает на участке ниже пос. Токаревка, где отмечается рост концентраций всех измеренных веществ (за исключением общего азота). На нижнем участке от пос. Радужное до пос. Токаревка происходит самоочищение вод. На территорию области река приходит загрязненная органическими веществами. Так, в фоновом створе, расположенном вблизи государственной границы, значение биохимического потребления кислорода уже превышает установленные нормативы. По однократным результатам измерения нельзя полноценно оценить влияние туристической деятельности на экологическое состояние р. Красной, однако по имеющимся данным можно сделать вывод, что развивающийся туризм в настоящее время не оказывает заметного влияния на гидрохимический состав вод. В оз. Виштынецком большинство исследованных показателей отвечало допустимым требованиям во всех точках. Исключение составила величина биохимического потребления кислорода, везде превышавшая нормативы. Это соответствует оценке прибрежной части озера как имеющей более высокий трофический уровень. Концентрации аммоний-иона и фосфат-иона превысили предельно допустимые нормативы в т. 2, что согласуется с более высоким трофическим статусом Утинового залива. Какая-либо закономерность в распределении значений исследованных показателей между точками не просматривается. Исследования выполнены в рамках проекта VBSWater.

природный парк, оз. Виштынецкое, р. Красная, рН, биологическое потребление кислорода, БПК₅, аммоний-ион, нитрит-ион, нитрат-ион, азот общий, фосфат-ион, жиры, антропогенная нагрузка, эвтрофирование

An assessment of water quality by hydrochemical indicators is made on the basis of screening studies after the end of the tourist season on the water bodies of the Vishty-

tis Park – the Krasnaya River and the Lake Vishtytis within the Kaliningrad Region. According to the majority of the normed indicators, the water in the Krasnaya River satisfies the MPC (maximum permissible concentration). An exception is the content of the phosphate ion and the content of organic substances. The river gets the main amount of pollution in the area below the Tokarevka settlement, where the concentrations of all measured substances increase (except for total nitrogen). On the lower part of the settlement of Raduzhnoe to the settlement Tokarevka self-purification of water occurs. According to one-time measurement results, it is impossible to fully appreciate the impact of tourism on the ecological state of the Krasnaya River, but according to available data it can be concluded that developing tourism currently doesn't have a significant effect on the hydrochemical composition of the waters in the Krasnaya River. In the Lake Vishtytis the majority of the studied parameters corresponded to the maximum permissible concentrations at all points. The only exception is biochemical oxygen demand, everywhere exceeding the standards. This corresponds to an assessment of the coastal part of the lake as having a higher trophic level. The concentration of ammonium ion and phosphate ion exceeded the MPC (maximum permissible concentration) at point 2, which is consistent with the higher trophic status of the Duck Bay. There is no regularity in the distribution of the volumes of the studied indicators between the points. The research was carried out within the framework of the VBSWater project.

lake Vishtynetskoye, river Red, pH, biochemical oxygen demand, BOD₅, ammonium ion, nitrit-ion, nitrate ion, nitrogen the general, phosphate ion, fats, anthropogenic loading, eutrophication

ВВЕДЕНИЕ

В Калининградской области с целью сохранения биологического и ландшафтного разнообразия, поддержания благоприятной окружающей среды, проведения научно-исследовательских работ, рекреационного благоустройства и развития регулируемого туризма и отдыха в 2012 г. создан природный парк «Виштынецкий» (бывшая Роминтская пуца, Красный лес), охватывающий большие лесные угодья. На его территории расположены оз. Виштынецкое, малые озера Виштынецкой группы, р. Красная и мелкие водотоки.

Особенности прилегающего ландшафта привлекают сюда туристов и отдыхающих, что увеличивает антропогенное воздействие на водные экосистемы. Следовательно, необходим мониторинг состояния рассматриваемых водных объектов до, в период и по окончании туристического сезона.

Цель работы – оценка качества воды в р. Красной и оз. Виштынецком после окончания туристического сезона.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Представленная работа выполнена по материалам, собранным сотрудниками ГАУ КО «Экологический центр «ЕКАТ-Калининград» в рамках проекта VBSWater. Отбор проб осуществлялся 09 ноября 2017 г. Анализ воды выполнен 10-17.08.2017 г. в филиале федерального государственного бюджетного учреждения «ЦЛАТИ по Северо-Западному Федеральному округу» – Центре лабораторного анализа и технических измерений по Калининградской области (ЦЛАТИ). Работы велись в пасмурную маловетреную погоду без осадков. В период, предше-

ствующий отбору проб, на территории области отмечалось обильное выпадение осадков, повышение уровня грунтовых вод, подтопление низинных территорий, что способствовало возникновению высокого осеннего паводка на реках и не могло не повлиять на гидрохимические условия непосредственно у береговой полосы водных объектов. Пробы воды отбирались с берега. Координаты и описание точек отбора проб приведены в табл. 1, положение стандартных гидрологических станций в оз. Виштынецком показано на рис.

Таблица 1. Описание точек отбора проб воды поверхностных водных объектов в рамках проекта VBSWater на оз. Виштынецком и р. Красной в ноябре 2017 г.

Table 1. Description of sampling points of water of superficial water objects within the VBSWater project on the Lake Vishtynetsky and the Red River in November, 2017

Номер точки	Координаты	Описание	Примечание
1	54.451788 22.700859	На границе с Республикой Литва, где р. Писса вытекает из оз. Виштынецкого	У шлюза на реке скопилась плотная белая пена
2	54.416983 22.690369	Центральная смотровая площадка на оз. Виштынецком	
3	54.407168 22.731681	Отбор проб производился рядом с так называемой Липовой аллеей. Южнее этой точки нет никаких туристических объектов (баз отдыха и пр.)	
4	54.363782 22.543934	Река Красная, в 1,5 км ниже пересечения рекой государственной границы с Польшей. По правому берегу – урочище Радужное. Отбор проб производился под Оленьим мостом на эколого-туристическом маршруте	Отмечается белая плотная пена перед препятствиями (коряги и пр.)
5	54.416318 22.397307	Река Красная, верхнее течение, выше пос. Токаревка. Отметка уреза 116 м. Отбор проб производился под железнодорожным мостом, на эколого-туристическом маршруте. Ниже ж/д моста течение реки пересекает автомобильная дорога направления пос. Краснолесье – пос. Чистые Пруды	
6	54.449373 22.328365	Река Красная, пос. Садовое. Отбор проб производился рядом с хутором. Отбор проб 09.11.2017	Русло недостаточно выражено, разливы реки на соседние территории

Точка 1 примерно соответствует стандартной станции 11, контролирующей не только условия в прилегающей части водоема, но и качество воды. Точка 2, судя по координатам, расположена в Утином заливе, стандартная станция 5 – в его открытой части. Точка 3 в определенной степени совпадает со стандартной станцией 17, но последняя располагается дальше от берега (рис.).

ХАРАКТЕРИСТИКА ИССЛЕДУЕМЫХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ.

Река Красная (нем. – Роминте) является основной рекой Природного парка «Виштынецкий», берет начало в Польше, исток её находится в месте слияния рек Блюдзи и Блендзянки в ландшафтном парке «Пуца Роминска». По территории Польши река течет по ландшафтному парку Сувалки и Красному лесу (Роминтенской пуше), российско-польскую границу пересекает возле пос. Радужное Нестеровского района. В России протекает в северо-западном направлении по территории Калининградской области. Устье реки лежит на 41-ом км левого берега р. Писса в г. Гусеве.

Длина реки 83 км, площадь бассейна 548 км². По морфологическим параметрам река относится к малым рекам, протекает по Виштынецкому озерному району [1]. Речная сеть хорошо выражена, густота бассейна – 0,88 км/км². Среднегодовой сток – 7,57 л/сек с 1 км² [2].

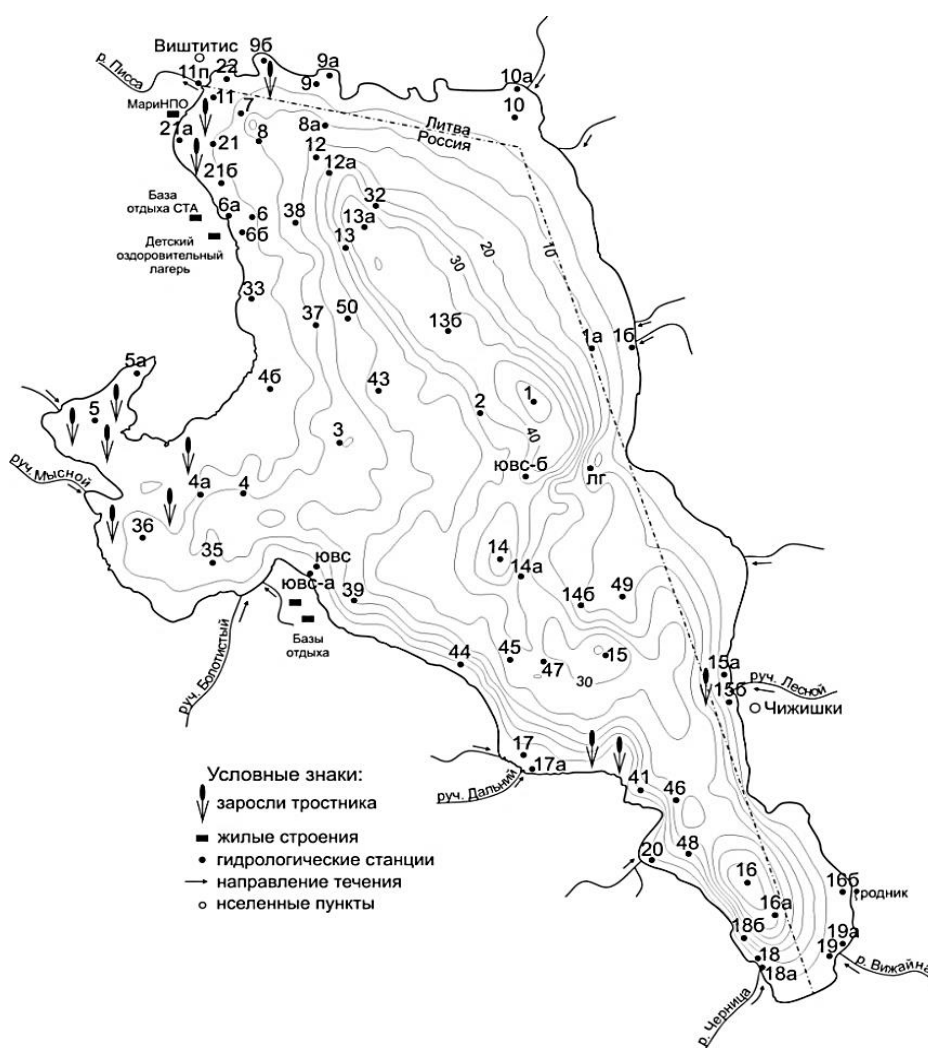


Рис. Схема расположения станций на оз. Виштынецком (штриховая линия – государственная граница РФ) [3]
 Fig. Location of hydrological stations on Lake Vistytis (dash line – the state border of the Russian Federation)

Слева в р. Красную несет свои воды р. Блюдзя (впадает на территории Польши, в 62 км от устья), р. Черная впадает на территории Калининградской области в 47 км от устья, выше п. Краснолесье. Наиболее крупный правый приток – р. Кемеровка с р. Протокой – впадает в главную реку в 56 км от ее устья. Вдоль р. Красной на территории области расположены следующие наиболее крупные населённые пункты. В Нестеровском районе – это поселки: Радужное, Сосновка, Краснолесье, Токаревка, в Гусевском районе – Ольховатка, Вороново, Калининское, Липово и г. Гусев.

Участок долины реки, находящийся в границах Красного леса, в семидесятих годах прошлого века был объявлен памятником природы [3]. Долина р. Красной узкая, глубоко врезается в Виштынецкую возвышенность, образуя глубокие овраги [4, 5]. Вдоль берегов развита прирусловая растительность. Возраст древесных сосново-еловых пород на водосборе – до 100–150 лет. В реке обитают радужная форель (морфологическая форма кумжи – ручьевая форель), хариус, а также ещё 12 других видов рыб (щука, окунь, угорь, голавль, язь, усач и др.), встречаются редкие виды речных раков.

Водный режим р. Красной, как и всех рек Калининградской области, относится к типу равнинных приморских рек. Тип питания – смешанный. Водный режим характеризуется высоким половодьем, относительно низкой летней и зимней меженью с периодическими паводками [6].

Озеро Виштынецкое – основной водоем природного парка «Виштынецкий». Это самое большое и глубокое озеро Калининградской области [7]. Основной лесной массив расположен у западного берега. В лесу много ценных и редких видов древесной и кустарниковой растительности. В водах озера обитает около 19 видов рыб, в том числе ряпушка, сиг обыкновенный, речной угорь, линь и др. [3, 7].

Общая площадь водосбора озера составляет 281,9 км². Наибольшая часть (≈51 %) расположена на территориях Подляского и Вармино-Мазурского воеводств Республики Польша. Это достаточно развитые сельскохозяйственные районы с двумя относительно крупными городами (Вижайны и Житкейми) и десятком мелких хуторов. Оставшаяся часть водосборной площади в относительно равном количестве располагается на территории Российской Федерации и Республики Литва. На литовской территории в 1992 г. создан региональный парк «Виштитис», до создания которого там был крупный сельскохозяйственный район. Здесь на побережье озера располагаются две крупные базы отдыха и городское поселение Виштитис. Почти всю российскую часть водосборной площади занимают леса (около 90 %). На побережье расположены четыре крупных базы отдыха и один детский оздоровительный лагерь [8].

Озеро Виштынецкое – в целом олиготрофный водоем. Однако его прибрежной акватории, включая бухту Тихую (особенно в районе баз отдыха у входа в бухту), характерен несколько более высокий трофический уровень, чем открытой части озера, при этом Утиный залив имеет отчетливо выраженные черты эвтрофного водоема [3, 7]. Основную антропогенную нагрузку озеро получает со стоком с сельскохозяйственных полей, от рекреационных зон и населенных пунктов, расположенных на территории его водосборного бассейна.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Результаты химического анализа воды, отобранной 09.11.2017 г., приведены в табл. 2. Анализ полученных результатов показал следующее.

Вода в р. Красной имеет слабощелочную реакцию. Значение рН изменяется от 7,8 в т. 6 до 8,1 в т. 5. По большинству исследованных нормируемых показателей [9] вода в реке удовлетворяет предъявляемым требованиям. Исключение составляет концентрация фосфат-иона в т. 6 у пос. Садовое, где содержание PO_4^{3-} несколько превышает ПДК. Не соответствует нормативу и содержание органических веществ, оцениваемое по величине БПК₅. На всех точках содержание органических веществ выше ПДК, при этом в т. 6 у пос. Садовое близ хутора значение БПК₅ максимально из всех измеренных (табл. 2).

На территорию области река приходит уже загрязненная органическими веществами. Так, в т. 4, расположенной вблизи границы РФ, значение БПК₅ превышает установленные нормативы. При движении дальше по территории РФ через Роминтский лесной массив в реку с водосбора продолжают поступать органические вещества, и в створе у пос. Токаревка (т. 5) биохимическое потребление кислорода возрастает.

Таблица 2. Результаты химического анализа воды, отобранной 09.11.2017 г. в оз. Виштынецком и р. Красной (протокол лабораторного анализа ЦЛАТИ)

Table 2. Results of chemical water analysis, selected 11/9/2017 in the Lake Vishtynetsky and the river. Red (protocol of the laboratory analysis of CLATI)

Определяемое вещество	Результаты анализа						Норматив (ПДК)
	Озеро Виштынецкое			Река Красная			
	т. 1 пос. Ягодное	т. 2 Смотровая площадка	т. 3 Липовая аллея	т. 4 Олений мост, урочище Радужное	т. 5 Выше пос. Токаревка, ж/д мост	т. 6 пос. Садовое, хутор	
рН	8,13	8,01	8,07	7,92	8,07	7,83	6,5–8,5
Температура, град. С	6,80	7,00	6,70	6,3	6,9	6,7	–
БПК ₅ , мг О ₂ /дм ³	2,4	2,2	2,6	2,9	3,3	3,4	2,1
Аммоний-ион, мг/дм ³	<0,05	0,053	0,14	0,11	0,09	0,21	0,5
Нитрит-ион, мг/дм ³	<0,02	<0,02	<0,02	0,025	<0,02	0,026	0,08
Нитрат-ион, мг/дм ³	12,3	<0,2	1,04±	1,8	1,16	3,3	40
Азот общий, мг/дм ³	3,3	2,0	2,1	2,3	1,8	2,0	-
Фосфат-ион, мг/дм ³	0,034	0,140	0,044	0,032	0,018	0,06	0,05
Фосфор общий, мгР/дм ³				0,053	0,056	0,057	–
Жиры, мг/дм ³	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	–

Ниже по течению в т. 6 у пос. Садовое БПК₅ продолжает увеличиваться, достигая максимального значения на исследованном участке. Аналогичная закономерность отмечена для общего фосфора. Однако концентрация этого вещества при движении реки от т. 4 до т. 6 увеличивается незначительно.

Концентрация минеральных форм азота и фосфат-ионов изменяется следующим образом. При движении реки от т. 4 к т. 5 происходит уменьшение содержания в воде ионов аммония, нитритов, нитратов и фосфатов. Таким образом, на участке р. Красной от приграничного участка (пос. Радужное) до точки у пос. Токаревка (т. 4 → т. 5) происходит самоочищение водотока. Далее от пос. Токаревка до пос. Садовое (т. 5 → т. 6) река вновь загрязняется – содержание минеральных форм азота и фосфора возрастает. При этом в точке у пос. Садовое концентрации азота и фосфора становятся даже выше, чем на приграничном участке. Содержание азота общего при движении реки от пос. Радужное до пос. Садовое уменьшается и достигает минимальных значений близ хутора (т. 6).

Распределение гидрохимических параметров на исследованном участке позволяет выделить следующие возможные источники загрязнения р. Красной:

1. Трансграничное загрязнение. Проведенные в ноябре 2017 г. исследования подтвердили отмеченные ранее закономерности [10]. Сопредельные государства могут рассматриваться как источники загрязнения рек биогенными и органическими веществами. Фоновый створ на р. Красной (п. Радужное) отражает не только природные особенности формирования состава вод, но и то экологическое состояние реки, которое складывается на территории Польши.

2. На территории Красного леса (от т. 4 до т. 5) решающими факторами формирования химического состава речных вод выступают природные условия. Наличие многочисленных заболоченных участков и болот верхового типа, а также залегающие близко к поверхности подземные водоносные горизонты определяют участие в питании реки вод болотного и подземного происхождения. Факт того, что при движении р. Красной от т. 4 до т. 5 происходит уменьшение концентраций большинства измеренных веществ, позволяет заключить, что формирование качества воды на этом участке складывается в большей степени за счет природных факторов. Незначительный рост концентрации фосфора общего может быть обусловлен затяжными дождями и поступлением этого вещества с поверхности водосбора, вымытого из почв.

3. Основной объем загрязнений р. Красная получает на участке от т. 5 (пос. Токаревка) до т. 6 (пос. Садовое, хутор). Здесь отмечается рост концентраций всех измеренных веществ (за исключением общего азота). К приоритетным факторам, определяющим поступление на этом участке загрязняющих веществ в реку, можно отнести населенные пункты, расположенные по течению реки, а также диффузный сток с территории водосбора, которая здесь представляет собой сельскохозяйственные угодья в виде пахотных земель и окультуренных лугов на месте широколиственных лесов [1].

В 2010 г. сотрудниками кафедры ихтиологии и экологии КГТУ была обследована р. Красная в створе у пос. Радужное. Исследования показали, что рекой на территорию области вносится определенное количество биогенных веществ, а качество воды в приграничном створе не всегда попадает в класс «чистая» [10]. В 2013 г. в рамках осуществления работ по Государственному контракту на вы-

полнение услуг по теме: «Исследование и расчет биогенной нагрузки, поступающей с территории Российской Федерации, на Балтийское море» ИНОЗ РАН выполнены натурные измерения для оценки выноса биогенных веществ с водосборов и трансграничных водотоков Калининградской области и Польши. По результатам исследований выяснено, что концентрации фосфора и различных форм азота в реке многократно ниже ПДК для рыбохозяйственных водоемов [11].

В оз. Виштынецком (табл. 2) большинство исследованных нормируемых [9] показателей отвечало нормативам во всех трех точках. Однако концентрации аммоний-иона и фосфат-иона превысили ПДК в т. 2, что вполне согласуется с более высоким трофическим статусом прибрежной акватории озера и, в частности, Утинового залива. Особенно высоко ($0,140 \text{ мг/дм}^3$) было содержание фосфат-иона, почти в три раза превышавшее требования [9]. Одновременно воды озера были перегружены органическими веществами: величина БПК₅ превышала ПДК на $0,1-0,5 \text{ мг/О}_2/\text{дм}^3$. Водородный показатель везде был сдвинут в слабощелочную сторону (величина рН 8,01–8,13). Какая-либо закономерность в распределении значений исследованных показателей между точками не просматривается. Концентрация нитрат-ионов и азота общего выше в т. 1, фосфат-иона – в т. 2, аммоний-иона и БПК₅ – в т. 3.

В момент отбора пробы воды в т. 1 перед шандорами у истока р. Писсы обнаружено скопление пены. Подобные скопления пены и мусора наблюдались и ранее, например, в мае 2009 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Качество воды в р. Красной на исследованном участке по гидрохимическим показателям согласно комплексной классификации вод суши [12] изменяется от «достаточно чистой» до «умеренно загрязненной», что позволяет говорить о благоприятном состоянии речных вод. По результатам исследований, выполненных 09.11.2017 г., на участке от пос. Радужное до пос. Токаровка происходит самоочищение вод. Основной объем загрязнений река получает ниже пос. Токаровка, на границе особо охраняемой природной территории, за пределами лесного массива Роминтский.

К наиболее важным источникам загрязнения реки можно отнести следующие: населенные пункты, расположенные на водосборе и по течению р. Красной; сельскохозяйственные угодья и фермерские хозяйства, обеспечивающие увеличение поступления в реку биогенных и органических веществ с диффузным стоком, особенно во время продолжительных дождей. Необходимо учитывать также трансграничное загрязнение.

Результаты, полученные 09.11.2017 г., в целом, не выходят за пределы среднемноголетних значений (для оз. Виштынецкого) или данных предыдущих исследований (для р. Красной). Однако следует отметить, что пробы воды, отобранные непосредственно у береговой черты, не вполне адекватно отражают условия прилегающей акватории. Для мониторинга состояния озера до, во время и по окончании туристического сезона целесообразно для всех исследуемых сроков наметить постоянные места (станции) отбора проб с учетом гидрологической целесообразности. При этом выбранные станции должны контролировать не отдельные точки, расположенные непосредственно у береговой черты, а районы, подверженные возможному загрязнению. Для оценки вклада туристической деятельности в загрязнение воды необходимы регулярные наблюдения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Географический атлас Калининградской области / под ред. В. В. Орленка. – Калининград: КГУ, 2002. – 276 с.
2. Государственный водный кадастр. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. – Ленинград: Гидрометеоздат, 1988. – Т. 1, вып. 4. – 88 с.
3. Озеро Виштынецкое / под ред. К. В. Тылика. – Калининград: ИП Мишуткина И. В., 2008. – 144 с.
4. Схема охраны природы в Калининградской области / под ред. Ю. А. Цыбина. – Калининград: TENAX MEDIA, 2004. – 136 с.
5. Маркова, Л. Л. Реки / Л. Л. Маркова // Калининградская область. Очерки природы. – Калининград: Янтарный сказ, 1999. – С. 69-83.
6. Ресурсы поверхностных вод СССР / под ред. В. Е. Водогрецкого. – Т. 4, вып. 3. – Ленинград: Гидрометеоздат, 1969. – 506 с.
7. Озеро Виштынецкое / Н. К. Алексеев [и др.]. – Калининград: Калининградское книжное издательство, 1976. – 47 с.
8. Кривопускова, Е. В. Предварительная оценка критической фосфорной нагрузки на озеро Виштынецкое (Калининградская область) / Е. В. Кривопускова, Н. Н. Цветкова // Известия Калининградского государственного технического университета. – 2017. – № 45. – С. 83-92.
9. Приказ Минсельхоза России от 13.12.2016 N 552 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения» (Зарегистрировано в Минюсте России 13.01.2017 N 45203).
10. Геоэкологические аспекты переноса биогенных веществ трансграничными реками (на примере Калининградской области) / С. В. Шibaев [и др.] // Известия Калининградского государственного технического университета. – 2011. – № 22. – С. 133–141.
11. Государственный доклад об экологической обстановке в Калининградской области в 2013 году. – Калининград: УПР МПР РФ по Калининградской области, 2014. – 203 с. [Электронный ресурс]. – URL: https://gov39.ru/vlast/sluzhby/ecology/zip/doklad_2013.pdf (дата обращения: 16.01.2018).
12. Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши / О. П. Оксюк [и др.] // Гидробиологический журнал. – 1993. – Т. 29, вып. 4. – С. 62–76.

REFERENCES

1. Orlenok V. V. *Geograficheskiy atlas Kaliningradskoy oblasti* [Geographical atlas of the Kaliningrad region. Kaliningrad]. Kaliningrad, KGU, 2002, 276 p.
2. *Gosudarstvennyy vodnyy kadastr (Spravochnoe izdanie). Mnogoletnie dannye o rezhime i resursakh poverkhnostnykh vod sushi* [The State Water Cadastre. Reference Edition. Long-Term Data on Regime and Resources of Surface Waters.]. L., Gidrometeoizdat, 1988, book 1, vol. 4, 88 p.

3. Tylik K. V. *Ozero Vishtynetskoe* [Lake Vistytis]. Kalininrad, IP Mishutkina I. V., 2008, 144 p.
4. Tsybin Yu. A. *Skhema okhrany prirody v Kaliningradskoy oblasti* [The Scheme of Nature Protection in the Kaliningrad region]. Kaliningrad, TENAX MEDIA, 2004, 136 p.
5. Markova L. L. Reki [Rivers] *Kaliningradskaya oblast'. Ocherki prirody* [Kaliningrad region. Nature Sketches]. Kaliningrad, Yantarnyy skaz, 1999, pp. 69–83.
6. Vodogretskiy V. E. *Resursy poverkhnostnykh vod SSSR* [Surface Water Resources of the USSR]. L., Gidrometeoizdat, 1969, book 4, vol. 3, 506 p.
7. Alekseev N. K. *Ozero Vishtynetskoe* [Lake Vistytis]. Kaliningrad, Kaliningradskoe knizhnoe izdatel'stvo, 1976, 47 p.
8. Krivopuskova E. V., Cvetkova N. N. Predvaritel'naya ocenka kriticheskoy fosfornoj nagruzki na ozero Vishtyneckoe (Kaliningradskaya oblast') [Preliminary estimate of critical phosphorus load in the lake Vistytis (Kaliningrad Region)]. *Izvestiya Kaliningradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2017, no. 45, pp. 83–92.
9. Prikaz Minsel'khoza Rossii ot 13.12.2016 N 552 «Ob utverzhdenii normativov kachestva vody vodnykh ob'ektov rybokhozyaystvennogo znacheniya, v tom chisle normativov predel'no dopustimykh kontsentratsiy vrednykh veshchestv v vodakh vodnykh ob'ektov rybokhozyaystvennogo znacheniya» [Water quality standards of water bodies of commercial fishery importance, including maximum acceptable norms of hazardous substances concentration in water bodies of commercial fishery importance]. (Zaregistrovano v Minyuste Rossii 13.01.2017 N 45203).
10. Shibaev S. V., Nagornova N. N., Bernikova T. A., Tsoupikova N. A. Geoekologicheskie aspekty perenosa biogennykh veshchestv transgranichnymi rekami (na primere Kaliningradskoy oblasti) [Geoecological Aspects of the Nutrients Transfer by the Transboundary Rivers (the Case of the Kaliningrad Region)]. *Izvestiya Kaliningradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2011, no. 22, pp. 133–141.
11. *Gosudarstvennyy doklad ob ekologicheskoy obstanovke v Kaliningradskoy oblasti v 2013 godu* [Report on the Status and on Environmental Protection of the Kaliningrad Region in 2013]. Kaliningrad, 2014, 203 p, available at: https://gov39.ru/vlast/sluzhby/ecology/zip/doklad_2013.pdf (Accessed: 16 January 2018).
12. Oksiyuk O. P. Kompleksnaya ekologicheskaya klassifikatsiya kachestva poverkhnostnykh vod sushi [Complex ecological classification of waters]. *Gidrobiologicheskiy zhurnal*, 1993, no. 29, pp. 62–76.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Берникова Татьяна Александровна – Калининградский государственный технический университет; кандидат географических наук, профессор кафедры ихтиологии и экологии;
E-mail: bernikovy@gmail.com

Bernikova Tatiana Alexandrovna – Kaliningrad State Technical University; Candidate of Geographic Sciences, Professor of the Department of Ichthyology and Ecology;
E-mail: bernikovy@gmail.com

Цветкова Надежда Николаевна – Калининградский государственный технический университет; кандидат географических наук, доцент кафедры ихтиологии и экологии;
E-mail: nagornova@klgtu.ru

Tsvetkova Nadezhda Nikolaevna – Kaliningrad State Technical University; Candidate of Geographic Sciences, Associate Professor of the Department of Ichthyology and Ecology;
E-mail: nagornova@klgtu.ru

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

Shibaev Sergey Vadimovich – Kaliningrad State Technical University; PhD (Biology), Professor; Head of Department of Ichthyology and Ecology;
E-mail: shibaev@klgtu.ru; shibaev.s@gmail.com

УДК 504.064.2

ОСОБЕННОСТИ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПРУДА
ФОРЕЛЕВОГО В 2016–2017 ГГ.

Н. А. Цупикова, Ю. С. Костыря

PECULIARITIES OF HYDROCHEMICAL CONDITIONS
OF THE FORELEVY POND IN 2016–2017

N. A. Tsupikova, Yu. S. Kostyrya

Приведен анализ результатов экологического мониторинга пр. Форелевого, включающего гидрохимические исследования и изучение ветровых условий с октября 2016 по ноябрь 2017 гг. Форелевый – водоем высшей рыбохозяйственной категории, возникший в результате разработки карьера для добычи строительного материала. Пруд испытывает антропогенную нагрузку, связанную с основными направлениями водопользования: садковое выращивание рыбы и использование акватории и прибрежной полосы для отдыха жителей г. Калининграда, а также от кафе, расположенных по берегам водоема. Проанализировано пространственное распределение биогенных веществ и солевого состава водоема, растворенного кислорода (концентрация не ниже 7 мг/дм^3) и перманганатной окисляемости (более 11 мг/дм^3 , что свидетельствует о довольно высоком содержании легко- окисляемых веществ). Их годовой ход изучен с точки зрения соответствия нормальному сезонному распределению, концентрации сопоставлены с ПДК для рыбохозяйственных водоемов. Предпринята попытка оценить влияние ветрового режима на гидрохимические условия. В этих целях рассчитан коэффициент корреляции, установлена связь ветровых условий и некоторых биогенных элементов.

гидрохимический анализ, растворенный кислород, биогенные элементы, пруд Форелевый, ветровые условия, коэффициент корреляции

This paper contains an analysis of the results of the environmental monitoring of the Forelovy Pond, including hydrochemical investigation and study of the wind conditions from October 2016 to November 2017. It is a reservoir of the highest fishery category that arose as a result of ponding of a quarry used for extraction of building material. The pond is under a serious anthropogenic load associated with the main areas of water use: cage culture fishery and use of the water area and beach for recreation of Kaliningrad residents, as well as from the cafes located along the banks of the reservoir. Spatial distribution of nutrients, salt composition, dissolved oxygen (concentration rarely dropped under 7 mg/dm^3) and permanganate value was studied. Rather high permanganate value (more than 11 mg/dm^3) proved large amount of easily oxidizable substances contained in water. Their annual cycle has been studied in terms of compliance with the normal seasonal distribution, concentrations have been compared with the MPC for

fishery water bodies. An attempt has been made to estimate the influence of the wind regime on hydrochemical conditions. For this purpose, the correlation coefficient has been calculated; the relationship between wind conditions and some biogenic elements has been established.

hydrochemical analysis, dissolved oxygen, nutrients, Forelevy pond, wind conditions, correlation coefficient

ВВЕДЕНИЕ

Пруд Форелевый (карьер Прибрежный) – водоем высшей рыбохозяйственной категории, часть системы Голубых озер, самый крупный из них. Это водоем карьерного типа, расположенный в западной части Калининградской области, в 50–200 м от Калининградского залива в пределах Прегольской озерно-ледниковой равнины.

Пруд Форелевый образовался в результате затопления в 1960–1970 гг. песчаного карьера, разрабатываемого с начала XX века [1]. В 1976 г. в его северо-западной части основано форелевое хозяйство, действующее и в настоящее время. Активное рекреационное освоение водоема началось в начале 2000-х гг. и происходит без обоснования допустимой антропогенной нагрузки. За это время на его берегах появился ряд кафе и других рекреационных объектов, построенных непосредственно в водоохранной зоне, с территории которых поступают загрязненные стоки.

Питание пруда осуществляется преимущественно от артезианского колодца, расположенного выше форелевого хозяйства. Вода из колодца проходит через систему емкостей, в которых выращивается молодь, после чего сбрасывается в пруд. Некоторое количество воды приносится атмосферными осадками и стоком с прилегающей заболоченной местности. Каналом пруд связан с заливом, водообмен с которым в значительной степени зависит от направления ветра.

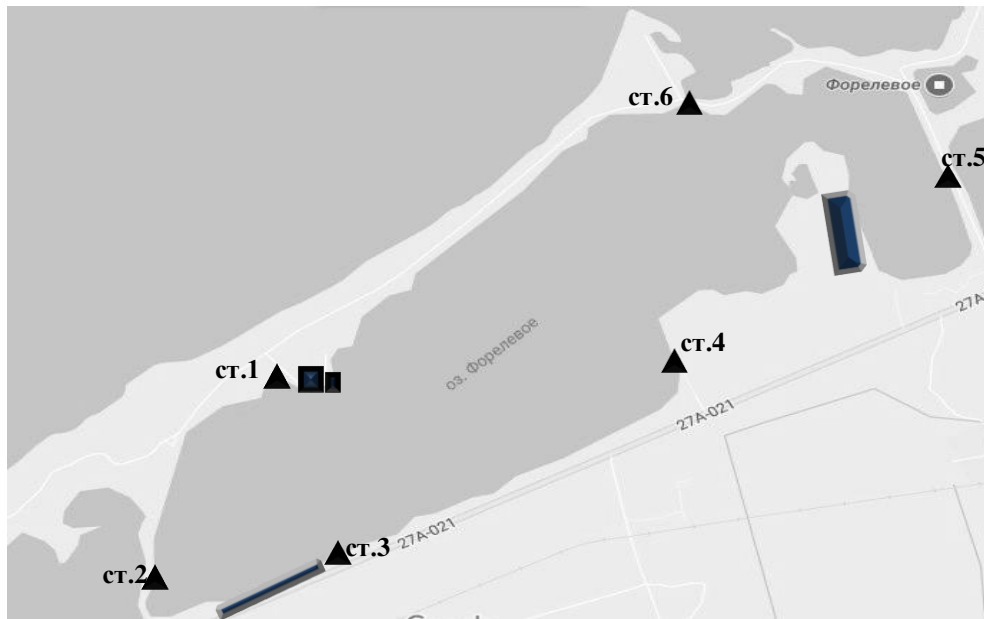
Цель работы – изучение особенностей гидрохимических условий пр. Форелевого, их пространственного распределения и влияния на них ветрового режима, определяющего характер водообмена с Калининградским заливом.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА

Материалом для исследования послужили результаты гидрохимического анализа проб воды, собранных в ходе проведения научно-исследовательской работы с ноября 2016 по октябрь 2017 г. на пр. Форелевом.

Пробы отбирались из поверхностного горизонта на прибрежных станциях в западной и восточной частях водоема (рис. 1).

Западная часть: станция 1 – вблизи форелевого хозяйства, станция 2 – у заросшего берега с типичной для пруда водной растительностью, станция 3 – на участке, используемом для отдыха, с расположенными там кафе. Восточная часть: станция 4 – фоновая станция с минимальным антропогенным воздействием, станция 5 – в полуизолированном заливе восточной части водоема, станция 6 – у дамбы в месте соединения пруда с заливом.



■ – кафе; ■ – форелевое хозяйство; ▲ – станции мониторинга

Рис. 1. Схема пруда

Fig. 1. Pond scheme and monitoring stations

Химический анализ воды выполнялся в лаборатории КГТУ на кафедре ихтиологии и экологии. В ходе гидрохимического анализа были определены следующие показатели: минерализация, растворенный кислород, величина перманганатной окисляемости, общая жесткость, хлориды, содержание в воде биогенных веществ (азот аммонийный, фосфаты, нитриты, общее железо). Гидрохимический анализ проб осуществлялся колориметрическим и объемным методами [2, 3]. Данные, представленные в результатах, осреднены за рассматриваемый период по станциям отдельно для западной и восточной частей пруда.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Как и многие ландшафты Калининградской области, рельеф побережья Калининградского залива в районе расположения пр. Форелевого сформирован под сильным влиянием оледенения. В пределах рассматриваемой территории распространены в основном суглинистые и супесчаные гляциальные отложения верхнего плейстоцена. В западной части водоема четвертичные отложения представлены аллювиальными песками, его берега покрыты мелкозернистыми песками или гравием, реже глинами [4].

Многие мелкие водоемы Калининградской области, созданные искусственным путем (в том числе и пр. Форелевый), в процессе длительной эволюции приобрели особенности, характерные для озер. Это отразилось в их названиях, однако по своему происхождению они являются прудами (согласно [5] пруд – это мелководное водохранилище площадью не более 1 км²).

Форелевый представляет собой вытянутый с юго-запада на северо-восток водоем с длиной более 1700 м. Береговая линия довольно изрезанная, с несколь-

кими мелкими заливами и береговыми выступами. Котловина имеет типичный для водоемов карьерного типа очень сложный рельеф дна и большие глубины [6].

В последние годы отмечено изменение очертания береговой линии и некоторое увеличение площади водного зеркала: от 89 га в 1994 г. до 112 га в 2017 г. По объему воды (7,4 млн. м³) пруд относится к крупным – рассчитано по состоянию на 2017 г.) [7].

Результаты анализа гидрохимических веществ показали, что концентрация растворенного кислорода в воде пруда в течение большей части рассматриваемого периода была довольно высокой (рис. 2) и практически не опускалась ниже 7 мг/дм³, крайне редко – ниже 6 мг/дм³ (5,99 мг/дм³ в сентябре в восточной части водоема). Максимальные значения наблюдались в начале вегетационного периода (более 10 мг/дм³ с марта по май 2017 г.), летом концентрация снижена, что свидетельствует о сильной эвтрофикации водоема, например, в 2016 и 2017 гг. нами отмечено раннее цветение пруда – уже в мае – начале июня [8]. Понижение температуры воды, возрастание атмосферного давления, ветровое перемешивание увеличивают содержание растворенного кислорода в осенне-весенний период.

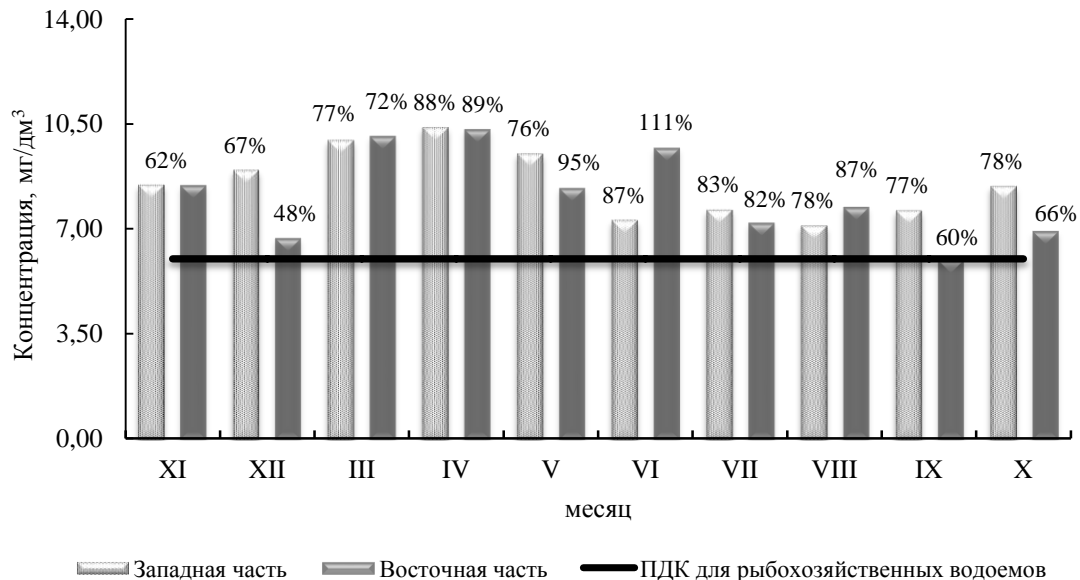


Рис. 2. Растворенный кислород, мг/дм³ и %, 2016–2017 гг.

Fig. 2. Dissolved oxygen, mg/dm³ and percent, 2016–2017

Исследованная вода, в соответствии с классификацией О. А. Алекина [2], высокой минерализации (западная часть 2996 мг/дм³; восточная – 3566), хлоридно-натриевая, второго типа: $\text{HCO}_3^- < \sum(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) < \sum(\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-})$, очень жесткая в восточной части (9,7 мг·эquiv/дм³) и жесткая в западной (9,0 мг·эquiv/дм³). В поверхностных водоемах суши на территории Калининградской области, расположенной в зоне избыточного увлажнения, обычно преобладают ионы HCO_3^- и Ca^{2+} . Повышенное содержание ионов Cl^- и Na^+ типично для сильноминерализованных вод морей, морских лиманов, заливов и т. п. Концентрация хлоридов (западная часть 752,2 мг/дм³, восточная – 1071,1) подвержена заметным сезонным колебаниям, коррелирующим с изменением общей минерализации воды. Хлори-

ды являются преобладающим анионом в высокоминерализованных водах. Вода в пруду может становиться солоноватой, однако соленость в нем подвержена большим колебаниям, особенно в той части, где осуществляется водообмен с заливом.

В воде водоема содержится достаточно много легко окисляемых органических веществ. В соответствии с классификацией О.А. Алекина [2], пр. Форелевый можно отнести к водоемам с повышенной, в некоторые месяцы – с высокой окисляемостью (рис. 3). В целом в восточной части перманганатная окисляемость почти всегда была несколько больше, чем в западной.

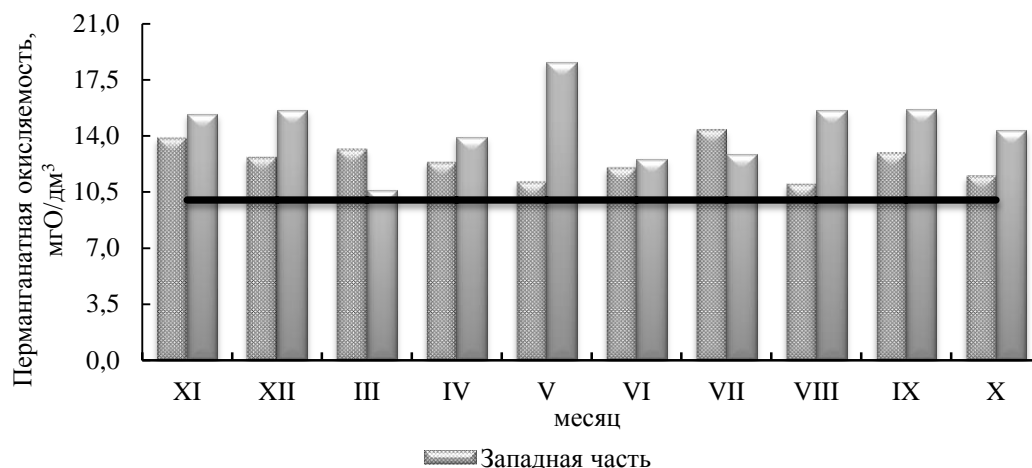


Рис. 3. Перманганатная окисляемость, мгО/дм³, 2016–2017 гг.

Fig. 3. Permanganate value, mg/dm³, 2016–2017

В течение всего рассматриваемого периода наблюдалось превышение нормативных значений для форелевых прудов (более 10 мг/дм³) [9], особенно в восточной части водоема. В местах, подверженных загрязнению, где особенно интенсивно развивается органическая жизнь, образуются плотные скопления органических веществ на поверхности – поверхностно-активные пленки, неоднократно наблюдавшиеся в летний период 2016 г.

Наличие в воде биогенных элементов является важнейшим условием, определяющим нормальное существование и развитие водных растений.

Годовой ход азота аммонийного в целом соответствует нормальному, однако сдвинут на более ранний период, максимальное значение наблюдалось в апреле (2,31 мг/дм³), что связано с ранним цветением водоема. Летом развивались зеленые и диатомовые водоросли, последние достигли своего максимума в общей численности осенью 2016 г. [8].

Концентрация ионов аммония в водоеме высокая, в течение большей части исследуемого периода она существенно превышала нормативное значение для вод форелевых прудов (рис. 4). Снижение до нормального уровня наблюдалось только в холодный период года. Повышенное содержание аммонийного азота является индикатором ухудшения санитарного состояния пр. Форелевого, воды которого по содержанию азота аммонийного можно оценить как загрязненные согласно ГОСТ [10].

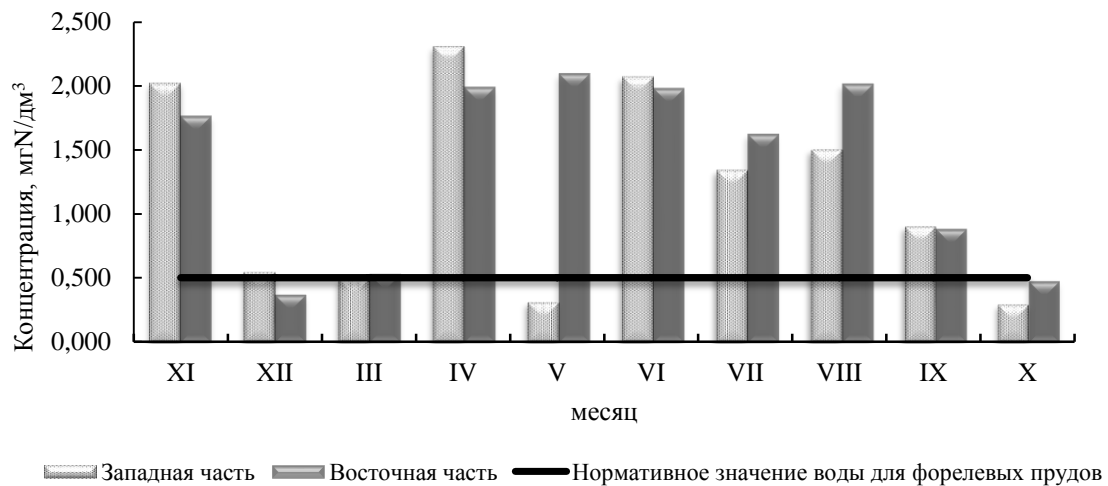


Рис. 4. Азот аммонийный, мгN/дм³, 2016–2017 гг.
 Fig. 4. Ammonium nitrogen, mgN/dm³, 2016–2017

Содержание нитритов в поверхностных водах пруда обычно отмечалось в очень малых количествах (тысячные, иногда сотые доли мг/дм³). Годовой ход нарушен, повышенная их концентрация в августе и сентябре 2017 г. (до 0,07 мг/дм³) (рис. 5) может указывать на массовое отмирание гидробионтов на первых этапах распада органических веществ, связанное с усиленным цветением водоема. Исследования численности и биомасса фитопланктона позволили выявить присутствие в воде пруда токсичных видов (из отдела *Cyanophyta* – *Anabaena circinalis* Rabenh. ex Born. & Flah., *Anabaena limmermannii* P. Richt, *Anabaena spiroides* Kleb., *Aphanizomenon flos-aquae* Ralfs ex Bor. & Flah), появление которых также говорит об эвтрофировании водоема [8]. Значительный рост концентрации нитритов осенью (0,040 мг/дм³) и зимой (0,013 мг/дм³) свидетельствует о влиянии антропогенных источников.

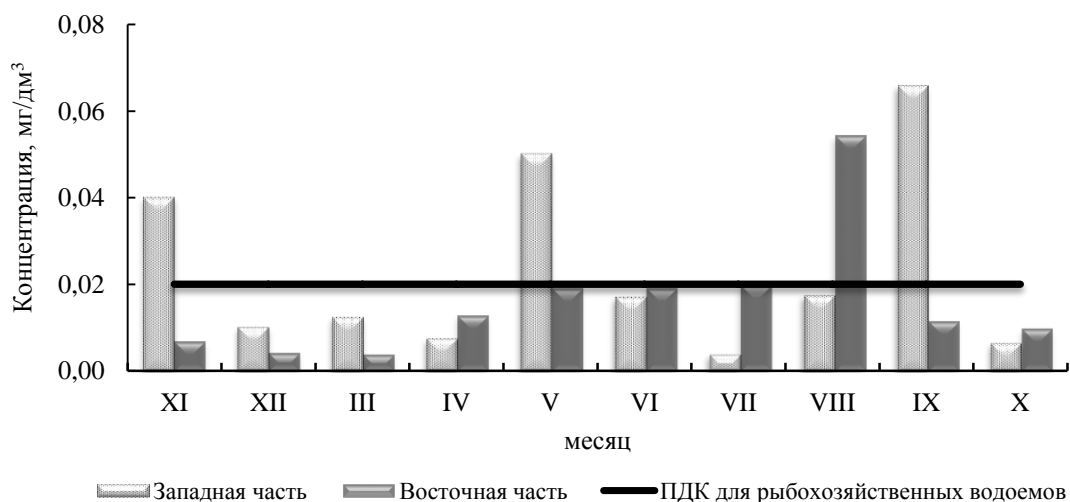


Рис. 5. Нитриты, мг/дм³, 2016–2017 гг.
 Fig. 5. Nitrites, mg/dm³, 2016–2017

Содержание фосфатов в водоеме подвержено значительным сезонным колебаниям, годовой ход в целом соответствует нормальному (рис. 6), однако наблюдался резкий «толчок» в августе в восточной части пруда (более 0,21 мг/дм³), что может указывать на загрязнение его сточными водами, вероятнее всего, хозяйственно-бытовыми стоками. Такой же резкий скачок концентрации в августе был отмечен на востоке пруда и для остальных исследованных биогенных веществ.

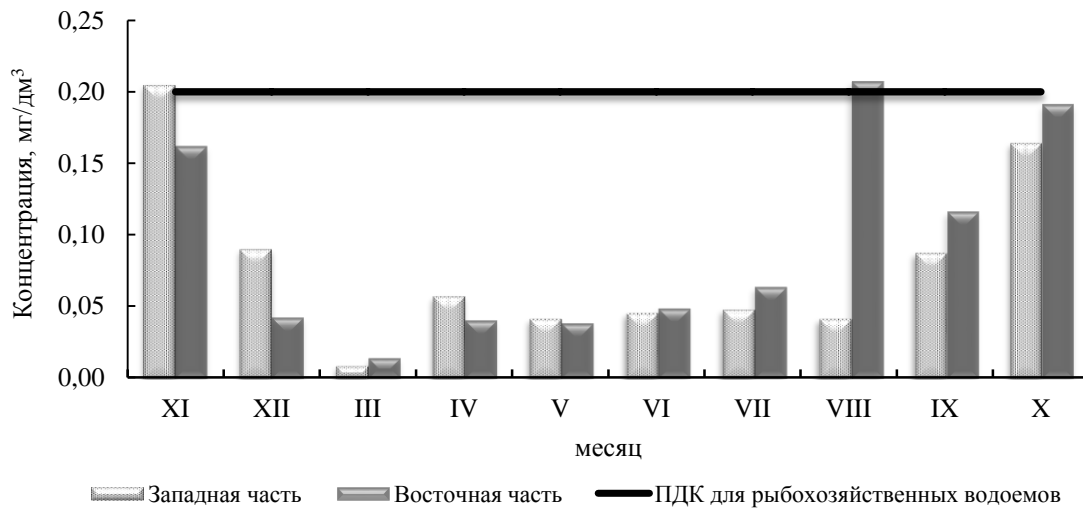


Рис. 6. Фосфаты, мг/дм³, 2016–2017 гг.
Fig. 6. Phosphates, mg/dm³, 2016–2017

Концентрация общего железа (рис. 7) в поверхностных водах суши составляет десятые и сотые миллиграмма в 1 дм³, вблизи грунтовых вод она повышается до целых миллиграммов в 1 дм³ [11]. За весь исследуемый период концентрация железа не превышала нормативных значений для форелевых прудов, однако в восточной части она обычно больше, чем в западной.

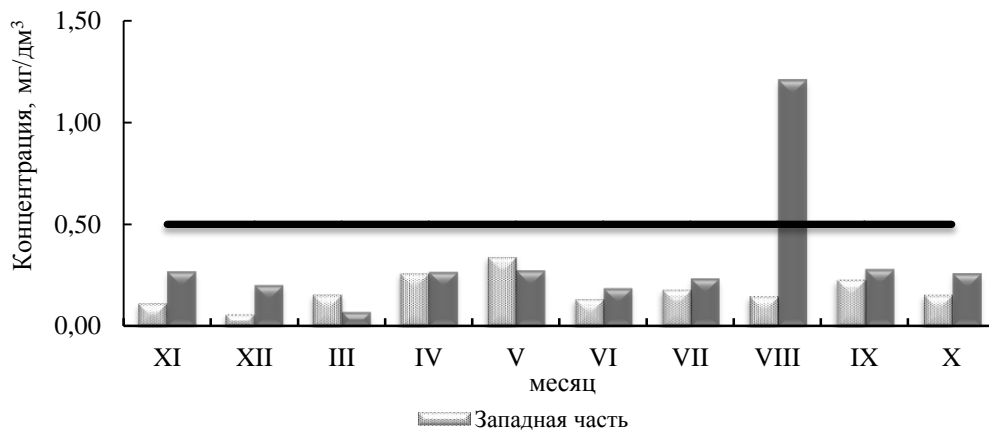


Рис. 7. Железо общее, мг/дм³, 2016–2017 гг.
Fig. 7. Total iron, mg/dm³, 2016–2017

Поскольку пруд имеет водообмен с заливом, который в значительной степени зависит от направления ветра, были рассмотрены погодные условия в дни отбора проб и в предшествующие им суточный и трехсуточный периоды (табл. 1).

Таблица 1. Ветровые условия в дни отбора проб и предшествующие им дни (по данным [12])

Table 1. Wind conditions on sampling days and days preceding them according to [12]

Дата отбора проб	Ветровые условия					
	За трое суток до взятия пробы		За сутки до взятия пробы		В день отбора проб	
	Направление	Скорость, м/с	Направление	Скорость, м/с	Направление	Скорость, м/с
25.11.16	С	2	С	2	З	1
15.12.16	З	2	С	2	СВ	1
15.03.17	С	2	ЮЗ	2	З	5
26.04.17	СЗ	3	З	3	З	3
25.05.17	С	4	СВ	2	СЗ	3
26.06.17	З	2	ЮЗ	2	З	2
12.07.17	СЗ	2	З	1	ЮЗ	1
22.08.17	ЗСЗ	1	ССВ	4	ЗСЗ	1
21.09.17	СЗ	4	Штиль	0	С	2
19.10.17	З	2	З	2	СВ	1

Частые смены воздушных масс определяют неустойчивость погоды. Ветровой режим над территорией Калининградской области обусловлен сезонным характером барических центров, развивающихся над Евразией и Атлантическим океаном.

Над акваторией водоема, как и в целом в Калининградской области, в соответствии с общими циркуляционными процессами почти в течение всего года преобладают ветры западной четверти горизонта (западный, юго-западный, северо-западный). На протяжении большей части дней наблюдения и предшествующих им дней преобладали ветры западной четверти, несколько изменяющиеся по сезонно. В дни отбора проб скорость ветра составляла преимущественно 2–3 м/с (от легкого до слабого по шкале Бофорта). Поступлению воды из Калининградского залива в пр. Форелевый способствуют ветры северного и северо-западного направлений.

В результате расчета статистически достоверной корреляционной зависимости между гидрохимическими показателями и направлением ветра установлено, что взаимосвязь с перманганатной окисляемостью и кислородом отсутствует (табл. 2).

Связь с биогенными элементами варьирует от умеренной ($0,3 < r_{xy} < 0,5$) до заметной ($0,5 < r_{xy} < 0,7$). Отрицательная корреляция обнаружена между направлением ветра за сутки до отбора проб (преобладали северные и западные ветра) и азота аммонийного ($-0,55$), нитритов ($-0,74$), железа ($-0,60$) в восточной части водоема, где происходит водообмен с заливом. В западной части пруда корреляция с направлением ветра проявляется слабее.

Таблица 2. Статистически значимые результаты ранговой корреляции между гидрохимическими показателями и направлением ветра

Table 2. Statistically significant results of rank correlation between hydrochemical parameters and wind direction

Коррелирующие показатели		NO ₂ ⁻		Fe _{общ}		NH ₄ ⁺ мг/л		PO ₄ ³⁻ мг/дм ³	
Направление ветра	Части водоема	З	В	З	В	З	В	З	В
	в день отбора проб	0,59	0,30	0,57	0,20	0,37	0,47	-0,36	0,29
	за сутки до взятия пробы	0,05	-0,74	-0,42	-0,60	0,11	-0,55	0,53	-0,14
	за трое суток до взятия пробы	0,44	-0,29	0,46	-0,25	0,04	0,07	-0,05	-0,05

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Одной из важнейших черт гидрохимии вод пр. Форелевого в течение исследованного периода (ноябрь 2016 – октябрь 2017 гг.) является общее недонасыщение их кислородом. Различные части этого водоема обычно мало отличаются друг от друга по состоянию кислородного режима, но, например, в декабре 2016 г. наблюдалась значительная разница между его западной и восточной частями (67 и 48% насыщения соответственно). В воде содержалось достаточно много легко окисляемых органических веществ. Годовой ход биогенных элементов в большинстве случаев соответствовал нормальному, концентрация нитритов и азота аммонийного в течение вегетационного периода превышала в несколько раз нормативные значения для форелевых прудов либо находилась на верхней границе допустимого интервала. Повышение содержания аммоний-иона в апреле подтверждает визуально наблюдавшееся раннее цветение водоема.

Пространственное распределение гидрохимических показателей свидетельствует, что в большинстве случаев наиболее неблагоприятная ситуация по содержанию биогенных элементов и величине перманганатной окисляемости отмечалась в восточной части пруда.

Выявленные корреляции объясняются косвенным воздействием ветровых условий на гидрохимические показатели водоема. Однако влияние их на биогенные элементы не так высоко, как на солевой состав воды, особенно в восточной части пруда, где обнаружены воды высокоминерализованные (более 3500 мг/дм³), очень жесткие (почти 10 мг·экв/дм³) и с высоким содержанием хлоридов, преимущественно в восточной части, более характерные для морских, чем для пресных водоемов суши. Это связано с поступлением солоноватых вод из залива при северных и западных ветрах.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Цупикова, Н. А. Экологическое состояние пруда Форелевого в Калининградской области в 2015–2016 годах / Н. А. Цупикова, Ю. С. Костыря // Вод-

ные биоресурсы, аквакультура и экология водоемов: IV Балтийский морской форум: Всерос. науч. конф.: труды. – Калининград: ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет», 2016. – С. 236–239.

2. Алекин, О. А. Основы гидрохимии / О. А. Алекин. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1970. – 443 с.

3. Гидрология. Лабораторный практикум и учебная практика: учеб. пособие / Т. А. Берникова [и др.]. – Москва: Колос, 2008. – 304 с.

4. Орленок, В. В. Географический атлас Калининградской области / гл. редактор В. В. Орленок. – Калининград: Изд-во КГУ; ЦНИТ, 2002. – 276 с.

5. Гидрология суши. Термины и определения. ГОСТ 19179-73. 56с.

6. Экологическое состояние озера Форелевого / Т. А. Берникова [и др.] // Известия Калининградского государственного технического университета. – 2005. – № 7. – С. 30–34.

7. Цупикова, Н. А. Результаты геоэкологических наблюдений западной части пруда Форелевого (Калининградской области) летом 2015–2017 гг. / Н. А. Цупикова, Ю. С. Костыря // Индикация состояния окружающей среды: V Междунар. науч.-практич. конф.: труды. – Москва: МПГУ, 2017. – С. 238–243.

8. Бугранова, О. С. Оценка экологического состояния западной части пр. Форелевого (г. Калининград) в 2015-2016 гг. / О. С. Бугранова, Н. А. Цупикова, Ю. С. Костыря // Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промышленное и техническое использование: VIII Всерос. науч.-практ. конф., посвящ. 75 - летию рыбохоз. обр. на Камчатке (12–14 апреля): материалы: в 2 ч. – Петропаловск-Камчатский: КамчаткаГТУ, 2017. – Ч. 2. – С. 84–88.

9. Охрана природы. Гидросфера. Вода для форелевых и карповых хозяйств. Общие требования. ОСТ 15.372-87. Издание официальное. – Москва: ВНИРО, 1988. – 14 с.

10. Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации № 552 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения», 13 декабря 2016 г.

11. Берникова, Т. А. Гидрология с основами метеорологии и климатологии / Т. А. Берникова. – Москва: МОРКНИГА, 2011. – 594 с.

12. Дневник погоды в Калининграде 2016-2017 гг. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.gismeteo.ru/diary/4225/> (дата обращения 21.02.2018).

REFERENCES

1. Tsupikova N. A., Kostyrya Y. S. Ekologicheskoe sostojanie pruda Forelevogo v Kaliningradskoj oblasti v 2015–2016 [Ecological condition of the Forelevy pond in the Kaliningrad Region in 2015–2016]. *Trudy IV Baltijskogo morskogo foruma. Vserossiyskaya nauchnaya konferentsiya “Vodnye bioresursy, akvakul'tura i ekologiya vodoemov”* [Proceedings of IV International Baltic Maritime Forum. All-Russian Scientific Conference “Aquatic biological resources, aquaculture and ecology of waters”]. Kaliningrad, 2016, pp. 236–239.

2. Alekin O. A. *Osnovy gidrokhimii* [Fundamentals of hydrochemistry]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1970, 443 p.

3. Bernikova T. A. *Gidrologiya. Laboratornyy praktikum i uchebnaya praktika: ucheb. posobie* [Hydrology. Laboratory course and practical training: student's book]. Moscow, Kolos, 2008, 304 p.
4. Orlenok V. V. *Geograficheskij atlas Kaliningradskoj oblasti* [Geographical Atlas of the Kaliningrad Region]. Kaliningrad, izdatel'stvo KSU, CNIT, 2002, 276 p.
5. *Gidrologiya sushy. Terminy i opredeleniya* [Hydrology of land. Terms and Definitions]. GOST 19179-73, Moscow, 1975, 56 p.
6. Bernikova T. A. *Ekologicheskoe sostoyanie ozera Forelevogo* [Ecological condition of the Forelevoe Lake]. *Izvestiya KGTU*, 2005, no. 7, pp. 30-34.
7. Tsupikova N. A. *Rezultaty geojekologicheskikh nabljudenij zapadnoj chasti pruda Forelevogo (Kaliningradskoy oblasti) letom 2015-2017 gg.* [Results of geoecological observations of the western part of the Forelevy pond (Kaliningrad region) in the summer 2015-2017]. *V Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaja konferenciya "Indikaciya sostojaniya okruzhajushhej sredy"* [V International Scientific and Practical Conference "Indication of the environmental state"]. Moscow, 2017, pp. 238-243.
8. Bugranova O. S., Tsoupikova N. A., Kostyrya Y. S. *Otsenka geokologicheskogo sostojaniya zapadnoj chasti pr. Forelevogo (g. Kaliningrad) v 2015-2016 gg.* [Assessment of the ecological state of the western part of the Forelevy pond (Kaliningrad) in 2015-2016]. *Prirodnye resursy, ikh sovremennoe sostoyanie, okhrana, promyslovoe i tekhnicheskoe ispol'sovanie: materialy VIII Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 75-letiyu rybokhozyaystvennogo obrazovaniya na Kamchatke (12-14 aprelya)* [Natural resources, their current state, conservation, industrial and technical use: proceedings of VIII All-Russian Scientific and Practical Conference dedicated to the 75th anniversary of fish farming education in Kamchatka (12-14 April)]. Petropalovsk-Kamchatskiy, 2017, part 2, pp. 84-88.
9. *Okhrana prirody. Gidrosfera. Voda dlja forelevyh i karpovyh hozyaystv. Obshhie trebovaniya.* [Protection of nature. Hydrosphere. Water for trout and carp farms. General requirements]. OST 15.372-87, Moscow, 1988, 14 p.
10. *Prikaz ministerstva sel'skogo hozyaystva Rossiyskoy Federacii № 552 "Ob utverzhdenii normativov kachestva vody vodnykh ob'ektov rybokhozyaystvennogo znacheniya, v tom chisle normativov predel'no dopustimykh kontsentratsiy vrednykh veshchestv v vodakh vodnykh ob'ektov rybokhozyaystvennogo znacheniya"* [Order of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation №. 552 "On the approval of water quality standards for water bodies of fishery importance, including standards for maximum permissible concentrations of harmful substances in the waters of water bodies of fishery significance"]. 13 December 2016 p.
11. Bernikova T. A. *Gidrologiya s osnovami meteorologii i klimatologii* [Hydrology with the basics of meteorology and climatology]. Moscow, 2011, 594 p.
12. *Dnevnik pogody v Kaliningrade 2016-2017 gg.* [Weather Diary in Kaliningrad 2016-2017]. Available at: <https://www.gismeteo.ru/diary/4225/> (Accessed 21 February 2018).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Цупикова Надежда Александровна – Калининградский государственный технический университет; кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры «Ихтиология и экология»;
E-mail: tsoupikova@klgtu.ru

Tsupikova Nadezhda Aleksandrovna – Kaliningrad State Technical University;
PhD in Geological and Mineralogical Sciences,
Associate Professor of the Department of Ichthyology and Ecology;
E-mail: tsoupikova@klgtu.ru

Костыря Юлия Сергеевна – Калининградский государственный технический
университет; магистрант кафедры «Ихтиология и экология»;
E-mail: yuliya_L25@mail.ru

Kostyrya Yulia Sergeevna – Kaliningrad State Technical University;
Master Degree Student of the Department of Ichthyology and Ecology;
E-mail: yuliya_L25@mail.ru

УДК 551.4: 556.55 (06)

МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРУДА ПЕЛАВСКОГО
(Г. КАЛИНИНГРАД)

Н. А. Цупикова, Е. А. Лоцицкая, А. В. Алдушин

MORPHOMETRIC CHARACTERISTICS OF THE PELAVSKY POND
(KALININGRAD)

N. A. Tsupikova, E. A. Lozitskaya, A. V. Aldushin

Объектом исследования выступает водоем, расположенный на западе г. Калининграда близ пос. А. Космодемьянского. Для вычислений были использованы картографические сервисы «Яндекс. Карты» и «Карты Google», а также геоинформационные системы «Golden Software Surfer» и «ArcGIS». На основе батиметрической съемки, проведенной методом эхолотации в 2016 г., определены основные морфометрические показатели пруда: площадь водного зеркала, объем, максимальная длина и ширина, протяженность береговой линии, средняя и максимальная глубина, коэффициент извилистости береговой линии, форма котловины, коэффициент открытости, а также площадь водосборного бассейна и показатель удельного водосбора. Впервые построены карты рельефа дна пруда в формате 2D и 3D, нанесены границы водосборного бассейна. По результатам расчетов пр. Пелавский можно отнести к водоемам среднего размера, с площадью водного зеркала 4,3 га, почти правильной формы и с очертаниями береговой линии, близкими к прямоугольной, со средней глубиной 5,3 м. У Пелавского сложный рельеф дна, переход глубин резкий, со значительной крутизной подводного берегового склона в юго-западной и юго-восточной частях (до 25–30°). Водосборный бассейн невелик – 19 га. Коэффициент открытости, равный 8037, свидетельствует о воздействии на воды климатических факторов. Анализ карт г. Калининграда и Кёнигсберга позволил выдвинуть предположение о времени возникновения пруда и его происхождении с учетом морфометрических характеристик: отнесение к искусственным водоемам; создание и заполнение котловины, произошедшие в период 1940–1960 гг.

морфометрия, батиметрия, водосборный бассейн, пруд Пелавский

The object of the study is a pond located in the east of Kaliningrad, near the settlement named after A. Kosmodemyansky. The work involved the web mapping services of Yandex Maps and Google Maps and geoinformation systems of Golden Software Surfer and ArcGIS. Based on the measurements carried out in 2016, the main morphometric parameters of the pond were determined. These include: water surface area, volume of the pond, maximum length, breadth of the reservoir, extent of the shoreline, average and maximum depth, sinuosity coefficient of the shore line, shape of the basin, coefficient of openness, catchment area and indicator of the specific catchment. The maps of the bottom relief in 2D and 3D have been plotted for the first time; the boundaries of the catchment basin have been shown. Following the calculation results,

the Pelavsky pond can be defined as a medium sized water reservoir with 4.3 hectares of surface area, almost regular shaped and a coast line close to rectangular, with an average depth of 5.3 m. There is a rugged bottom relief in the Pelavsky pond, sudden drop in depths, steep underwater coastal slope (up to 25–30° in the south-west and south-east). The drainage basin is not large and amounts to 19 hectares. The coefficient of openness indicates the influence of climatic factors on water and is equal to 8037. The analysis of the maps of Kaliningrad and Königsberg has been carried out, which allowed on the basis of morphometric characteristics to assume the possible time of the pond formation and to attribute it to artificial reservoirs. Its ponding took place within the period 1940-1960.

morphometry, bathymetry, catchment area, the Pelavsky pond

ВВЕДЕНИЕ

Знаменитый советский лимнолог Г. Ю. Верещагин еще в начале XX века говорил о значимости морфометрии и морфологии котловин водоемов в лимнических процессах [1]. Особое влияние морфометрия оказывает на водоемы с малой площадью и глубинами, поэтому знания характеристик котловины необходимы для точной оценки экологического состояния водоема, качества его воды и потенциальной способности к самоочищению.

Целью работы является изучение особенностей рельефа котловины пр. Пелавского и определение основных морфометрических характеристик. Оно позволит сделать предположения о происхождении водоема и в будущем расширит возможности более полного объяснения его текущего экологического состояния и дальнейшего развития.

Выбор объекта исследования определяется повышенным интересом к пр. Пелавскому как отдела благоустройства администрации городского округа «Город Калининград», так и рекреантов, поскольку пруд является одним из немногих официальных купальных водоемов крупного города (на 01.01.2017 г. по сведениям Калининградросстата численность населения Калининграда – более 467 тыс. чел. [2]), важным ландшафтообразующим компонентом окружающей геосистемы. Несмотря на рекреационное значение водоема, сведений о его истории и предыдущем использовании и каких-либо других параметров крайне мало или они вовсе отсутствуют, а вовлечение пруда в хозяйственное использование находится в сильной зависимости от его морфометрических, гидрологических и гидрохимических характеристик.

Таким образом, установление морфометрических, гидрологических характеристик и генезиса пр. Пелавского имеет не только научное, но и практическое природоохранное и хозяйственное значение, что делает наше исследование значимым и актуальным.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

А.Б. Губин, председатель Калининградского клуба краеведов, долгое время занимавшийся гидронимикой г. Калининграда, в своих очерках подчеркнул скудность информации о многих водных объектах города. Им была описана значительная часть озер, рек, ручьев, прудов и болот города, однако, даже несмотря на анализ еще немецких источников, ему удалось собрать лишь краткие сведения о каждом из водоемов [3].

Один из них – пр. Пелавский, располагающийся близ пос. А. Космодемьянского на юго-западной окраине г. Калининграда. В литературных источниках о нем сказано совсем немного, в частности, что немецкое название на картах не обозначено. О происхождении названия можно строить только предположения. Похожих слов и фамилий в словарях и справочниках не зафиксировано (А.Б. Губин [3]). Возможно, название водоема связано с его расположением – на пути к Балтийску, или ранее – Пиллау. Для сближения названия с русским языком могли измениться первая гласная и окончание на более свойственные русской грамматике и фонетике. В западной части пруда находится кафе, рядом с которым размещалась автозаправочная станция; на северном берегу организован пляж, там же, но через автотрассу, заложена еще одна АЗС; на востоке на протяжении долгого времени (весь период наблюдений) накапливается мусор; к югу от пруда (в 30 м) располагается завод ООО «Откормочное» (рис. 1).

На водоеме нами проводится ежемесячный гидрохимический мониторинг с мая 2015 г., а для купальных сезонов 2016–2017 гг. оценена рекреационная нагрузка. В интересах изучения морфометрических особенностей были выбраны следующие параметры: площадь водного зеркала, объем пруда, максимальная длина, ширина водоема, протяженность береговой линии, средняя и максимальная глубина, коэффициент извилистости береговой линии, форма котловины, коэффициент открытости, определена площадь водосборного бассейна и показатель удельного водосбора.

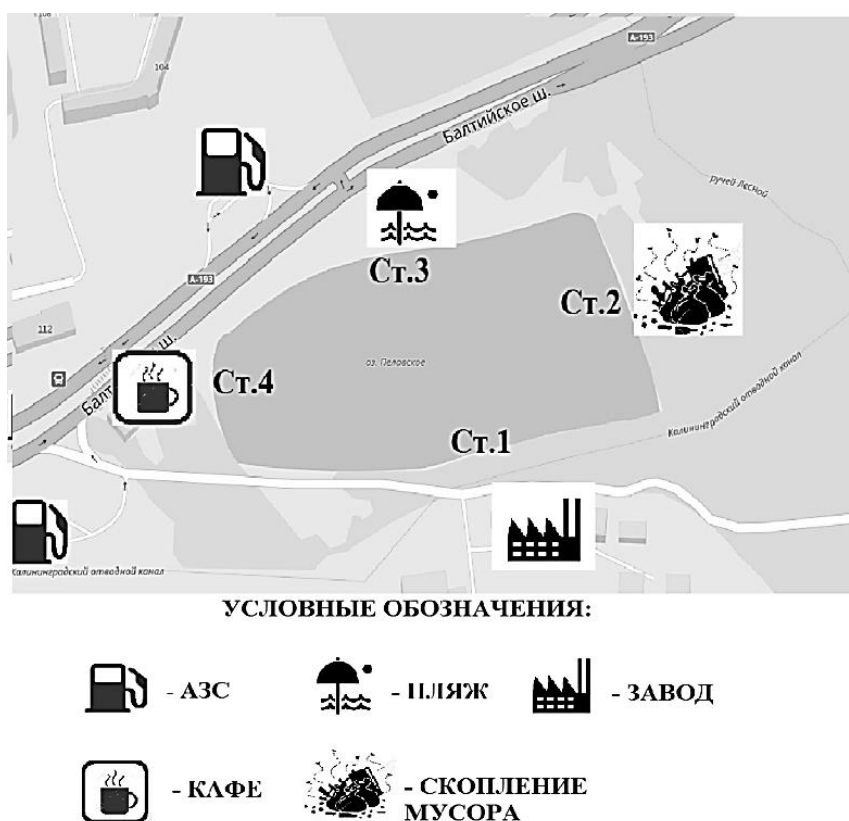


Рис. 1. Пруд Пелавский и окружающие его объекты
Fig. 1. The Pelavsky pond and its surroundings

Чтобы установить морфометрические характеристики пр. Пелавского, в октябре 2016 г. с борта лодки была проведена батиметрическая съёмка методом эхолотации с синхронной фиксацией географических координат точек промеров. Для исследований использовались эхолот «Simbia CPS-200» и навигационное программное обеспечение с целью отслеживания текущего положения судна и пройденного им пути. Первичная обработка результатов полевых измерений была выполнена средствами электронных таблиц MS Excel, интерполяция значений глубины в узлы регулярной решетки и построение на ее основе цифровой модели рельефа дна и соответствующих карт проведены с применением геоинформационных систем Golden Software Surfer и ArcGis. Чтобы получить сведения, более приближенные к реальным глубинам, замеры эхолотом производились по всей площади водного зеркала по заранее спланированной сетке галсов с максимально точной фиксацией каждой точки пруда. Собранные данные сделали возможным построение батиметрической карты пр. Пелавского (рис. 2), которая позволяет наиболее эффективно и просто отобразить особенности рельефа его дна.

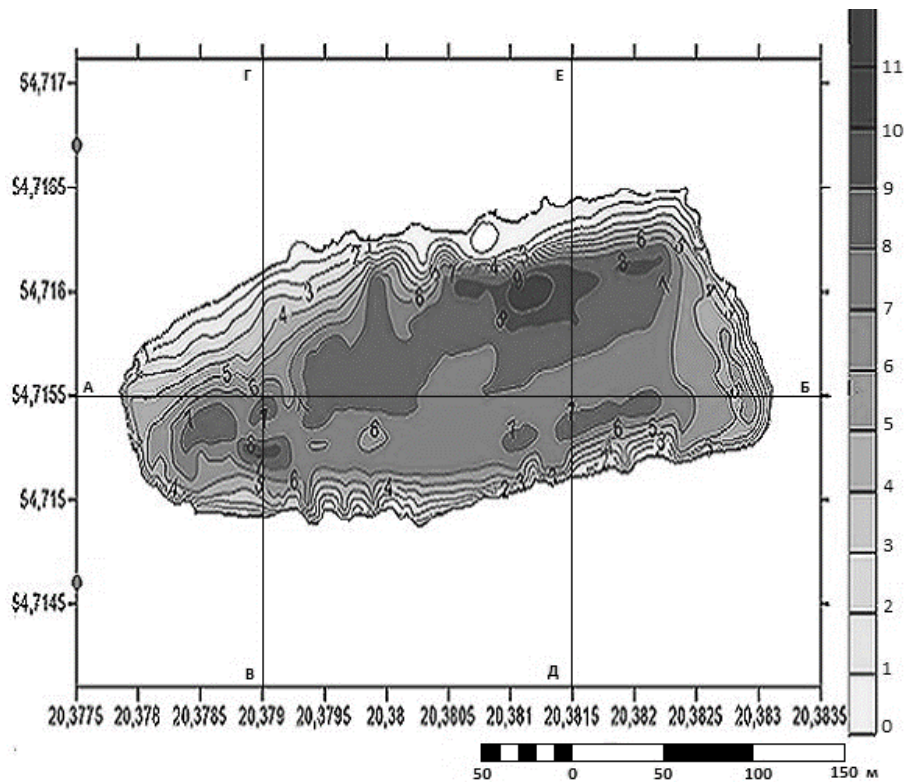


Рис. 2. Рельеф дна пр. Пелавского со схемой разрезов (отметки градусной сетки по левой и нижней рамке – в градусах широты и долготы соответственно)

Fig. 2. Bottom relief of the Pelavsky pond and lines of the bottom relief profiles (grid grades on the left and bottom frame are in degrees of latitude and longitude respectively)

Для юго-западной, юго-восточной, а также восточной частей пруда характерна довольно резкая смена глубин, местами до четырех метров вблизи берега, крутизна подводного берегового склона до глубины шесть метров составляет с

обеих сторон около 25–30°. Более пологий склон – в северо-западной части водоема, где крутизна снижается до 6°, в то время как немного восточнее виден резкий переход практически до девяти метров, где после трехметровой отметки крутизна склона возрастает с 10 до 15°. Предполагаемая максимальная глубина пруда, проектируемая системой ArcGIS с учетом глубин близ отмеренных точек, – это самая глубокая часть водоема, которая используется как зона отдыха в летнее время. Берега окружающей суши также умеренно крутые со всех сторон, кроме северной, где берег пологий. Уровенная поверхность обследованного пруда лежит на отметках, близких к 0 м. Дно его в западной и южной частях преимущественно илистое, в северной и восточной – песчанистое [4]. По берегам водоема с трех сторон произрастают кустарники, с двух – крупные деревья. Деревья западной части покрыты налетом кирпичного цвета. Вероятно, это накипной лишайник трентеполия (лат. *Trentepohlia*), активно развивающийся во влажных зонах [5].

Окружающий ландшафт представлен отдельными холмами с относительной высотой до 10 м, крутыми и средней крутизной склонами, сложенными песками и хрящеватыми супесями [6]. Согласно картам Росреестра территория относится к категории «земли поселений и лесного фонда» [7] на бурых и дерново-подзолистых почвах [6]. Восточнее Пелавского протекает руч. Лесной, который берет начало к северо-западу от пос. А. Космодемьянского, протекает в южной его части в восточном направлении, течет к юго-востоку, где распадается на несколько небольших рукавов, сливаясь с руч. Менделеевским, а частично – с р. Преголей [8]. Ближе к ручью ландшафт местности постепенно сменяется на глубоковрезанную долину реки с крутыми склонами и комплексами террас. Состояние растительности еще по данным атласа 1999 г. [6] вокруг пруда оценивается в 6 баллов, что хуже общего состояния растительности в районе. В последние годы вокруг Пелавского происходят рубки самосевных деревьев и кустарников, например, у западного берега в начале 2016 г.

Изучение формы озерной котловины может помочь в определении происхождения пр. Пелавского. Водоем имеет небольшой размер – около 4,3 га, почти правильную округлую форму (коэффициент извилистости – 1,2). По показателю удлиненности С. В. Григорьева [9] также можно сказать, что его форма стремится к окружности. По функционально-генетической классификации прудов В. М. Мишона [10] водоем относится к категории средних с площадью от 2 до 10 га. Согласно расчетам авторов его длина 330 м, максимальная ширина (153 м) незначительно отличается от средней (около 130 м), а протяженность береговой линии составила 880 м (таблица). Значения максимальных глубин могут косвенно свидетельствовать о генезисе водоема: максимальная глубина по данным замеров – 8,5, а средняя – 5,3 м. С. П. Китаев, исследовав озера Карелии, Финляндии и Швеции, Европейской части СССР, ввел разбиение озер на пять групп по средней глубине [10]. Пруд Пелавский по классификации С. П. Китаева можно отнести к водоемам со средней глубиной (4–8 м) [11].

Для наглядного отображения особенностей котловины пруда построены профили и трёхмерная модель рельефа его дна (рис. 2–4). У берегов и в продольном и поперечном сечении отмечается резкое увеличение глубины до 6–7 м. Переход глубин резкий. Дно в центральной части котловины более выровненное. На профиле АБ преобладающими глубинами были 6–7 м, на профилях ВГ – 5–6, на ДЕ преобладали значения 6,5–7,5 м.

Таблица 1. Основные морфометрические характеристики пр. Пелавского
Table 1. Basic morphometric characteristics of the Pelavsky pond

Параметр	Значение
Площадь водного зеркала, м ²	42600
Коэффициент извилистости	1,2
Длина, м	330
Средняя ширина, м	130
Максимальная ширина, м	153
Протяженность береговой линии, м	880
Объем воды, тыс. м ³	226,8
Средняя глубина, м	5,3
Максимальная глубина, м	8,5
Площадь водосборного бассейна, тыс. м ²	190
Показатель удельного водосбора	4,46
Коэффициент открытости	8037
Форма озерной котловины	0,62 (ближе к форме полушара)
Коэффициент удлиненности	2,2

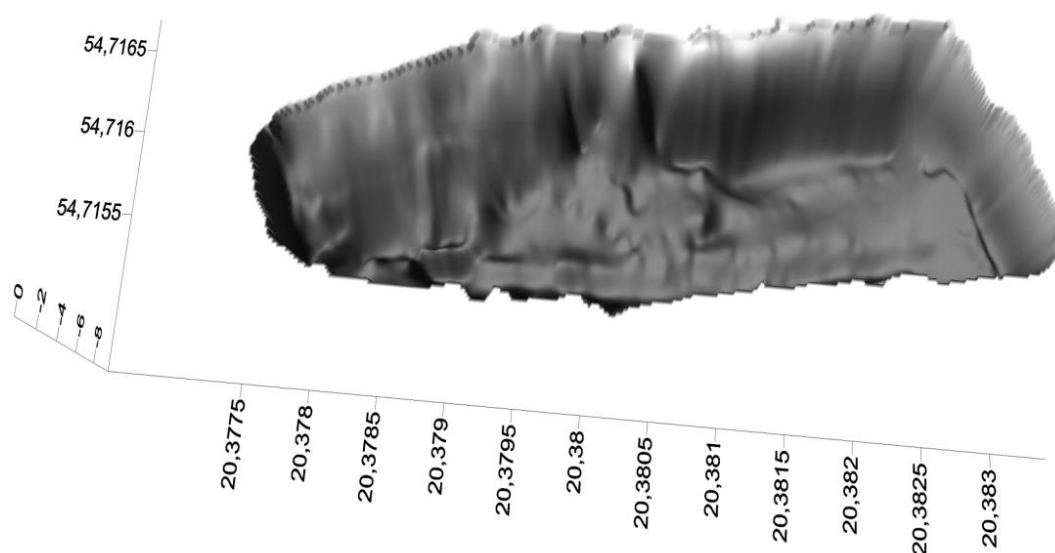


Рис. 3. Трехмерная модель рельефа дна пр. Пелавского
Fig. 3. Three-dimensional model of the bottom relief of the Pelavsky pond

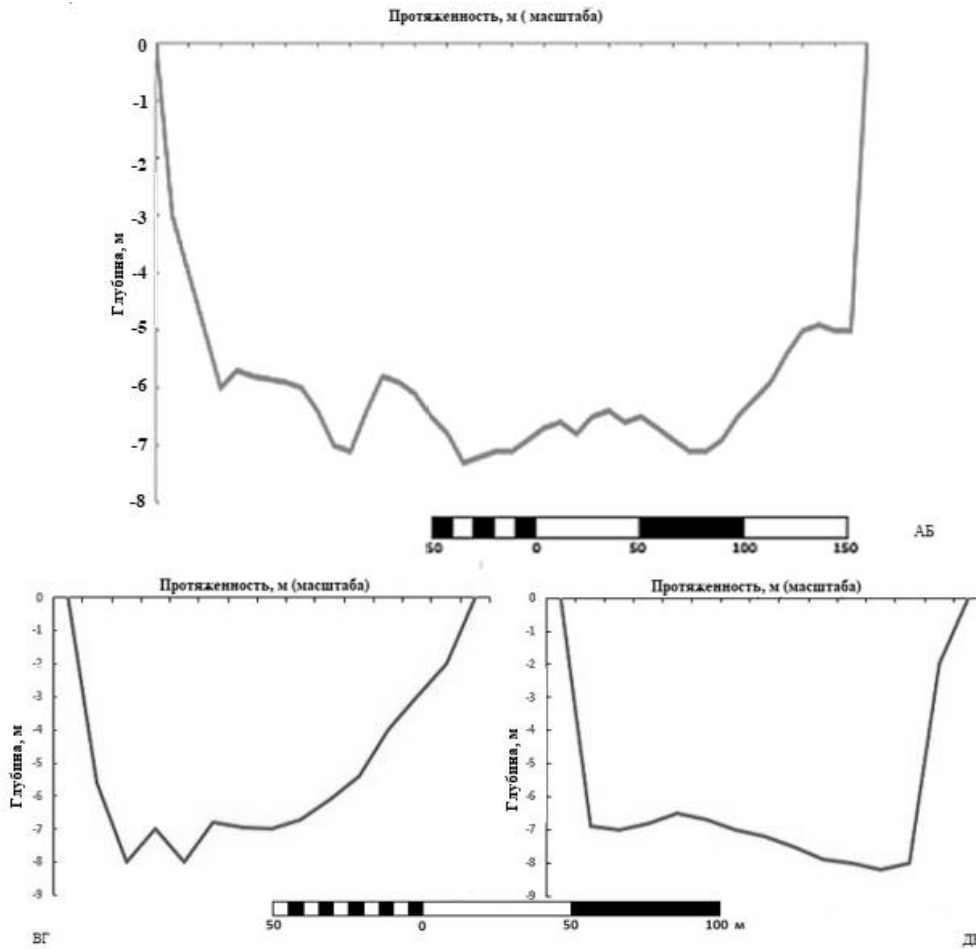


Рис. 4. Разрезы по линиям – АБ, ВГ, ДЕ
 Fig. 4. Lines of the bottom relief profiles – АБ, ВГ, ДЕ

Таким образом, ряд признаков (сложный рельеф дна, практически прямолинейная береговая линия и почти правильная прямоугольная форма водоема, значительные глубины – более 8 м, не характерные для естественных старичных и пойменных озер долины р. Преголи) свидетельствует в пользу предположения об искусственном происхождении пруда. Вероятно, это бывший карьер, строительный материал из которого использовался для ведения дорожного строительства в советский период.

На картах начала (Немецкая геологическая карта окрестностей Кенигсберга 1911 г.) и середины (Подробная карта генштаба РККА Калининградской области – Восточной Пруссии 1941 г.; Подробная топографическая карта РККА Кенигсберга 1945 г.) XX века пр. Пелавский отсутствует [12]. Впервые он появляется в 1955 г. на топографической карте Калининградской области ГУГК СК-63 (рис. 5) [12]. По форме пруд близок к расположенным рядом водоемам, таким как оз. Свалка, образовавшееся в результате затопления грунтовыми водами карьера, который был разработан немцами (добывались песок и гравий), и оз. Белое, появившееся около 1960-х гг. и сооруженное для водоснабжения г. Калининграда [13].

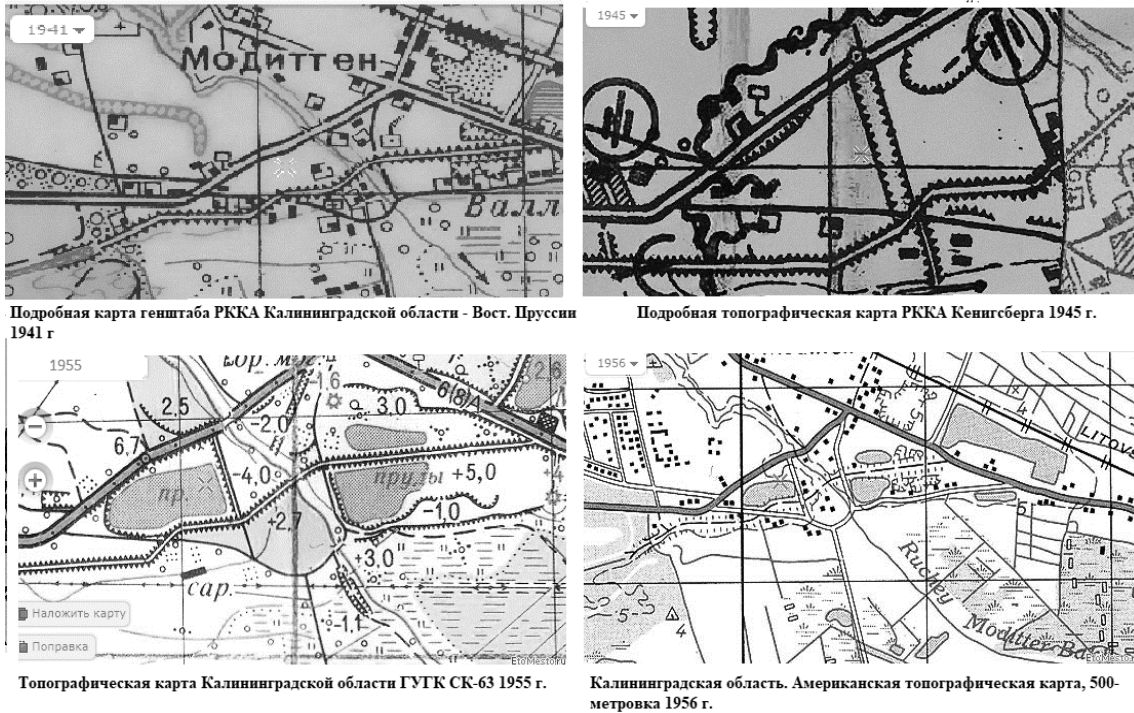


Рис. 5. Появление пр. Пелавского на картах г. Калининграда
Fig. 5. The Pelavsky pond on the maps of Kaliningrad

Осуществлены работы по определению границ и площади водосборного бассейна в системе картографических сервисов Google Earth и геоинформационной системе ArcGis. На рис. 6 показаны границы водосборного бассейна.



Рис. 6. Водосборный бассейн пр. Пелавского
Fig. 6. Catchment area of the Pelavsky pond

Площадь водосборного бассейна пр. Пелавского невелика и составляет приблизительно 19 га. Он включает участок местности до руч. Лесного на востоке, расширяется к северу до территории школы №9, с запада примыкает к площадке АЗС, с юга ограничен Калининградским отводным каналом.

Коэффициент открытости пруда равен 8037. Он свидетельствует о доступности водной массы водоема воздействию климатических факторов, поэтому температурный и ледовый режим следует за изменением температуры воздуха и тесно с ней связан. От скорости обмена водной массы водоема во многом зависят его гидрологический, гидрохимический и гидробиологический режимы. Большая открытость озер свидетельствует о наличии в них условий для значительного перемешивания водных масс. Влияние внешних факторов на процессы отражает и показатель удельного водосбора, который у Пелавского составляет 4,46. Чем больше удельный водосбор, тем значительнее влияние окружающего ландшафта на гидрологический режим. По классификации И.Н. Сорокина [14] показатель относится к категории малых (менее 10), что говорит о том, что влияние внешних условий водосбора снижается, но при этом возрастает роль процессов, происходящих в самом водоеме.

Вынос веществ с водосбора зависит от множества факторов, в том числе от геоморфологических особенностей территории, густоты гидрографической сети, геохимических особенностей водосбора, химического и гранулометрического состава почвогрунтов, слагающих поверхность водосбора [14]. Поскольку пр. Пелавский – замкнутый непроточный водоем, в него не впадают и из него не вытекают реки и ручьи, поэтому возможность разбавления веществ, попадающих с территории водосбора, снижена.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе работ по изучению морфометрических особенностей пр. Пелавского было выявлено, что это – водоем среднего размера (площадь водного зеркала 4,3 га), почти правильной округлой формы со средней глубиной 5,3 м, максимальная зафиксированная глубина составила 8,5 м. У него сложный рельеф дна, выровненная в центре котловина, у берегов обнаружено резкое увеличение глубины до 6–7 м. Практически прямолинейная береговая линия и почти правильная прямоугольная форма водоема, значительные глубины – более 8 м, не характерные для естественных старичных и пойменных озер долины р. Преголи, свидетельствуют в пользу предположения о его искусственном происхождении. Площадь водосборного бассейна пр. Пелавского невелика и составляет приблизительно 19 га. Водные массы водоема подвержены воздействию климатических факторов, что определяется величиной коэффициента открытости пруда (8037), удельный водосбор относится к малым (менее 10), что говорит о низкой роли водосборного бассейна в протекающих внутренних процессах в пруду.

История возникновения и хозяйственного использования пруда до сих пор неизвестна, но полученные результаты позволяют предположить, что Пелавский – бывший карьер, строительный материал из которого использовался для ведения дорожного строительства в советский период. На картах водоем в 1946 г. еще не отмечен, впервые он появляется в 1955 г., что свидетельствует о том, что создание котловины и заполнение ее водой произошли в период 1946–1955 гг.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Верещагин, Г. Ю. Методы морфологической характеристики озер / Г. Ю. Верещагин // Труды Олонецкой науч. экспедиции. – 1930. – Ч. 2, вып. 1. – 116 с.
2. Официальная статистика КАЛИНИНГРАДСТАТ [Электронный ресурс] – URL: <http://kaliningrad.gks.ru> (дата обращения 13.12.2017).
3. Очерки А. Б. Губина [Электронный ресурс] – URL: <http://klgd.ru/city/history/gubin/reservoir.php> (дата обращения 13.12.2017)
4. Цупикова, Н. А. Влияние рекреационной нагрузки на экологическое состояние пр. Пелавского (г. Калининград) в 2016 г. / Н. А. Цупикова, Е. А. Ло-зицкая // Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промысловое и техническое использование: VIII Всерос. науч.-практ. конф., посвящ. 75-летию рыбохоз. образования на Камчатке (12-14 апреля 2017 г.): материалы: в 2 ч. – Пет-ропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2017. – Ч. II. – С. 139–143.
5. Семейство Трентеполиевые [Электронный ресурс] – URL: <http://www.floranimal.ru/families/5901.html> (дата обращения 22.02.2018)
6. Калининград: Экологический атлас. – Калининград, 1999.
7. Публичная кадастровая карта [Электронный ресурс] – URL: <https://pkk5.rosreestr.ru> (дата обращения 18.01.2018)
8. Калининградская областная научная библиотека [Электронный ресурс] – URL: http://lib39.ru/kray/toponymu/index.php?SECTION_ID=114&ELEMENT_ID=887 (дата обращения 20.01.2018)
9. Григорьев, С. В. О некоторых определениях и показателях в озераве-дении./ С.В. Григорьев // Тр. Карельск. фил. АН СССР. – 1959. – Вып. XVIII. – С. 29–45.
10. Мишон, В. М. Функционально-генетическая классификация прудов Центрального Черноземья / В. М. Мишон // Вестник ВГУ. Серия: География. Гео-экология. – Воронеж. – 2003. – № 3. – С. 23–32.
11. Китаев, С. П. Экологические основы биопродуктивности озер различ-ных природных зон / С. П. Китаев – Москва: Наука, 1984. – 208 с.
12. Старые карты Калининграда и Калининградской области, Кенигсберга и Восточной Пруссии. [Электронный ресурс] – URL: <http://www.etomesto.ru/> (дата обращения 20.12.2017).
13. Карта озер Калининградской области [Электронный ресурс] – URL: <http://ozera.info/russia/szfo/kaliningrad/svalka> (дата обращения 12.02.2018).
14. Кондратьев, С.А. Оценка природной составляющей внешней нагрузки органическим веществом и биогенными элементами на водоемы северо-запада России / С. А. Кондратьев, Г. А. Алябина, И. Н. Сорокин // География и природ-ные ресурсы. – 2010. – №4. – С. 130–136.

REFERENCES

1. Vereshchagin G. Yu. Metody morfologicheskoy kharakteristiki ozer [Me-
thods of morphological characteristics of lakes]. *Trydy Olonetskoy nauchnoy Ekspeditsii*
[Proc. of the Olonets Scientific Expedition]. 1930, part II, vol. 1, 116 p.

2. *Ofitsial'naya statistika KALININGRADSTAT* [Official statistics KALININGRADSTAT]. Available at: <http://kaliningrad.gks.ru> (Accessed 13 December 2017).
3. *Ocherki A. B. Gubina* [Essays by A. B. Gubin]. Available at: <http://klgd.ru/city/history/gubin/reservoir.php> (Accessed 13 December 2017).
4. Tsupikova N. A., Lozitskaya E. A. Vliyanie rekreatsionnoy nagruzki na ekologicheskoe sostoyanie pruda Pelavskogo (g. Kaliningrad) v 2016 g. [Influence of the recreational load on the ecological state of the Pelavsky pond (Kaliningrad) in 2016]. *Prirodnye resursy, ikh sovremennoe sostoyanie, okhrana, promyslovoe i tekhnicheskoe ispol'zovanie: materialy VIII Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 75-letiyu rybokhozyaystvennogo obrazovaniya na Kamchatke (12-14 aprelya)* [Natural resources, their current state, conservation, industrial and application: proceedings of VIII All-Russian Scientific and Practical Conference dedicated to the 75th anniversary of fish farming in Kamchatka]. *Petropavlovsk-Kamchatskiy*, 2017, part 2, pp. 139–143.
5. *Semeystvo Trentepohlievye* [Trentepohliaceae]. Available at: <http://www.floranimal.ru/families/5901.html> (Accessed 22 February 2018).
6. *Kaliningrad: Ekologicheskiy atlas* [Kaliningrad: ecological atlas]. Kaliningrad, 1999.
7. *Publichnaya kadaastrovaya karta* [Public cadastral map]. Available at: <https://pkk5.rosreestr.ru> (Accessed 18 January 2018).
8. *Kaliningradskaya oblastnaya nauchnaya biblioteka* [Kaliningrad Regional Scientific Library]. Available at: http://lib39.ru/kray/toponymy/index.php?SECTION_ID=114&ELEMENT_ID=887 (Accessed 20 January 2018).
9. Grigor'ev S. V. O nekotorykh opredeleniyakh i pokazatelyakh v ozerovedenii [On some definitions and indicators in lake hydrology]. *Trudy Karelsk. Fil. AN SSSR* [Proceeding of Karelian branch of the USSR Academy of Sciences]. 1959, iss. XVIII, pp. 29–45.
10. Mishon V. M. Funktsional'no-geneticheskaya klassifikatsiya prudov Tsentral'nogo Chernozem'ya [Functional-genetic classification of the ponds of the Central Chernozem Region]. *Vestnik VGU. Seriya: Geografiya. Geoekologiya. Voronezh*, 2003, no. 3, pp. 23–32.
11. Kitaev S. P. *Ekologicheskie osnovy bioproduktivnosti ozer razlichnykh prirodnnykh zon* [Ecological fundamentals of bioproductivity of lakes in various natural zones]. Moscow, Nauka, 1984, 208 p.
12. *Starye karty Kaliningrada i Kaliningradskoy oblasti, Kenigsberga i Vostochnoy Prussii* [Old maps of Kaliningrad and the Kaliningrad region, Koenigsberg and East Prussia]. Available at: <http://www.etomesto.ru/> (Accessed 20 December 2017).
13. *Karta ozer Kaliningradskoy oblasti* [Map of the lakes of the Kaliningrad region]. Available at: <http://ozera.info/russia/szfo/kaliningrad/svalka> (Accessed 12 February 2018).
14. Kondrat'ev S. A., Alyabina G. A., Sorokin I. N. Otsenka prirodnoy sostavlyayushchey vneshney nagruzki organicheskim veshchestvom i biogennymi elementami na vodoemy severo-zapada Rossii [Assessment of the natural component of the external load by organic matter and nutrient elements on the reservoirs of north-west Russia]. *Geografiya i prirodnye resursy*, 2010, no. 4, pp. 130–136.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Цупикова Надежда Александровна – Калининградский государственный технический университет; кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры ихтиологии и экологии;

E-mail: tsoupikova@klgtu.ru

Tsupikova Nadezhda Aleksandrovna – Kaliningrad State Technical University; PhD in Geological and Mineralogical Sciences, Associate Professor of the Department of Ichthyology and Ecology;

E-mail: tsoupikova@klgtu.ru

Лозицкая Екатерина Александровна – Калининградский государственный технический университет; студент; E-mail: Lozitskaya.EA@yandex.ru

Lozitskaya Ekaterina Aleksandrovna – Kaliningrad State Technical University; student; E-mail: Lozitskaya.EA@yandex.ru

Алдушин Андрей Викторович – Калининградский государственный технический университет; старший преподаватель; E-mail: aldushin@klgtu.ru

Aldushin Andrey Victorovich – Kaliningrad State Technical University; Senior lecturer; E-mail: aldushin@klgtu.ru

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

УДК 665.213.9

ВТОРИЧНОЕ СЫРЬЕ РЫБОПЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ
КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ –
ИСТОЧНИК ЦЕННОГО ПИЩЕВОГО ЖИРА

С. В. Агафонова

SECONDARY RAW MATERIALS OF THE KALININGRAD REGION FISH-
PROCESSING ENTERPRISES AS A SOURCE OF VALUABLE EDIBLE FAT

S. V. Agafonova

Большие объемы вторичного рыбного сырья являются проблемой многих предприятий Калининградской области. Данное сырье может быть использовано для изготовления белковых, минеральных и жировых пищевых компонентов. Жировая фракция содержит омега-3 полиненасыщенные жирные кислоты, необходимые для поддержания здоровья сердечно-сосудистой системы. Исследован химический состав рыбных отходов – голов скумбрии и голов кильки горячего копчения – с ведущих рыбоперерабатывающих предприятий Калининградской области. Установлено высокое содержание жира в отходах на уровне от 9,54 до 15,79 %. Жир, выделенный из отходов, по показателям гидролитической и окислительной порчи соответствует установленным нормам. Исследовано влияние различных технологических режимов обработки вторичного сырья на выход и качество рыбного жира. Для обработки сырья применены ферментализация с протеолитическими ферментными препаратами при температуре 50 °С в течение 6 ч, термолиз при температуре 115 °С, давлении 2,5 атм в течение 1,5 ч и комбинация этих двух методов. Установлена эффективность биотехнологической обработки сырья для увеличения выхода жира. В большей степени способствует разрушению жировых клеток ферментный препарат Alcalase 2,5 L. Описанные в статье методы обработки рыбного сырья не способствуют существенному увеличению показателей гидролитической и окислительной порчи жира.

вторичное рыбное сырье, рыбный жир, омега-3 полиненасыщенные жирные кислоты, ферментализация, термолиз, Alcalase, Protamex

Large volumes of secondary fish raw materials are an issue for many enterprises of the Kaliningrad region. These raw materials can be used for production of proteinaceous, mineral and fatty food components. The fatty fraction contains omega-3 fatty acids necessary for maintenance of cardiac function. The chemical composition of fish waste – mackerel and smoke-cured sprat heads – from the leading fish processing enterprises of the Kaliningrad region has been investigated. High content of fat in waste at the level from 9.54 to 15.79 % has been determined. The fat separated from waste in terms of hydrolytic and oxidative spoilage meets the established parameters. Influence of various technological modes of secondary raw materials processing on extraction and quality of fish oil has been studied. Fermentolysis with proteolytic enzymes at a tem-

perature of 50 °C during 6 h, thermolysis at a temperature of 115 °C, pressure of 2.5 atm during 1.5 h and a combination of these two methods have been applied to raw material processing. The efficiency of biotechnological processing of raw materials for increase in fat recovery has been established. More destruction of oil cells is promoted by Alcalase 2.5 L enzyme. The described methods of fish raw material processing discourage essential increase in indicators of hydrolytic and oxidative spoilage of oil.

secondary fish raw materials, fish oil, omega-3 fatty acids, hydrolysis, thermolysis, Alcalase, Protamex

ВВЕДЕНИЕ

Проблема утилизации отходов, образующихся на пищевых перерабатывающих предприятиях, остро стоит практически во всех регионах России. В рыбоперерабатывающей отрасли образуется огромное количество отходов, которые при разделке могут составлять до 70 % от массы целой рыбы. Утилизация неиспользуемого рыбного сырья является актуальной проблемой для предприятий Калининградской области. По данным Федерального агентства по рыболовству, ежегодно на территории нашей области производится около 180 тыс. т рыбы живой, свежей, охлажденной и более 1000 тыс. т различной рыбной продукции. Это свидетельствует о том, что количество отходов, ежегодно образующихся на территории области, превышает 300 тыс. т [1]. Лишь малая доля отходов направляется на производство рыбной муки (не более 5 %), большая же их часть не находит никакого применения. При этом остается не реализованным огромный биотехнологический потенциал вторичного рыбного сырья, который заключается в содержащихся в нем ценных пищевых компонентах: полноценных белках, жирах, богатых омега-3 полиненасыщенными жирными кислотами (ПНЖК), макро- и микроэлементах.

Существуют разработки по использованию белковой фракции вторичного рыбного сырья. Компания ANiMOX (г. Берлин, Германия) запатентовала гидротермическую технологию получения протеиновых гидролизатов. Под воздействием давления и высокой температуры в водной среде происходит расщепление белковых молекул с образованием низкомолекулярных легкоусвояемых пептидов и аминокислот. Помимо гидротермического метода расщепления белковых молекул, используется ферментативное расщепление. На кафедре пищевой биотехнологии ФГБОУ ВО «КГТУ» разработаны методики ферментализации рыбного сырья с использованием различных протеолитических ферментных препаратов. Совместные исследования с немецкими коллегами показали, что хорошие результаты достигаются при комбинировании ферментативного и термического методов воздействия на сырье. В этом случае удается добиться высокого выхода низкомолекулярных пептидов. Полученные гидролизаты находят применение в пищевой, кормовой, микробиологической промышленности [2, 3].

Побочным продуктом производства белковых гидролизатов является жир. Гидротермическое и ферментативное воздействие на сырье позволяет разрушить межклеточные структуры из коллагеновых и эластиновых волокон, которые связывают жировые клетки [4]. Наиболее существенное увеличение выхода жира отмечается при ферментативной обработке сырья. При переработке отходов от раз-

делки рыб с целью получения качественного пищевого жира исследователями показана эффективность использования различных видов коммерческих протеаз: Alcalase 2.5 L, Protamex, Corolase L10, Maxazyme NNPDS [5–7].

Рыбный жир является одним из немногих природных источников незаменимых эйкозапентаеновой и докозагексаеновой омега-3 жирных кислот. Дефицит этих компонентов в питании населения России обостряет ситуацию, связанную с повышенной смертностью от сердечно-сосудистых заболеваний [8]. Использование рыбного жира, выделенного из вторичного рыбного сырья, в технологии жировых продуктов массового потребления, создание профилактического питания с высоким содержанием омега-3 ПНЖК может помочь в борьбе с широкой распространенностью болезней кровообращения [9].

Важными показателями, позволяющими судить о возможности использования жира в пищевых целях, являются показатели гидролитической и окислительной порчи жира. Для жира, используемого в пищевых целях, установлены следующие нормативные показатели: кислотное число жира (КЧ) – не более 4 мг КОН / г, перекисное число жира (ПЧ) – не более 10 ммоль активного кислорода / кг [10]. На величину кислотных и перекисных чисел оказывает влияние качество сырья, его хранение до переработки, режимы технологического процесса.

Исследование возможности использования в пищевых целях жировой фракции вторичного рыбного сырья Калининградской области, полученной ферментативным и гидротермическим методами, явилось целью данной работы.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектами исследования служили отходы, полученные с рыбоперерабатывающих предприятий «РосКон» и «За Родину»: головы скумбрии и головы кильки горячего копчения, а также жиры, выделенные из данных отходов. Отбор средних проб, подготовку их к анализу проводили в соответствии с ГОСТ 31339-2006, ГОСТ 7631-85. Содержание влаги, белка, жира, золы определяли по стандартным методикам (ГОСТ 7636-85).

Показатели гидролитической и окислительной порчи определяли по ГОСТ 7636-85 в жире, выделенном центрифугированием из предварительно измельченного сырья, а также в жире, полученном ферментативным и гидротермическим способами.

Исследовался жир, выделенный из отходов по различным технологическим регламентам: ферментализ, термолиз, ферментализ с последующим термолизом. Во всех случаях сырье измельчали и добавляли воду в соотношении 1:1 к массе отходов. Для проведения ферментализа использовали ферментные препараты Alcalase 2,5 L и Protamex, которые вносили в количестве 0,25 % к общей массе сырья и воды. Ферментализ вели при температуре 50 °С и естественном рН рыбного сырья в течение 6 ч при постоянном перемешивании с помощью лабораторного шейкера. В случае, если не предусматривался последующий термолиз, ферменты инактивировали выдерживанием при температуре 80 °С в течение 10 мин. Термолиз осуществляли в лабораторном автоклаве при температуре 115 °С, давлении 2,5 атм в течение 1,5 ч. Для разделения жировой, жидкой и твердой фракций массу направляли на центрифугирование, после чего замораживали для отделения жира.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Общий химический состав исследуемых отходов представлен в табл. 1. Как видно из таблицы, отходы содержат значительное количество жира, наибольшее его количество обнаруживается в головах кильки горячего копчения.

Таблица 1. Общий химический состав рыбных отходов, %
Table 1. General chemical composition of fish waste, %

Объект	Влага	Жир	Белок	Зола
Головы скумбрии	70,48	9,54	10,24	4,85
Головы кильки горячего копчения	61,08	15,79	18,11	5,07

Показатели гидролитической и окислительной порчи жира, выделенного из измельченного рыбного сырья центрифугированием, приведены в табл. 2.

Таблица 2. Показатели гидролитической и окислительной порчи жира, выделенного из необработанного сырья
Table 2. Indicators of hydrolytic and oxidative spoilage of the oil extracted from the raw waste

Объект	КЧ, мг КОН / г	ПЧ, ммоль активного кислорода / кг
Головы скумбрии	1,3	4,6
Головы кильки горячего копчения	3,26	6,63

Как видно из табл. 2, по показателям гидролитической и окислительной порчи жиры, выделенные из рыбных отходов, удовлетворяют требованиям Технического регламента ЕАЭС 040/2016 «О безопасности рыбы и рыбной продукции». Жир, выделенный из отходов скумбрии, характеризовался светло-желтым цветом, легким запахом рыбы. Жир из голов копченых шпрот имел более темный коричневый цвет и ярко выраженный аромат копчения.

Кислотные и перекисные числа жиров, а также их выход из сырья в зависимости от способа его обработки приведены в табл. 3.

Таблица 3. Выход жира и показатели его гидролитической и окислительной порчи при различных способах обработки сырья
Table 3. Oil recovery and indicators of its hydrolytic and oxidative spoilage under various methods of processing raw materials

Объект	Способ обработки	Выход жира, % от содержания в сырье	КЧ, мг КОН / г	ПЧ, ммоль активного кислорода / кг
Головы скумбрии	Термолиз	16,1	1,1	4,7
Головы скумбрии	Ферментализ с ФП Alcalase 2,5 L + термолиз	55,8	1,1	5,4
Головы скумбрии	Ферментализ с ФП Protamex + термолиз	27,9	1,2	5,2
Головы кильки горячего копчения	Ферментализ с ФП Alcalase 2,5 L	66,7	3,76	7,16

Наименьший выход жира из сырья отмечается при его гидротермической деструкции. Использование предварительного ферментализа с ФП Protamex позволяет увеличить выход жира 1,7 раз, использование ФП Alcalase 2,5 L – в 3,5 раза. Таким образом, ФП Alcalase показывает большую эффективность для разрушения жировой ткани. При обработке голов копченой кильки высокий выход жира был достигнут только при использовании ферментализа без последующей высокотемпературной обработки.

Сравнительный анализ данных табл. 2 и 3 показал, что длительный ферментализ и высокотемпературный термолиз не способствуют существенной интенсификации гидролитических и окислительных процессов в рыбных жирах и жиры после такой обработки сырья могут использоваться в пищевых целях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Жир, выделенный из вторичного рыбного сырья при его переработке методами ферментализа и гидротермолиза для получения белковых гидролизатов, имеет приемлемые показатели гидролитической и окислительной порчи и может использоваться в пищевых целях в качестве источника омега-3 ПНЖК.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Статистика и аналитика Федерального агентства по рыболовству // Федеральное агентство по рыболовству [Официальный сайт]. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://fish.gov.ru/otraslevaya-deyatelnost/ekonomika-otrasli/statistika-i-analitika> (дата обращения: 28.02.2018).
2. Исследование различных способов гидролиза вторичного сырья тихоокеанских лососевых рыб на примере нерки (*Oncorhynchus nerka*) / В. В. Волков [и др.] // Известия КГТУ. – 2017. – № 45. – С. 136–146.
3. Исследование различных способов гидролитического процесса вторичного рыбного сырья консервного производства / А. Хелинг [и др.] // Вестник Международной академии холода. – 2016. – № 1. – С. 3–8.
4. Технология жиров из водных биологических ресурсов / Н. П. Боева [и др.]. – Москва: Изд-во ВНИРО, 2016. – 107 с.
5. Extraction of oil from mackerel fish processing waste using alcalase enzyme / V.V. Ramakrishnan [et al.] // Enzyme Engineering. – 2013. – Vol. 2 (2). – P. 115–125.
6. Enzymatic oil extraction and positional analysis of ω -3 fatty acids in Nile perch and salmon heads / B. Mbatia [et al.] // Process Biochemistry. – 2010. – Vol. 45 (5). – P. 815–819.
7. Linder, M. Proteolytic extraction of salmon oil and PUFA concentration by lipases / M. Linder, J. Fanni, M. Parmentier // Marine Biotechnology. – 2005. – Vol. 7 (1). – P. 70–76.
8. Естественное движение населения Российской Федерации в 2016 году // Федеральная служба государственной статистики [Официальный сайт]. [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/doc_1140096846203 (дата обращения: 22.12.2017).
9. Schacku, C. Omega-3 Fettsäuren in der Kardiologie / C. Schacku // MMW-Fortschritte der Medizin Originalien. – 2007. – № 3. – S. 97–101.
10. Технический регламент ЕАЭС 040/2016 «О безопасности рыбы и рыбной продукции» // Евразийская экономическая комиссия. [Электронный ре-

сурс] – Режим доступа: <http://www.eurasiancommission.org/ru/act/texnreg/deptexreg/tr/Documents/%D0%A2%D0%A0%20%D0%95%D0%90%D0%AD%D0%A1%20040-2016.pdf> (дата обращения 28.02.2018).

REFERENCES

1. *Statistika i analitika Federalnogo agentstva po rybolovstvu* [Statistics and analytics of the Federal Agency for Fishery]. Available at: <http://fish.gov.ru/otraslevaya-deyatelnost/ekonomika-otrasli/statistika-i-analitika> (Accessed 28 February 2018).
2. Volkov V. V. et al. Issledovanie razlichnyh sposobov gidroliza vtorichnogo syr'ya tihookeanskih lososevyh ryb na primere nerki (*Oncorhynchus nerka*) [Study of different hydrolysis methods of pacific salmon by-products using sockeye (*Oncorhynchus nerka*) heads as an example]. *Izvestia KGTU*, 2017, no. 45, pp. 136–146.
3. Hoehling A. et al. Issledovanie razlichnyh sposobov gidroliticheskogo processa vtorichnogo rybnogo sir'ya konservnogo proizvodstva [Hydrolysis process of fish cannery by-products]. *Vestnik Mejdunarodnoi akademii holoda*, 2006, no 1, pp. 3–8.
4. Boeva N. P. et al. *Tehnologiya zhиров iz vodnyh biologicheskikh resursov* [Technology of fats from water biological resources]. Moscow, VNIRO, 2016, 107 p.
5. Ramakrishnan V. V. et al. Extraction of oil from mackerel fish processing waste using alcalase enzyme. *Enzyme Engineering*, 2013, no 2, pp. 115–125.
6. Mbatia B. et al. Enzymatic oil extraction and positional analysis of ω -3 fatty acids in Nile perch and salmon heads. *Process Biochemistry*, 2010, no 5, pp. 815–819.
7. Linder M., Fanni J., Parmentier M. Proteolytic extraction of salmon oil and PUFA concentration by lipases. *Marine Biotechnology*, 2005, no 7, pp. 70-76.
8. *Yestestvennoe dvizhenie naseleniya Rossiiskoy Federacii v 2016 godu* [Natural population movement of the Russian Federation in 2016]. Available at: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/doc_1140096846203 (Accessed 22 December 2017).
9. Schacku C. Omega-3 Fettsäuren in der Kardiologie. *MMW-Fortschritte der Medizin Originalien*, 2007, no 3, pp. 97–101.
10. *Tekhnicheskii reglament EAES 040/2016 “O bezopasnosti ryby i rybnoy produkcii”* [Technical regulations about safety of fish and fish production]. Available at: <http://www.eurasiancommission.org/ru/act/texnreg/deptexreg/tr/Documents/%D0%A2%D0%A0%20%D0%95%D0%90%D0%AD%D0%A1%20040-2016.pdf> (Accessed 28 February 2018).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Агафонова Светлана Викторовна – Калининградский государственный технический университет; кандидат технических наук,
доцент кафедры пищевой биотехнологии;
E-mail: andronova_sv@bk.ru

Agafonova Svetlana Viktorovna – Kaliningrad State Technical University;
PhD in Engineering, Associate Professor of the Department of Food Biotechnology;
E-mail: andronova_sv@bk.ru

УДК 664.9.022

ВЫБОР И ИДЕНТИФИКАЦИЯ РЕОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ
СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЫШЕЧНОЙ ТКАНИ РЫБЫ

О.В. Агеев, Ю. А. Фатыхов, Н. В. Самойлова

SELECTION AND IDENTIFICATION OF A RHEOLOGICAL MODEL
OF STRUCTURAL-MECHANICAL PROPERTIES OF MUSCULAR FISH TISSUE

O. V. Ageev, Ju. A. Fatykhov, N. V. Samojlova

Рассмотрены устройства для изучения реологических свойств рыбы. Исследована зависимость угла прогиба балтийской салаки от продолжительности ее хранения с момента вылова и температурных условий окружающей среды. Угол прогиба достаточно полно характеризует посмертные изменения рыбы, а также хорошо согласуется с органолептической оценкой, показателями эластичности, влагоудерживающей способности, вязкости солерастворимых белков, изменением рН. Обоснован выбор формы и геометрических размеров индентора консистометра, а также места на поверхности рыбы, в котором осуществляется индентирование рыбы с учетом морфометрических зависимостей внутривидового подобия рыб. Экспериментально определены мгновенный и запаздывающий модули упругости, коэффициент динамической вязкости, жесткость тела рыбы, упругость и эластичность мышечных тканей. Жесткость балтийской салаки изменяется в диапазоне от 13,7 до 5,3 Н/м. Мгновенный модуль упругости принимает значения от $1,4 \cdot 10^5$ до $3,63 \cdot 10^5$ Н/м², коэффициент динамической вязкости – от $740 \cdot 10^5$ до $1470 \cdot 10^5$ Н·с/м². Запаздывающий модуль упругости рыбы составляет $(0,1 \div 0,8) \cdot 10^5$ Н/м². Наибольшей эластичностью рыба характеризуется до наступления посмертного окоченения, при котором эластичность снижается до минимума, а на стадии автолиза вновь возрастает. Мгновенная упругая и высокоэластичная деформации хорошо согласуются с органолептической оценкой консистенции рыбы. Мясо с нежной консистенцией имеет большую мгновенную и высокоэластичную деформации по сравнению с мясом более жесткой консистенции. Механическому поведению рыбы соответствует реологическая модель стандартного вязкоупругого тела, которая достаточно точно характеризует свойства сырья. Путем решения дифференциального уравнения Кельвина и на основе полученных результатов экспериментов идентифицированы математические модели, описывающие зависимость напряжения от деформации и кинетику деформации мышечной ткани балтийской салаки. Рекомендовано использовать полученные результаты при математическом моделировании процесса резания рыбы.

рыба, угол прогиба, вязкоупругость, деформация, напряжение, упругость, эластичность

The paper considers devices for investigating rheological properties of fish. The dependence of the angle of flexure of the Baltic herring on duration of its storage on the catch moment and temperature conditions of the environment has been studied. The an-

gle of flexure characterizes quite well postmortem changes of fish, and also agrees well with organoleptic evaluation, elasticity, moisture retention, viscosity of soluble proteins, pH change. The selection of the shape and geometric dimensions of the consistometer indenter, as well as the selection of the location on the fish surface, where indentation of fish is held, taking into account the morphometric dependencies of the fish intraspecies similarity, have been substantiated. Instant and delayed elastic modules, coefficient of dynamic viscosity, rigidity of fish body, muscle tissues resilience and elasticity have been determined experimentally. The rigidity of the Baltic herring varies from 13.7 to 5.3 N/m. The instantaneous modulus of elasticity takes values from $1.4 \cdot 10^5$ to $3.63 \cdot 10^5$ N/m², coefficient of dynamic viscosity is from $740 \cdot 10^5$ to $1470 \cdot 10^5$ N·c/m². The delayed modulus of fish elasticity is $(0.1 \div 0.8) \cdot 10^5$ N/m². The fish is characterized by the greatest elasticity in prerigor state, at which the elasticity is reduced to a minimum, and at the autolysis stage it increases again. Instant elastic and highly elastic deformations are in good agreement with the organoleptic evaluation of the fish consistency. Meat with a delicate consistency has a great instant and highly elastic deformation compared to meat of a more rigid consistency. Mechanics of fish has been compared with the rheological model of a standard viscoelastic body. This rheological model quite accurately characterizes raw material properties. By solving Kelvin differential equation and following the results of the experiments, mathematical models describing the dependence of strain on deformation and kinetics of the Baltic herring muscle deformation have been identified. It is recommended to use the results obtained in the mathematical modeling of fish cutting process.

fish, angle of flexure, viscoelasticity, deformation, stress, resilience, elasticity

ВВЕДЕНИЕ

Морепродукты являются преимущественно сырьем, направляемым в обработку для пищевых целей. В связи с этим на всех этапах технологического процесса, в том числе в процессе разделывания, решающее значение имеют обеспечение качества продукта и экономия ценного мяса. На процесс резания мышечной ткани рыбы существенное влияние оказывают ее реологические свойства. В связи с этим, является актуальной задача математического моделирования процесса резания, для решения которой требуется выбор и идентификация реологической модели рыбы.

Структурно-механические характеристики тушки оценивают ее консистенцией, характеризуемой такими показателями, как плотность, упругость, эластичность, нежность, сочность и др. [1–3]. Единого количественного показателя, объективно и всесторонне отражающего консистенцию рыбы, в настоящее время нет [4]. Широко разработанные инструментальные методы оценки качества рыбного сырья и продуктов позволяют косвенно оценивать консистенцию рыбы такими количественными показателями, как угол прогиба, предельное напряжение сдвига, жесткость, удельное давление и относительная деформация тела рыбы до ее разрушения и др. [5–7].

Качество рыбного сырья, определяемое его консистенцией, в значительной мере зависит от того, на каком этапе развития посмертных изменений рыбы с моменты вылова начата ее первичная обработка. Различают ряд посмертных процессов, происходящих в тканях рыбы: выделение слизи, посмертное окоченение, разрешение посмертного окоченения, автолиз и бактериальное разложение. Струк-

турные изменения, соответствующие каждой стадии, характеризуются протекающими биохимическими процессами и в достаточной степени описаны в работах [2, 4].

В рыбной отрасли реологические свойства сырья изучали Н. А. Воскресенский, В. И. Калянов, А. Н. Головин, В. Г. Проселков, А. З. Уманцев, Г. В. Маслова, А. М. Маслов, В. П. Быков, А. Н. Белогуров, Л. К. Поляков, А. И. Пелеев, В. П. Зайцев, З. И. Белова, В. Г. Гурвиц, А. В. Славин и другие исследователи. Разработан ряд конструкций приборов для измерения физико-механических параметров рыбы. Известен конический пластомер КП-3 системы Воларовича. Для определения предельного напряжения сдвига конус заданных размеров под действием только собственной или собственной и дополнительной массы внедряется в тело рыбы на некоторую глубину. Зная глубину погружения конуса и его размеры, а также массу наконечника и дополнительного груза, вычисляется предельное напряжение сдвига ткани рыбы. И.П. Леванидов, изучавший упругоэластичные свойства рыбы, показал, что наиболее сопоставимые результаты получены при использовании в пластомере КП-3 наконечников со сферическим окончанием.

Кроме того, известен прибор Николаева, основанный на определении величины упругоэластичной деформации рыбы. В ТИНРО разработан консистометр ИУТР, основанный на приборе Николаева и позволяющий определить упругоэластическую деформацию непосредственно на тушке рыбы. Также для определения общей деформации рыбы использовался пенетрометр AP-4/1 (Германия), принцип работы которого основан на измерении степени сжатия (сдавливания) ткани рыбы под действием постоянной нагрузки в течение определенного времени. Также в отрасли применялись прочномер ПМ, универсальный прибор ВНИИМП, реконсистометр НПО «Углич» и другие устройства.

Известен микропроцессорный прибор MultiReoTest (Польша) для исследования реологических свойств пищевых материалов [8]. Принцип действия изделия основан на измерении амплитуды и частоты колебаний индентора при циклических нагружениях образца. Встроенная микроЭВМ с использованием алгоритмов цифровой обработки сигналов автоматически рассчитывает модуль упругости материала, коэффициент динамической вязкости, упругость, эластичность, пластичность и другие реологические параметры.

Подробные описания принципов действия и конструкций 36 типов зарубежных приборов для исследования реологических характеристик пищевых продуктов приведены в работе [9].

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РЫБЫ

Одним из инструментальных показателей, позволяющих оценить развитие посмертных изменений в теле рыбы, является ее угол прогиба φ_{np} . Авторами исследована зависимость угла прогиба балтийской салаки от продолжительности ее хранения с момента вылова τ и температурных условий окружающей среды $t_{окр}$. Эксперименты проведены с использованием прибора для определения угла прогиба, конструкция которого и методика измерения соответствуют работе [3]. Результаты экспериментального исследования представлены на рис. 1 в виде функции $\varphi_{np}(t, t_{окр})$. Каждая точка на рис. 1 получена путем осреднения значений φ_{np} для партии рыбы, объем которой составлял $N \geq 25$.

Сопоставление полученной зависимости $\varphi_{np}(t, t_{окр})$ с известными данными для других рыб [1, 4] показывает, что для балтийской салаки общая закономерность рассматриваемой функции сохраняется и характеризует посмертные изменения в рыбе. Первая стадия посмертных изменений в теле рыбы – выделение слизи после засыпания – происходит в течение двух часов непосредственно после вылова рыбы (на рис. 1 этот этап не изображен). По мере наступления посмертного окоченения (2-й этап) угол прогиба рыбы снижается с 80–85 до 41–47° в течение 3-5 ч после выделения слизи. Как отмечено в работах [1, 2, 4], этот процесс зависит от температуры окружающей среды и ускоряется при ее повышении. Этап непосредственно посмертного окоченения рыбы происходит за 1-2 ч и характеризуется минимальными углами прогиба ($\varphi_{np}^{\min} = 41^\circ$ при $t_{окр} = 5-7^\circ\text{C}$; $\varphi_{np}^{\min} = 45^\circ$ при $t_{окр} = 19-24^\circ\text{C}$). Следует отметить, что на этапе непосредственно окоченения рыбы отдельные экземпляры имели угол прогиба $\varphi_{np} = 5-10^\circ$. Однако вследствие неравномерности развития указанного процесса для отдельных тушек из-за их различных масс, состояния после вылова и других факторов осредненное минимальное значение φ_{np}^{\min} оказалось достаточно большим. В стадии автолиза угол прогиба рыбы φ_{np} возрастает, и этот процесс для сравниваемых температурных условий наступает на 2–2,5 ч раньше для рыбы при более высокой температуре $t_{окр}$.

Таким образом, данные по углу прогиба достаточно полно характеризуют посмертные изменения рыбы, а также хорошо согласуются с органолептической оценкой, показателями эластичности, влагоудерживающей способности, вязкости солерастворимых белков, изменением pH [4].

Для определения упругих и вязких реологических свойств мышечной ткани рыбы в период ее посмертных изменений авторами применялся прибор, который близок по конструкции к пенетрометру ПП-3М [3] и консистометру [2]. Масса подвижной части прибора (консистометра) составила 0,1 кг. С его помощью для балтийской салаки сняты кривые изменения деформации в теле рыбы под действием постоянной силы. Методика проведения опытов и обработки графиков кинетики деформации мышечной ткани в достаточной степени описаны в работе [2]. Результаты измерений позволили определить такие ее структурно-механические характеристики, как мгновенный и запаздывающий модули упругости, коэффициент динамической вязкости, жесткость тела рыбы, упругость и эластичность мышечных тканей.

При выборе формы и геометрических размеров индентора – рабочего органа консистометра, авторами разработан методический подход, отличающийся от приведенного в работе [2]. Так, в работе [2] для определения жесткости тела рыбы в качестве рабочего органа консистометра использованы прямоугольные пластины следующих трех типоразмеров: 20 × 30 мм; 20 × 50 мм; 30 × 80 мм. С помощью этих пластин определялась работа сжатия различных видов рыб при стандартной 5-миллиметровой относительной деформации. При этом жесткость таких рыб, как килька и мойва, могла быть получена только путем пересчета по данным деформации в 1 мм. Сравнительный анализ показал, что жесткость кильки и мойвы превышает жесткость таких рыб, как салака, ставрида, скумбрия, сардина, в 3–5 раз [2].

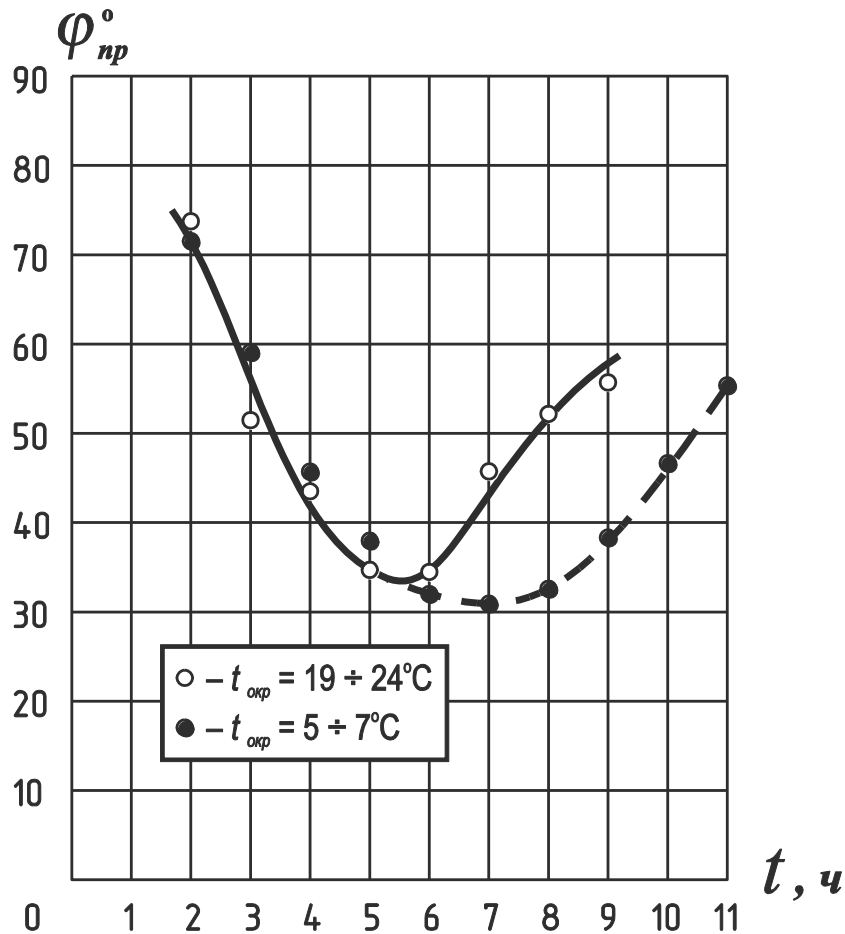


Рис. 1. Зависимость угла прогиба балтийской салаки от времени выдержки с момента вылова и температурных условий окружающей среды
 Fig. 1. Dependence of the angle of flexure of the Baltic herring on holding time from the moment of catch and temperature conditions of the environment

Проведем выбор формы и геометрических размеров индентора консисто-метра, а также места на поверхности рыбы, в котором необходимо выполнять си-ловое воздействие рабочим органом, используя морфометрические зависимости внутривидового подобия рыб.

Рассмотрим поперечное сечение тушки, в частности балтийской салаки, характеризующейся максимальной площадью S_{\max} (рис. 2). Примем следующие предпосылки (для индентора в виде прямоугольной пластины размерами h и l):

- соотношение между линейными размерами индентора h и l должно быть таким же, как и соотношение соответствующих размеров рыбы (H и L_{np}) в исследуемом сечении;

- индентор должен иметь площадь поперечного сечения $S = h \cdot l$ такую, при которой происходит полный контакт с поверхностью рыбы без воздействия силовой нагрузки;

- место расположения индентора на поверхности рыбы должно иметь привязку к ее известным геометрическим размерам.

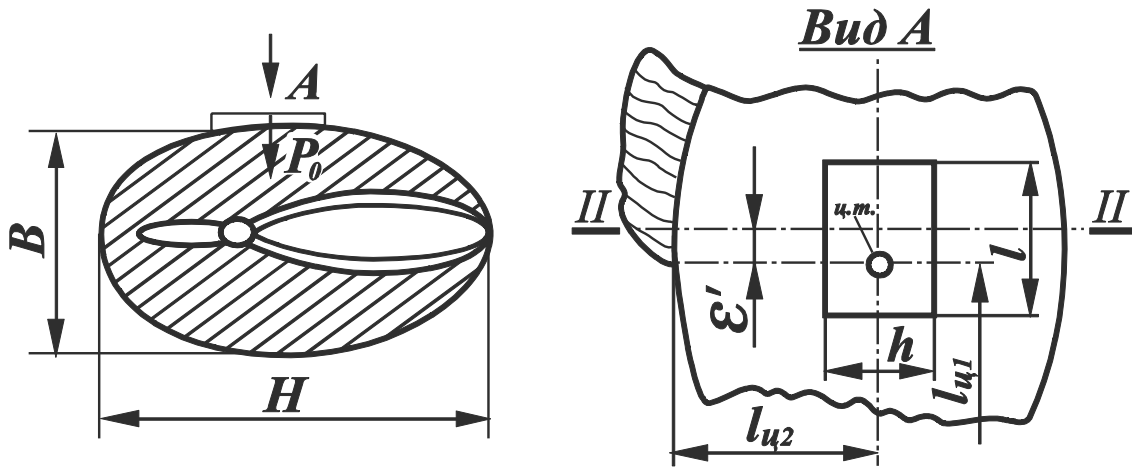


Рис. 2. Сечение балтийской салаки площадью S_{\max}

Fig. 2. The Baltic herring cross-section area of S_{\max}

В соответствии с принятыми предпосылками определяем геометрические размеры индентора. Как известно, для рыб данного вида основные соотношения геометрических размеров выражаются формулами:

$$k_{l_i} = \frac{l_i}{L_{np}}, k_{H_i} = \frac{H_i}{L_{np}}, k_{B_i} = \frac{B_i}{L_{np}}, \quad (1)$$

где k_{l_i} , k_{H_i} , k_{B_i} – безразмерные коэффициенты; l_i , H_i , B_i – соответствующие размеры тушки по длине, высоте и толщине; L_{np} – промысловая длина рыбы (расстояние от конца рыла до конца чешуйчатого покрова).

Для балтийской салаки коэффициент k_{H_2} , характеризующий максимальную площадь поперечного сечения S_{\max} (сечение II–II рис. 2), равен [30]: $k_{H_2} =$

$$\frac{H}{L_{np}} = 0,223. \text{ Возникает необходимость при исследовании структурно-механических}$$

свойств целой рыбы с помощью консистометра предварительно установить ее размерный ряд. В опытах с балтийской салакой основная фракция рыб имела промысловую длину $L_{np} = (17,0 \div 20,0)$ см. Следовательно, высота тела рыбы в сечении II–II изменялась в диапазоне $H = (3,8 \div 4,46)$ см.

Исходя из второй предпосылки, экспериментально установлено, что для соблюдения заданного условия размер индентора h должен находиться в диапазоне $h = (0,10 \div 0,12) \cdot H$. Тогда для рыб рассматриваемой фракции ($L_{np} = (17,0 \div 20,0)$ см) следует применять индентор шириной $h = 0,47$ см, которая определяется из вышеприведенных соотношений.

Принимаем площадь пластины S равной $1,0 \text{ см}^2$. Такая величина площади индентора позволяет при обработке полученных результатов легко учитывать взаимосвязь между силовым воздействием P и давлением рабочего органа консистометра на рыбу. Другой геометрический параметр индентора – его длина l –

определяется согласно первой предпосылке и равна для рассматриваемых конкретных условий $l = 2,12$ см.

Для определения места расположения индентора на поверхности тушки осуществим привязку к ее известным геометрическим размерам. Непосредственно от сечения II–II (см. рис. 2) находится сечение, соответствующее одной из координат центра тяжести рыбы – l_{y2} . Указанное сечение проходит через начало спинного плавника, что является удобным для быстрого отыскания центра тяжести. Величина l' , характеризующая разницу между сечением II–II и сечением, проходящим через центр тяжести рыбы, составляет для салаки $1 \div 4$ мм. Исходя из сказанного, с малой долей погрешности можно принять расположение центра индентора на поверхности рыбы с координатами l_{y1} и l_{y2} , которые для салаки определяются из следующих соотношений [2]:

$$k_{y1} = \frac{l_{y1}}{L_{np}} = 0,47; k_{y2} = \frac{l_{y2}}{L_{np}} = 0,48. \quad (2)$$

С помощью консистометра с индентором площадью $S = 1,0$ см² получены для балтийской салаки ($L_{np} = (17,0 \div 20,0)$ см) кривые кинетики деформации, снятые через определенные интервалы времени t_g после ее вылова.

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ ДЕФОРМАЦИИ МЫШЕЧНОЙ ТКАНИ РЫБЫ ПРИ ПОСТОЯННОМ НАПРЯЖЕНИИ И ПОЛНОЙ РАЗГРУЗКЕ

На рис. 3 представлены графики зависимости относительной деформации тела рыбы ε от времени индентирования штоком консистометра t . Изменение консистенции рыбы в период выдержки с момента вылова оценивалось по углу прогиба φ_{np} . В качестве относительной деформации тела рыбы ε принята безразмерная величина $\varepsilon = \varepsilon_{abc}/B$, где ε_{abc} – абсолютная деформация тела рыбы, мм; B – начальная толщина рыбы в деформируемом сечении, мм. Как видно из рис. 3, зависимости $\varepsilon(t)$ качественно соответствуют известным для других видов рыб [2, 4].

Деформация рыбы (рис. 3) является суммой трех составляющих: мгновенной упругой деформации, высокоэластичной (запаздывающей) деформации и деформации вязкого течения (пластической). Первые две составляющие полностью обратимы.

На рис. 3 участок OA соответствует мгновенной (идеальной) упругой деформации. На участке AB происходит вязкоупругая деформация, т. е. эластическая (запаздывающая во времени упругая) деформация последствия и вязкое течение. На участке BC развитие эластической деформации завершено, и осуществляется только вязкое течение материала. Кривая BC близка к прямой линии и характеризует деформацию вязкого течения (ползучесть). После снятия внешней нагрузки на участке CD мгновенно исчезает упругая деформация, а на участке DE постепенно исчезает эластическая деформация. Участок CE соответствует восстановительной деформации ткани рыбы после полного снятия нагрузки. Расположение линий $ABCDE$ на графике для одного и того же образца рыбы изменяется под влиянием различных факторов.

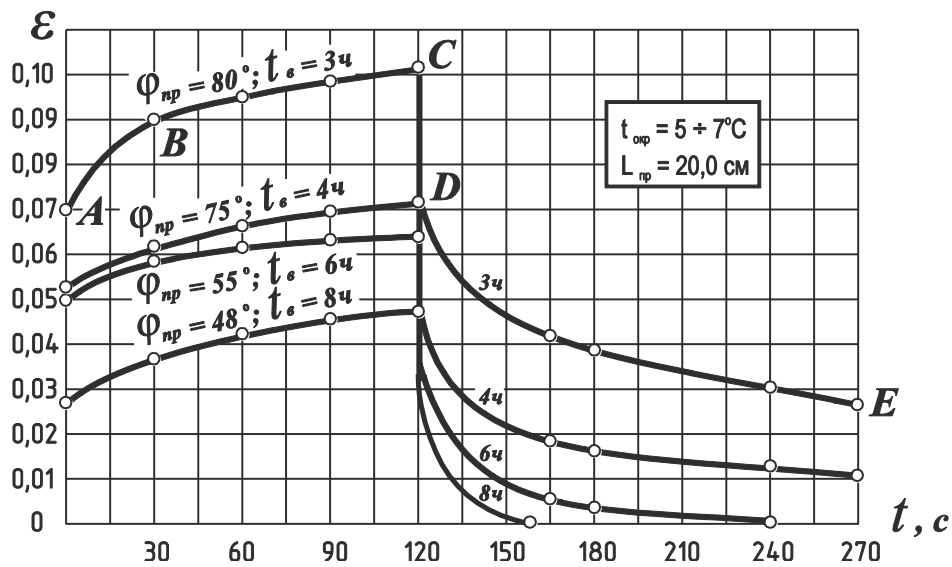


Рис. 3. График кинетики деформации балтийской салаки при индентировании с постоянным напряжением и полной разгрузке
 Fig. 3. Graph of strain kinetics of the Baltic herring during indentation at constant stress and full discharge

Необратимую деформацию рыбы (необратимую ползучесть) возможно охарактеризовать ньютоновской вязкостью. Предположение о постоянстве ньютоновской вязкости означает постоянство скорости натекания необратимой деформации. Надежное расчленение запаздывающей эластической деформации и необратимой ползучести и определение в таких условиях равновесной эластической деформации представляет сложную и трудоемкую задачу, поскольку для этого требуются наблюдения завершения упругого обратного последствия, протекающего с затухающей скоростью. Однако в мышечной ткани рыбы вследствие биохимических и биофизических процессов во времени развиваются существенные структурные изменения. По этой причине предположение о линейности механического поведения мышечной ткани, оцениваемой по упругим деформациям и установившемуся течению, является определенной идеализацией свойств реального материала.

Следует отметить, что при задании достаточно высоких постоянных напряжений кривая кинетики деформации на участке AC (см. рис. 3) приобретает специфический S-образный вид и состоит из трех следующих стадий. Первая стадия соответствует развитию обратимой ползучести, на которую накладывается ползучесть необратимая. На второй стадии происходит квазиустановившееся течение, на третьей – осуществляется ускорение натекания необратимой деформации, которое завершается достижением установившегося течения. На второй стадии возникает точка перегиба. Это объясняется последовательным снижением скорости деформации до минимума, началом необратимого разрушения структуры мышечной ткани и ростом скорости деформации до достижения установившегося течения материала. Таким образом точка перегиба соответствует пределу текучести (прочности) рыбы.

По мере развития стадий посмертных изменений (с уменьшением угла прогиба с 80 до 40°) происходит изменение структурно-механических свойств рыбы. В исследуемый период времени ($t_g = 3 \div 8$ ч) в рыбе происходят превращения гистологической структуры, соответствующие этапам посмертного окоченения и разрешения посмертного окоченения. Графики кинетики деформации, соответствующие этим стадиям, характеризуются снижением деформации, увеличением модулей упругости и коэффициента динамической вязкости.

Иследуем изменение мгновенного модуля упругости E_0 рыбы по данным рис. 3. Как известно,

$$E_0 = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}, \quad (3)$$

где σ – механическое напряжение в мышечной ткани рыбы под индентором, $\sigma = 0,065 \cdot 10^5$ Н/м²; ε_0 – мгновенная относительная деформация, $\varepsilon_0 = 0,027 \div 0,07$.

Для рыбы, графики кинетики деформации которой показаны на рис. 3, мгновенный модуль упругости E_0 увеличивается с $1,4 \cdot 10^5$ ($\varphi_{np} = 80^\circ$, $t_g = 3$ ч) до $3,63 \cdot 10^5$ Н/м² ($\varphi_{np} = 48^\circ$, $t_g = 8$ ч). За этот же период времени коэффициент динамической вязкости η увеличивается с $740 \cdot 10^5$ до $1470 \cdot 10^5$ Н·с/м², что определено по методике, изложенной в работе [2].

Для других исследуемых рыб (балтийской салаки) диапазон изменения E_0 и η составил: $E_0 = (0,8 \div 5,7) \cdot 10^5$ Н/м²; $\eta = (600 \div 1600) \cdot 10^5$ Н·с/м². В стадии автолиза (на рис. 3 этот этап не показан) по мере увеличения времени с момента вылова происходит увеличение деформации тела рыбы, снижение мгновенного модуля упругости и коэффициента динамической вязкости. Таким образом, рассмотренные характеристики, полученные по графикам кинетики деформации рыбы, отображают происходящие изменения ее структурно-механических свойств и консистенции.

А. З. Уманцевым в работе [2] предложено также для оценки консистенции рыбы применять показатель, названный жесткостью тела рыбы. Под жесткостью C понимается отношение работы A , затраченной на деформацию тела рыбы, к площади сжимающих пластин при определенной заранее выбранной величине деформации ε [4], т. е. (в Н/м)

$$C = \frac{A}{S} = \frac{\int_{\varepsilon_2}^{\varepsilon_1} P(\varepsilon) d\varepsilon}{S}. \quad (4)$$

При работе с консистометром создаваемое напряжение между индентором и поверхностью рыбы постоянное ($\sigma = \text{const}$) и величина жесткости тела рыбы может быть определена, в частности, по мгновенной относительной деформации ε_0 . Тогда

$$C = \frac{P \cdot \varepsilon_{0abc}}{S} = \sigma \cdot \varepsilon_{0abc}. \quad (5)$$

Из соотношений (3), (5) получим взаимосвязь жесткости тела рыбы с мгновенным модулем упругости E_0 и мгновенной относительной деформацией ε_0 :

$$C = E_0 \cdot \varepsilon_0^2 \cdot B. \quad (6)$$

По данным рис. 3 установлено, что жесткость балтийской салаки изменяется в диапазоне от 13,7 ($t_g = 3$ ч) до 5,3 Н/м ($t_g = 8$ ч). Однако полученные результаты сложно сопоставить с данными работы [2] из-за ряда методических различий опытов, различных создаваемых напряжений, а также качества рыбы (А. З. Уманцевым использовалась дефростированная салака).

По кривым деформации рыбы представляется возможным определить такие ее реологические свойства, как упругость, эластичность и пластичность. Упругость рыбы является отношением упругоэластичной деформации к максимально достигнутой деформации при индентировании:

$$Y = \frac{\varepsilon_{y\varepsilon}}{\varepsilon_{\max}} \cdot 100\% = \frac{\varepsilon_0 + \varepsilon_{\varepsilon\varepsilon}}{\varepsilon_{\max}} \cdot 100\%, \quad (7)$$

где $\varepsilon_{y\varepsilon} = \varepsilon_0 + \varepsilon_{\varepsilon\varepsilon}$ – упругоэластичная деформация (полностью обратимая относительная деформация); ε_0 – мгновенная (или условно-мгновенная) деформация, мгновенно возникающая и мгновенно исчезающая после снятия нагрузки (или возникающая и исчезающая после снятия нагрузки за очень короткий интервал времени); $\varepsilon_{\varepsilon\varepsilon}$ – высокоэластичная деформация (относительная деформация, постепенно исчезающая после снятия нагрузки); ε_{\max} – максимальная деформация (максимально достигнутая относительная деформация под действием приложенной нагрузки).

Эластичность рыбы – отношение высокоэластичной деформации к упругоэластичной деформации:

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon_{\varepsilon\varepsilon}}{\varepsilon_{y\varepsilon}} \cdot 100\% = \frac{\varepsilon_{y\varepsilon} - \varepsilon_0}{\varepsilon_{y\varepsilon}} \cdot 100\%. \quad (8)$$

На рис. 4 представлены зависимости упругости и эластичности балтийской салаки от продолжительности ее хранения после вылова, полученные путем обработки кривых кинетики деформации. Каждая точка на рис. 4 является результатом осреднения значений Y и ε по шести-восьми рыбам. Сплошными кривыми на рис. 4 обозначены зависимости $Y(t_g)$, $\varepsilon(t_g)$ при $t_{окр} = 5 \div 7$ °С, пунктирными – для $t_{окр} = 19 \div 24$ °С.

Характер кривых $Y(t_g)$, $\varepsilon(t_g)$ соответствует тем биофизическим, физико-химическим и биохимическим процессам, которые наблюдаются в рыбе в период развития посмертных изменений. Локальные экстремумы Y_{\max} и ε_{\min} исследуемых зависимостей соответствуют этапу, на котором происходит разрешение посмертного окоченения рыбы. Сопоставляя данные, приведенные на рис. 1 и 4, видим корреляционную зависимость с изменением углов прогиба тушки φ_{np} . Значения Y_{\min} и ε_{\min} для рыбы, хранящейся при более высокой температуре $t_{окр}$, как и следовало ожидать, наступают за более короткий интервал времени t_g .

Наибольшей эластичностью рыба характеризуется до наступления посмертного окоченения, при котором эластичность снижается до минимума, а на стадии автолиза вновь возрастает. При рассмотрении рис. 4 видно также влияние температуры окружающей среды: при сопоставимых условиях повышение $t_{окр}$ приводит к снижению упругости и повышению эластичности тела рыбы.

Пластичность – способность рыбы необратимо и без разрушения изменять свою форму под действием больших механических напряжений. Указанный параметр изменяется в зависимости от рассматриваемых факторов обратно пропорционально изменению упругости рыбы. При контактом напряжении до $7 \cdot 10^3$ Н/м² для свежей и $6 \cdot 10^3$ Н/м² для мороженой рыбы происходит практически полное восстановление деформации тушки при снятии нагрузки. Остаточная деформация после завершения обратного высокоэластичного последействия является необратимой деформацией вязкого течения (по терминологии Х. Лидермана – необратимая ползучесть) и зависит от величины напряжения в контакте между индентором и телом рыбы, а также от качества сырья. В процессе релаксации напряжений упругие свойства рыбы снижаются, а пластические – усиливаются.

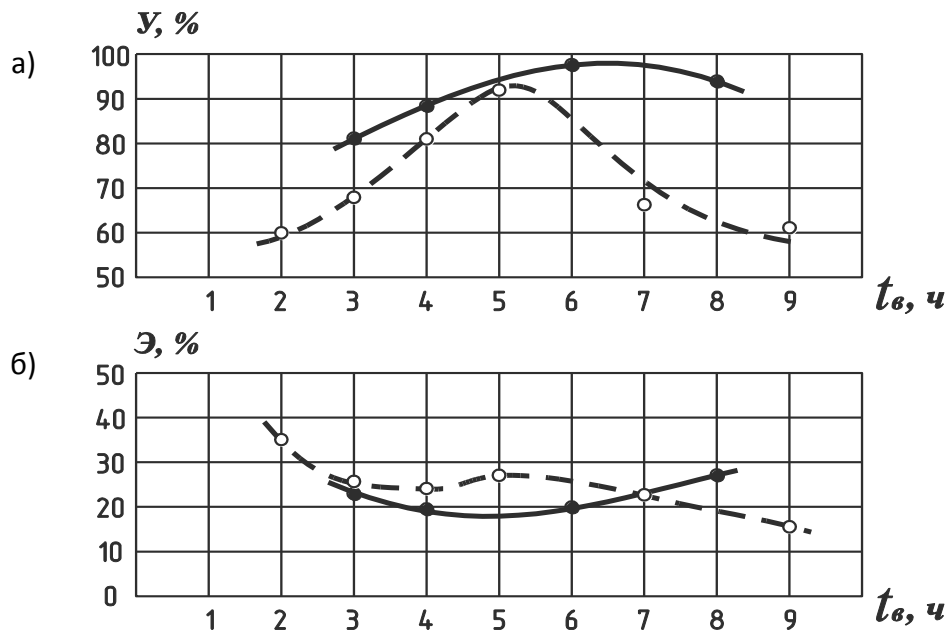


Рис. 4. Зависимости упругости (а) и эластичности (б) балтийской салаки от времени ее выдержки с момента вылова

Fig. 4. Resilience (a) and elasticity (b) of the Baltic herring versus its holding time from the catch moment

Исследования показывают, что мгновенная упругая и высокоэластичная деформации хорошо согласуются с органолептической оценкой консистенции рыбы. Мясо с нежной консистенцией имеет большую мгновенную и высокоэластичную деформацию по сравнению с мясом более жесткой консистенции. Существенная мгновенная деформация является следствием развитой соединительной ткани, не обладающей большой прочностью и мгновенно сжимающейся под действием нагрузки. Высокоэластическая деформация связана с особенностями стро-

ения сарколеммы и септ, структурные решетки которых имеют малую подвижность [4]. Кроме того, общая деформация рыбы существенно зависит от расположения волокон относительно линии приложения нагрузки. Установлено, что при индентировании рыбы по направлению волокон общая деформация больше, чем при воздействии поперек волокон.

При снижении температуры рыбы ее упругие свойства усиливаются, а пластические свойства утрачиваются. При достижении эвтектической точки с температурой минус 65°C вся влага полностью вымерзает, а рыба ведет себя как полностью упругое тело и обладает максимальной прочностью. При дальнейшем снижении температуры до минус 100°C возрастает хрупкость рыбы и значительно снижается предел прочности [4]. На упругие свойства существенно влияет скорость замораживания, поскольку при высокой скорости образуются мелкие кристаллы льда. С уменьшением размера кристаллов снижается общая деформация тканей.

ВЫБОР И ИДЕНТИФИКАЦИЯ РЕОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РЫБЫ

С результатами экспериментальных исследований механического поведения тканей рыбы (см. рис. 3) хорошо согласуется трехэлементная модель вязкоупругого материала, называемая моделью Кельвина и стандартным вязкоупругим телом. Модель представляет собой последовательное соединение моделей Гука и Кельвина-Фойгта. При этом принято, что вязкоупругость имеет линейный характер. Экспериментальные и теоретические графики кинетики деформации практически совпадают, благодаря чему реологическая модель стандартного вязкоупругого тела достаточно точно характеризует свойства рыбы. Таким образом, вязкоупругие свойства рыбы описываются следующим уравнением:

$$\frac{d\sigma}{dt} + \frac{E_0 + E_1}{\eta} \sigma = \frac{d\varepsilon}{dt} E_0 + \frac{E_0 E_1}{\eta} \varepsilon, \quad (9)$$

где σ – напряжение в материале; ε – относительная деформация материала; E_0 – мгновенный модуль упругости материала; E_1 – запаздывающий модуль упругости материала; t – время; η – коэффициент динамической вязкости материала (по П. А. Ребиндеру – вязкость эластичности, по Х. Лидерману – внутренняя вязкость).

Получим математическую модель, описывающую кинетику деформации при индентировании тела рыбы. Экспериментальные исследования проводились с постоянным механическим напряжением (участок AC на рис. 3) при контакте индентора с рыбой, т. е. $\sigma = \text{const}$. Тогда уравнение (9) примет следующий вид:

$$\frac{E_0 + E_1}{\eta} \sigma = \frac{d\varepsilon}{dt} E_0 + \frac{E_0 E_1}{\eta} \varepsilon. \quad (10)$$

Преобразуем выражение (10) к линейному дифференциальному уравнению:

$$\frac{d\varepsilon}{dt} + \frac{E_1}{\eta} \varepsilon - \frac{E_0 + E_1}{E_0 \cdot \eta} \sigma = 0. \quad (11)$$

Решение уравнения (12) имеет следующий вид:

$$\varepsilon = \frac{E_0 + E_1}{E_0 \cdot E_1} \sigma + C \cdot \exp\left(-\frac{E_1}{\eta} \cdot t\right), \quad (12)$$

где t – время индентирования образца.

Произвольную постоянную C определим из граничного условия. При $t = 0$ мгновенная деформация реологической модели осуществляется за счет упругого элемента E_0 (изолированной пружины элемента Гука). Общая деформация в этом случае в соответствии с законом Гука равна $\varepsilon = \sigma/E_0$. Тогда выражение (12) примет вид:

$$\frac{\sigma}{E_0} = \frac{E_0 + E_1}{E_0 \cdot E_1} \sigma + C, \quad (13)$$

откуда определим C :

$$C = \frac{\sigma}{E_0} - \frac{E_0 + E_1}{E_0 \cdot E_1} \sigma = -\frac{\sigma}{E_1}. \quad (14)$$

Подставив (15) в (13) и выполнив преобразования, окончательно имеем:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E_0} + \frac{\sigma}{E_1} \cdot \left(1 - \exp\left(-\frac{E_1}{\eta} \cdot t\right) \right). \quad (15)$$

В работах школы П. А. Ребиндера введена величина $E_0/E_1 = e_{01}$ – мера эластичности материала, характеризующая его положение в ряду тел от упругих жидкостей до твердых веществ.

По результатам экспериментальных исследований с использованием полученных значений мгновенного модуля упругости E_0 и коэффициента динамической вязкости η определен запаздывающий модуль упругости E_1 . Для основных промысловых видов рыб (салаки, скумбрии, ставриды, сельди, сардинеллы) он составляет $E_1 = (0,1 \div 0,8) \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$.

Результаты экспериментальных исследований реологических параметров рыбы приведены в таблице. Указанные параметры использованы для численных расчетов при моделировании деформирования мышечной ткани гранями ножа при резании [10–13].

Таблица. Реологические параметры мышечной ткани рыбы
Table. Rheological parameters of muscular fish tissue

№ п/п	Мгновенный модуль упругости E_0 , Н/м ²	Запаздывающий модуль упругости E_1 , Н/м ²	Коэффициент динамической вязкости η , Н·с/м ²
1	$1,5 \cdot 10^5$	$0,1 \cdot 10^5$	$250 \cdot 10^5$
2	$2 \cdot 10^5$	$0,3 \cdot 10^5$	$500 \cdot 10^5$
3	$2,5 \cdot 10^5$	$0,6 \cdot 10^5$	$1000 \cdot 10^5$
4	$3 \cdot 10^5$	$0,8 \cdot 10^5$	$1500 \cdot 10^5$

На основании вышеизложенного, для описания деформации и напряжения в мышечной ткани балтийской салаки на начальной стадии автолиза при $\varphi_{np} = 48^\circ$, $t_\varepsilon = 8$ ч, $t_{окр} = 7^\circ\text{C}$, $\sigma = 0,065 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$ идентифицированы следующие математические модели:

$$\frac{d\sigma}{dt} + (3,01 \cdot 10^{-3}) \cdot \sigma = (3,63 \cdot 10^5) \cdot \frac{d\varepsilon}{dt} + 197,55 \cdot \varepsilon; \quad (16)$$

$$\varepsilon = 1,79 \cdot 10^{-2} + 0,081 \cdot (1 - \exp(-5,44 \cdot 10^{-4} \cdot t)). \quad (17)$$

До стадии посмертного окоченения рыбы при $\varphi_{np} = 80^\circ$, $t_g = 3$ ч, $t_{окр} = 7$ °С, $\sigma = 0,065 \cdot 10^5$ Н/м² идентифицированы следующие математические модели реологических свойств балтийской салаки:

$$\frac{d\sigma}{dt} + (2,06 \cdot 10^{-3}) \cdot \sigma = (1,42 \cdot 10^5) \cdot \frac{d\varepsilon}{dt} + 21,11 \cdot \varepsilon; \quad (18)$$

$$\varepsilon = 4,58 \cdot 10^{-2} + 0,59 \cdot (1 - \exp(-1,48 \cdot 10^{-4} \cdot t)). \quad (19)$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Угол прогиба достаточно полно характеризуют посмертные изменения рыбы, а также хорошо согласуется с органолептической оценкой, показателями эластичности, влагоудерживающей способности, вязкости солерастворимых белков, изменением рН.

2. С результатами экспериментальных исследований механического поведения тканей рыбы хорошо согласуется трехэлементная модель вязкоупругого материала, так называемое стандартное вязкоупругое тело. Таким образом, для математического моделирования процесса резания сырья экспериментально обоснован выбор реологической модели, достаточно точно характеризующей свойства рыбы.

3. Обоснован выбор геометрических параметров индентора и экспериментально исследованы реологические свойства балтийской салаки. Жесткость рыбы изменяется в диапазоне от 13,7 ($t_g = 3$ ч) до 5,3 Н/м ($t_g = 8$ ч). Мгновенный модуль упругости принимает значения от $1,4 \cdot 10^5$ ($\varphi_{np} = 80^\circ$, $t_g = 3$ ч) до $3,63 \cdot 10^5$ Н/м² ($\varphi_{np} = 48^\circ$, $t_g = 8$ ч). За этот же период времени коэффициент динамической вязкости η принимает значения от $740 \cdot 10^5$ до $1470 \cdot 10^5$ Н·с/м². Запаздывающий модуль упругости рыбы составляет $(0,1 \div 0,8) \cdot 10^5$ Н/м².

4. Механическое поведение мышечной ткани рыбы описано дифференциальным уравнением Кельвина. На основе решения дифференциального уравнения и результатов экспериментов идентифицированы математические модели, описывающие зависимость напряжения от деформации и кинетику деформации мышечной ткани балтийской салаки. Полученные реологические параметры рыбы и математические модели использованы при исследовании процесса резания сырья.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Белогуров, А. Н. Оценка качества рыбы-сырца тралового лова по углу прогиба / А. Н. Белогуров // Рыбное хозяйство. – 1979. – № 12. – С. 45–46.
2. Уманцев, А. З. Физико-механические характеристики рыб / А. З. Уманцев. – Москва: Пищевая промышленность, 1980. – 152 с.
3. Косой, В. Д. Инженерная реология биотехнологических сред / В. Д. Косой, Я. И. Виноградов, А. Д. Малышев. – Санкт-Петербург: ГИОРД, 2005. – 648 с.
4. Маслова, Г. В. Реология рыбы и рыбных продуктов / Г. В. Маслова, А. М. Маслов. – Москва: Легкая и пищевая промышленность, 1981. – 214 с.

5. Горбатов, А. В. Структурно-механические характеристики пищевых продуктов / А. В. Горбатов, А. М. Маслов, Ю. А. Мачихин. – Москва: Легкая и пищевая промышленность, 1982. – 296 с.
6. Мачихин, Ю. А. Инженерная реология пищевых материалов / Ю. А. Мачихин, С. А. Мачихин. – Москва: Легкая и пищевая промышленность, 1981. – 215 с.
7. Горбатов, А. В. Реология мясных и молочных продуктов / А. В. Горбатов. – Москва: Пищевая промышленность, 1979. – 383 с.
8. Balejko J. Dynamic method for determining the rheological properties of viscoelastic materials // *Inżynieria Przetwórstwa Spożywczego. Polish Journal of Food Engineering*. 2017. No. 4/4-2017(24). P. 5–7.
9. Steffe J.F. *Rheological methods in food process engineering*. East Lansing, USA, Freeman Press, 1996. 428 p.
10. Наумов, В. А. Моделирование процесса погружения дискового ножа в пищевой материал при резании / В. А. Наумов, О. В. Агеев, Ю. А. Фатыхов // *Электронный научный журнал Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств*. – Санкт-Петербург: НИУ ИТМО, 2017. – № 2(32). – Шифр: ЭЛ № ФС77–55245. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://openbooks.ifmo.ru/read_processes/16842/16842.pdf.
11. Математическое моделирование сил нормального контактного давления на наклонные грани ножа при резании рыбы / О. В. Агеев [и др.] // *Известия Калининградского государственного технического университета*. – 2017. – № 47. – С. 80–96.
12. Агеев, О. В. Математическое моделирование сил нормального контактного давления на боковые грани ножа при резании пищевых материалов / О. В. Агеев, В. А. Наумов, Ю. А. Фатыхов // *Научный журнал Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств*. – 2017. – № 4. – С. 27–42.
13. Агеев, О. В. Математическое моделирование процесса восстановительной деформации материала и образования присоединенной каверны при резании рыбы / О. В. Агеев, В. А. Наумов, Ю. А. Фатыхов // *Известия Калининградского государственного технического университета*. – 2018. – № 48. – С. 61–78.

REFERENCES

1. Belogurov A. N. Ocenka kachestva ryby-syrca tralovogo lova po uglu progiba [Evaluation of the quality of raw trawl fish by the angle of deflection]. *Rybnoe khozyaystvo*, 1979, no. 12, pp. 45–46.
2. Umantsev A. Z. *Fiziko-mekhanicheskie kharakteristiki ryb* [Stress-related properties of fish]. Moscow, Pishhevaya promyshlennost', 1980, 152 p.
3. Kosoi V. D., Vinogradov Ya. I., Malyshev A. D. *Inzhenernaya reologiya biotekhnologicheskikh sred* [Engineering rheology of biotechnological environments]. Saint-Petersburg, GIORP Publ., 2005, 648 p.

4. Maslova G. V., Maslov A. M. *Reologiya ryby i rybnykh produktov* [Rheology of fish and fish products]. Moscow, Legkaya i pishchevaya promyshlennost', 1981, 214 p.
5. Gorbatov A. V., Maslov A. M., Machihin Ju. A. *Strukturno-mekhanicheskie kharakteristiki pishchevykh produktov* [Structural and mechanical properties of food products]. Moscow, Legkaya i pishchevaya promyshlennost', 1982, 296 p.
6. Machihin Ju. A., Machihin S. A. *Inzhenernaya reologiya pishchevykh materialov* [Engineering rheology of food materials]. Moscow, Legkaya i pishchevaya promyshlennost', 1981, 215 p.
7. Gorbatov A. V. *Reologiya myasnykh i molochnykh produktov* [Rheology of meat and dairy products]. Moscow, Pishchevaya promyshlennost', 1979, 383 p.
8. Balejko J. Dynamic method for determining the rheological properties of viscoelastic materials. *Inżynieria Przetwórstwa Spożywczego. Polish Journal of Food Engineering*. 2017. No. 4/4-2017(24), pp. 5–7.
9. Steffe J. F. *Rheological methods in food process engineering*. East Lansing, USA, Freeman Press, 1996, 428 p.
10. Naumov V. A., Ageev O. V., Fatykhov Yu. A. Modelirovanie protsessa pogruzheniya diskovogo nozha v pishchevoy material pri rezanii [Simulation of a circular knife immersion process into a food material at fish cutting]. *Processy i apparaty pishchevykh proizvodstv*, 2017, no. 2(32), pp. 18–28.
11. Ageev O. V., Naumov V. A., Fatykhov Yu. A., Samoiloa N. V. Matematicheskoe modelirovanie sil normal'nogo kontaktnogo davleniya na naklonnyye grani nozha pri rezanii ryby [Mathematical simulation of normal contact pressure forces of inclined knife edges at fish cutting]. *Izvestiya Kaliningradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2017, no. 47, pp. 80–96.
12. Ageev O. V., Naumov V. A., Fatykhov Yu. A. Matematicheskoe modelirovanie sil normal'nogo kontaktnogo davleniya na bokovye grani nozha pri rezanii pishchevykh materialov [Mathematical simulation of normal contact pressure forces on side knife edges during cutting of food materials]. *Processy i apparaty pishchevykh proizvodstv*, 2017, no. 4(34), pp. 27–42.
13. Ageev O. V., Naumov V. A., Fatykhov Yu. A. Matematicheskoe modelirovanie processa vosstanovitel'noy deformacii materiala i obrazovaniya prisoedinennoy kaverny pri rezanii ryby [Mathematical simulation of the material strain recovery process and attached cavity formation at fish cutting]. *Izvestiya Kaliningradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2018, no.48, pp. 61–68.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Агеев Олег Вячеславович – Калининградский государственный технический университет; кандидат технических наук;
доцент кафедры пищевых и холодильных машин;
E-mail: oleg.ageev@klgtu.ru

Ageev Oleg Viatcheslavovich – Kaliningrad State Technical University;
PhD in Engineering, Associate Professor,
Department of Food and Refrigeration Machines;
E-mail: oleg.ageev@klgtu.ru

Фатыхов Юрий Адгамович – Калининградский государственный технический университет; доктор технических наук;
заведующий кафедрой пищевых и холодильных машин;
E-mail: yuriy.fatyhov@klgtu.ru

Fatykhov Juriy Adgamovich – Kaliningrad State Technical University;
Doctor of technical sciences,
Chairman of the Department of Food and Refrigeration
Machines;
E-mail: yuriy.fatyhov@klgtu.ru

Самойлова Наталья Владимировна – Калининградский государственный технический университет; аспирант кафедры пищевых и холодильных машин;
E-mail: procyon@mail.ru

Samojlova Natalia Vladimirovna – Kaliningrad State Technical University;
Post-graduate student of the Department of Food and Refrigeration Machines;
E-mail: procyon@mail.ru

УДК 664.959.5:664.959.2

ЗАВИСИМОСТЬ СТЕПЕНИ РАЗДЕЛЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ
ВТОРИЧНОГО РЫБНОГО СЫРЬЯ (ГОЛОВ РЫБ) ОТ УСЛОВИЙ
ФЕРМЕНТОЛИЗА И ТЕРМОЛИЗА

Л.С. Байдалинова, Л.В. Городниченко

DEPENDENCE OF THE COMPONENTS SEPARABILITY
OF SECONDARY FISH RAW MATERIAL (FISH HEADS)
ON FERMENTOLYSIS AND THERMOLYSIS CONDITIONS

L.S. Baydalinova, L.V. Gorodnichenko

Растущий спрос на протеиновые и минеральные добавки для пищевых и кормовых целей и аквакультуры требует организации комплексной переработки сырья с сохранением и выделением биологически активных субстанций. При переработке вторичного рыбного сырья (головы, хребтовые кости, чешуя, прирезки мышечной ткани и др.) требуется гидролиз белков до низкомолекулярных пептидов, а также освобождение продукта от липидов.

Эксперименты проводились с головами и хвостовыми остатками скумбрии, сардины и сардинеллы, перспективными по химическому составу для протеиновых и протеиново-минеральных материалов. Технология получения материалов основана на деструкции сырья протеолитическими ферментами с последующим термолизом. Дозировки ферментов 0,25 % к массе сырья с водой (1:1). Ферментация при 50 °С – 6 ч, термолиз в автоклаве при 115 °С – 3 ч, включая время подъема температуры.

Центрифугирование при 4000 об/мин позволяет выделить протеиновый гидролизат, протеиново-минеральный остаток и жировую фракцию. Характеристики протеиновых гидролизатов и протеиново-минеральных остатков, высушенных при 50 °С, сравнивались с полученными ранее характеристиками образцов, сублимированных после термолиза при 130 °С. Установлено, что из голов и хвостовых частей скумбрии, сардины, сардинеллы при термолизе при 115 °С можно получить 10–16 % сухих протеиновых гидролизатов с содержанием протеина 76–79 % и 16–18 % сухих протеиново-минеральных комплексов с содержанием протеина 36–38 % и минеральных веществ 31–37 %. Без ферментации деструкция материала менее интенсивна, но возрастает выход протеиново-минеральных фракций с большими остатками протеина. Сравнение результатов гидролиза и ферментативно-термического процесса при 130 °С показало преимущества высокотемпературного воздействия по выходу протеиновой фракции и остатку в готовой продукции липидов. По органолептической оценке образцы тепловой сушки значительно уступают сублимированным.

вторичное рыбное сырье, протеиновые гидролизаты, пептиды, молекулярная масса, протеиново-минеральные комплексы

Growing demand for protein and mineral supplements for food, feed purposes and aquaculture requires organization of complex processing of raw materials with

preservation and release of biologically active substances. When processing secondary fish raw materials (heads, spinal bones, scales, muscle tissue lumps, etc.), hydrolysis of proteins up to low molecular weight peptides is required, as well as release of the product from lipids.

Experiments have been carried out with heads and tail residues of mackerel, sardines and sardinella, promising in chemical composition for protein and protein-mineral materials. The technology is based on the destruction of raw materials by proteolytic enzymes followed by thermolysis. Doses of enzymes are 0.25 % by weight of raw materials with water (1:1). Fermentation at 50 ° C – 6 hours, thermolysis in the autoclave at 115 ° C – 3 hours including time of temperature rise.

Centrifugation at 4000 rpm allows you to separate protein hydrolysate, protein and mineral residue, and lipid fraction. Protein hydrolysates and protein-mineral residues dried at 50 ° C have been compared with previously obtained characteristics of samples freeze-dried after thermolysis at 130 ° C. It has been established that using heads and tails of mackerel, sardines and sardinella during thermolysis at 115 ° C it is possible to obtain 10–16% of dry protein hydrolysates with 76–79 % of a protein content and 16–18% of dry protein-mineral complexes with a protein content of 36–38 % and 31–37 % of mineral substances. Without fermentation, material destruction is less intense, whereas the yield of protein-mineral fractions with large protein residues increases. Comparison of the results with the enzymatic-thermal process at 130 ° C showed the advantages of high-temperature exposure in regards to the yield of the protein fraction and the residue in the finished product of lipids. According to organoleptic evaluation, samples of heat drying are way below freeze-dried.

secondary fish raw material, protein hydrolysates, peptides, molecular weight, protein-mineral complexes

ВВЕДЕНИЕ

Вторичным рыбным сырьем являются головы, хребты, плавники и внутренности рыб. Предприятиями Калининградской области перерабатываются такие виды рыб, как скумбрия, сардина европейская, сардинелла аурита, сельдь, килька, путассу, судак, лещ и др. Из вторичного сырья для производства белковых и минеральных компонентов могут использоваться головы и хребтовые кости рыб с прирезами мышечной ткани, чешуя. Белковые составляющие имеют все незаменимые аминокислоты. А в составе минеральных веществ наряду с кальцием и фосфором присутствуют различные биологически активные микроэлементы.

Потребность в протеиновых и минеральных добавках для животноводства и аквакультуры постоянно возрастает. Требуется расширение производства пептидов различной молекулярной массы, часто не превышающей 50 кДа, аминокислотных гидролизатов, коллагенсодержащих композиций, минеральных комплексов. Низкомолекулярные пептиды незаменимы при вскармливании молодняка животных, в составе стартовых кормов рыб, а также для профилактики заболеваний и укрепления опорно-двигательного аппарата при высоких физических нагрузках у людей, в том числе у спортсменов [1], в составе геродиетического питания остеотропного и хондропротекторного направления [2, 3].

Расширение комплексной переработки рыбного сырья, организация производства на его основе продукции с добавленной стоимостью являются важной за-

дачей рыбной промышленности. В зависимости от качественного состояния исходного сырья производимые продукты могут применяться для пищевых [4] или кормовых [5, 6] целей.

Требованием для использования протеиновых низкопептидных добавок, в частности для стартовых кормов рыб, а также продуктов пищевой направленности, является низкое содержание липидов. В связи с этим при проведении экспериментов по обеспечению технологических процессов переработки вторичного рыбного сырья кроме достаточной степени гидролиза белков с получением пептидов заданной молекулярной массы необходимо четкое разделение получаемых фракций, особенно отделение липидной.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследования проводились на кафедре пищевой биотехнологии Калининградского государственного технического университета. В качестве исходного продукта брали образцы вторичного рыбного сырья, полученного от рыбоперерабатывающих предприятий Калининградской области: ОАО «РосКон» и Калининградского тарного комбината. Для экспериментальных работ использовались головы и хвостовые части скумбрии, сардины, сардинеллы. Отобранные образцы после промывки измельчались на электрической мясорубке с диаметрами отверстий в решетке 5 мм. Измельченная масса в зависимости от цели исследования подвергалась ферментализу, ферментализу с последующим термолизом или просто термолизу (без использования ферментных препаратов). К измельченному сырью после привнесения равного количества воды добавлялись ферментные препараты алкалаза L2,5, алкалаза L2,4, протамекс, нейтраза. Ферментативная обработка сырья для деструкции белковых фрагментов проводилась при непрерывном перемешивании при температуре 50 °С в течение 6 ч). Параметры технологического процесса ферментализа и термолиза сырья соответствовали определенным ранее [2, 7]. Но ферментированная масса подвергалась температурному воздействию в автоклаве при температуре 115 °С в течение 3 ч (подъем температуры и собственно термолиз).

По завершении такой обработки проводили фракционирование для отделения плотного остатка, затем после центрифугирования при 4000 об. / мин осуществляли отделение жировой фракции. Выделившийся жир удаляли с поверхности пробы после ее замораживания.

Образовавшийся белковый гидролизат после повторного отделения плотных включений центрифугированием подвергался высушиванию тепловым способом при температуре 50 °С.

При таких же условиях проводилось высушивание протеиново-минерального плотного остатка. Выходы сухих продуктов определялись при четком дозировании сырья и весовом учете всех полученных фракций. После измельчения до порошкообразного состояния сухих образцов осуществляли их органолептическую оценку и исследование химического состава. Результаты сравнивались с результатами экспериментальных работ, проведенных в DBU (Германия) на аналогичных образцах сырья и с теми же ферментными препаратами, но термолиз проводился при температуре 130 °С в течение 1,5 ч, а сушка образцов – методом сублимации до температуры 20–25 °С при величине вакуума 35 мбар.

Исследование химического состава сырья и готовой продукции (содержание влаги, жира, протеина и минеральных веществ) осуществлялось стандартными методами в соответствии с ГОСТ 7636-2008.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В настоящих экспериментальных работах из вторичного рыбного сырья использовались головы с хвостовыми частями скумбрии атлантической, сардины и сардинеллы, полученными от рыбоперерабатывающих предприятий в декабре 2017 г. Химический состав использованного сырья представлен в табл. 1.

Таблица 1. Химический состав голов и хвостовых частей рыб, г/100 г
Table 1. Chemical composition of fish heads and tails, g / 100 g

Наименование образцов (среднее двух проб)	Содержание, г на 100 г				
	влага	жир	белок	зола	сухие вещества
Скумбрия (головы и хвостовая часть)	56,38	24,95	14,57	4,09	43,62
Скумбрия (головы и хвостовая часть)	70,48	9,54	14,74 %	4,85	29,52
Сардина (головы и хвостовая часть)	65,4	9,80	16,0	8,2	34,6
Сардинелла аурита (головы и хвостовая часть)	62,6	14,8	15,6	6,96	37,4

Следует обратить внимание на то, что головы и хвостовые части скумбрии различаются по содержанию жира. Так, в партии, полученной в июле, жирность была 24,5, а в декабрьской – 9,54 %. Белок в головах и хвостовых частях скумбрии составлял около 15 %, а минеральные вещества – 4,09–4,85.

Головы сардины и сардинеллы содержат в 1,7 раза больше минеральных веществ по сравнению с головами и хвостовыми частями скумбрии. Эти части скумбрии, сардины, сардинеллы можно считать хорошим источником белковых и минерально-белковых компонентов.

Различия по качеству сырья требуют четкого разграничения при направлении его в обработку. Только при его высокой свежести продукция может быть пищевой, иначе применение ее возможно лишь для кормовых целей.

Ферментные препараты, использованные в эксперименте, обладали следующими характеристиками: алкалаза L 2,5 и алкалаза L 2,4 имеют оптимальную зону pH 6,5–9,0, оптимальный диапазон температур 45–55 °С. У протамекса оптимум pH 6,5–7,5, оптимальный диапазон температур 50–55 °С. В связи с этим процесс ферментации проводился при температуре 50 °С. Соотношение измельченных голов : вода 1:1 ; продолжительность ферментативного воздействия 6 ч; дозировка ферментов 0,5 % от массы сырья.

Полученную в результате обработки (ферментализа и термолиза) массу разделяли на три фракции: протеиновую, жировую, минерально-белковую. Жировую отправляли на технические цели, а протеиновую высушивали лиофильно или тепловым способом при температуре 50 °С в сушильном шкафу, получая протеиново-пептидную технологическую добавку.

Выходы сухих гидролизатов в условиях эксперимента представлены в табл. 2.

Таблица 2. Выходы сухих гидролизатов при различных способах обработки голов и хвостовых частей скумбрии

Table 2. Outputs of dry hydrolysates when it comes to various methods of processing mackerel heads and tails

Условия эксперимента	Масса гидролизата, г		Выход сухого гидролизата	
	до сушки	после сушки	% к массе гидролизата до сушки	% от использованного сырья
Ферментализ (вода + фермент алкалаза L 2,5) + термолиз	224,5	23,70	10,56	15,8
Ферментализ (вода+ фермент протамекс) + термолиз	221,5	15,17	6,85	10,11
Термолиз (вода без фермента)	171,4	11,99	7,0	7,99
термолиз (вода без фермента)	169,30	11,61	6,86	7,74

Меньшее количество сухих гидролизатов образуется при проведении процесса без ферментации, только с термолизом (табл. 2).

Выход сухих гидролизатов при температуре термолиза 115 °С несколько ниже, чем при температуре 130 °С (табл. 3).

Таблица 3. Зависимость выходов сухих гидролизатов из голов скумбрии, сардины и сардинеллы (% к массе сырья) от температуры термолиза

Table 3. Dependence of yields of dry hydrolysates from mackerel, sardine and sardinella heads (% to mass of raw material) on thermolysis temperature

Условия эксперимента	Термолиз при 115 °С	Термолиз при 130 °С	
	головы скумбрии	головы сардины	головы сардинеллы
Ферментализ (вода + фермент алкалаза L2,5;)	–	10,2	12,2
Ферментализ (вода + фермент алкалаза L2,5;) + термолиз	15,8	14,4	14,3
Ферментализ (вода+ фермент протамекс) + термолиз	10,11	–	–
Термолиз (вода без фермента)	7,83	8,81	10,6

Исследование химического состава показало пониженное отделение жира при более низкой температуре термолиза (табл. 4 и 5).

Таблица 4. Химический состав (г/100 г) сухих гидролизатов из голов скумбрии, термолиз при 115 °С

Table 4. Chemical composition (g / 100 g) of dry hydrolysates from mackerel heads, thermolysis at 115 °С

Условия эксперимента	Влага	Сухие вещества	Жир	Белок N × 6,25	Минеральные вещества
Ферментализ (вода + фермент алкалаза L2,5) + термолиз	9,32	90,68	2,81	76,18	6,87
Ферментализ (вода + фермент протамекс) + термолиз	7,58	92,42	3,61	78,84	9,05
Термолиз (вода без фермента)	8,35	91,65	16,61	66,06	9,03
Термолиз (вода без фермента)	6,79	93,21	16,31	65,00	8,93

Таблица 5. Химический состав сухих гидролизатов из голов сардины и сардинеллы, термолиз при 130 °С, г/100 г [6]

Table 5. Chemical composition of dry hydrolysates from sardine and sardinella heads, thermolysis at 130 °С, g / 100 g [6]

Условия эксперимента	Головы сардинеллы				Головы сардины			
	влага	жир	белок	минеральные вещества	влага	жир	белок	минеральные вещества
Ферментализ (вода+ фермент алкалаза, L2,5)	4,4	0,89	82,35	8,66	3,1	1,68	80,2	14,11
Ферментализ (фермент алкалаза, L2,5) + термолиз	4,6	2,27	81,25	6,51	3,6	0,44	88,0	6,71
Термолиз (вода без фермента)	5,5	2,81	90,2	9,11	4,4	1,10	93,6	11,28

В процессе с применением термолиза при температуре 115 °С из голов скумбрии удается получить сухой протеин с содержанием жира 2,81 % при использовании фермента алкалазы и с содержанием жира 3,61 % – фермента протамекс (при равных количествах фермента). Содержание протеина в первом случае 76,18%, во втором – 78,84 %. С учетом колебаний влаги в образцах результаты близки.

Совершенно другая картина наблюдается при обработке проб только термоллизом – жир отделяется очень плохо, и в сухом гидролизате содержание его возрастает до 16,31–16,61 %, что совершенно не подходит для сухих протеинов.

Процесс термоллиза при 130°C, как показано в результатах экспериментов с использованием голов сардины и сардинеллы, обеспечивает лучшее отделение жировой фракции. За счет этого содержание жира в протеиновых фракциях от 0,44 до 1,68 % (табл. 5), что значительно ниже, чем для образцов, полученных из голов скумбрии при температуре термоллиза 115 °C (табл. 4). Очень важным положительным результатом при проведении термоллиза при 130°C является высокое содержание в сухих образцах протеинов (табл. 5) – от 81,25 до 93,6 %).

Таблица 6. Выходы сухих плотных остатков из голов скумбрии при температуре термоллиза 115 °C

Table 6. Yields of dry solid residues from mackerel heads at a thermolysis temperature of 115 °C

Условия эксперимента	Масса плотного остатка, г		Выход сухого плотного остатка, % к массе	
	до сушки	после сушки	плотного остатка до сушки	использованного сырья
Ферментоллиз (вода+ фермент алкалаза L 2,5) + термоллиз	56,1	23,46	41,8	15,64
Ферментоллиз (вода+ фермент протамекс) + термоллиз	69,3	26,68	38,5	17,78
Термоллиз (вода без фермента)	122,9	34,75	28,27	23,17
Термоллиз (вода без фермента)	122,4	33,52	27,38	22,35

Учет выходов плотных остатков показал (табл. 6), что наименьшая масса сырого плотного остатка обеспечивается при использовании ферментов алкалаза марок как L2,4 так и L 2,5. При применении нейтразы и протамекса после ферментоллиза и термоллиза остается большее количество нерасщепленных остатков. Высушенные плотные остатки составили 15,64 и 17,78 % при ферментоллизе голов скумбрии с ферментами алкалаза и протамекс (с последующим термоллизом) соответственно. Обработка только термоллизом характеризуется еще более высоким выходом сухих плотных остатков (22,35–23,17 %).

Таблица 7. Химический состав (г/100 г) сухих плотных остатков при различных способах обработки голов и хвостовых частей скумбрии, температура термоллиза 115 °C (табл. 6)

Table 7. Chemical composition (g / 100 g) of dry solid residues when it comes to various methods of processing mackerel heads and tails, thermolysis temperature 115 °C

Условия эксперимента	Влага	Сухие вещества	Жир	Белок	Минеральные вещества
Ферментоллиз (вода + фермент алкалаза L 2,5) + термоллиз	2,39	97,61	19,84	34,66	37,05

Окончание табл. 7

Условия эксперимента	Влага	Сухие вещества	Жир	Белок	Минеральные вещества
Ферментализ (вода + фермент протамекс) + термолиз	2,75	97,25	22,60	38,78	31,30
Термолиз (вода без фермента)	2,77	97,23	10,79	54,51	25,48
Термолиз (вода без фермента)	2,79	97,21	10,26	52,17	26,75

При исследовании химического состава сухих образцов (табл. 7) выявляется чрезвычайно высокое остаточное количество в них жира, а также большое содержание белка, что свидетельствует о необходимости совершенствования параметров технологического процесса переработки вторичного рыбного сырья, особенно на стадиях термолиза и последующего разделения фракций с повышением эффективности отделения липидной.

Характеристика органолептических показателей сухих продуктов (сухих гидролизатов и сухих протеиново-минеральных остатков), полученных способом тепловой сушки в присутствии воздуха при температуре 50 °С, представлена в табл. 8.

Таблица 8. Органолептическая оценка сухих гидролизатов и сухих протеиново-минеральных плотных остатков

Table 8. Organoleptic evaluation of dry hydrolysates and dry protein-mineral solid residues

Условия эксперимента	Сухой продукт	Консистенция	Цвет	Запах
Ферментализ (вода + фермент алкалаза, L2,5; 0,5 % к массе сырья)	Гидролизат	Порошок с вкраплениями более крупных, крепко слипшихся частиц. Кости не чувствуются	Светло-коричневый	Запах соленой вяленой рыбы
	Протеиново-минеральный плотный остаток	Порошок с включениями крупных слипшихся кусочков (3–5 мм)	Темно-коричневый	Слабый запах сушеной рыбы
Ферментализ (вода+ фермент протамекс; 0,5 % к массе сырья)	Гидролизат	Порошок, с присутствием слипшихся частиц. Костей не чувствуется. Хорошо растворяется в холодной воде	Светло-светло-коричневый, типа кофе с молоком.	Запах приятный, хорошей сушеной рыбы

Окончание табл. 8

Условия эксперимента	Сухой продукт	Консистенция	Цвет	Запах
Термолиз (вода без фермента)	Гидролизат	Порошок с включением липких неразделившихся фрагментов. В воде растворяется только при нагревании до 80 °С	Коричневый, молотого кофе	Сухой рыбы с оттенками окисленного жира
	Протеиново-минеральный плотный остаток	Порошок с включениями крупных кусочков (около 10 мм) с остатками косточек рыбы	Светло-коричневый	Запах сухой рыбы
Термолиз (вода без фермента)	Гидролизат	Порошок с включением липких неразделившихся фрагментов. В воде растворяется только при нагревании до 80 °С	Коричневый, молотого кофе	Сухой рыбы с оттенками окисленного жира
	Протеиново-минеральный плотный остаток	Порошок с включениями крупных кусочков (около 10 мм) с остатками косточек рыбы	Светло-коричневый	Запах сухой рыбы

В результате обработки вторичного рыбного сырья (голов и хвостовых остатков) по предложенной технологии при тепловой воздушной сушке получают порошки от светло-коричневого до коричневого цвета, со специфическим запахом сушеной рыбы, без порочащих признаков. Сухие порошки хорошо измельчаются, но при повышенной массе жира происходит нежелательное слипание измельченной массы.

Сравнение показателей образцов, полученных при температуре термолиза 115 °С, и образцов, полученных в процессе термолиза при 130 °С [2], свидетельствует о значительном улучшении органолептических характеристик с повышением температуры термолиза.

Еще более существенное улучшение качества сухих протеиновых и протеиново-минеральных продуктов наблюдается при использовании сублимационной сушки вместо тепловой. Все образцы сублимационной сушки характеризуются светло-желтым цветом и слабым запахом сухой рыбы [2].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования показали возможность применения вторичного рыбного сырья, в частности голов рыб, для производства сухих протеиновых гидролизатов и протеиново-минеральных композиций, которые могут использоваться в животноводстве, аквакультуре и в составе пищевых продуктов.

В технологическом процессе возможно применение протеолитических ферментных препаратов. Процесс ферментализации при температуре 50 °С составля-

ет 6 ч. Последующий термолиз при температуре 115 °С показал меньшую эффективность в сравнении с термолизом при 130 °С по степени отделения липидов и перехода в растворимое состояние белков, о чем свидетельствует меньшая масса сухого протеинового гидролизата.

В результате проведения сушки тепловым способом при 50 °С получены сухие продукты – порошки, имеющие светло-коричневый цвет и специфический запах сушеной рыбы. По органолептическим показателям продукты тепловой сушки уступают аналогичным образцам, высушенным методом сублимации.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Вторичное рыбное сырье: состав, свойства, биотехнология переработки: моногр. / О. Я. Мезенова [и др.]. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «КГТУ», 2015. – 318 с.
2. Матковская, М. В. Разработка технологии функциональных пищевых продуктов остеотропного и хондропротекторного действия из вторичного рыбного сырья / М. В. Матковская, О. Я. Мезенова // Известия вузов. Пищевая технология. – 2013. – №4 (334). – С. 46–49.
3. Комплексная переработка вторичных рыбных ресурсов на функциональные продукты / М. В. Матковская [и др.] // Актуальные проблемы освоения биологических ресурсов Мирового океана: 2-я междунар. науч.-техн. конф.: материалы. – Владивосток, 2012. – С. 81–86.
4. Kristinsson, H. Fish Protein Hydrolysates and their potential use in the food industry / H. Kristinsson, B. Raso // Recent Advances in Marine Biotechnology 7, Science Publishers, Inc. Enfield, NH. – 2002. P. 157–181
5. Основные направления инновационной переработки вторичных рыбных ресурсов / О. Я. Мезенова [и др.] // Производство рыбной продукции: проблемы, новые технологии, качество: X Междунар. науч.-техн. конф. (8-11.09.2015): материалы. – Светлогорск: АтлантНИРО, 2015. – С. 174–177.
6. Пищевые продукты повышенной биологической ценности из вторичного рыбного сырья // О. Я. Мезенова [и др.] // Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке: VII Междунар. науч.-техн. конф. (17–20.11.2015): материалы. – Санкт-Петербург: ИТМО, 2015. – С. 517–520.
7. Технология переработки вторичного рыбного сырья на биологически ценные пищевые продукты / О. Я. Мезенова [и др.] // Современные эколого-биологические и химические исследования. Техника и технологии производств: междунар. науч.-практ. конф. (7.04.2015): материалы. – Мурманск: МГТУ, 2015. – С. 140–144.

REFERENCES

1. Mezenova O. Ya., Baydalina L. S., Zemlyakova E. S., Agaphonova S. V., Matkovskaya M. V., Mezenova N. Yu., Potapova V. A. *Vtorichnoe ribnoe syr'e: sostav, svoystva, bioteknologija pererabotki* [Secondary fish raw material: composition, properties, processing biotechnology]. Kaliningrad, izd-vo FGBOU VO "KGTU", 2015, 318 p.

2. Matkovskaja M. V., Mezenova O. Ja. *Razrabotka tehnologii funkcional'nyh pishhevyyh produktov osteotropnogo i hondroprotektornogo dejstviya iz vtorichnogo rybnogo syr'ja* [Development of technology of functional food products of osteotropic and chondroprotective action using secondary fish raw material]. *Izvestija vuzov. Pishhevaja tehnologija*. Krasnodar, 2013, no. 4(334). pp. 46–49.

3. Matkovskaja M. V., Mezenova O. Ja., Kljuchko N. Ju., Baydalinova L. S., Zemljakova E. S., Dominova I. N., Tashina E. V. *Kompleksnaja pererabotka vtorichnyh rybnyh resursov na funkcional'nye produkty* [Complex processing of secondary fish resources for functional products]. *2-ya mezhd.nauch.-tehn. konferencija "Actualnye problemy osvoenija mirovogo okeana": materialy* [2nd international scientific-technical conference "Actual problems of biological resources development of the World Ocean": proceedings]. Vladivostok, 2012, pp. 81–86.

4. Kristinsson H., Rasso B. Fish Protein Hydrolysates and their potential use in the fooindustry. *Recent Advances in Marine Biotechnology 7*, Science Publishers, Inc. Enfield, NH. 2002, pp. 157–181

5. Mezenova O. Ya., Baydalinova L. S., Zemlyakova E. S., Agafonova S. V., Mezenova N. Yu., Potapova V. A. *Osnovnye napravlenija innovacionnoj pererabotki vtorichnyh rybnyh resursov* [Main directions of innovative processing of secondary fish resources]. *X Mezhdunarodnaja NTK "Proizvodstvo rybnoj produkcii: problemy, novye tehnologii, kachestvo" (8-11.09.2015): materialy* [X International NPK "Production of fish products: problems, new technologies, quality" STC (September 8–11, 2015): proceedings]. Svetlogorsk, AtlantNIRO, 2015, pp. 174–177.

6. Mezenova O. Ya., Baydalinova L. S., Zemljakova E. S., Agafonova S. V., Mezenova N. Yu., Potapova V. A. *Pishhevye produkty povyshennoj biologicheskoy cennosti iz vtorichnogo rybnogo syr'ja* [Food products of increased biological value from secondary fish raw materials]. *VII Mezhdunarodnaja NTK "Nizkotemperaturnye i pishhevye tehnologii v XXI veke" (17–20.11.2015): materialy* [VII International STC "Low-temperature and food technologies in the XXI century" (17–20.11.2015): proceedings]. Saint-Petersburg, ITMO, 2015, pp. 517–520.

7. Mezenova O. Ya., Baydalinova L. S., Zemljakova E. S., Agafonova S. V., Mezenova N. Yu., Potapova V. A. *Tehnologija pererabotki vtorichnogo rybnogo syr'ja na biologicheski cennye pishhevye produkty* [Technology of processing secondary fish raw materials for biologically valuable food products]. *Mezhdunarodnaja NTK "Sovremennye ekologo-bioogicheskie i chimicheskie issledovanija. Tehnika i tehnologii proizvodstv" (7.04.2015): materialy* [International NPK "Modern ecological and biological and chemical research. Production technology" (7.04.2015): proceedings]. Murmansk, MSTU, 2015, pp. 140–144.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

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

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

Городниченко Людмила Владимировна – Калининградский государственный
технический университет; ведущий инженер кафедры пищевой биотехнологии

Gorodnichenko Lyudmila Vladimirovna – Kaliningrad State Technical
University; Principal Engineer of the Department of Food Biotechnology

УДК 664.324.6

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СУХИХ ИЗМЕЛЬЧЕННЫХ ЯГОДНЫХ
КОМПОНЕНТОВ ДЛЯ ОБОГАЩЕНИЯ МАСЛА СЛИВОЧНОГО

Н. А. Гусев, Л. С. Байдалинова

USING DRY GROUND BERRY COMPONENTS
FOR BUTTER SUPPLEMENTATION

N. A. Gusev, L. S. Baydalinova

Возможный высокий спрос на сливочное масло, обогащенное ягодами, подтвержден в ходе маркетинговых исследований путем закрытого письменного анкетирования. В нем принимали участие респонденты разного пола, уровня материального обеспечения и социального статуса. Представлены результаты предыдущих исследований по обогащению масла сливочного пастеризованным соком черники. Обоснован выбор в пользу сухих измельченных ягод для обогащения масла сливочного в связи с повышенной влажностью продукта при обогащении его соком. Сушка ягод осуществлялась тепловым при различных температурных режимах, а также сублимационными способами. Выявлены преимущества и недостатки каждого из них. Исследован химический состав выбранных ягод до и после термической обработки. Установлено сохранение значимых компонентов (витамина С и биофлавоноидов) в процессе тепловой сушки ягод при температуре 50 °С. Исследование динамики показателей гидролитических процессов по кислотным числам обогащенного и контрольного масла сливочного выявило эффективность стабилизирующего действия использованных сушеных ягод. Наибольшая эффективность достигается добавлением сушеных ягод черники и клюквы. Для моделирования и оптимизации технологического процесса, установления оптимальных дозировок обогащающих масло сливочное сухих ягодных компонентов на примере ягод черной смородины и клюквы сушеных использован метод планирования эксперимента с применением ортогонального центрального композиционного плана второго порядка для двух факторов. В качестве варьируемых факторов использовали массовые доли сухой измельченной черной смородины ($M_{\text{ч}}$) и клюквы ($M_{\text{к}}$) в процентах от массы обогащаемого масла сливочного. Значение оптимальных факторов определялось методом дифференцирования натуральных математических моделей, в результате чего были найдены следующие значения оптимальных факторов: массовая доля сухой измельченной черной смородины $M_{\text{ч}} = 1,78\%$; массовая доля сухой измельченной клюквы $M_{\text{к}} = 2,06\%$ от массы обогащаемого масла. Полученные результаты исследований обосновывают эффективность использования сухого измельченного ягодного сырья для обогащения масла сливочного.

масло сливочное, обогащение, ягодное сырье

A possible high demand for butter supplemented with berries has been confirmed as part of market research by applying a closed written questionnaire. Respondents of different sex, level of material prosperity and social status participated in the

survey. The paper presents the results of previous studies on enrichment of butter with pasteurized blueberry juice. The choice of dry ground berries for enrichment of butter has been substantiated in connection with high humidity of the product when enriched with juice. Drying of berries has been carried out by a thermal method at various temperature conditions, and by a sublimation method. Advantages and disadvantages of the methods under consideration have been revealed. Chemical composition of the selected berries has been studied before and after heat treatment. Influence of the introduced berry component on the acidity of the finished product has been investigated. To model and optimize the technological process, a method of planning the experiment using an orthogonal central composite design of the second order for two factors has been applied. Determination of the optimal parameters of the butter enrichment process with dry berry components has been carried out using a mathematical design of the experiment. The mass fraction of dry ground blackcurrant has been used as variable partial factors as percentage of the mass of the enriched butter (M_g) and the mass fraction of dry crushed cranberries in percentage of the amount of butter enriched with cranberries (M_c). The value of the optimal factors has been determined using a method of differentiation of natural mathematical models, as a result of which the following values of the optimal factors have been found: the mass fraction of dry ground blackcurrant – $M_g = 1.78\%$; Mass fraction of dry crushed cranberries – $M_c = 2.06\%$. The obtained research results substantiate a possibility of using dry crushed berry raw materials for supplementation of butter. The study of the change in the chemical composition of the used berry raw materials shows possibility of preserving significant elements (vitamin C and bioflavonoids) during thermal drying at a temperature of 50°C .

butter, supplementation, raw berry components

ВВЕДЕНИЕ

В связи со сложными климатическими условиями северных регионов остро встает вопрос о расширении производства продуктов, обогащённых витаминами, биологически активными компонентами, макро- и микроэлементами. Наиболее целесообразно проводить обогащение подобными компонентами продуктов массового потребления. В качестве одного из них может служить масло сливочное, пользующееся постоянно высоким спросом. Возможность его обогащения обусловлена тем, что произрастающие в северных регионах ягоды характеризуются высоким содержанием витаминов и микроэлементов. К ним относятся черника и клюква, которые можно заготавливать в достаточном количестве в мороженом или сушеном виде. Эффективно использование и высоковитаминных ягод других регионов (черная смородина, облепиха). Положительное отношение к обогащённому ягодами маслу сливочному показало анкетирование потенциальных покупателей – жителей г. Мурманска. Ягодное сырьё содержит достаточно большое количество природных антиоксидантов, что важно для стабилизации сливочного масла, мало устойчивого в процессе хранения. В связи с этим проблема его обогащения с целью повышения биологической ценности и стабилизации представляется актуальной.

ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Распространённым способом изучения потребительского спроса и мнения покупателей является опрос. Этот метод маркетинговых исследований требует

определённой стандартизации, чтобы полученные данные были сопоставимы и могли быть подвергнуты анализу. При составлении анкеты необходимо учесть психологию респондентов, предугадать их реакцию на ту или иную форму вопроса, степень искренности и возможность сформулировать недвусмысленный ответ. Совокупность ответов должна дать характеристику изучаемого явления. Преимущество анкетирования в том, что в результате обработки ответов может быть получена количественная статистическая характеристика изучаемого явления.

Возможный высокий спрос на сливочное масло, обогащенное ягодами, был подтвержден в ходе маркетинговых исследований путем закрытого письменного анкетирования, в котором принимали участие респонденты разного пола, уровня материального обеспечения и социального статуса. Респондентам предлагалось оценить масло сливочное, в состав которого с целью обогащения вносился сок черники, что могло повлиять на цвет, вкус, а также структуру обогащаемого сливочного масла.

В экспериментах использовалось масло сливочное с содержанием жира 82,5% [1]. С целью оценки влияния на цвет, вкус и структуру обогащаемого продукта в него вносили при тщательном перемешивании сок из черники в количествах 16; 25 и 33% от его массы. Сок выделялся из черники центрифугированием и подвергался предварительной пастеризации.

Образцы оценивались на дегустации по комплексу органолептических показателей – цвет, вкус, консистенция продукта. Результаты измеряли в баллах.

Для оценки качества опытных образцов масла сливочного, обогащенного соком черники, применялся метод комплексной оценки качества пищевой продукции с применением метода квалиметрии.

С целью снижения массовой доли влаги в обогащаемом сливочном масле в дальнейших исследованиях использовали высушенные и тщательно измельченные ягоды черники, черной смородины, клюквы и облепихи.

Сушка черники проводилась методом сублимации и тепловым способом. Тепловую сушку осуществляли при температуре от 50 до 60 °С. Эффективность процесса оценивалась по изменению массы продукта в зависимости от количества испарившейся влаги [2].

В свежих и сухих ягодах определялся общий химический состав.

Экспериментальные образцы контрольного и обогащенного масла хранились при температуре $4 \pm 2^\circ\text{C}$ и подвергались исследованию по органолептическим и физико-химическим показателям (кислотное число жира – титриметрическим методом в соответствии с ГОСТ 50457-92, массовая доля жира экстракционным методом по ГОСТ 5867-90, влаги – методом высушивания навески при $102 \pm 2^\circ\text{C}$ согласно ГОСТ 3626-73, белка методом Кьельдаля в соответствии с ГОСТ 53951-2010, минеральных веществ по ГОСТ 3626-73, содержание витамина С титриметрическим методом согласно ГОСТ 24556-89). Содержание биофлавоноидов определялось в соответствии с [3]).

Оптимальные дозировки вносимых сушеных ягод на примере черной смородины и клюквы определялись по методу математического планирования эксперимента (ортогонального центрального композиционного плана второго порядка для двух факторов) [4]. В качестве варьируемых частных факторов, подлежащих регулированию и оптимизации, использовали массовую долю сухой измельченной черной смородины в процентах от массы обогащаемого масла сливочного

($M_ч$) и массовую долю сухой измельченной клюквы в процентах от массы обогащаемого масла сливочного ($M_к$).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Масло сливочное – продукт высокой пищевой и биологической ценности, обладающий высокой калорийностью (748 ккал) и хорошей усвояемостью до 98,5 %, содержащий в себе жирорастворимые А и Е и водорастворимые В₁, В₂ и С витамины [1].

В результате анкетирования выявлено, что 90 % из числа опрошенных обращают внимание на цвет масла сливочного и 82 % готовы приобрести масло с необычным цветом, возможным при внесении растительных компонентов. Эта готовность была подтверждена респондентами при условии, что цена на продукт будет удовлетворительной, а органолептические показатели продукта – приемлемыми.

Сок черники, которым обогащалось масло сливочное, получали из свежих ягод путем центрифугирования. Он содержит около 8 % сахаров (фруктозы, глюкозы и сахарозы), а также достаточный уровень органических кислот (лимонной, яблочной, уксусной и пр.). Черника [5] богата пектинами, клетчаткой и микроэлементами, такими как кальций, натрий, фосфор, магний, железо, марганец, а также концентрирует в себе много витаминов (А, В, С, Е, К, Р, РР). Одним из больших преимуществ этой ягоды является наличие антоциана – растительного пигмента, выступающего в роли активного антиоксиданта [5].

При внесении в масло сливочное сока черники в количествах 16; 25 и 33 % от его массы продукт приобретал насыщенный розово-фиолетовый цвет, характерный для этого сока. При дегустациях отмечена заинтересованность в представленном продукте. Его балльная оценка показала, что наиболее приемлемым является масло сливочное с 25 % сока черники от его массы. Продукт получил высокие оценки по внешнему виду и консистенции (9,3 балла из 10), вкусу (8,4 из 10), цвету (9,5 из 10) и запаху (9,9 баллов из 10). Дегустаторы отметили, что масло приобрело слабый кисловатый оттенок, свойственный соку черники, но это не повлияло на общую оценку обогащенного продукта.

Однако внесение вместе с соком большого количества жидкости снижает стойкость масла против гидролиза. Также при хранении часть сока отделяется от масла и вытекает.

В связи с этим следующим этапом работы была попытка обогащения образцов масла сухими измельченными ягодными компонентами. Сушка черники проводилась тепловым [2] и сублимационным способами. Тепловую сушку осуществляли при температуре от 50 до 60 °С. Эффективность процесса сушки оценивалась по изменению массы продукта в результате испарения влаги, первоначальная масса черники принималась за 100 % (рис. 1).

Установлено, что более эффективной по интенсивности испарения влаги является тепловая сушка. Для сохранения в ягодах биофлавоноидов и витаминов [6] ее температура была понижена до 50 °С (рис. 2). Постоянная масса обрабатываемых ягод достигалась к 9–13-м часам сушки. При обработке ягод при таком режиме удастся сохранять в них ценные компоненты. Лучшее сохранение полезных свойств ягод обеспечивает сублимационная сушка, но этот метод является очень энергоемким.

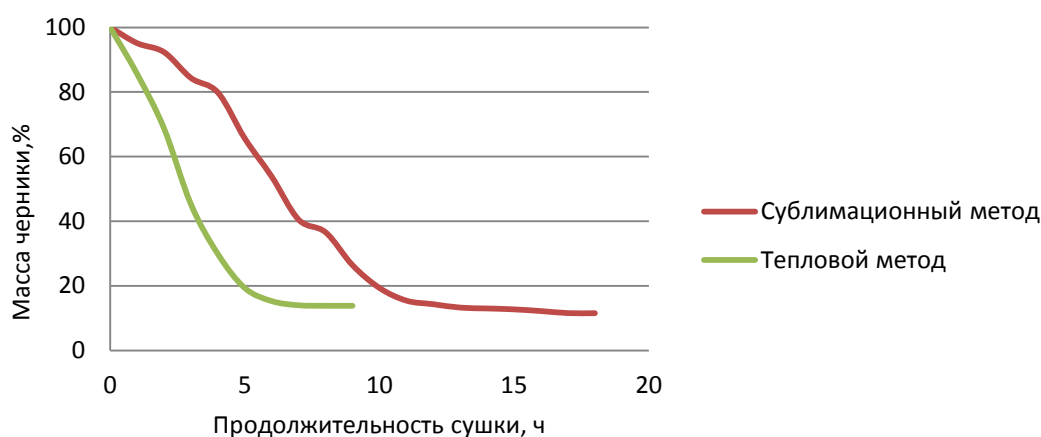


Рис. 1. Изменение массы черники при сушке сублимационным и тепловым методами
 Fig. 1. Dynamics of the blueberry mass when it is dried by sublimation and thermal method

Результаты физико-химических исследований ягод до и после высушивания представлены в табл. 1.

Таблица 1. Химический состав ягод до и после высушивания
 Table 1. Chemical composition of berries before and after drying

Массовые доли	Ягоды							
	Черника		Клюква		Черная смородина		Облепиха	
	свежая	сушеная	свежая	сушеная	свежая	сушеная	свежая	сушеная
Влага, %	86,13	16,21	89,69	15,39	86,75	19,18	84,09	12,16
Жир, %	0,29	0,38	0,27	0,93	0,42	0,93	2,29	3,65
Белок, %	1,27	0,84	0,83	0,31	0,81	1,12	0,98	0,82
Минеральные вещества (зола), %	0,99	3,76	0,18	2,19	0,66	1,63	0,65	2,26
Витамин С, мг %	23,25	14,16	10,28	10,40	18,85	23,52	20,49	22,10
Биофлавоноиды, мг %	0,41	0,63	0,26	0,48	0,35	0,66	0,08	0,49

Наличие в сухих ягодах витамина С и биофлавоноидов говорит о перспективности использования их для обогащения сливочного масла.

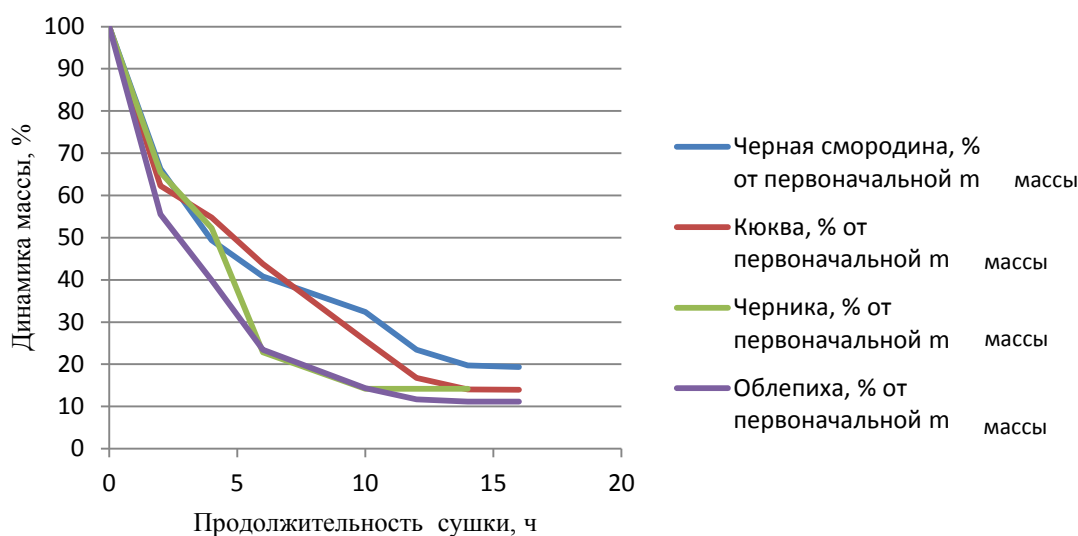


Рис. 2. Изменение массы (m) при сушке ягод при температуре 50 °С с циркуляцией воздуха
 Fig. 2. Change in berries mass (m) when drying at 50 °С with air circulation

При обогащении масла сливочного количество сухих ягод всех видов составляло 0,9% от его массы. Данное значение является усредненным из экспериментальных данных проводимых поисков оптимальной дозы вносимых сухих ягодных компонентов или их смесей. После выбора композиционного состава ягодной смеси потребуется дополнительная серия опытов по изучению ее влияния на гидролиз и окисление обогащаемого продукта. Параллельно исследовались контрольные образцы (без внесения ягод). Результаты определения кислотного числа в опытном и контрольном образцах представлены в табл. 2.

Таблица 2. Динамика изменения при хранении кислотных чисел сливочного масла при обогащении сухими измельченными ягодами (мг КОН на 1 г жира)
 Table 2. Dynamics of changes in the process of storing the acid value in the samples of butter when enriched with dry crushed berries

Наименование образцов	Продолжительность хранения при температуре 4 ± 2 °С, сут				
	0	3	5	7	8
Контроль	0,67	2,15	3,33	3,51	4,18
С черной смородиной	4,19	4,51	6,64	6,84	7,08
С облепихой	2,22	2,63	3,22	3,53	4,23
С клюквой	3,64	4,16	5,21	6,52	6,67
С черникой	2,96	3,40	3,51	3,64	4,22

В контрольном образце за 8 сут хранения кислотное число увеличилось в 6,2 раза. Его резкий рост в контрольном масле показывает необходимость стабилизации этого продукта.

При внесении сухих ягод кислотное число обогащаемого масла сразу растет в сравнении с контролем за счет содержащихся в ягодах органических кислот. Но в процессе хранения гидролитические процессы в этих маслах идут заметно медленнее. Так, в масле с черной смородиной кислотное число увеличилось в 1,7 раза, с облепихой – в 1,9, с клюквой в 1,8 и с черникой 1,4 раза по отношению к первоначальному уровню. Это позволяет заключить, что все ягоды обладают стабилизирующим эффектом в отношении гидролитических процессов в обогащаемом сливочном масле.

Для моделирования и оптимизации технологического процесса обогащения масла сливочного смесями измельченных сухих ягодных компонентов на примере сухих ягод черной смородины и клюквы был использован метод математического планирования эксперимента с применением ортогонального центрального композиционного плана второго порядка для двух факторов.

В качестве варьируемых факторов, подлежащих регулированию и оптимизации, использовали массовую долю сухой измельченной черной смородины, процент от количества массы обогащаемого масла сливочного ($M_ч$), и массовую долю сухой измельченной клюквы, процент от количества обогащаемого масла сливочного ($M_к$). Значения изменяемых факторов, их интервалы и пределы варьирования представлены в табл. 3.

Таблица 3. Значения изменяемых факторов, их интервалы и пределы варьирования

Table 3. Values of variable factors, their intervals and variation limits

Факторы	Уровни			Интервалы варьирования, ΔX
	нижний –1	основной 0	верхний +1	
Массовая доля сухой измельченной черной смородины $M_ч$ (X_1), %	1,5	2	2,5	0,5
Массовая доля сухой измельченной клюквы $M_к$ (X_2), %	1,5	2	2,5	0,5

Параметром оптимизации был выбран обобщенный показатель y , включающий балловую оценку качества готовой продукции по следующим показателям: внешний вид (B_n) и вкус (B_k). Выбор перечисленных частных откликов обеспечивает возможность комплексного анализа результатов обогащения масла сливочного сухими измельченными ягодными компонентами по показателям качества продукции. Объединение их в обобщенный параметр оптимизации позволяет получить комплексную объективную оценку влияния факторов на ключевые аспекты разрабатываемой технологии. Их «идеальные» значения, используемые в расчетах, приведены в табл. 4.

Таблица 4. Частные отклики и их «идеальные» значения
Table 4. Private responses and their ideal values

Наименование частных откликов	Единицы измерения	«Идеальные» значения частных откликов
Внешний вид обогащенного масла сливочного (общая привлекательность, состояние поверхности, степень распределения сухих ягодных частиц по массе масла)	Балл	5,0
Вкус обогащенного масла сливочного	Балл	5,0

План эксперимента по оптимизации исследуемого процесса приведен в табл. 5.

Таблица 5. План эксперимента по моделированию и оптимизации обогащения масла сливочного порошками из сухой измельченной черной смородины и клюквы

Table 5. Experiment plan for modeling and optimizing supplementation of butter with powder from dry ground black currants and cranberries

Но-мер опы-та	План эксперимента		Частные отклики		Частные безразмерные отклики		Обобщённые параметры оптимизации у
	массовая доля сухой измельченной черной смородины $M_{ч}(X_1)$, %	массовая доля сухой измельченной клюквы $M_{к}(X_2)$, %	внешний вид и консистенция, балл	вкус и цвет, балл	$S_{Вн}^2$	$S_{Вк}^2$	
1	2,5	2,5	2,5	4,1	0,2500	0,0324	0,2824
2	1,5	2,5	4,2	4,3	0,0256	0,0196	0,0452
3	2,5	1,5	3,5	3,4	0,0900	0,1024	0,1924
4	1,5	1,5	2,8	2,6	0,1936	0,2304	0,4240
5	2,5	2,0	3,9	3,8	0,0484	0,0576	0,1060
6	1,5	2,0	4,5	4,7	0,0100	0,0036	0,0136
7	2,0	2,5	2,8	2,9	0,1936	0,1764	0,3700
8	2,0	1,5	4,2	4,3	0,0256	0,0196	0,0452
9	2,0	2,0	4,8	4,5	0,0016	0,0100	0,0116

Реализация опытов по данному плану (с преобразованием квадратичной переменной) позволяет построить полиномиальную модель второго порядка. В результате расчётов математическая модель обогащения масла сливочного в кодированном виде следующая:

$$y = 0,166 + 0,016X_1 + 0,006X_2 + 0,117X_1X_2 + 0,035(X_1^2 - 2/3) + 0,183(X_2^2 - 2/3).$$

В натуральном виде она имеет вид

$$y = 5,293 - 1,464M_{ч} - 3,852M_{к} + 0,468M_{ч}M_{к} + 0,14M_{ч}^2 + 0,732M_{к}^2.$$

Анализ полученной регрессии показывает, что фактор внесенной сухой измельченной клюквы более весом, чем фактор внесенной сухой измельченной черной смородины в обогащенном масле сливочном и в большей степени влияет на формирование качества готовой продукции.

Значение оптимальных факторов исследуемого процесса определялось методом дифференцирования натуральных математических моделей, в результате чего были найдены следующие значения оптимальных факторов: массовая доля сухой измельченной черной смородины $M_{\text{ч}} = 1,78\%$; сухой измельченной клюквы $M_{\text{к}} = 2,06\%$. В ходе математического моделирования также установлена степень влияния на органолептические показатели количества клюквы и черной смородины. Несмотря на то, что интервал варьирования вносимых компонентов был 0,5, дегустаторами отмечен характерный кислый вкус ягод в тех образцах, где количество вносимых ягод было максимальным в установленных пределах. Следовательно, проведенная дегустация установила оптимальную композицию клюквы и черной смородины. На основе полученных зависимостей построена геометрическая модель оптимизации процесса обогащения масла сливочного (рис. 3).

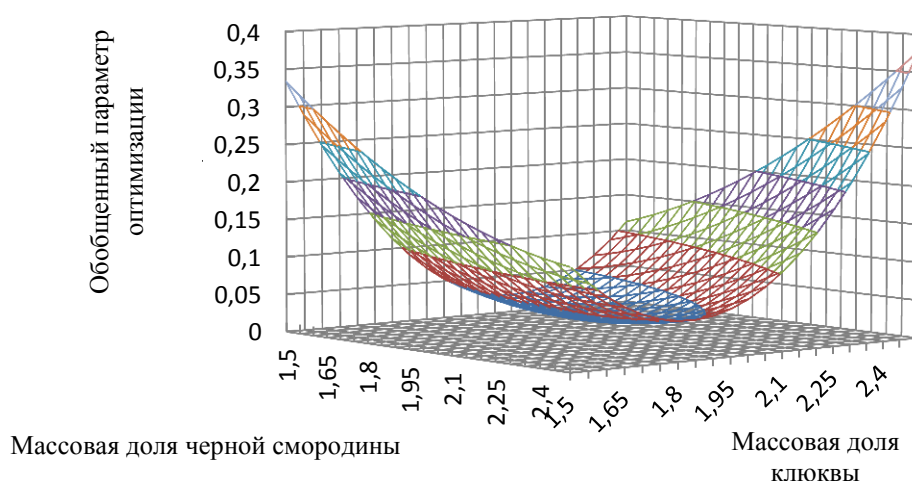


Рис. 3. Геометрическая интерпретация модели процесса обогащения масла сливочного

Fig. 3. Geometrical interpretation of the process model of butter supplementation

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты исследований обосновывают возможность использования сухого измельченного ягодного сырья для обогащения масла сливочного. Актуальность работы подтверждается проведенными маркетинговыми исследованиями. Изучение изменения химического состава используемого ягодного сырья показывает возможность сохранения значимых элементов (витамина С и биофлавоноидов) в процессе его тепловой сушки при температуре 50 °С. Установлено положительное влияние сухих измельченных ягод черной смородины, черники, клюквы и облепихи на гидролитические процессы в масле сливочном, что позволяет рассматривать возможность увеличения сроков его годности при

внесении указанных компонентов. С использованием метода математического моделирования на примере сухих измельченных ягод черной смородины и клюквы установлены оптимальные дозировки этих компонентов для стабилизации и обогащения масла сливочного.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ГОСТ 32899-2014 Масло сливочное с вкусовыми компонентами. Технические условия. – Москва, 2015. – 19 с.
2. Киселева, Т. Ф. Технология сушки: учебно-методический комплекс / Т. Ф. Киселева. – Кемерово: Кемеровский технологический институт пищевой промышленности, 2007. – С. 86–87.
3. Байдалинова, Л. С. Пищевая химия: Лабораторный практикум / Л. С. Байдалинова, Л. В. Городниченко. – Калининград: ФГОУ ВПО «КГТУ», 2009. – 200 с.
4. Мезенова, О. Я. Проектирование комбинированных продуктов питания: учеб. пособие / О. Я. Мезенова. – Калининград: ФГБОУ ВО «КГТУ», 2012. – 172 с.
5. Куркин, В.А. Черника обыкновенная: современные подходы к стандартизации сырья и созданию лекарственных препаратов: монография / В.А. Куркин, Т. К. Рязанова, И. К. Петрухина. – Самара: ООО «Офорт», 2014. – 127 с.
6. Скурихин, И.М. Химический состав российских пищевых продуктов / И. М. Скурихин, В. А. Тутельян. – Москва: ДеЛи принт, 2002. – 236 с.

REFERENCES

1. GOST 32899-2014. *Maslo slivochnoe s vkusovymi komponentami. Technicheskie usloviya* [Butter with flavoring ingredients. Technical specifications]. Moscow, 2015, 19 p.
2. Kiseleva T. F. *Tehnologiya sushki: uchebno-metodicheskiy kompleks* [Drying technology: study pack]. Kemerovo, Kemerovskiy tekhnologicheskij institut pishchevoy promyshlennosti, 2007, pp. 86–87.
3. Baydalinova L. S., Gorodnichenko L. V. *Pishhevaya himiya: laboratorniy praktikum* [Food chemistry: laboratory course]. Kaliningrad, FGOU VPO “KGTU”, 2009, 200 p.
4. Mezenova O. Ja. *Proektirovanie kombinirovannyh produktov pitaniya: uchebnoe posobie* [Design of combined food products: student’s book]. Kaliningrad, FGOU VO “KGTU”, 2012, 172 p.
5. Kurkin V. A., Rjzanova T. K., Petrukhina I. K. *Chernika obyknovennaya: sovremennye podhody k standartizatsii syr’ja i sozdaniyu lekarstvennyh preparatov: monografija*. [Blueberry: modern approaches to the standardization of raw materials and creation of medicines]. Samara, ООО “Ofort”, 2014, 127 p.
6. Skurihin I. M., Tutel’jan V. A. *Himicheskij sostav rossijskih pishhevyyh produktov* [Chemical composition of Russian food products]. Moscow, DeLi print, 2002, 236 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Гусев Никита Александрович – Калининградский государственный технический университет; аспирант кафедры пищевой биотехнологии;
E-mail: teaabuse@yahoo.com

Gusev Nikita Alexandrovich – Kaliningrad State Technical University;
Post-graduate student of the Department of Food Biotechnology;
E mail: teaabuse@yahoo.com

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

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

УДК 663.938

МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ БЕЗОПАСНОСТИ
В ТЕХНОЛОГИИ КОФЕЙНОГО ЖЕЛЕ

Е. В. Левченко, О. Я. Мезенова

MICROBIOLOGICAL ASPECTS
OF SAFETY IN TECHNOLOGY OF COFFEE JELLY

E. V. Levchenko, O. Ya. Mezenova

Обоснована технология нового функционального продукта – кофейного желе, изготовленного на молочной основе с обогащением компонентами экстракта кофейных зерен, медом и ванилином. Поставлена и рассмотрена проблема микробиологической безопасности получения и хранения нового продукта. Обоснованы критерии микробиологической безопасности сырья, готового продукта и его контрольного образца (молочного желе). Приведены нормативные документы на методы исследования микробиологических показателей. Основными показателями микробиологической безопасности являлись: количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ), бактерии группы кишечных палочек (БГКП), золотистый стафилококк (*St. Aureus*), грамположительные палочковидные бактерии *L. monocytogenes*, патогенные микроорганизмы, в том числе сальмонеллы, плесени и дрожжи. Установлено соответствие значений фактических микробиологических показателей готовой продукции обоснованным критериальным нормативам безопасности. Проведено сравнение микробиологических показателей экспериментального кофейного желе и его контрольного аналога при хранении. Микробиологические испытания сохранности проводили при трех температурных режимах: благоприятных (условия хранения, которые не провоцируют ускорение порчи продукта), усредненных (наиболее вероятные условия хранения, отличающиеся от благоприятного температурного режима на 2–3 °С) и экстремальных (нежелательные условия хранения, ускоряющие процесс порчи продукта). Изучено влияние различных температурных условий хранения на органолептические и микробиологические показатели готовой продукции в течение 37 суток хранения. Обоснован срок годности кофейного желе при температуре хранения 5 °С в стеклянной герметичной таре. Установлен температурно-временной режим хранения, в течение которого готовый продукт остается безопасным, надёжно сохраняет основные органолептические показатели качества и функциональные характеристики.

микробиологическая безопасность, молочное желе, кофе, функциональный продукт

Technology of a new functional product – coffee jelly, made on a milk basis and enriched with an extract of coffee beans, honey, vanilline and gelatin has been substantiated. A problem of microbiological safety of producing and storing a new pro-

duct has been considered. Criteria of microbiological safety of raw materials, finished product and its test sample (milk jelly) have been substantiated. Regulatory documents for methods of studying microbiological indicators are given. The main indices of microbiological safety are: quantity of mesophilic aerobic and facultative anaerobic microorganisms (QMAFAnM), Escherichia coli group bacteria (CGB), Staphylococcus aureus, gram-positive bacillus *L. monocytogenes*, pathogenic microorganisms, including salmonella, mold and yeast. Conformity in the values of the microbiological indices of the finished product with the founded criterial safety standards has been established. The microbiological indices of the experimental coffee jelly and its control analogue during storage have been compared. Microbiological safety tests have been conducted under three temperature modes: favorable (storage conditions that do not cause acceleration of the product spoilage), averaged (the most likely storage conditions differing from the favorable temperature mode by 2–3 °C) and extreme (undesirable storage conditions, accelerating spoilage process of the product). The effect of various temperature storage conditions on organoleptic and microbiological parameters of finished products during 37 days of storage has been studied. Shelf-life of coffee jelly at a storage temperature of 5 °C in a glass sealed container has been justified. Temperature-time storage conditions have been established, during which the finished product remains safe, reliably preserves basic organoleptic quality indicators and functional characteristics.

microbiological safety, milk jelly, coffee, functional product

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы особое внимание уделяется расширению ассортимента и улучшению качества выпускаемых желейных продуктов, обладающих высокими товарными свойствами и пищевой ценностью. Желе – это десертное блюдо, приготовляемое из различного сырья с применением желатина. По большей части его готовят на основе соков из сырья растительного происхождения. Желе принадлежит к продуктам с низким содержанием жиров. Указанный факт является одним из преимуществ желейных изделий, поскольку по статистическим данным содержание жиров в составе традиционных рационов питания граждан РФ значительно превышает физиологическую норму. При этом доказанным является факт, что систематическое потребление пищи повышенной жирности является фактором риска сердечно-сосудистых заболеваний, ожирения, диабета и других «болезней цивилизации».

Другой тенденцией в современной индустрии здорового и функционального питания является обогащение традиционных изделий биологически активными веществами (БАВ-ми) из природного сырья. Богатым источником натуральных БАВ являются плоды кофе, которые содержат более 100 веществ высокой физиологической активности – кофеин, флавоноиды, никотиновую, хлорогеновую, кофейную, феруловую кислоты и другие соединения, обладающие высокой эргогенной, антиоксидантной, антисептической и другими биологическими эффектами. Кроме того, данные БАВы обуславливают яркий характерный вкусоароматический букет, гармонирующий с вкусовыми качествами желейного продукта [1–3].

Создание новой железной продукции имеет целью не только получение высоких органолептических и функциональных свойств, но и обеспечение гарантированной безопасности. Желе отличается повышенным содержанием воды, являющейся благоприятной средой развития микроорганизмов. Поэтому обоснование микробиологической безопасности желе является приоритетной задачей настоящих исследований. В РФ санитарно-гигиеническая оценка железной и другой пищевой продукции регламентируется рядом технических документов, предписывающих количественные нормативные микробиологические показатели, методику их анализа, а также порядок контроля качества процесса приготовления и хранения, включающий надлежащий санитарно-гигиенический контроль сырья, полуфабрикатов и готовых продуктов [3].

Целью настоящей работы являлась оценка микробиологических показателей безопасности кофейного желе на молочной основе с момента изготовления и при последующем хранении, базирующаяся на обоснованных критериальных нормативах, и установление срока годности новой продукции.

ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектом исследования служили образцы кофейного желе, изготовленного по авторской технологии на основе коровьего молока. В качестве контроля использовали аналог молочного желе, изготовленного ООО «Шато-Калининград». Рецептuru экспериментального кофейного желе представлена в табл. 1.

Таблица 1. Рецептuru кофейного желе

Table 1. Formulation of coffee jelly

Ингредиент	Содержание, г в 100 г
Молоко пастеризованное, жирность 2,5 %	91,7
Кофе жареный молотый, сорт премиум	3,3
Желатин пищевой	2,5
Мед цветочный	8,3
Экстракт ванили	0,8

Для обогащения желе микронутриентами и биологически активными веществами, обладающими антиоксидантным и рядом других физиологических эффектов, использовался экстракт кофейных зерен.

Кофейное желе готовили следующим образом: 2,5 г желатина замачивали в молоке в соотношении 1: 5 на 15–20 мин. В это время готовили кофейный экстракт: 3,3 г измельченных кофейных зерен смешивали с горячей водой температурой 100 °С в соотношении 1: 4 и настаивали при этой температуре 6 мин. Далее раствор фильтровали, добавляли в фильтрат молоко в соотношении 1: 6. Затем в смесь при нагревании на медленном огне вводили 8,3 г меда, 0,8 г экстракта ванили и набухший желатин, все равномерно перемешивали. После растворения всех компонентов смесь охлаждали до температуры 25 °С, разливали в стерилизованную тару, закупоривали крышками и оставляли для застудневания на 1,5–2 ч при температуре 5 °С. Стерилизацию проводили в сухожарном шкафу при температуре 200 °С 10–15 мин, крышки для стеклянной тары кипятили в 2%-ном растворе пищевой соды (NaHCO₃) 45 мин.

Кофейные зерна – богатый источник биологически активных веществ (БАВ). Основными БАВ-ми являются: никотиновая кислота (витамин РР), тригонеллин, хинолиновая, дубильная, пирогалловая кислоты, кофеин, а также антиоксиданты группы гидроксикоричных кислот (кофейная, хлорогеновая, кумаровая, феруловая и синовая кислоты), антиоксиданты гетероциклической природы (фураны, пирролы и мальтолы). Потребление кофе влияет на восполнение суточных норм таких микроэлементов, как хром, калий, магний и марганец. Эпидемиологические и экспериментальные исследования показали положительный эффект регулярного потребления кофе на психоактивные реакции, неврологические (болезнь Паркинсона) и метаболические расстройства (диабет, желчный камень), а также функционирование желудочно-кишечного тракта, печени и системы жёлчных протоков [4, 5].

Основные органолептические показатели кофейного желе, соотнесенные с регламентированными стандартными требованиями (ГОСТ Р 54340-2011; ГОСТ Р 55462-2013), показаны в табл. 2.

Таблица 2. Органолептические показатели кофейного желе
Table 2. Organoleptic indices of coffee jelly

Показатели	Характеристика показателя по ГОСТ Р 54340-2011; ГОСТ Р 55462-2013
Внешний вид	Однородная желеобразная масса. Поверхность гладкая
Цвет	Молочно-белый у верхнего слоя, кофейный у нижнего, равномерный по всей массе
Запах	Приятный, обусловленный добавленными пищевкусовыми компонентами
Консистенция	Прочная желированная, нежная

Показатели микробиологической безопасности и их предельные значения для готового желейного продукта и основного сырья были обоснованы с учетом действующих документов: Технический регламент Таможенного союза «О безопасности пищевой продукции» (ТР ТС 021/2011) и «Технический регламент на молоко и молочную продукцию» (ТР ТС 033/2013). Следует отметить, что требования к микробиологической безопасности таких компонентов готового продукта, как молотый жареный кофе, ванилин, мед цветочный, а также показатель, определяющий наличие золотистого стафилококка (*St. Aureus*) в желатине, в нормативных документах не установлены. Несмотря на это, было решено, что в данных компонентах необходимо определять такие индикаторные показатели, как количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ) и бактерии группы кишечных палочек (БГКП). В связи с повышенным содержанием в готовой продукции воды, которая потенциально обуславливает развитием многих видов патогенной и условно патогенной микрофлоры, в сырье и продукции определяли *St. aureus*, плесени и дрожжи. Такое решение обусловлено необходимостью выяснения вклада качественного и количественного состава компонентов в состав микрофлоры готового продукта. Критериальным нормативом считали, в зависимости от вида микроорганизма, минимальное количество КОЕ/см³ (г) или массу продукта, в которой не допускается его содержание. Рациональные значения критериальных нормативов были установлены

путем сравнения потенциально возможных требований с требованиями, предъявляемыми к аналогичным пищевым продуктам в соответствии с Техническим регламентом Таможенного союза «О безопасности пищевой продукции» (ТР ТС 021/2011).

С учетом изложенного критериальные значения нормативов безопасности количественно были следующими: показатель КМАФАнМ выше рассмотренных компонентов – не более $1 \cdot 10^3$ в 1 г; показатель БГКП – отсутствие в 0,01 г продукта; *St. aureus* – отсутствие в 0,01 г продукта. В случае обоснования критериальных нормативов по содержанию плесени и дрожжей для кофе жареного в зернах был использован норматив, регламентированный для кофе зеленого в зернах согласно ТР ТС 021/2011 – 500 КОЕ/см³ (г). Сформированные требования к микробиологическим показателям безопасности готового продукта и соответствующего сырья представлены в табл. 3.

Таблица 3. Контролируемые микробиологические показатели и их предельные значения в сырье и готовом кофейном желе

Table 3. Controlled microbiological indicators and their limits in raw materials and finished coffee jelly

Наименование объекта исследования	Контролируемые показатели					
	КМАФАнМ, КОЕ/см ³ (г), не более	масса продукта (г, см ³), в которой не допускаются				Плесени и дрожжи, КОЕ/см ³ (г), не более
		БГКП (количественные формы)	патогенные микроорганизмы, в том числе сальмонеллы	стафилококки <i>St. aureus</i>	листерии <i>L. monocytogenes</i>	
Сырье (компоненты готового продукта)						
Молоко пастеризованное 2,5%-ное	$1 \cdot 10^5$	0,01	25	1,0	25	–
Желатин пищевой	$1 \cdot 10^4$	0,1	–	0,01*	–	–
Кофе жареный молотый	$1 \cdot 10^3$ *	0,01*	–	0,01*	–	500*
Мед цветочный	$1 \cdot 10^3$ *	0,01*	–	0,01*	–	–
Экстракт ванили (ванилин)	$1 \cdot 10^3$ *	0,01*	–	–	–	–
Готовый продукт и его контрольный аналог						
Кофейное (молочное) желе	$1 \cdot 10^3$	1,0	25	1,0	25	–

* - контролируемый показатель в рамках настоящей работы

Микробиологические испытания проводились в соответствии с ГОСТ 10444.15-94; ГОСТ 31747-2012; ГОСТ 10444.2-94; ГОСТ 10444.12-2013; ГОСТ 32031-2012; ГОСТ 31659-2012. Образцы хранились при различных температурных режимах (при 5, 7 и 23 °С) в течение 30 и более суток. На протяжении

всего периода хранения исследуемые образцы подвергались микробиологическим и органолептическим исследованиям на соответствие нормативам (табл. 2–3).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для микробиологических испытаний было изготовлено две партии кофейного желе, что позволило уменьшить погрешность исследования.

Первой операционной стадией технологии кофейного желе является прием сырья. Ее основная цель – контроль качества и безопасности, на основании чего принимается решение о его пригодности к использованию в пищевом производстве. В качестве основного сырья использовали молоко пастеризованное жирностью 2,5%, пищевые компоненты желатин пищевой, кофе жареный молотый, мед цветочный и экстракт ванили. В каждом сырье обязательно определяли показатели КМАФАнМ и БГКП. Кроме того, в молоке, желатине, кофе и меде проверялось наличие золотистого стафилококка *St. aureus*. Исходя из того, что в молоке в соответствии с документами контролируется наличие таких патогенных микроорганизмов, как сальмонелла и *L. monocytogenes*, испытания на указанные микроорганизмы были пропущены. Это обусловлено тем, что данные испытания проводятся с готовым продуктом, который приготовлен на основе исследуемого сырья. В кофе было решено дополнительно определить количество плесеней и дрожжей.

В ходе испытаний на первом этапе было зафиксировано, что все сырье соответствует требованиям, установленным нами для входного контроля микробиологической безопасности (см. табл. 3). Исходя из полученных данных, сырье и компоненты использовали далее для производства кофейного желе.

Следующим этапом микробиологических испытаний являлся анализ экспериментального кофейного желе и контрольного образца – молочного желе производства «Шато-Калининград». Желе тестировали на присутствие бактерий рода *Salmonella*, *L. monocytogenes*, *St. aureus*, БГКП, а также определяли показатель КМАФАнМ. Результаты представлены в табл. 4.

Как следует из данных табл. 4, кофейное желе по всем микробиологическим показателям соответствует требованиям ТР ТС 021/2011. Напротив, контрольное молочное желе оказалось более загрязненным микроорганизмами, а по показателю КМАФАнМ даже превышающим требования ТР ТС 021/2011. Данный результат можно объяснить тем, что кофейное желе хранится в стерилизованных стеклянных банках, а желе молочное – в негерметичной пластмассовой таре. Кроме того, экспериментальный образец имеет в своем составе вещества кофейной природы, обладающие антисептическими свойствами (флавоноиды, никотиновая, хлорогеновая кислоты и др.).

При определении срока годности кофейного желе исходили из требований ГОСТ Р 55462-2013 «Желе. Общие технические условия», в котором указывается, что в стерилизованной стеклянной таре желе можно хранить год, а нестерилизованной – шесть месяцев при температуре от 0 до 25 °С. Данные сроки регламентированы для фруктово-овощных желе. В связи с тем, что в экспериментальном образце желе содержится скоропортящийся сырьевой компонент (молоко), то потенциальный срок годности был сокращен. Предположительно считали, что новый продукт можно хранить 30 сут и более, так как он упакован в стерилизованную тару.

Для определения срока годности в экспериментах первой закладки было приготовлено три образца кофейного желе, которые поставили на хранение при различных температурных режимах:

1. Образец 1 – благоприятные условия хранения, при температуре 5 °С в холодильной камере.
2. Образец 2 – усредненные условия хранения, при температуре 7 °С в холодильной камере.
3. Образец 3 – экстремальные условия хранения, при температуре 23 °С, в защищенном от света месте.

Таблица 4. Результаты определения микробиологических показателей свежеприготовленного кофейного желе 1-й и 2-й закладок и контрольного образца – молочного желе

Table 4. Results of determination of the microbiological indices of coffee jelly of the 1st and 2nd tests and test sample of the milk jelly

Наименование показателя, метод определения	Нормативное значение (ТР ТС021/2011)	Высеваемое разведение и объем	Значения показателей желе		
			эксперимент (кофейное желе)		контроль (молочное желе)
			1-я закладка	2-я закладка	
КМАФАнМ (ГОСТ 10444.15-94)	Не более $1 \cdot 10^3$ КОЕ/см ³	10^{-2} , 10^{-3} по 1 мл	$5 \cdot 10^2$ КОЕ/см ³	Менее $1 \cdot 10^3$ КОЕ/см ³	$3,1 \cdot 10^5$ КОЕ/см ³
БГКП (ГОСТ 31747-2012)	Не допускается в 1,0 мл (г)	10^{-1} по 1 мл	Не обнаружено в 1,0 г	Не обнаружено в 1,0 г	Не обнаружено в 1,0 г
<i>St. aureus</i> (ГОСТ 10444.2-94)	Не допускается в 1,0 мл (г)	10^{-1} по 1 мл	Не обнаружено в 1,0 г	Не обнаружено в 1,0 г	Не обнаружено в 1,0 г
<i>L. monocytogenes</i> (ГОСТ 32031-2012)	Не допускается в 25 мл (г)	25 г в 225 мл ПБЛ	Не обнаружено в 25 г	Не обнаружено в 25 г	Не обнаружено в 25 г
Патогенные микроорганизмы, в том числе сальмонеллы (ГОСТ 31659-2012)	Не допускается в 25 мл (г)	25 г в 225 мл ЗПВ	Не обнаружено в 25 г	Не обнаружено в 25 г	Не обнаружено в 25 г

С учетом предположения, что срок хранения кофейного желе будет более 30 сут, в схеме эксперимента были установлены следующие контрольные точки (сутки хранения): 1; 4 (для пробы в экстремальных условиях); 9; 37.

В процессе хранения в образцах желе определяли количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ) и органолептические показатели – внешний вид, запах, консистенцию и цвет. Результаты определений представлены в табл. 5–6.

Как видно из табл. 5–6, уже на 37-е сутки после изготовления у желе первой закладки в умеренных и благоприятных условиях хранения выявлены превышения значений КМАФАнМ (см. табл. 3). Кроме того, в образце 2 органо-

лептически наблюдалось появление плесени, которая считается недопустимой микробной контаминацией. Поэтому образцы 1 и 2 были сняты с хранения.

В случае хранения кофейного желе в экстремальных условиях результаты микробиологической оценки имеют более резкую негативную тенденцию. Уже на четвертые сутки после изготовления образец 3 пришлось снять с хранения из-за появления негативных органолептических признаков (наблюдался синерезис геля, появился очень неприятный запах и визуальное брожение с выделением газов). При этом в данном образце желе было зафиксировано превышение нормативного значения безопасности при оценке показателя по количеству мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов.

Таблица 5. Результаты определения органолептических показателей в кофейном желе при хранении 1-й и 2-й закладок

Table 5. Results of determination of organoleptic indices of coffee jelly

Показатели	1-е сутки			4-е сутки			9-е сутки			37-е сутки								
	1	2		1	2		1	2		1	2							
	О	У	Н	О	У	Н	О	У	Н	О	У	Н						
Внешний вид	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	-	+	+	Снято с хранения	Снято с хранения	Снято с хранения	Снято с хранения
Цвет	+	+	+	+	+	+	+	+	+/-	+	+	+	+	+				
Запах	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	-	+	+				
Консистенция	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	-	+	+				

Примечание: О - оптимальные условия, У - усредненные условия, Н - неблагоприятные условия, «+» - соответствует требованиям в таблице 2; «-» - не соответствует требованиям в таблице 2; «+/-» - частично соответствует требованиям в табл. 2.

Таблица 6. Обобщенные значения микробиологических показателей кофейного желе первой и второй закладок в его контрольных точках при хранении

Table 6. The generalized results of the first and second tests of coffee jelly and its control points during storage

Норматив и точки контроля кофейного желе	КМАФАнМ, КОЕ/см ³ (г)					
	1-я закладка			2-я закладка		
Образец	1	2	3	1	2	3
Норматив (ТР ТС 021/2011)	Не более $1 \cdot 10^3$					
0-я точка (1-е сутки)	$5 \cdot 10^2$			Менее $1 \cdot 10^3$		
1-я точка (4-е сутки)	-	-	Более $1 \cdot 10^3$	-	-	Более $1 \cdot 10^3$
2-я точка (9-е сутки)	Менее $1 \cdot 10^3$	$1 \cdot 10^3$	-	$2 \cdot 10^3$	$2,5 \cdot 10^3$	-
3-я точка (37-е сутки)	$2 \cdot 10^3$	$2,5 \cdot 10^3$	-	-	-	-

Примечание: О - оптимальные условия, У - усредненные условия, Н - неблагоприятные условия, «+» - соответствует требованиям в таблице 2; «-» - не соответствует требованиям в таблице 2; «+/-» - частично соответствует требованиям в табл. 2.

Во время исследования качества и безопасности экспериментальной продукции второй закладки было установлено, что результаты практически идентичны с данными, полученными во время испытаний кофейного желе первой закладки. Однако стоит заметить, что образцы 1 и 2 во второй закладке превысили значения норматива по микробиологическому показателю КМАФАнМ уже на девятые сутки хранения, тогда как в первой закладке они на данном этапе удовлетворяли требованиям ТР ТС 021/2011. Данный факт обусловлен несколько повышенной температурой хранения (7°C) относительно температуры хранения партии желе 1-й закладки (5°C).

Результаты определения микробиологических показателей в процессе хранения кофейного желе 1-й и 2-й закладок, отраженные в виде зависимостей показателя КМАФАнМ от продолжительности хранения при различных температурах, представлены на рис. 1 и 2.

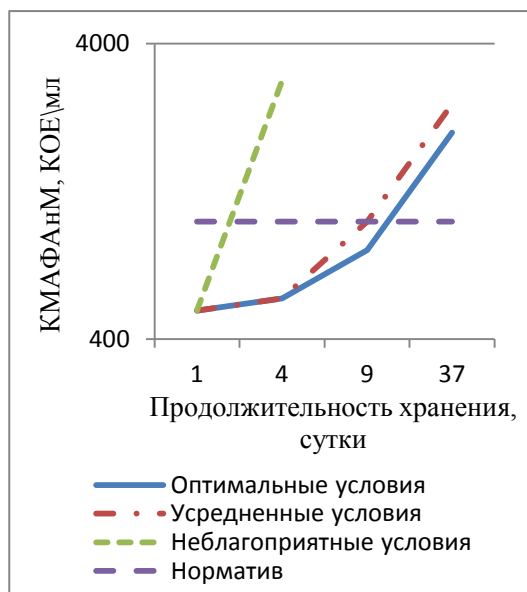


Рис. 1. Зависимость КМАФАнМ от продолжительности хранения кофейного желе 1-й закладки

Fig. 1. Dependence of QMAFAnM on the shelf life of coffee jelly of the 1st test

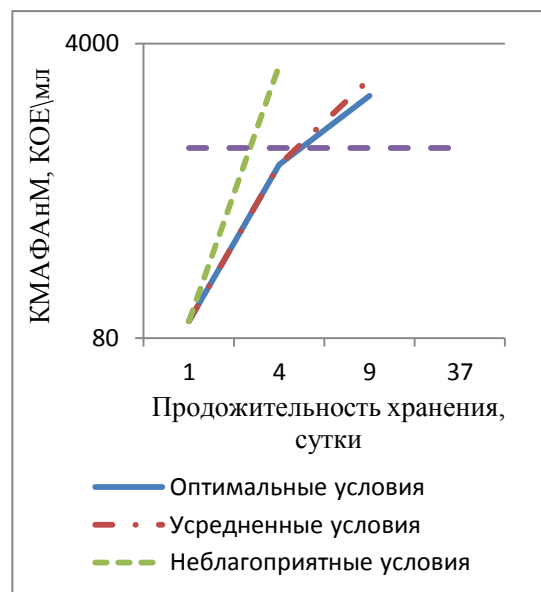


Рис. 2. Зависимость КМАФАнМ от продолжительности хранения кофейного желе 2-й закладки

Fig. 2. Dependence of QMAFAnM on the shelf life of coffee jelly of the 2nd test

Исходя из полученных данных, представленных в табл. 4 и на рис. 1 и 2, можно сделать вывод, что органолептическая и микробиологическая стабильность кофейного желе при комнатной температуре даже при хранении в стерилизованной таре очень низкая. Уже на четвертый день хранения желе по органолептическим и микробиологическим показателям не соответствовало продукту, пригодному к употреблению в пищу. В случае хранения исследуемого продукта в холодильной камере при температуре 5°C его устойчивость к порче оказалась выше. В течение пяти суток после изготовления готового продукта показатель КМАФАнМ не превышал нормативного значения относительно данных по продукту 2-й закладки (рис. 2).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С учетом полученных данных при благоприятных и усредненных условиях хранения (температура 5 °С) кофейное желе рекомендуется хранить не более пяти суток. Хранение данного продукта без охлаждения при температурах более плюс 20 °С нежелательно. Рекомендуемый температурный режим хранения кофейного желе 5 °С, предельный срок годности – 5 сут.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Мясищева, Н. В. Товароведно-технологическая оценка новых помологических сортов красной смородины и жележных продуктов на их основе: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 03.00.23 / Мясищева Нина Викторовна. – Улан-Удэ, 2007. – 21 с.
2. Маркова, И. К. Обоснование выбора плодово-ягодного сырья и способов его переработки в желе: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.18.15 / Маркова Ирина Климентьевна. – Москва, 2009. – 28 с.
3. Лисовский, С. Ф. О продовольственной безопасности Российской Федерации / С.Ф. Лисовский // Аналитический вестник. Обеспечение продовольственной безопасности Российской Федерации. – 2016. – № 34 (633). – С. 7–10.
4. Doreat, J.G. Is coffee a functional food? / J.G. Doreat, T.H. da Costa // *British Journal of Nutrition*. – 2005. – Vol.93. – P. 773–782.
5. *Coffee: Emerging Health Effects and Disease Prevention* / ed. Yi-Fang Chu. – New Jersey: Blackwell Publishing Ltd., 2012. – P. 21–58.

REFERENCES

1. Myasishcheva N. V. *Tovarovedno-tekhnologicheskaya otsenka novykh pomologicheskikh sortov krasnoy smorodiny i zheleynykh produktov na ikh osnove. Avtoreferat diss. kand. tekhn. nauk* [Merchandising and technological evaluation of new red currant pomologic varieties and jelly products based on them. Abstract of dis. dr. sci.]. Ulan-Ude, 2007, 21 p.
2. Markova I. K. *Obosnovanie vybora plodovo-yagodnogo syr'ya i sposobov ego pererabotki v zhele. Avtoreferat diss. kand. tekhn. nauk* [Justification of the selection of fruit and berry raw materials and methods of its processing into jelly. Abstract of dis. dr. sci.]. Moscow, 2009, 28 p.
3. Lisovskiy S. F. O prodovol'stvennoy bezopasnosti Rossiyskoy Federatsii. [About food security of Russian Federation]. *Analiticheskiy vestnik. Obespechenie prodovol'stvennoy bezopasnosti Rossiyskoy Federatsii*, 2016, no. 34, pp. 7-10.
4. Doreat J. G. Is coffee a functional food? *British Journal of Nutrition*, 2005, vol. 93, pp. 773-782.
5. *Coffee: Emerging Health Effects and Disease Prevention*. Yi-Fang Chu [editor], New Jersey, 2012, pp. 21–58.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Левченко Екатерина Витальевна – Калининградский государственный технический университет; магистрант кафедры пищевой биотехнологии;
E-mail: levchenko.ew@gmail.com

Levchenko Ekaterina Vital'evna – Kaliningrad State Technical University; student;
Department of Food Biotechnology; E-mail: levchenko.ew@gmail.com

Мезенова Ольга Яковлевна – Калининградский государственный технический
университет; доктор технических наук, профессор;
зав. 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

УДК 664

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА СПОСОБОВ ГИДРОЛИЗА ПРИ ПОЛУЧЕНИИ
ПРОТЕИНОВЫХ ПРОДУКТОВ ИЗ КОЛЛАГЕНСОДЕРЖАЩЕГО РЫБНОГО
СЫРЬЯ И ОЦЕНКА ИХ КАЧЕСТВА

О. Я. Мезенова, В. В. Волков, А. Хёлинг, Т. Мерзель, Т. Гримм, Н. Ю. Мезенова

COMPARATIVE ASSESSMENT OF HYDROLYSIS METHODS
FOR PRODUCTION OF PROTEIN PRODUCTS
FROM COLLAGEN-CONTAINING FISH RAW MATERIAL AND EVALUATION
OF THEIR QUALITY

O. Ya. Mezenova, V. V. Volkov, T. Moersel,
A. Hoehling, T. Grimm, N. Yu. Mezenova

Протеины являются уникальным природным материалом, применяющимся в пищевой, аграрной, микробиологической и других отраслях промышленности. Перспективным источником их получения считается вторичное рыбное сырье, протеины которого содержат все незаменимые аминокислоты. При извлечении протеинов сырье рационально обрабатывать высокими температурами (термолиз) с ферментированием или без него при последующем разделении на пептидную, липидную и минерально-белковую фракции. При изготовлении рыбных пищевых продуктов остается около 50 % массы рыбных отходов (голова, хребты, кости, чешуя, внутренности). В Калининградской области объем рыбных отходов в сутки составляет около 10 т, которые лишь на 15–30 % перерабатываются на рыбную кормовую муку. Получение протеинов проводили тремя способами (ферментализ, термолиз, комбинированный способ) на трех видах рыбных отходов (голова, хребты, чешуя), взятых на рыбконсервном комплексе «РосКон». Получаемые пептидные смеси имеют молекулярную массу от 0,1 до 100 кДа и более. Наибольший интерес представляют активные пептиды с молекулярной массой менее 10 кДа. Наибольший выход активных пептидов дает ферментализ (доля ≤ 10 кДа составляет 97,7%), наименьший – термолиз (пептиды ≤ 10 кДа составляет 40,6 %). Состав аминокислот в пептидах зависит от видов сырья и гидролиза. Во всех пептидных фракциях содержатся незаменимые аминокислоты, наибольшее их количество наблюдается в пептидах ферментативного гидролиза. По абсолютному количеству преобладают глицин, аспарагиновая и глутаминовая кислоты (особенно в гидролизатах из чешуи), а также незаменимые аминокислоты (лейцин, лизин, фенилаланин, треонин, валин), извлекаемые ферментализом. Все пептидные продукты содержат более 82 % протеинов в пересчете на сухое вещество, менее 6 % минеральных веществ и менее 5 % жира. Полученные пептидные смеси можно применять в составе кормов, при производстве протеиновых пищевых добавок, специализированного питания, микробиологических сред.

протеины, пептиды, гидротермолиз, ферментализ, аминокислотный состав, незаменимые аминокислоты, протеиновые продукты; специализированное питание

Proteins are a unique natural material used in agriculture, food, microbiological and other industries. A promising source of proteins is fish by-products. Fish proteins contain all essential amino acids. During the process of proteins extraction, the raw material is rationally treated by high temperatures (thermal hydrolysis) with or without fermentation followed by separation into peptide, lipid and mineral-protein fractions. Fish processing generates by-products (heads, fish bones, scales, etc.) making up to 50% of the raw materials mass. Average total daily amount of fish by-products in the Kaliningrad region is about 10 tons with a share of only 15-30 % of them processed in a traditional way into fish meal. Protein extraction has been performed in three ways (enzymatic hydrolysis, thermal hydrolysis and their combination) with three fish by-product types (heads, fish bones and scales) kindly provided by the fish cannery complex "RosKon". The produced peptide mixtures can have a molecular weight from 0.1 kDa to 100 kDa or more. The highest yield of active peptides is provided by enzymatic hydrolysis (peptide fraction ≤ 10 kDa is 97.7 %), the lowest one is provided by thermal hydrolysis (peptide fraction ≤ 10 kDa is 40.6 %). Composition of amino acids in peptides depends on the type of raw material, hydrolysis type and parameters. All the peptide fractions contain essential amino acids, the greatest amount of them contain the peptides after enzymatic hydrolysis. The greatest amino acid share includes glycine, aspartic and glutamic acids (especially hydrolysates from fish scales) as well as essential amino acids (leucine, lysine, phenylalanine, threonine, and valine) after enzymatic hydrolysis. In terms of dry matter, all peptide products contain more than 82 % of proteins, less than 6 % of minerals and less than 5 % of fat. The peptide mixtures can be used in compositions of feeds, production of protein supplements, specialized food and microbiological media.

proteins, peptides, thermal hydrolysis, enzymatic hydrolysis, amino acid profile, essential amino acids, protein products, specialized nutrition

ВВЕДЕНИЕ

Протеины (или белки) животного и растительного происхождения играют важную роль в развитии цивилизации: они незаменимы в продуктах питания, обеспечивают гомеостаз организма, применяются в кормовых и строительных материалах, составе микробиологических сред, удобрений, фармакологических препаратов.

Несмотря на успехи в синтезе белков, основным способом получения протеинов остается их извлечение из натурального белоксодержащего сырья [1]. Источниками натурального белка растительного происхождения являются орехи, семечки, бобовые (соя, горох, фасоль, кукуруза). Особенно ценными являются протеины животных, птицы, рыбы, морепродуктов, молока, из которых получают ценные белковые продукты питания (мясные, молочные, рыбные). Однако данное сырье направлено, прежде всего, на пищевое применение, извлекать из него протеины не оправдано с экономической точки зрения.

Перспективно получать протеины животного происхождения из вторичных рыбных ресурсов. При переработке рыбы по традиционным пищевым технологиям (консервы, пресервы, посол и др.) остается до 50 % массы отходов, богатых натуральным белком. Это, прежде всего, коллагенсодержащее сырье – головы, кожа, чешуя, кости, идущие на кормовые цели или в утилизацию. Протеины данного сырья находятся в комплексе с минеральными и липидными материалами,

содержат ценные аминокислоты. Извлечение протеинов из природных биокаркасов коллагенсодержащих тканей рационально проводить методом гидролиза, применяя высокотемпературное, ферментативное или комбинированное воздействие [2].

В Калининградской области образующиеся отходы от переработки рыбы составляют объемы более 10.000 т/год, при этом данное сырье либо утилизируется, либо используется для корма животных без переработки. Особенно много отходов образуется при производстве рыбных консервов, количество их достигает 50 % массы сырья. Частично оно реализуется на корм пушным зверям, 5–7 % – направляется на частные предприятия по производству кормовой муки. При этом в области не хватает кормового протеина, необходимого для развития птицеводства, свиноводства и аквакультуры, которые требуют качественного белкового корма, поставляемого зачастую по импорту.

С учетом высокого качества рыбного протеина перспективно его пищевое использование. Получение пищевых протеинов из рыбного сырья традиционным способом основано на химических технологиях, с применением которых изготавливают белковые изоляты, коагуляты, концентраты, препараты [1]. Однако данные протеиновые специфичны по свойствам, а сами продукты дороги и практически не используются по причине трудоемкости технологии и загрязнения окружающей среды химическими стоками.

Инновационным способом получения протеинов из вторичного рыбного сырья является комбинированное воздействие ферментативной обработкой и высокотемпературным гидротермолизом, проводимое в специальных установках под давлением. Впервые эту технологию предложила немецкая биотехнологическая компания ANiMOX GmbH (Адлерсхоф, Берлин), которая запатентовала ее в странах ЕС, КНР, США и России и применяет при переработке мясных отходов [3]. В этом технологическом процессе предварительно размягченные под действием эндо- и экзопептидаз протеины сырья под воздействием высоких температур и давления в водной среде расщепляются на пептиды пониженной молекулярной массы, которые экстрагируются в водную среду, образуя смеси пептидов и аминокислот. С помощью этой технологии возможно получение чистых протеинов заданной молекулярной массы и высокой функциональности при низкой себестоимости. Молекулярная масса образующихся пептидов может регулироваться параметрами технологии. Содержание белков в протеиновых гидролизатах, высушенных лиофильно, превышает 95 %, они практически не содержат жира (не более 1 %) и минеральных веществ (не более 5 %).

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Сырьем для экспериментов служили мороженые и охлажденные рыбные отходы: чешуя, хребтовые кости и головы сардины (*Sardina*) и сардинеллы (*Sardinella*) центральных вод Атлантического океана как отходы при производстве консервов «Сардины в масле», предоставленные консервным комплексом ОАО «РосКон» (г. Пионерский, Калининградская обл.). При этом следует отметить, что чешуя и хребты имели значительные прирезы мышечной ткани.

Эксперименты по гидролизу сырья проводили в биотехнологической компании ANiMOX (Адлерсхоф, Берлин, Германия). Сырье после размораживания и мойки грубо измельчали, после чего направляли на гидролиз тремя способами - термическим (Т), ферментативным (Ф) и ферментативно-термическим (ФТ) (ком-

бинированным). Протеиновые водорастворимые фракции гидролизатов сублимационно высушивали.

Т-гидролиз измельченного сырья осуществляли в автоклаве при температуре 130°C, давлении 0,25 МПа, рН 7,0 в течение 60 мин. При этом материал предварительно гомогенизировали с водой при гидромодуле 1:1, после чего смесь разделяли на центрифуге при скорости вращения 3500 об/мин в течение 10 мин. Далее систему охлаждали и разделяли на три фракции: жировую – сверху, протеиновую – среднюю и минерально-белковую (осадок) – нижнюю [4].

Для осуществления Ф-гидролиза применяли протеолитический ферментный препарат (ФП) Alcalase® 2,4 L (Novozymes, Дания). Наибольшую активность 2,5 AU / г (единицы Ансона) ФП проявляет в диапазоне температур от 55 до 70 °С, рН – от 6,5 до 8,5. Предварительно готовили гомогенизованную смесь мороженого сырья с горячей водой при гидромодуле 1:1, выдерживали ее при температуре 50 °С и рН 7,0 в течение 6 ч при постоянном перемешивании. Разделение фракций проводили аналогично описанному выше способу.

Комбинированный ФТ-гидролиз осуществляли путем сочетания предварительного Ф-гидролиза и последующего Т-гидролиза при описанных выше параметрах.

Общий химический состав сырья определяли по ГОСТ 7636. Массовую долю жира – экстракцией диэтиловым эфиром по методу Сокслета из предварительно высушенной навески, содержание общего азота – микрометодом по Кьельдалю на приборе UDK 127 (VELP Scientifica, Италия) с предварительным сжиганием навески в серной кислоте в присутствии перекиси водорода и минерального катализатора.

Фракционный состав протеинов определяли в компании ANiMOX методом высокоэффективной жидкостной хроматографии на аппаратуре Phenomenex (Yarra 3uSEC-2000). Сущность метода заключается в разбавлении и фильтровании пробы образцов, разделении на фракции и идентификации средней молекулярной массы (ММ) фракций на приборе UV-Detektor с диаметром нанопористого фильтра 214 нм. С помощью молекулярного стандарта коррелировалось время выхода молекул пробы, при этом хроматограмма соответствующей пробы включала усредненные значения. Анализ проводился при рН 6,8.

Аминокислотный состав протеинов определяли в научно-консультационной лаборатории UBF высокоэффективной жидкостной ионообменной хроматографией, основанной на гидролизе белков в микроволновой печи, разведении боратным буфером, дериватизации о-фталальдегидом, разделении дериватов АК жидкостной хроматографией (Agilent 1200 Series G1379A, G1312A и G1329A) и определением ультрафиолетовым и флуориметрическим детекторами (Agilent Technologies 1200 Series Infinity DAD и 1260 FLD).

Сбалансированность аминокислотного состава (АК) определяли относительно «идеального» белка [4]. Для этого оценивали аминокислотный скор (АК-скор) относительно «идеального» содержания аминокислот в белке, рекомендованного Всемирной организацией здравоохранения (ФАО/ВОЗ) по формуле (1).

$$AC_i = \frac{AK_i}{AK_{i\text{ст}}} \cdot 100, \quad (1)$$

где AC_i – аминокислотный скор i -й незаменимой аминокислоты, %; AK_i – содержание i -й незаменимой аминокислоты в 100 г исследуемого белка, г; $AK_{i\text{ст}}$ – содержание той же незаменимой аминокислоты в 100 г «идеального» белка, г.

Результаты анализа общего химического состава головы и чешуи сардинеллы представлены в табл. 1.

Таблица 1. Общий химический состав коллагенсодержащего рыбного сырья
Table 1. Chemical composition of collagen-containing fish raw materials

Вид сырья		Содержание							
		сухих веществ		протеина		минеральных веществ		жира	
		г/100 г сырья	г/100 г СВ	г/100 г сырья	г/100 г СВ	г/100 г сырья	г/100 г СВ	г/100 г сырья	г/100 г СВ
Сардина	голова	34,6	100	16,0	46,2	8,62	25,5	9,80	28,3
	чешуя	27,1	100	15,3	56,7	3,27	12,1	8,46	31,3
	кости	41,0	100	17,2	42,0	3,80	9,28	20,0	48,7
Сардинелла	голова	37,4	100	15,6	41,7	6,96	18,6	14,8	39,7
	чешуя	33,3	100	20,2	60,5	3,62	10,9	9,53	28,6

Из табл. 1 следует, что рыбные отходы в органической массе содержат более всего протеина (41,7–60,5 % массы – сухое вещество (СВ)), достаточно много жира (28,6–48,7 % СВ) и минеральных веществ (10,9–25,5 % СВ). Все фракции представляют собой ценный биологический материал, но наибольший практический интерес имеют протеины. В рыбных отходах они относятся, прежде всего, к коллагеновой фракции белков. Это структурные белки, которые отличаются повышенной прочностью, пониженной усвояемостью, что следует принять во внимание при выборе способа гидролиза для получения легкоусвояемых протеинов с молекулярной массой менее 10 кДа. Известно, что пептиды данной размерной группы характеризуются высокой биологической активностью (иммунной, антиоксидантной, антисептической, антикоагулянтной, антистрессовой, гипохолестеринемической, гипотензивной и др.), а также повышенной эргогенностью [5].

При исследовании процесса гидролиза чешуи, голов сардины и сардинеллы, хребтов сардины различными способами было получено 15 различных фракций (протеиновая, жировая и минерально-протеиновая) (табл. 2).

Таблица 2. Выходы протеиновой, жировой и минерально-протеиновой фракций при различных способах гидролиза различного коллагенсодержащего рыбного сырья
Table 2. Yields of protein, fat and mineral-protein fractions after different hydrolysis types of various collagen-containing fish raw materials

ВРС	Способ гидролиза	Выход фракции					
		протеиновой		Жировой		минерально-протеиновой	
		% от массы сырья	% от СВ	% от массы сырья	% от СВ	% от массы сырья	% от СВ
Сардина							
Чешуя	Т	4,46	16,53	5,37	19,87	17,7	65,5
	Ф	11,2	41,5	7,08	26,19	9,13	33,78
	ФТ	13,4	49,66	6,34	23,46	7,71	28,53

ВРС	Способ гидролиза	Выход фракции					
		протеиновой		Жировой		минерально-протеиновой	
		% от массы сырья	% от СВ	% от массы сырья	% от СВ	% от массы сырья	% от СВ
Головы	Т	8,81	25,44	5,17	14,93	21,2	62,71
	Ф	10,2	29,45	8,85	25,55	16,0	47,33
	ФТ	14,4	41,58	7,56	21,83	13,1	38,75
Хребты	Т	7,94	19,39	14,2	34,58	19,3	47,13
	Ф	14,2	34,67	18,5	45,05	8,52	20,8
	ФТ	21,7	52,99	14,6	35,55	5,10	12,45
Сардинелла							
Чешуя	Т	5,94	17,79	3,81	11,43	24,2	72,87
	Ф	12,5	37,44	6,94	20,83	14,4	43,36
	ФТ	19,1	57,2	7,61	22,84	6,99	21,05
Головы	Т	10,6	28,33	7,33	19,66	19,9	53,18
	Ф	12,2	32,61	12,9	34,6	12,5	33,4
	ФТ	14,3	38,22	10,7	28,7	12,8	34,21

* Т – термический гидролиз, Ф – ферментативный гидролиз, ФТ – ферментативно-термический гидролиз

Из данных табл. 2 следует, что Ф-Т-гидролиз обеспечивает максимальный выход протеинов из природного каркаса (38,22–57,2% СВ), Ф-гидролиз позволяет получить наибольший выход жировой фракции из всех видов исследуемого сырья (20,83–45,05% СВ), а Т-гидролиз обеспечивает наибольший выход осадочной фракции, содержащей водонерастворимые протеины и минеральные вещества.

Наибольшую ценность представляет протеиновая фракция гидролизатов рыбного коллагенового сырья. Результаты оценки выхода протеинов в процентах от исходного сырья (рис. 1) подтверждают, что комбинированный способ гидролиза (ФТ-гидролиз) обеспечивает максимальный выход протеинов из всех видов сырья (80,6–91,3%).

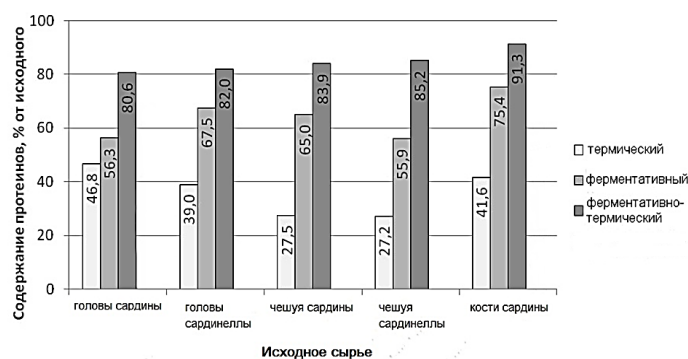


Рис. 1. Сравнительная оценка выходов протеинов при различных способах гидролиза коллагенсодержащего рыбного сырья [5, 6]

Fig. 1. Comparative evaluation of protein yields after different hydrolysis types of collagen-containing fish raw materials [5, 6]

На рис. 2 представлены результаты определения фракционного состава пептидных фракций в пищевой технологической добавке, полученной из чешуи сардины и сардинеллы при различных способах гидролиза. Количество низкомолекулярных фракций с ММ менее 10 кДа считали основным индикатором показателя [7].

Из данных рис. 2 видно, что во всех образцах пищевых технологических добавок на низкомолекулярную фракцию пептидных осколков с ММ менее 10 кДа приходится основное количество общей массы пептидов (50–98%). Именно данная низкомолекулярная фракция пептидов представляет интерес для специализированного питания, поскольку обеспечивается их максимальная биодоступность и скорость диффузии в организме [8]. При этом у данных пептидов открываются совершенно новые свойства. Они не только проявляют пластические функции, но и характеризуются различными биологическими эффектами (анаболическим, иммунным, антиокислительным, каталитическим и др.), а также высокой терапевтической эффективностью [9–11].

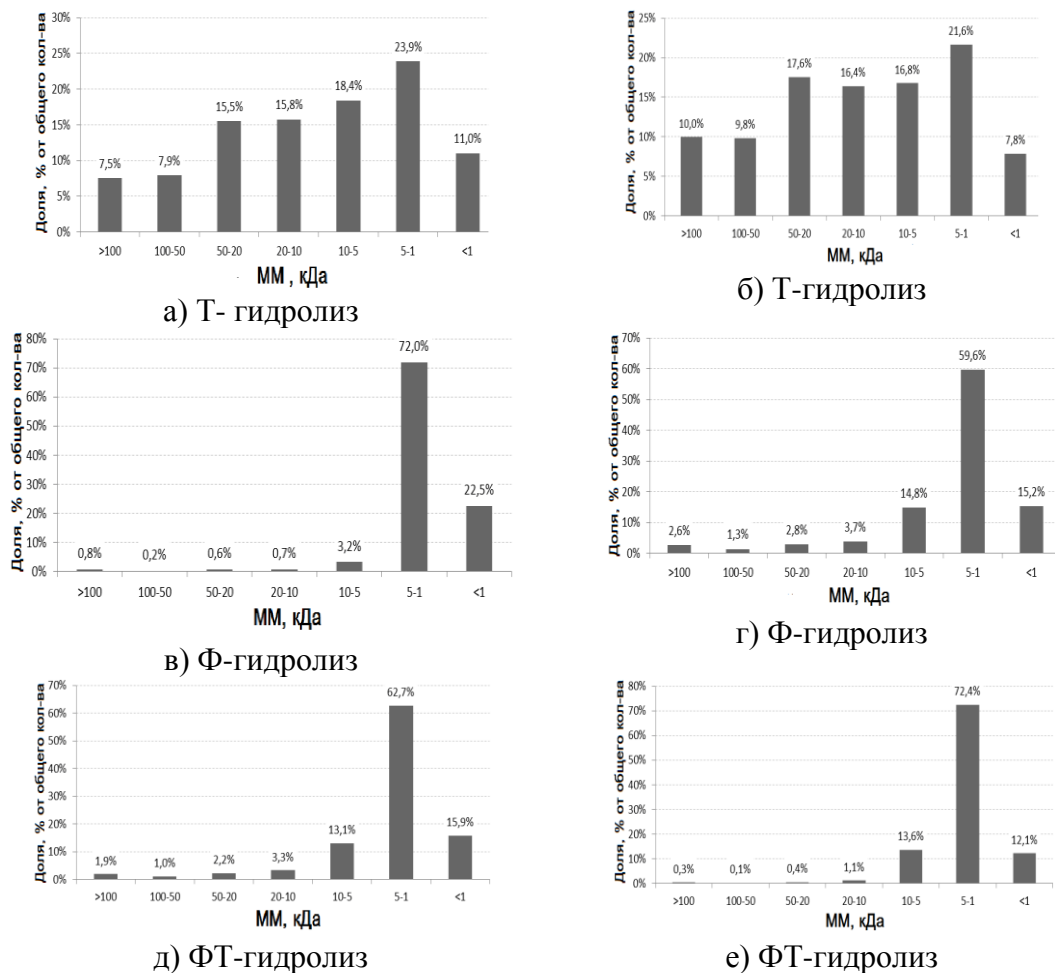


Рис. 2. Молекулярно-массовое распределение частиц в протеиновой фракции чешуи сардины (а, в, д) и сардинеллы (б, г, е) при различных способах гидролиза
 Fig. 2. Molecular mass distribution of protein fractions of the sardine (а, в, д) and sardinella scale (б, г, е) after different hydrolysis methods

На рис. 3 показано количественное содержание протеиновых гидролизатов с низкомолекулярными пептидами (ММ менее 10 кДа) при различных способах гидролиза.

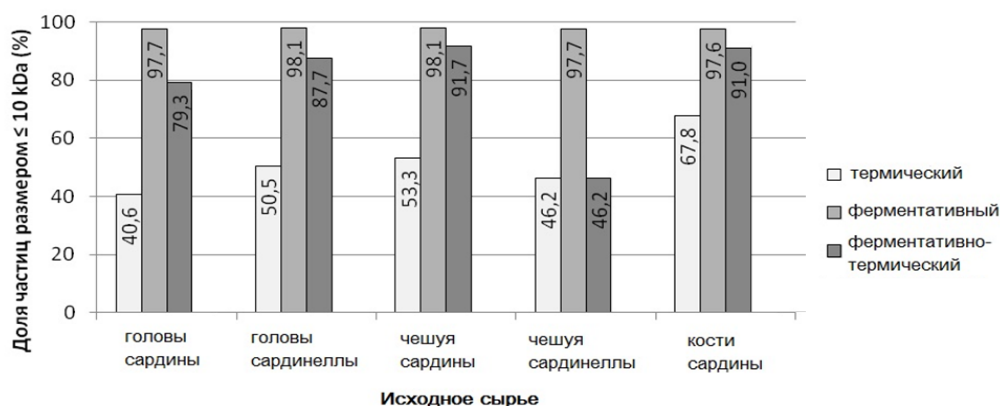


Рис. 3. Содержание пептидов с молекулярной массой ≤ 10 кДа при различных способах гидролиза коллагенсодержащего рыбного сырья

Fig. 3. Peptide fraction with molecular weight ≤ 10 kDa after different hydrolysis methods of collagen-containing fish raw materials

Из рис. 3 видно, что наибольший выход активных пептидов возможно получить при ферментативном (97,6–98,1 % массы протеинов) и ферментативно-термическом (46,2–91,7 % массы протеинов) способах гидролиза всех видов рыбных отходов.

Оценка химического состава водорастворимой сублимационно высушенной протеиновой фракции гидролизованного сырья представлена в табл. 3.

Таблица 3. Результаты анализа химического состава протеиновых фракции гидролизованного разными способами коллагенсодержащего рыбного сырья
Table 3. Results of the analysis of chemical composition of protein fractions of collagen-containing fish raw material hydrolysed by different methods

ВРС	Способ гидролиза	СВ, % от массы фракции	Содержание, % от СВ			
			азот (N)	протеин, (N·6,25)	жир	минеральные вещества
Сардина						
Чешуя	Т	94,7	17,0	106,0	1,15	2,56
	Ф	96,1	15,1	94,5	4,07	4,80
	ФТ	95,0	15,7	97,9	1,74	0,14
Головы	Т	95,9	15,0	93,9	2,93	9,48
	Ф	92,3	14,2	88,7	0,96	9,33
	ФТ	96,4	14,2	88,8	2,35	6,74
Хребтовые кости	Т	94,7	15,8	98,6	0,80	6,57
	Ф	93,1	14,5	90,7	2,77	5,14
	ФТ	95,9	14,1	88,2	5,15	4,54

Окончание табл. 3

ВРС	Способ гидролиза	СВ, % от массы фракции	Содержание, % от СВ			
			азот (N)	протеин, (N·6,25)	жир	минеральные вещества
Сардинелла						
Чешуя	Т	95,2	17,5	109,4	0,85	3,66
	Ф	96,9	14,6	91,3	6,20	2,93
	ФТ	96,9	14,4	90,3	6,7	1,49
Головы	Т	94,5	15,8	98,8	1,16	11,9
	Ф	94,4	13,6	84,7	1,78	14,9
	ФТ	95,4	14,7	92,1	0,46	7,02

Из данных табл. 3 следует, что независимо от способа гидролиза, во всех протеиновых гидролизатах значительный процент от массы СВ приходится на протеины (88,2-100 % от массы СВ). При этом содержание в протеиновой фракции жира и минеральных веществ колеблется незначительно (соответственно 0,96-6,20% и 0,14-11,9% СВ). Показатели химического состава гидролизатов зависят от вида сырья и регулируются способом и режимами гидролиза. Превышение показателя содержания белка по некоторым протеиновым гидролизатам связано с необходимостью корректировки для рыбного сырья общепринятого N фактора, равного 6,25.

Таким образом, наиболее эффективными, с точки зрения максимального извлечения протеинов и повышенного содержания легкоусвояемых низкомолекулярных протеинов, являются Ф- и ФТ-гидролизы коллагенсодержащего рыбного сырья. Т-гидролиз позволяет быстро и относительно просто получать чистые протеины коллагеновых белков с минимальным содержанием жира и минеральных веществ.

Качество получаемых из рыбных отходов различными способами гидролиза протеинов оценивали по аминокислотному (АК) составу. При этом учитывали абсолютное и относительное содержание АК, а также их сбалансированность через показатель «аминокислотный скор», рассчитанный по каждой незаменимой аминокислоте (АКскор, формула (1)) относительно ее содержания в «идеальном» белке, рекомендованном FAO/ВОЗ.

Известно, что для структуры коллагенового белка характерно высокое содержание глицина, низкое – серосодержащих аминокислот и отсутствие триптофана. Коллаген относится к тем немногим белкам животного происхождения, которые на 20 % и более содержат остатки нестандартных аминокислот (гидроксипролин, лизин или его гидроксильная форма – гидроксизин). Каждая из α -цепей состоит из триад аминокислот, в которых третья аминокислота всегда глицин, вторая – пролин или лизин, первая - любая другая аминокислота, кроме трёх перечисленных. Глицин является нейромедиаторной аминокислотой. В составе пищевых продуктов глицин оказывает седативное (успокаивающее), мягкое транквилизирующее (противотревожное) и слабое антидепрессивное действие, обладает некоторыми ноотропными свойствами, улучшает память и ассоциативные процессы. Аланин – один из основных участников глюкозо-аланинового цикла, без которого невозможен синтез глюкозы при глюконеогенезе в печени. Аспара-

гиновая кислота выполняет роль нейромедиатора в центральной нервной системе, глутамино-вая – играет важную роль в азотистом обмене, является нейромедиаторной аминокислотой, одним из важных представителей класса «возбуждающих аминокислот» [12].

Сравнительная оценка аминокислотного состава чешуи сардины и сардинеллы атлантических (табл. 4) показала, что чешую рыб можно считать источником почти всех незаменимых (кроме триптофана) и ценных заменимых АК. Основными АК чешуи являются (% массы азотистой части): глицин (12,57–29,44), аланин (5,84–11,20), глутаминовая кислота (6,93–9,29), пролин (6,93–9,42) и гидроксипролин (4,33–10,70), что согласуется с литературными данными. Именно эти АК необходимы людям, занимающимся активной физической деятельностью, для профилактики и поддержания опорно-двигательного аппарата организма и повышения функциональности нервной системы [6].

Таблица 4. Аминокислотный состав белков чешуи сардины и сардинеллы
Table 4. Amino acid profile of sardine and sardinella scale

Название АК	Средняя массовая доля в сухой чешуе			
	сардины		сардинеллы	
	г /100 г белка	г /100 г чешуи	г /100 г белка	г /100 г чешуи
Аланин	5,84	3,31	11,20	5,60
Аргинин	7,23	4,10	7,90	4,00
Аспарагин	0,00	0,00	0,10	0,10
Аспарагиновая к-та	6,05	3,43	4,90	2,50
Карнозин	0,00	0,00	0,10	0,01
Цитрулин	0,02	0,01	0,00	0,00
Цистин	0,21	0,12	0,00	0,00
Глютамин	0,04	0,02	0,80	0,40
Глутаминовая к-та	9,29	5,27	8,50	4,30
Глицин	12,57	7,13	26,00	13,1
Гистидин	1,66	0,94	1,20	0,60
Гидроксипролин	9,45	4,79	10,70	4,40
Лейцин (н)	3,65	2,07	2,70	1,30
Изолейцин (н)	2,12	1,21	1,00	0,50
Лизин (н)	2,72	1,54	4,00	2,00
Метионин (н)	2,84	1,61	0,01	0,01
Орнитин	0,07	0,04	0,00	0,00
Фенилаланин (н)	2,75	1,56	2,20	1,10
Фосфоэтаноламин	0,00	0,00	0,00	0,00
Пролин	9,42	5,34	11,70	5,90
Серин	4,00	2,27	2,90	1,50
Таурин	0,10	0,06	0,00	0,00
Треонин (н)	1,22	1,69	2,10	1,10
Тирозин	1,53	0,87	0,60	0,30
Валин (н)	2,05	1,16	1,50	0,80
∑ незаменимых АК	17,35	10,84	13,5	6,8
∑ коллаген+эластин	76,26	40,35	86,35	35,5

В табл. 5–7 представлены результаты аминокислотного анализа протеинов различных рыбных отходов сардины.

Таблица 5. Аминокислотный состав протеинов в гидролизатах, полученных методом Ф-гидролизом из коллагенсодержащего сырья сардины, г/100 г белка
Table. 5. Amino acid profile of protein hydrolysates after enzymatic hydrolysis of collagen-containing sardine raw materials. g/100 g of protein

Аминокислота	Головы		Хребты		Чешуя		«Идеальный» белок ФАО/ВОЗ
	содержание	АК-скор, %	содержание	АК-скор, %	содержание	АК-скор, %	
Аланин	8,61		6,61		13,74		
Аргинин	2,52		4,82		13,39		
Аспарагин	0,01		0		0		
Аспарагиновая кислота	9,03		7,57		18,63		
Цитруллин	0		0,07		0,24		
Цистин	0,68		0,54		1,39		
Глутамин	1		0,91		2,18		
Глутаминовая кислота	13,95		12,39		29,57		
Глицин	7,77		5,27		10,62		
Гистидин	3,62	241,3	2,86	190,6	5,56	370,7	1,5
Гидрокси-пролин	2,61		1,22		2,44		
Изолейцин	4,82	114,8	4,96	118,1	10,2	242,9	4,2
Лейцин	7,93	165,2	6,76	140,8	15,65	326,0	4,8
Лизин	9,21	219,3	8,48	201,9	18,63	443,6	4,2
Метионин	3,82	131,7	2,98	102,8	7,78	268,3	2,9
Орнитин	2,98		1,07		0,37		
Фенилаланин	4,77	170,4	3,91	139,6	8,56	305,7	2,8
Пролин	6,37		4,61		9,58		
Серин	4,6		1,92		4,16		
Таурин	1,67		1,13		0,59		
Треонин	4,75	169,6	4,25	151,8	10,07	359,6	2,8
Тирозин	2,3		2,57		6,09		
Валин	6,84	162,9	5,66	134,8	12,11	288,3	4,2
Прочие показатели							
Содержание протеина, г/100 г	88,0		91,4		89,2		
Сухие вещества (%)	98		98		98		
Выход продукта по протеину (%)	56,3		75,4		65		

Из данных табл. 5 следует, что из всех видов отходов Ф-способ обеспечивает высокий выход протеина (56,3–75,4%), при этом в конечном продукте содержание протеинов высоко и составляет 88,0–91,4%. Все протеиновые смеси полноценны по качеству белка, поскольку содержат все незаменимые аминокислоты (кроме триптофана). Наиболее богаты аминокислотами, в том числе незаменимыми, протеины чешуи, что можно объяснить содержанием прирезей мяса рыбы (чешуя снималась машинным способом). Преобладающими заменимыми аминокислотами во всех протеиновых продуктах являются (г/100 г белка): аспарагиновая кислота (7,57–18,63), глутаминовая кислота (12,39–29,57), аланин (6,61–13,74), глицин (5,27–10,62). Все протеиновые продукты отличаются высоким аминокислотным АК-скором отдельных незаменимых аминокислот (более 100%), особенно высок данный показатель у протеинов из чешуи (268,3–443,6%). С учетом высокого выхода низкомолекулярной фракции пептидов (см. рис. 2), можно констатировать, что Ф-гидролиз позволяет получать пептидные смеси высокой чистоты с высоким содержанием незаменимых аминокислот и таких ценных заменимых аминокислот, как глицин. Ф-гидролиз рекомендуется при комплексном использовании вторичного рыбного сырья на пищевые цели с приоритетным получением ценных низкомолекулярных пептидных смесей.

Таблица 6. Аминокислотный состав протеинов гидролизатов, полученных методом Т-гидролиза из коллагенсодержащего сырья сардины

Table. 6. Amino acid profile of protein hydrolysates after thermal hydrolysis of collagen-containing sardine raw materials. g/100 g of protein

Аминокислота	Головы		Хребты		Чешуя		«Идеальный» белок ВОЗ
	содержание	АК-скор, %	содержание	АК-скор, %	содержание	АК-скор, %	
Аланин	7,87		7,79		9,72		
Аргинин	7,41		7,69		8,27		
Аспарагиновая кислота	5,66		7,12		8,93		
Цитруллин	0,06		0		0,02		
Цистин	0,11		0,23		0,23		
Глутамин	0,7		0,96		1,15		
Глутаминовая кислота	10,2		12,81		17,52		
Глицин	11,36		7,72		8,45		
Гистидин	2,15	143,3	2,89	192,7	2,24	149,3	1,5
Гидроксипролин	5,39		2,74		3,29		
Изолейцин	1,86	44,3	3,05	72,6	2,95	70,2	4,2
Лейцин	2,93	61,0	4,52	94,2	4,49	93,5	4,8
Лизин	5,48	130,5	7,6	181,0	8,63	205,5	4,2
Метионин	1,95	67,2	2,68	92,4	2,76	95,2	2,9
Орнитин	0,07		0,11		0,13		
Фенилаланин	2,54	90,7	2,93	104,6	2,35	83,9	2,8
Пролин	5,08		6,07		4,63		

Окончание табл. 6

Аминокислота	Головы		Хребты		Чешуя		«Идеальный» белок ВОЗ
	содержание	АК-скор, %	содержание	АК-скор, %	содержание	АК-скор, %	
Серин	1,69		2,09		2,16		
Таурин	1,53		1,7		0,52		
Треонин	1,99	71,1	2,65	94,6	2,75	98,2	2,8
Тирозин	0,95		1,67		1,72		
Валин	3,35	79,8	3,71	88,3	5,17	123,1	4,2
Прочие показатели							
Содержание протеина, г/100 г	84,8		90		94,9		
Сухие вещества (%)	98		98		98		
Выход продукта по протеину (%)	46,8		41,6		27,5		

Из данных табл. 6 следует, что из всех видов отходов Т-гидролиз обеспечивает относительно низкий выход протеина (27,5–46,8%), однако в конечном продукте содержание протеинов достаточно высокое и составляет 84,8–94,9 %. Все протеиновые смеси содержат все незаменимые аминокислоты (кроме триптофана), в наибольшем количестве они содержатся в протеинах чешуи. Преобладающими заменимыми аминокислотами во всех протеиновых продуктах являются (г/100 г белка): глутаминовая кислота (10,2–17,52), аспарагиновая кислота (5,66–8,63), аргинин (7,41–8,27), глицин (7,72–11,36). Однако абсолютное содержание незаменимых аминокислот и их аминокислотные АКскоры ниже, чем в протеинах Ф-гидролиза. АКскоры более 100 % имеют лишь аминокислоты: гистидин (143,3–192,7 %), лизин (130,5–205,5 %) и валин (чешуя, 123,1 %), причем большая часть незаменимых аминокислот имеет АКскоры менее 100 %: изолейцин (44,3–72,6 %), лейцин (61,0–94,2 %), метионин (67,2–95,2 %), треонин (71,1–98,2 %). Это свидетельствует о пониженной биологической ценности протеинов Т-гидролиза относительно получаемых Ф-гидролизом. С учетом повышенного содержания протеинов в протеиновом продукте при Т-гидролизе (см. табл. 2 и 3), при недостаточно высоком выходе низкомолекулярной фракции пептидов (см. рис. 2) и ее пониженной аминокислотной сбалансированности (см. табл. 6), принимая во внимание минимальные количества примесей жирового и минерального характера, можно рекомендовать Т-гидролиз при комплексной переработке вторичного рыбного сырья на кормовые цели. В данном случае протеиновая и протеино-минеральные фракции содержат достаточно много белка, их можно смешивать или использовать отдельно, а жировая фракция при минимальных примесях может быть полезной в составе сельскохозяйственных кормов.

Таблица 7. Аминокислотный состав протеинов гидролизатов, полученных комбинированным Ф-Т-гидролизом из коллагенсодержащего рыбного сырья сардины
 Table. 7 Amino acid profile of protein hydrolysates after enzymatic and thermal hydrolysis of collagen-containing sardine raw materials. g/100 g of protein

Аминокислота	Головы		Хребты		Чешуя		«Идеальный» белок ФАО/ВОЗ
	содержание	АК-скор, %	содержание	АК-скор, %	содержание	АК-скор, %	
1	2	3	4	5	6	7	8
Аланин	6,20		5,34		5,77		
Аргинин	5,04		4,60		5,12		
Аспарагиновая кислота	6,30		6,33		7,79		
Цистеин	0,61		0,56		0,68		
Глутаминовая кислота	9,22		9,86		12,8		
Глицин	9,16		6,21		6,35		
Гистидин	2,15	143,3	2,41	160,7	2,25	150,0	1,5
Гидроксипролин	2,01		1,00		1,11		
Гидроксизин	0,43		0,26		0,17		
Изолейцин	2,75	65,5	3,24	77,1	3,72	88,6	4,2
Лейцин	4,85	101,0	5,43	113,1	6,48	135,0	4,8
Лизин	5,57	132,6	6,11	145,5	7,80	185,7	4,2
Метионин	2,22	76,6	2,26	77,9	2,81	96,9	2,9
Орнитин	0,08		0,32		0,45		
Фенилаланин	2,75	98,2	2,78	99,3	3,12	111,4	2,8
Пролин	5,40		4,06		4,06		
Серин	2,45		2,44		1,97		
Таурин	1,06		0,80		0,20		
Треонин	2,81	100,4	3,07	109,6	2,84	101,4	2,8

Окончание табл. 7

Аминокислота	Головы		Хребты		Чешуя		«Идеальный» белок ФАО/ВОЗ
	содержание	АК-скор, %	содержание	АК-скор, %	содержание	АК-скор, %	
Триптофан	0,16	11,4	0,14	0,1	0,42	0,3	1,4
Тирозин	1,41		1,78		1,99		
Валин	3,83	91,2	3,95	94,0	4,60	109,5	4,2
3-метилгистидин	0,07		0,07		0,04		
Прочие показатели							
Содержание протеина г/100 г	89,4		72,3		96,3		
Сухие вещества (%)	98		98		98		
Выход продукта по протеину (%)	80,6		91,3		83,9		

Из данных табл. 7 следует, что Ф-Т-способ обеспечивает самый высокий выход протеина (80,6–91,3 %), при этом в конечном продукте содержание протеинов также самое высокое и составляет 89,4–96,3 %. Протеиновые смеси содержат все незаменимые аминокислоты (и даже немного триптофана). Данный факт обусловлен присутствием на чешуе прирезей мяса, снимаемых чешуесъемной машиной, что увеличивает биологическую ценность суммарного белка. Протеины чешуи также представлены незаменимыми аминокислотами в повышенном количестве относительно протеиновых фракций голов и хребтов, однако значения их аминокислотных скоров АКскоры количественно меньше (111,4–185,7 %), чем в гидролизатах Ф-гидролиза (241,9–443,6 %). Преобладающими заменимыми аминокислотами во всех протеиновых продуктах являются (г/100 г белка): глутаминовая кислота (9,22–12,8 %), аспарагиновая кислота (6,30–7,79%), аланин (5,34–6,20 %), глицин (6,21–9,16 %). С учетом высокого выхода продукта по протеину, высокого содержания низкомолекулярной фракции пептидов (см. рис. 2) и их высокой аминокислотной сбалансированности (см. табл. 7) можно констатировать, что Ф-Т-гидролиз является наиболее рациональным способом гидролиза вторичного рыбного сырья для получения протеинов для пищевых целей.

Низкомолекулярные пептиды из чешуи сардины были успешно апробированы в составе биопродуктов для спортивного питания «АпиколлТонус» в качестве источников пластических материалов для опорно-двигательного аппарата, аминокислот-иммуномодуляторов, нейрорегуляторов и антиоксидантов [13–14]. Протеины из костей трески вошли в состав пищевой добавки для геродиетического питания «Герогрэте», вносимой в состав кисломолочных продуктов и хлебобулочных изделий, предназначенных для питания пожилых людей [15–16].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты экспериментов позволяют сделать вывод, что все три способа гидролиза эффективно разделяют органический материал коллагенсодержащего вторичного рыбного сырья на три фракции – протеиновую (водорастворимую), жировую и белково-минеральную (осадочную). Качество протеиновых продуктов по содержанию низкомолекулярных пептидов и их аминокислотному составу можно регулировать, варьируя режимами, видом фермента, условиями обработки, температурой гидролиза и другими факторами. Рациональный способ гидролиза определяется видом сырья и целевыми параметрами конечного продукта.

Для получения протеинов пищевого назначения с максимально сохраненным белковым биопотенциалом сырья и содержанием активных протеинов в своем составе более 90 %, отличающимся повышенным содержанием незаменимых аминокислот, наиболее рациональным является Ф-гидролиз, позволяющий получать 97,6–98,1 % массы легко усвояемых активных пептидов (ММ менее 10 кДа) с наиболее высоким содержанием всех незаменимых аминокислот (АКскор 268,3–443,6 %), а также ценных заменимых аминокислот (глицин, аланин, аспарагиновая и глутаминовая аминокислоты).

Для получения из вторичного коллагенсодержащего рыбного сырья протеинов кормового назначения с относительно пониженным содержанием легко усвояемой низкомолекулярной фракции (40,6–67,8 %) и несколько пониженной аминокислотной сбалансированностью (АКскор 44,3–149,3 %) рекомендуется проводить Т-гидролиз, отличающийся относительной простотой и получением белковой фракции с пониженным содержанием жира и минеральных веществ. Образующаяся при этом белково-минеральная добавка содержит относительно повышенное содержание белка и минеральных веществ и может быть эффективно применима в составе кормов наряду с протеиновой фракцией.

Ф-Т-гидролиз коллагенсодержащего рыбного сырья является наиболее универсальным за счет более широкой варьируемости режимов и приемов, что позволяет глубже гидролизовать практически любые рыбные ткани с получением протеиновых продуктов, содержащих низкомолекулярной легкоусвояемой фракции 46,2–91,7 % массы протеинов, все незаменимые аминокислоты в сбалансированном состоянии. Целевые протеиновые продукты могут быть использованы как для пищевых, так и кормовых целей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Биотехнология рационального использования гидробионтов: учебник / под ред. О. Я. Мезеновой. – Санкт-Петербург: Лань, 2013. – 412 с.
2. Хелинг, А. Протеины из вторичного сырья – инновационные компоненты в экологичном промышленном производстве / А. Хелинг, В. В. Волков // Известия КГТУ. – 2015. – № 38. – С. 83–92.
3. Höhling, A. Herstellung und Charakterisierung von Proteinhydrolysaten tierischer Herkunft als N-Quelle für Fermentationsprozesse, DECHEMA Frühjahrstagung, Frankfurt (M), 2013
4. Мезенова, О. Я. Проектирование поликомпонентных пищевых продуктов / О. Я. Мезенова. – Санкт-Петербург: Проспект науки, 2015. – 224 с.

5. Исследования различных способов гидролитического процесса вторичного рыбного сырья консервного производства / А. Хелинг [и др.] // Известия МАХ. – 2016. – № 1. – С. 3-8.
6. Vanyushin, B.F. Short Biologically Active Peptides as Epigenetic Modulators of Gene Activity / B.F. Vanyushin, V.K. Khavinson // Epigenetics – A Different Way of Looking at Genetics. – Springer International Publishing Switzerland. – 2016. – P. 69-90.
7. Протеины из вторичного рыбного сырья как инновационные компоненты спортивного питания / А. Хелинг [и др.] // Известия КГТУ. – 2015. – № 39. – С. 85–94.
8. Туровский, А. В. Введение в общую рецептуру: учебно-методическое пособие / Ф. В. Туровский, В. А. Николаевский, Л. М. Емельянова. – Воронеж: ВГУ, 2013. – 215 с.
9. Морозов, В. Г. Пептидные биорегуляторы (25-летний опыт экспериментального и клинического изучения): монография / В. Г. Морозов, В. Х. Хавинсон. – Санкт-Петербург: Наука, 1996. – 74 с.
10. Marine Proteins and Peptides. Biological activities and applications / edited by S.K. Kim. – John Wiley and Sons, 2013. – 785 p.
11. Беседнова, Н. Н. Иммуноактивные пептиды из гидробионтов и наземных животных: монография / Н. Н. Беседнова, Л. М. Эпштейн. – Владивосток: ФГУП «ТИНРО-центр», 2004. – 248 с.
12. Неклюдов, А. Д. Выделение коллагенов из органов и тканей млекопитающих / А. Д. Неклюдов // Экологические системы и приборы. – №11. – 2005. – С. 24.
13. Биотехнология гейнеров для спортивного питания на основе активных пептидов рыбной чешуи / О. Я. Мезенова [и др.] // Вестник биотехнологии и физико-химической биологии. – 2014. – № 1. – С. 20–24.
14. Патент РФ № 2552444. Композиция продукта с биологически активными свойствами / О. Я. Мезенова, Н. Ю. Мезенова, Л. С. Байдалинова. Опубликовано 10.06.2015.
15. Патент РФ № 2535754. Композиция для приготовления функционального кондитерского желеиногo продукта и способ его получения / О. Я. Мезенова, М. В. Матковская. Опубликовано 20.12.2014.
16. Патент РФ № 2535755. Композиция для приготовления функционального желеиногo продукта и способ его получения / О. Я. Мезенова, М. В. Матковская. Опубликовано 20.12.2014.

REFERENCES

1. Mezenova O. Ya., Safronova T. M., Sergeeva N. T., Sluckaya T. N. et. al. *Biotehnologiya racional'nogo ispol'zovaniya gidrobiontov: uchebnik pod redakciej Mezenovoj O. Ja.* [Biotechnology of rational utilization of hydrobionts: student's book edited by O. Ya. Mezenova]. Saint-Petersburg, Lan', 2013, 412 p.
2. Hyoling A., Volkov V. V. Proteiny iz vtorichnogo syr'ja – innovacionnye komponenty v ekologichnom promyshlennom proizvodstve [Proteins from by-products – innovative components in environmentally-friendly industrial production]. *Izvestija Kaliningradskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta*, 2015, no. 38, pp. 83-92.
3. Hyoling A. Herstellung und Charakterisierung von Proteinhydrolysaten tierischer Herkunft als N-Quelle für Fermentationsprozesse, DECHEMA Frühjahrstagung, Frankfurt (M), 2013

4. Mezenova O. Ya. *Proektirovanie polikomponentnyh pishhevyyh produktov* [Design of multicomponent food products]. Saint-Petersburg, Prospect nauki, 2015, 224 p.
5. Hyoling A., Grimm T., Volkov V. V., Mezenova N. Yu. Issledovaniya razlichnyh sposobov gidroliticheskogo processa vtorichnogo rybnogo syr'ja konservnogo proizvodstva [Study of different methods of hydrolysis process of canning by-products]. *Nauchno-teoreticheskij zhurnal "Vestnik MAH"*, 2016, no. 1, pp. 3-8.
6. Vanyushin B. F., Khavinson V. K. Short Biologically Active Peptides as Epigenetic Modulators of Gene Activity. *Epigenetics – A Different Way of Looking at Genetics*. Springer International Publishing Switzerland. 2016, pp. 69–90.
7. Hyoling A., Gimm T., Volkov V. V., Mezenova N. Yu. Proteiny iz vtorichnogo rybnogo syr'ja kak innovacionnye komponenty sportivnogo pitaniya [Proteins from fish by-products as innovative components of sport nutrition]. *Izvestija Kalininskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta*, 2015, no. 39, pp. 85–94.
8. Turovskij A. V., Nikolaevskij L. M., Emeljanova L. M. *Vvedenie v obshhuju recepturu: uchebno-metodicheskoe posobie* [Introduction into general recipe making: study guide]. Voronezh, Voronezh State University, 2013, 215 p.
9. Morozov V. G., Havinson V. H. *Peptidnye bioregulyatory (25-letnij opyt eksperimental'nogo i klinicheskogo izucheniya)* [Peptide bioregulators (25-year long experience of experiment and clinical research)]. Saint-Petersburg, Nauka, 1996, 74 p.
10. Marine Proteins and Peptides. Biological activities and applications, edited by S.K. Kim. John Wiley and Sons, 2013, 785 p.
11. Besednova N. N., Epshtejn L. M. *Immunoaktivnye peptidy iz gidrobiontov i nazemnyh zhivotnyh* [Immunoactive peptides from hydrobionts and animals]. Vladivostok, FGUP "TINRO", 2004, 248 p.
12. Neklyudov A. D. Vydelenie kollagenov iz organov i tkanej mlekopitayushih [Collagen extraction from organs and tissues of mammals]. *Ekologicheskie sistemy i pribory*, 2005, no. 11, 24 p.
13. Mezenova O. Ya., Mezenova N. Yu., Bajdalinova L. S. *Biotehnologiya gejnerv dlya sportivnogo poitaniya na osnove aktivnyh peptidov rybnj cheshui* [Biotechnology of gainers for sport nutrition on active peptide basis from fish scale]. *Vestnik biotehnologii i fiziko-himicheskoy biologii*, 2014, no. 1, pp. 20- 24.
14. Patent RU 2552444. Product composition with biologically active properties. Mezenova O. Ya., Mezenova N. Yu., Bajdalinova L. S. Published on 10.06.2015.
15. Patent RU 2535754. Composition for preparation of functional confectionary jelly product and its production method. Mezenova O. Ya., Matkovskaya M. V. Published on 20.12.2014.
16. Patent RU 2535755. Composition for preparation of functional jelly product and its production method. Mezenova O. Ya., Matkovskaya M. V. Published on 20.12.2014.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

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

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

Волков Владимир Владимирович – Калининградский государственный
технический университет; зам. директора технопарка;
E-mail: vladimir.volkov@klgtu.ru

Volkov Vladimir Vladimirovich – Kaliningrad State Technical University;
Deputy Chief of Technopark; E-mail: vladimir.volkov@klgtu.ru

Аксель Хелинг – биотехнологическое предприятие ANiMOX GmbH (Берлин,
Германия); доктор экономических наук; генеральный директор;
E-mail: a.hoehling@animox.de

Axel' Hoehling – Biotechnology company ANiMOX GmbH (Berlin, Germany);
Doctor of Economics; Director General; E-mail: a.hoehling@animox.de

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

Thomas Moersel – UBF-Untersuchungs-, Beratungs-, Forschungslaboratorium GmbH
(Altlandsberg, Germany); Doctor of Economic Sciences; Director General;
E-mail: thomas.moersel@ubf-research.com

Томас Гримм – биотехнологическое предприятие ANiMOX GmbH (Берлин,
Германия); директор; E-mail: thomas.moersel@ubf-research.com

Tomas Grimm – Biotechnology company ANiMOX GmbH;
Director; E-mail: thomas.moersel@ubf-research.com

Мезенова Наталья Юрьевна – Калининградский государственный технический
университет; кандидат технических наук; ведущий инженер кафедры пищевой
биотехнологии; E-mail: lost_13@inbox.ru

Mezenova Natalya Yurievna – Kaliningrad State Technical University;
PhD, Chief Engineer of the Department of Food Biotechnology;
E-mail: lost_13@inbox.ru

УДК 004.942

РЕГРЕССИОННАЯ МОДЕЛЬ ПЛОТНОСТИ ИМИТАЦИОННОГО ШПИКА

В. А. Наумов, Ю. Н. Коржавина, А. Г. Шибeko, В. И. Сингаев, Д. Л. Альшевский

REGRESSION MODEL OF IMITATION LARD DENSITY

V. A. Naumov, Yu. N. Korzhavina, A. G. Shibeko, V. I. Singaev, D. L. Alshevsky

Шпик является одним из наиболее популярных видов мясного сырья, использующихся в производстве колбас и мясных деликатесов, его качество зависит от многих факторов, в связи с чем при производстве возникает ряд трудностей. Недостаток мясного сырья и его низкое качество способствует поиску альтернативных решений, одним из которых является использование имитационного шпика. Таким образом, предприятие будет меньше зависеть от качества натурального шпика и его доступности. Использование имитационного шпика позволит получать на выходе продукт высокого и стабильного качества при низкой себестоимости. Кроме того, он устойчив к нагреву, что позволяет сохранить технологические свойства при термообработке. Благодаря предложению использовать растительные масла, полученный продукт можно будет реализовывать для изготовления вегетарианских, веганских продуктов или продуктов с пониженным содержанием животных жиров. При этом, в частности, при производстве сыровяленной рыбной колбасы возможно полностью уйти от их использования, заменив их растительными. В данной работе опытным путем исследована зависимость плотности полученного имитационного шпика от времени выдержки и количественного содержания многофункциональной смеси. Установлено, что увеличение количества добавки уменьшит время приобретения заданных реологических характеристик. Также определены зависимости рационального соотношения составных компонентов для реализации имитационного шпика на производстве. По результатам экспериментального исследования построена регрессионная модель. Выявлено, что для прогнозирования результатов процесса наиболее рационально использовать многочлен третьего порядка.

Внедрение имитационного шпика позволит обеспечить выпуск продукции высокого и стабильного качества, сбалансированного по жирно-кислотному составу, что будет способствовать увеличению конкурентоспособности на рынке.

имитационный шпик, математическая модель, растительные масла, сыровяленная рыбная колбаса

Lard is one of the most popular types of meat for processing used in production of sausages and meat delicacies. The quality of lard is impacted by a variety of factors. Due to that a number of manufacturing difficulties occur. The lack of material and its poor quality encourages a search for alternative solutions. Imitational lard is one of such solutions. This lard relieves the enterprise of dependency on availability and quality of natural lard. The use of imitational lard allows obtaining a product of higher quality

with at a lower production cost. In addition, imitational lard is resistant to heat, thus retaining its processing characteristics after heat treatment. Because lard is produced using plant oils, it's possible to produce vegan, vegetarian products or products with a low content of animal fat. In this particular case, it is possible to avoid using fats obtained from animals, replacing them with plant ones in production of raw dry-cured fish sausage. In this paper, the dependence of the density of the obtained imitation lard on aging time and quantitative content of the multifunctional mix has been studied experimentally. It has been established that an increase in the amount of the additive reduces acquisition time of the specified rheological characteristics. Dependencies of ratio of components for realization of imitation lard in production have been also found. Based on the results of the experimental study, a regression model has been developed. It has been found that to predict the results of the process it is most rational to use a third-order polynomial.

Introduction of imitation lard will ensure production of higher quality products, balanced in terms of fatty-acid composition, which will contribute to increasing marketability.

imitation lard; mathematical model; plant oils; raw dry-cured fish sausage

ВВЕДЕНИЕ

Математическое моделирование технологического процесса производства имитационного шпика позволяет оптимизировать режимы, обеспечивающие наилучшие технико-экономические показатели продукта. При этом возможно успешно управлять качеством продукта и анализировать его стабильность, а также закономерности изменения реологических свойств.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Плотность полученного имитационного шпика измеряется по методике согласно ГОСТ 26185-84 «Водоросли морские, травы морские и продукты их переработки. Методы анализа».

Емкости с имитационным шпиком помещаются на основание устройства Валента (рис. 1), и на поверхность студня опускается грибообразная насадка диаметром 16 мм и высотой 10 мм. Песок высыпается из грузового стакана в стакан для приемки груза до тех пор, пока насадка, прорвав студень, не проходит через него. После этого стакан для приема груза с имеющимся в нем песком взвешивается с абсолютной погрешностью не более 0,01 г, и рассчитывается прочность шпика [1].

Песок высыпается с постоянной скоростью от 10 до 12 г/с, отрегулированной перед началом опыта. Ход штока в направляющих роликах кронштейна регулируется. Регулировка проводится винтом. Шток должен ходить плавно, без заеданий и перекосов. Прочность студня выражается массой нагрузки в граммах, необходимой для прорыва студня, с учетом массы сосуда с песком и штока с насадкой и площадкой.

Каждый образец исследовался в трех точках для получения наиболее точных результатов. За окончание опыта принималась та масса, которая вызывала прорыв структуры.

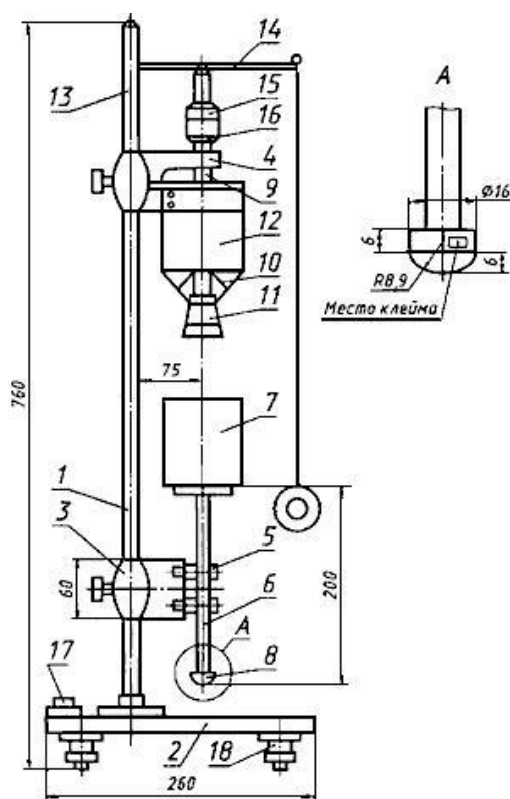


Рис. 1. Устройство Валента

1 – штатив; 2 – основание; 3 – подвижный кронштейн; 4 – неподвижный кронштейн; 5 – ролики; 6 – шток с площадкой; 7 – стакан для приемки груза; 8 – грибовидная насадка; 9 – направляющая; 10 – запорный шток; 11 – пробка; 12 – грузовой стакан с отверстием в коническом дне; 13 – ось; 14 – рычаг; 15 – колпачок; 16 – гайка; 17 – уровень; 18 – регулировочные ножки

Fig. 1. Valenta device 1 – tripod; 2 – base; 3 – movable bracket; 4 – fixed bracket; 5 – rollers; 6 – stem with a platform; 7 – glass for acceptance of weight; 8 – mushroom-shaped head; 9 – guide; 10 – latch rod; 11 – cork; 12 – glass with a hole in a conical bottom; 13 – axis; 14 – lever; 15 – cap; 16 – nut; 17 – level; 18 – leveling feet

Процесс приготовления экспериментальных образцов выглядит следующим образом. В куттер наливается вода и при низких оборотах вращения ножей вносится многофункциональная смесь. При этом необходимо, чтобы смесь равномерно распределилась по всему объему. Куттерованье ведется от 1 до 2 мин, затем в смесь вносится подсолнечное масло, и содержимое перемешивается 2–3 мин до получения однородной эмульсии, которая выгружается в емкости для выдержки при температуре от 0 до 4 °С.

Полученная масса представляет собой белую однородную эмульсию пластичной консистенции. В образцах с разной долей функциональной смеси после выдержки в течение заданного времени определяется их прочность.

Процентное соотношение между многофункциональной смесью, маслом и водой представлено в табл. 1.

Таблица 1. Рецептурный состав имитационного шпика

Table 1. Recipe composition of imitation lard

Соотношение компонентов, %	Образцы						
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	№ 7
Многофункциональная смесь	1	2	3	4	5	6	7
Масло	21	21	20	20	20	20	20
Вода	78	77	77	76	75	74	73

Промежутки времени для проведения исследований составляют 0,5 ч, 1, 2,5, 6, 18, 23, 31 и 42 ч.

Из-за случайных факторов (в частности, неоднородности материала) при одинаковых условиях эксперимента (значениях X и Y) результаты Z могли различаться. Поэтому опыт при одних и тех же условиях повторялся не менее трех раз. Были найдены точечные оценки математического ожидания Z (табл. 2), среднего квадратичного отклонения и доверительные интервалы при уровне значимости $\beta = 0,05$.

Таблица 2. Средние значения экспериментального определения массы Z (г)

Table 2. Average values of experimental determination of mass Z (g)

Время, ч	Содержание добавки, %						
	1	2	3	4	5	6	7
0,5	501	540	653	682	755	1051	1060
1,5	521	545	711	715	787	1009	1212
2,5	557	635	724	739	973	1107	1246
6	575	734	974	1155	1615	1978	2456
18	595	865	977	1168	2727	3227	3345
23	739	1092	1221	2106	2894	3442	4188
31	603	939	1235	1524	1708	2776	3574
42	561	588	896	1216	1306	1918	2642

При этом погрешность определения массы на весах была малой (0,01 г) и в дальнейшем во внимание не принималась.

В качестве регрессионной модели может быть использован многочлен k -го порядка $Z = f_k(X, Y)$.

Многочлен аппроксимации 1-го порядка:

$$f_1(X, Y) = a_0 + a_1 \cdot X + a_2 \cdot Y. \quad (1)$$

Многочлен аппроксимации 2-го порядка:

$$f_2(X, Y) = a_0 + a_1 \cdot X + a_2 \cdot Y + a_3 \cdot X^2 + a_4 \cdot Y^2 + a_5 \cdot X \cdot Y. \quad (2)$$

Многочлен аппроксимации 3-го порядка:

$$f_3(X, Y) = a_0 + a_1 \cdot X + a_2 \cdot Y + a_3 \cdot X^2 + a_4 \cdot Y^2 + a_5 \cdot X \cdot Y + a_6 \cdot X^3 + a_7 \cdot Y^3 + a_8 \cdot X^2 \cdot Y + a_9 \cdot X \cdot Y^2. \quad (3)$$

Коэффициенты в эмпирических зависимостях были найдены методом наименьших квадратов (табл. 3).

Таблица 3. Значения коэффициентов многочленов аппроксимации
Table 3. Values of coefficients of approximation polynomials

Коэффициенты	Ед. измерения	Значения коэффициентов		
		$k = 1$	$k = 2$	$k = 3$
a_0	г	- 255,105	329,047	666,160
a_1	г/ч	21,619	81,731	- 9,353
a_2	г/пр.	320,210	- 98,383	- 191,181
a_3	г/ч ²	-	- 2,402	- 0,499
a_4	г/пр. ²	-	35,993	52,572
a_5	г/(ч·пр.)	-	8,395	30,317
a_6	г/ч ³	-	-	0,0215
a_7	г/пр. ³	-	-	- 3,031
a_8	г/(ч ² ·пр.)	-	-	- 0,823
a_9	г/(ч·пр. ²)	-	-	1,272

Оценим качество аппроксимации многочленом k -й степени с помощью средней квадратичной относительной погрешности [7]:

$$\varepsilon_k = 100 \cdot \sqrt{\frac{1}{n-k-1} \cdot \sum_{i=1}^n \left(1 - \frac{Z_i}{f_k(X_i, Y_i)}\right)^2} \quad (4)$$

где n – объем выборки, в данном случае $n = 56$ – количество опытов, проведенных для различных значений аргументов.

Результаты расчета по формуле (4) представлены в табл. 4. Многочлен 2-й степени, обычно применяемый для аппроксимации эмпирической функции 2-х переменных в исследованиях по пищевой технологии (см. [3–5]), дает большую относительную погрешность (в среднем 69 %). По формальным признакам, казалось бы, нужно принять $k = 4$. Но при $k = 3$, увеличение погрешности менее одного процента, а модель – проще. Поэтому за базовый принимаем аппроксимационный многочлен 3-й степени $Z = f_3(X, Y)$ – формула (3).

Таблица 4. Погрешность аппроксимации
Table 4. Approximation error

Порядок аппроксимации, k	1	2	3	4	5
Относительная погрешность аппроксимации, ε_k (%)	116,8	69,0	13,3	12,4	13,0

На рис. 2 показано сравнение экспериментальных данных с результатами расчетов по формулам (2) и (3) при двух значениях Y . Расчет по формуле (3) дает результаты заметно ближе к экспериментальным данным, чем по формуле (2). Кроме того, аппроксимационный многочлен 3-й степени большей частью остается внутри доверительного интервала, построенного для уровня значимости $\beta = 0,05$.

Сравнение контурных графиков на рис. 3 и 4 показывает, что использование аппроксимации 3-го порядка позволяет гораздо точнее определить область значений переменных (X, Y), в которой реализуются требуемые величины Z .

Все это подтверждает преимущество использования многочлена 3-й степени для прогнозирования результатов исследуемого процесса.

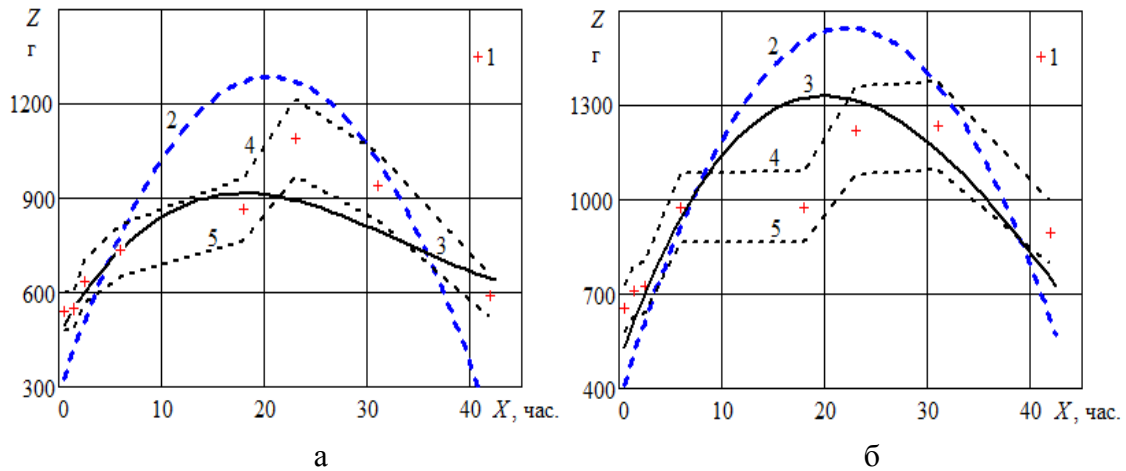


Рис. 2. Срез зависимости Z от X: а – при $Y = 2\%$; б – при $Y = 3\%$.

1 – экспериментальные точки; 2 – расчет по формуле (2), 3 – по (3);

4, 5 – верхняя и нижняя границы доверительного интервала

Fig. 2. Dependence of Z on X: a – when $Y = 2\%$; b – when $Y = 3\%$. 1 – experimental points; 2 – calculation by formula (2), 3 – according to (3); 4, 5 – upper and lower boundaries of the confidence interval

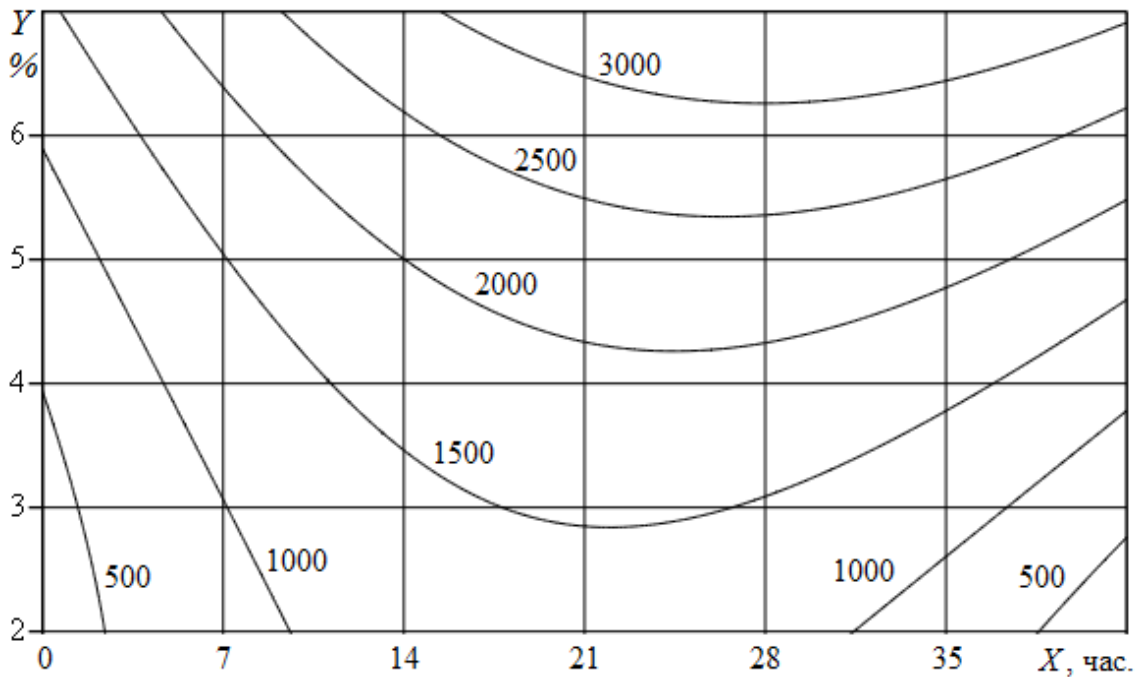


Рис. 3. Контурный график с аппроксимацией 2-го порядка $Z = f_2(X, Y)$

Fig. 3. Contour graph with approximation of the second order $Z = f_2(X, Y)$

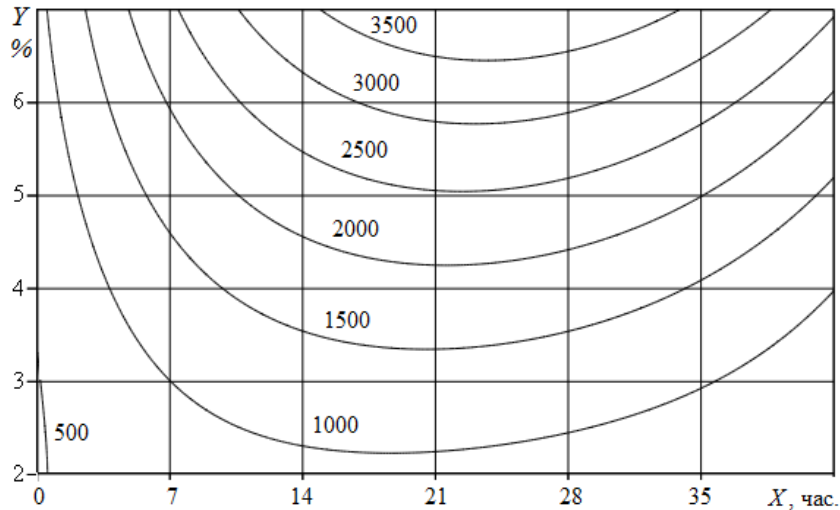


Рис. 4. Контурный график с аппроксимацией 3-го порядка $Z = f_3(X, Y)$

Fig. 4. Contour graph with approximation of the third order $Z = f_3(X, Y)$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана регрессионная модель плотности имитационного шпика. Показано, что использование многочлена второй степени для аппроксимации экспериментальной зависимости функции двух переменных в исследуемом процессе приводит к большой погрешности (в среднем 69 %). Средняя квадратичная относительная погрешность аппроксимации третьего порядка составляет 13,3 %. Применение многочленов выше 3-й степени нецелесообразно, такое усложнение модели не позволяет существенно повысить точность расчетов.

Наиболее рациональным, с точки зрения производства, является использование многофункциональной смеси с массовой долей от 3 до 5 %. В случае необходимости интенсификации процесса изготовления имитационного шпика и целесообразности сокращения времени приобретения заданных реологических характеристик, шпик рекомендуется изготавливать с массовой долей функциональной смеси от 6 до 7 %.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ГОСТ 26185-84 Водоросли морские, травы морские и продукты их переработки. Методы анализа, 2010.
2. Байер, Е. Тенденции развития мясной отрасли в мире / Е. Байер // Мясная индустрия. – 2013. – № 10. – С. 12–13.
3. Потапова, В. А. Разработка технологии функциональных рыборастительных снеков с использованием биопотенциала вторичного рыбного сырья и топинамбура (*Helianthus Tuberosus*): дис. ... канд. техн. наук по специальности 05.18.04 – технология мясных, молочных и рыбных продуктов и холодильных производств; 05.18.07 – Биотехнология пищевых продуктов и биологических активных веществ / Потапова Валерия Александровна. – Калининград: ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2014. – 209 с.

4. Федосеева, Е. В. Разработка технологии пресервов из молок лососевых с применением ферментирования: дис. ... канд. техн. наук по специальности 05.18.04 – технология мясных, молочных и рыбных продуктов и холодильных производств / Федосеева Елена Владимировна. – Владивосток: ФГБОУ ВПО «ДАЛЬРЫБВТУЗ», 2015. – 158 с.

5. Матковская, М. В. Разработка технологий продукции геродиетического питания с применением биологически активных компонентов вторичного рыбного сырья: дис. ... канд. техн. наук по специальности 05.18.04 – технология мясных, молочных и рыбных продуктов и холодильных производств; 05.18.07 – Биотехнология пищевых продуктов и биологических активных веществ / Матковская Мария Владимировна. – Калининград: ФГБОУ ВО «КГТУ», 2016. – 210 с.

6. Кобзарь, А. И. Прикладная математическая статистика / А. И. Кобзарь. – Москва: Физматлит, 2006. – 816 с.

REFERENCES

1. GOST 26185-84 Vodorosli morskie, travy morskie i produkty ih pererabotki. Metody analiza [Marine algae, marine herbs and products of their processing. Analysis methods]. 2010.

2. Bayer E. Tendencii razvitija mjasnoj otrasli v mire [Development trends of the meat industry in the world]. *Mjasnaja industrija*, 2013, no. 10, pp. 12–13.

3. Potapova V. A. *Razrabotka tehnologii funkcional'nyh ryborastitel'nyh snekov s ispol'zovaniem biopotenciala vtorichnogo rybnogo syr'ja i topinambura (Helianthus Tuberosus)*. Diss. kand. tehn. nauk [Process development of functional fish snacks using biopotential of secondary fish raw materials and Jerusalem artichoke (Helianthus Tuberosus). PhD thesis in Engineering]. Kaliningrad, 2014, 209 p.

4. Fedoseeva E. V *Razrabotka tehnologii preservov iz molok lososevyh s primeneniem fermentirovaniya*. Diss. kand. tehn. nauk [Process development of preserves from salmon milt with application of fermentation. PhD thesis in Engineering]. Vladivostok, 2015, 158 p.

5. Matkovskaya M. V. *Razrabotka tehnologij produkcii gerodieticheskogo pitaniya s primeneniem biologicheski aktivnyh komponentov vtorichnogo rybnogo syr'ja*. Diss. kand. tehn. nauk [Process development for elderly nutrition products using biologically active components of secondary fish raw materials. PhD thesis in Engineering]. Kaliningrad, 2016, 210 p.

6. Kobzar A. I. *Prikladnaja matematicheskaja statistika* [Applied mathematical statistics]. Moscow, Fizmatlit, 2006, 816 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

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

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

Korzhavina Yulia Nikolaevna – Калининградский государственный технический университет; студент; E-mail: julia_k2016@mail.ru

Korzhavina Yulia Nikolaevna – Kaliningrad State Technical University; student;
E-mail: julia_k2016@mail.ru

Шибeko Анна Геннадьевна – Калининградский государственный технический университет; аспирант; коммерческий директор ООО «Евроспецпродукт»;
E-mail: anya-shibeko@yandex.ru

Shibeko Anna Gennadyevna – Kaliningrad State Technical University; graduate student;
Commercial director of «Evropspeetsprodukt» Ltd; E-mail: a.shibeko@yandex.ru

Сингаев Виктор Игоревич – Калининградский государственный технический университет; студент; E-mail: vikes399@gmail.com

Singaev Victor Igorevich – Kaliningrad State Technical University; student;
E-mail: vikes399@gmail.com

Альшевский Дмитрий Леонидович – Калининградский государственный технический университет; доцент, кандидат технических наук; доцент кафедры технологии продуктов питания; начальник управления профориентационной работы и содействия трудоустройству;
E-mail: alshevsky@klgtu.ru

Alshevsky Dmitry Leonidovich – Kaliningrad State Technical University;
PhD in Engineering; Associate Professor at the Department of Food Technology;
Head of Career and Employment Assistance;
E-mail: alshevsky@klgtu.ru

УДК 593.92+639.27/29

СПОСОБЫ ПОДГОТОВКИ МОРСКИХ ЗВЕЗД
К ПРОМЫШЛЕННОЙ ПЕРЕРАБОТКЕ

Е. В. Шадрина, С. Н. Максимова, В. Д. Богданов

METHODS OF PREPARING SEA STARS FOR INDUSTRIAL PROCESSING

E. V. Shadrina, S. N. Maksimova, V. D. Bogdanov

Разработка технологии промышленной переработки морских звезд является важной задачей, стоящей перед морскими хозяйствами, специализирующимися на выращивании объектов мариккультуры. Так, в бух. Северной Приморского края морские звезды *патирия гребешковая* и *эвастерия колючая*, являясь хищниками, наносят урон марихозяйству по выращиванию двустворчатых моллюсков. Поэтому актуальным является их удаление с плантаций и дальнейшая переработка. При разработке новых технологий обоснование рациональных технологических режимов позволит снизить затраты на производство готового продукта. С этой целью разработаны способы подготовки морских звезд к промышленной переработке, позволяющие сократить расход энергии при дальнейшем их замораживании. Предложены два способа по обезвоживанию морских звезд: выдерживание живых морских звезд на перфорированной поверхности и ударно-механическое воздействие с последующим выдерживанием на перфорированной поверхности. На основании расчетов энергетических затрат на замораживание при использовании разных способов предварительной подготовки обоснована целесообразность применения комбинированного способа. Рекомендовано ударно-механическое воздействие до размягчения покровной ткани морских звезд в сочетании с последующим выдерживанием на перфорированной поверхности в течение 3–4 ч при температуре 15 град. С. Использование предварительной подготовки морских звезд позволит снизить энергоемкость процесса замораживания на 23,1 %, а при ударно-механическом воздействии с последующим стеканием – на 51,3 %.

морские звезды, предварительная подготовка, обезвоживание, механическое воздействие, количество теплоты, расход энергии

Development of a technology for industrial processing of sea stars is an important task in marine farms focusing on cultivation of marine culture facilities. For example, in the North Bay of the Primorskiy region, sea stars *patiria pectinifera* and *evastarias echinosoma* cause damage to agriculture by eating mussels. In the development of new technologies, justification of rational technological modes allows to reduce costs in the production of finished products. For this purpose, methods of sea stars preparation for industrial processing have been developed, allowing for the reduction of power consumption during their further freezing.

There are two methods for dehydration of sea stars: exposure of live sea stars on a perforated surface and shock-mechanical impact with subsequent exposure on the perforated surface.

On the basis of calculations of power expenses on sea stars freezing using different ways of their preliminary preparation expediency, the use of the combined method has been substantiated. Shock-mechanical action is recommended before softening the cover tissue of the sea stars, combined with subsequent exposure on a perforated surface for 3-4 hours at a temperature of 15 deg C.

The use of sea stars pretreatment will reduce the energy consumption of the freezing process by 23,1 %, and in case of mechanical impact with subsequent draining-by 51,3 %.

sea stars, pretreatment, dehydration, mechanical action, amount of heat, energy consumption

ВВЕДЕНИЕ

Морские звезды образуют большие скопления в местах огороженных марихозяйств и играют существенную роль в жизни донной морской фауны в силу своей численности. Наибольший ущерб морские звезды наносят плантациям по разведению морского гребешка, и, как следствие, возникает вопрос об освобождении от них и о дальнейшей переработке [1].

При разработке технологии промышленной переработки морских звезд целесообразно обосновать способы их предварительной подготовки.

Особенностью биологического строения иглокожих является амбулакральная гидравлическая система, которая служит для движения, дыхания, выделения и осязания и осуществляется амбулакральными ножками. Система наполнена водой под давлением и дает отростки в каждую ножку. На спинной стороне тела располагается мадрепоровая пластинка, представляющая собой фильтр, через который морская вода входит в амбулакральную систему и выходит из нее [2].

Цель настоящих исследований – разработка способов подготовки морских звезд к промышленной переработке, позволяющих уменьшить расход энергии при замораживании.

Исследования проводились в научно-производственном департаменте марикультуры ФГБОУ ВО «Дальрыбвтуз» (пос. Славянка, бух. Северная, Хасанский р-н, Приморский край).

Объекты исследования: морские звезды патирия гребешковая (*Patiria pectinifera*) и эвастерия колючая (*Evasterias echinosoma*).

В работе использовались физические и математические методы исследований.

Определение массы звезд осуществляли путем взвешивания на лабораторных весах АСОМ JW-1 с точностью до сотых долей и настольных весах АСОМ PW-200.

Потери массы сырья определялись как отношение массы живой звезды к массе звезды после отделения влаги, выраженное в процентах.

Измерение температуры осуществлялось с помощью электрического термометра Checktemp 1 HI 98509 (погрешность $\pm 0,2$ град. С (-30 до 120 град. С)).

Расчет количества теплоты осуществляли по формуле:

$$Q = C_v W_0 (t_{\text{нач}} - t_{\text{кр}}) + W q + C_l W (t_{\text{кр}} - t_{\text{к}}),$$

где Q – количество теплоты на замораживание; W_0 – масса охлаждаемой воды, кг; W – масса замораживаемой воды, кг; q – удельная теплота кристаллооб-

разования, кДж/кг; $C_{л}$ – теплоемкость льда, кДж/кгК; $t_{нач}$ – температура начальная, град. С; $t_{кр}$ – температура кристаллизации, град. С; $t_{к}$ – температура конечная, град. С.

Для расчета принята исходная масса сырья (морская звезда), равная 1000 кг.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Во время экспериментальных работ в бух. Северной было обнаружено, что после вылова в процессе хранения в емкостях происходит выделение звездами значительного количества биологической жидкости. Морские звезды остаются живыми длительное время (более 48 ч), образуя плотный пласт практически без полостей, а выделившаяся жидкость полностью покрывает поверхность звезд. После удаления жидкости из емкости, спустя некоторое время, вновь наблюдается выделение жидкости. Таким образом, живые звезды, выделяя жидкость из амбулакральной системы, создают себе среду для выживания.

Предварительное выдерживание морских звезд в течение заданного времени или разрушение амбулакральных ножек путем ударно-механического воздействия на покровную ткань с последующим стеканием позволит удалить влагу из амбулакральной системы и полостную (биологическую) жидкость, прекратив, таким образом, самообводнение морских звезд.

Во время исследования было поставлены эксперименты по обезвоживанию живых морских звезд двумя способами: 1-й способ – выдерживание живых морских звезд на перфорированной поверхности; 2-й способ – комбинированный (ударно-механическое воздействие и последующее выдерживание на перфорированной поверхности).

В первом случае звезд выдерживали на перфорированной поверхности при температуре 5, 15, 25 град. С для дальнейшего стекания влаги в течение 16 ч с интервалом измерения массы – 1 ч. Потери массы морских звезд при выдерживании на перфорированной поверхности в течение заданного времени представлены в табл. 1.

Таблица 1. Потери массы морских звезд при выдерживании на перфорированной поверхности при температуре 5-25 град. С в течение 16 ч

Table 1. Sea stars mass loss while keeping on a perforated surface at a temperature of 5–25 degrees within 16 hours

Температура окружающей среды, град. С	Патирия гребешковая	Эвастерия колючая
5	11,9	15,1
15	14,6	18,0
25	22,5	35,0

Как видно из представленных результатов, потери массы морских звезд за счет выделения жидкости у эвастерии колючей составили от 15,1 до 35,0 %, а у патирии гребешковой – от 11,9 до 22,5 %. Полученные различия объясняются строением скелета и составом покровной ткани изучаемых биологических объектов.

При этом величина потерь зависит не только от вида морских звезд, но и от температуры окружающей среды, при повышении которой количество выделившейся жидкости увеличивается.

Следует отметить, что по истечении 8 ч. в условиях эксперимента наблюдалось незначительное изменение массы тела морских звезд, при этом объекты оставались живыми при температуре окружающей среды от 5 до 15 град. С.

При реализации второго способа предварительной подготовки морские звезды подвергались ударно-механическому воздействию до размягчения покровной ткани и последующему выдерживанию при температуре 5, 15, 25 град. С на перфорированной поверхности для удаления жидкости в течение 8 ч с интервалом измерения потерь массы – 1 ч (табл. 2).

Таблица 2. Потери массы морских звезд после ударно-механического воздействия при выдерживании на перфорированной поверхности при температуре 5–25 град. С в течение 8 ч

Table 2. Sea stars mass loss after a mechanical shock with exposure on a perforated surface at a temperature of 5–25 degrees within 8 hours

Температура окружающей среды, град. С	Патирия гребешковая	Эвастерия колючая
5	34,6	38,4
15	36,0	40,0
25	39,8	41,9

Представленные данные показывают, что различия в количестве потерь жидкости у патирии и эвастерии при использовании комбинированного способа меньше, чем при первом способе.

Потери массы за счет выделения жидкости при ударно-механическом воздействии и последующем выдерживании морских звезд на перфорированной поверхности при указанном температурном диапазоне составили: у эвастерии колючей – 38,4–41,9 %, у патирии гребешковой – 34,6–39,8 %. При этом также наблюдалась тенденция увеличения потерь массы морских звезд при повышении температуры.

Анализ приведенных результатов экспериментальных исследований свидетельствует, что рациональным с учетом интенсивности удаления жидкости после механического воздействия является выдерживание морских звезд на перфорированной поверхности при температуре окружающей среды 15 град. С в течение 3–4 ч. Дальнейшее увеличение как температуры, так и продолжительности процесса не приводит к значительному изменению величины потерь массы морских звезд.

Проведенные исследования по удалению жидкости из морских звезд показали, что при рекомендуемом температурном режиме 15 град. Первый способ обработки морских звезд позволил снизить их обводнение на 18 %, а второй – на 40 %.

Таким образом, рациональным способом предварительной подготовки морских звезд к дальнейшей технологической обработке можно считать комбинированный способ, предполагающий ударно-механическое воздействие до размяг-

чения покровной ткани объектов в сочетании с последующим выдерживанием на перфорированной поверхности в течение 3-4 ч при температуре 15 град. С.

На основании полученных экспериментальных данных произведен расчет энергетических затрат на замораживание морских звезд (на примере эвастерии колючей, как наиболее обводненного объекта).

Для расчета приняты следующие исходные данные: содержание воды в морской звезде – 78 %; содержание сухих веществ – 22 %; потери воды при выдерживании живых морских звезд – 18 % от их массы, при ударно-механическом воздействии и стекании – 40 % от массы звезд.

Количество воды, которое необходимо охладить до температуры минус 1 град. С – $W_0 = 780$ кг.

Количество воды, которое необходимо заморозить до температуры минус 18 град. С при замораживании морских звезд без подготовки (выдерживания или ударно - механического воздействия и стекания) рассчитывается следующим образом.

В твердое состояние при замораживании до минус 18 град. С переходит около 85 % всей воды, т. е. $W = 780 \text{ кг} \times 0,85 = 663$ кг.

Расчет количества теплоты для замораживания морских звезд без подготовки составляет:

$$Q = 4,19 \times 780 \times (5 - (-1)) + 663 \times 335,2 + 2,10 \times 663 \times (-1 - (-18)) = 265508,9 \text{ кДж.}$$

Расчет количества теплоты для замораживания морских звезд с предварительной подготовкой первым способом осуществляется следующим образом.

Количество воды, которое необходимо охладить до температуры минус 1 град. С – $W_0 = 780 - 180 = 600$ кг.

В твердое состояние при замораживании до минус 18 град. С переходит около 85 % всей воды, т. е. $W = 600 \text{ кг} \times 0,85 = 510$ кг.

Тогда количество теплоты составляет:

$$Q = 4,19 \times 600 \times (5 - (-1)) + 510 \times 335,2 + 2,10 \times 510 \times (-1 - (-18)) = 204243,0 \text{ кДж.}$$

Расчет количества теплоты для замораживания морских звезд с предварительной подготовкой вторым способом осуществляется аналогично.

Количество воды, которое необходимо охладить до температуры минус 1 град. С, $W_0 = 780 - 400 = 380$ кг.

В твердое состояние при замораживании до минус 18 град. С переходит около 85 % всей воды, т. е. $W = 380 \text{ кг} \cdot 0,85 = 323$ кг.

$$Q = 4,19 \times 380 \times (5 - (-1)) + 323 \times 335,2 + 2,10 \times 323 \times (-1 - (-18)) = 129353,9 \text{ кДж.}$$

Количество теплоты, израсходованной без предварительной подготовки сырья (выдерживания и ударно-механического воздействия с последующим стеканием), равное 265508,9 кДж, принимаем за 100 %, тогда:

при первом способе расход теплоты – 204243,0 кДж (76,9 %);

при втором способе расход теплоты – 129353,9 кДж (48,7 %).

Сравнительная характеристика полученных результатов расчетов показала, что расход теплоты на замораживание морских звезд при первом способе (после выдерживания живых объектов) составляет на 28,2 % больше, чем при использовании комбинированного способа (ударно-механического воздействия и последующего выдерживания на перфорированной поверхности).

ВЫВОДЫ

Проведенные исследования по обезвоживанию морских звезд различными способами послужили основанием для выявления рационального способа предварительной подготовки морских звезд перед замораживанием.

На основании расчетных данных можно сделать вывод, что, используя комбинированный способ предварительной обработки морских звезд (ударно - механическое воздействие на покровную ткань с последующим выдерживанием для стекания жидкости), можно получить малообводненное сырье, тем самым снижая энергозатраты на замораживание.

Предварительное выдерживание морских звезд обеспечивает снижение энергоемкости процесса замораживания на 23,1 %, а при ударно-механическом воздействии с последующим стеканием – на 51,3 %.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Шадрина, Е. В. Морские звезды Японского моря как перспективный объект промышленной обработки / Е. В. Шадрина, С. В. Ефремова // Инновации молодых в воспроизводство, рациональную эксплуатацию и переработку водных биологических ресурсов: Отраслевая студенческая научно-техническая конференция (14-16 мая 2014 г.). – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2014. – С. 33–38.

2. Дьяконов, А. М. Морские звезды морей СССР / А. М. Дьяконов. – Москва-Ленинград, 1950. – 205 с.

REFERENCES

1. Shadrina E. V., Efremofa S. V. Morskie zvezdy Japonskogo morja kak perspektivnyj ob"ekt promyshlennoj obrabotki [Sea stars of the Japanese Sea as a perspective object of industrial recycling]. *Innovacii molodyh v vosproizvodstvo, racional'nuju jekspluataciju i pererabotku vodnyh biologicheskikh resursov: otraslevaja studencheskaja nauchno-tehnicheskaja konferencija* [Innovations of the young in reproduction, rational exploitation and processing of aquatic biological resources: Branch-specific student research and technical conference (May 14–16, 2014)]. Vladivostok, 2014, pp. 33–38.

2. D'jakonov A. M., *Morskie zvezdy morej SSSR* [Sea stars of the USSR seas]. Moscow- Leningrad, 1950, 205 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Шадрина Екатерина Васильевна – Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет; аспирант кафедры «Технология продуктов питания»;

E-mail: katyashadrina83@mail.ru

Shadrina Ekaterina Vasilevna – Far Eastern state technical fisheries university; postgraduate student, Department «Food Technology»;

E-mail: katyashadrina83@mail.ru

Максимова Светлана Николаевна – Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет; доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Технология продуктов питания»;

E-mail: maxsvet28@mail.ru

Maksimova Svetlana Nikolaevna – Far Eastern state technical fisheries university; Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department «Food Technology»;

E-mail: maxsvet28@mail.ru

Богданов Валерий Дмитриевич – Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет; доктор технических наук, профессор кафедры «Технология продуктов питания»; E-mail: bogdanovd@mail.ru

Bogdanov Valeriy Dmitrievich – Far Eastern state technical fisheries university; Doctor of Technical Sciences, Professor, Department «Food Technology»;

E-mail: bogdanovd@mail.ru

СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

УДК 631.4 : 631.41

ТИТАН В ПОЧВООБРАЗУЮЩИХ ПОРОДАХ
И ПОЧВАХ ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

О. А. Анциферова

TITANIUM IN PARENT ROCKS AND SOILS OF THE WESTERN PART
OF THE KALININGRAD REGION

O. A. Antsiferova

Исследования проведены в пределах моренных, водно-ледниковых, озерно-ледниковых и аллювиальных ландшафтов Замландского полуострова. Изучались природные угодья (почвы и породы под смешанными и лиственными лесами) и сельскохозяйственные земли. Среднее содержание валового титана в почвообразующих породах составляет 0,34 % (0,57 % TiO_2) и сильно варьирует в зависимости от генезиса (0,08–0,97 %). Повышенные количества элемента в песчаных породах Куршской косы и отдельных аллювиальных отложениях связаны с локальными россыпями ильменит-цирконового типа, их размыванием и переотложением. В выборке из всех пород связь титана с фракцией физической глины сильнее ($r = 0,75$), чем с илистой фракцией ($r = 0,69$). Корреляционный анализ подтвердил тесную связь валового титана с цирконием ($r = 0,80$) и железом ($r = 0,83$). Следовательно, эти элементы присутствуют в совместных минералах и преимущественно в тонкодисперсной части почвообразующих пород. Среднее количество титана в гумусовых горизонтах всех почв совпало с содержанием в породах – 0,34 % Ti (0,575 % TiO_2). Между гумусовыми горизонтами лесных и окультуренных почв не обнаружено достоверных различий. Титан характеризуется очень слабой миграционной способностью в почвенно-климатических условиях региона. В почвах Замландского полуострова (суммарно по всем типам почв и по горизонтам) содержится 0,35 % Ti (0,59 % TiO_2). Это значение выше, чем в почвах Беларуси, Литвы, Латвии, ближе всего к таковому в почвах Польши; практически равно среднему значению почв Европы. Содержание элемента в почвах региона наследуется от почвообразующих пород. Недостоверность корреляции содержания Ti с фракциями глины и ила связана с интенсивным лессиважем и текстурной дифференциацией буроземных и дерново-подзолистых почв. При этом титан не подвержен миграции по профилю почв. Результаты исследований не подтверждают повсеместное накопление его в почвенных новообразованиях.

титан, среднее содержание, почвообразующие породы, почвы, Замландский полуостров

The research has been conducted within the moraine, aqueoglacial, glaciolacustrine and alluvial landscapes of the Samland Peninsula. Natural lands (soils and rocks under mixed and deciduous forests) and agricultural lands have been studied. The average content of total titanium in the parent rocks is 0.34 % (0.57 % TiO_2) and varies

greatly depending on genesis (0.08–0.97 %). Increased amounts of the element in sandy rocks of the Curonian Spit and individual alluvial deposits are associated with local deposits of ilmenite-zircon type, their erosion and redeposition. In the sample of all rocks, the titanium bond with the fraction of silt-and-clay is stronger ($r = 0.75$) than with the silt fraction ($r = 0.69$). Correlation analysis has confirmed close relationship between total titanium and zirconium ($r = 0.80$) and iron ($r = 0.83$). Consequently, these elements are present in the joint minerals and mainly in the finely dispersed part of the soil-forming rocks. The average amount of titanium in the humus horizons of all soils has coincided with the content of rocks –0.34 % Ti (0.575% TiO₂). Between the humus horizons of forest and cultivated soils, no significant differences has been found. Titanium is characterized by a very weak migration capacity in the soil and climatic conditions of the region. In the soils of the Samland Peninsula (total for all types of soils and horizons) 0.35% Ti (0.59% TiO₂) is contained. This value is higher than in the soils of Belarus, Lithuania, Latvia, closest to the soils of Poland; practically equal to the average value of European soils. The content of the element in the soils of the region is inherited from the parent rocks. An inaccurate correlation between Ti content and clay and silt fractions is associated with intensive lessivage and texture differentiation of brown forest soils (mollic cambisols) and sod-podzolic soils. In this case, titanium is not susceptible to migration along the soil profile. The results of the studies do not confirm the widespread accumulation of titanium in soil formations.

titanium, average content, parent rocks, soils, Samland Peninsula.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальными задачами прикладной геохимии являются эколого-геохимическая оценка почв, установление региональных фоновых содержаний элементов, влияния антропогенного воздействия на их поведение в ландшафтах [1–3]. С помощью современных методов исследования можно довольно точно определить содержание элементов, а почвенно-экологический подход позволяет выявить закономерности их распределения по профилю почв в конкретных условиях почвообразования.

Кларк титана в литосфере $4,5 \cdot 10^{-1}$ %. Элемент накапливается в основных магматических породах. Ti устойчив к выветриванию и образует россыпи. В осадочных породах среднее содержание его зависит от состава и химизма: в глинах и сланцах $4,5 \cdot 10^{-1}$ %, в песчаниках $1,5 \cdot 10^{-1}$, в карбонатных породах $4 \cdot 10^{-1}$ [1, 4].

В геохимической классификации по особенностям гипергенной миграции (автор А. И. Перельман) титан входит в группу элементов, малоподвижных в большинстве обстановок [4, с. 329].

В сильноокислых водах Ti мигрирует в катионной форме, образует растворимые сульфаты, в сильнощелочных водах – комплексные соединения с железом, органическим веществами, гидроксокомплексы. В слабоокислых, нейтральных и слабощелочных средах интенсивность миграции наименьшая [4–5].

Кларк Ti в почвах мира $4,6 \cdot 10^{-1}$ %. Минералы титана (оксиды и ильменит) устойчивы при выветривании, поэтому присутствуют в почвах почти в неизменном виде. По данным Бейка, в подзолах, развивающихся на ледниковых моренах,

титан почти полностью находится в виде скрытокристаллического анатаза. Есть сведения, что Ti может входить в структуру некоторых слоистых силикатов.

Абсолютные количества титана могут возрастать в верхних горизонтах почв из-за потери глинистых минералов в результате выветривания. Остаточная аккумуляция характерна и для других лесных почв, а также каолиновых кор выветривания. В поверхностном слое почв содержание Ti 0,1 – 0,9 % (в среднем 0,35 %) [6, с. 244].

Повышенное количество Ti установлено для тундровых и лесотундровых почв Кольского полуострова (0,54 %), черноземов (0,47 %), лесных почв тайги (0,40 %) и европейской части СССР (0,44 %) [7, с. 168]. По данным В. В. Добровольского, титан является ведущим элементом всех групп почвенных новообразований [8].

На содержание титана влияют местные ландшафтные условия, в частности состав почвообразующих пород. Так, исследования В. Д. Василевской и А. И. Тюрюканова в Смоленской области показали, что в зандровых ландшафтах в песчаных и супесчаных дерново-подзолистых почвах содержится 2950 мг/кг титана, а в легкосуглинистых почвах конечно-моренных гряд и моренных равнин – 7150 мг/кг [7, с.175].

Для условий Калининградской области данные о количестве и поведении титана в почвах крайне ограничены. В задачи исследования входило: 1) изучить содержание титана в разных группах почвообразующих пород западной части Калининградской области – Замландского полуострова; 2) установить среднее содержание титана в преобладающих и сопутствующих типах почв; 3) выяснить особенности его распределения по профилю почв.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Отбор образцов почв осуществлялся в моренных, водно-ледниковых, озерно-ледниковых и аллювиальных ландшафтах Замландского полуострова в ходе почвенного обследования. Для диагностики почв закладывались разрезы глубиной 150–220 см. Названия почв даны по классификации 1977 г. [9].

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

Статистическая обработка данных проведена в программе Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Калининградская область располагается в пределах Юго-Восточной Прибалтики и граничит с территорией Польши и Литвы. В почвах Литвы и Латвии содержание и распределение титана сходно. Минимальные количества элемента характерны для подзолов на песчаных породах: 0,19 – 0,23 % TiO₂, в суглинистых почвах содержание выше [10]. В почвах Европы среднее содержание элемента оценивается в 0,609 % TiO₂ (0,36 % Ti) [2].

На территории Калининградской области распределение титана в породах неравномерное. Есть указания, что в корневой части Куршской косы имеется промышленная залежь абразивного материала. По генезису это прибрежно-

морская россыпь ильменит-цирконового типа. Песчаный материал обогащен ильменитом, гранатом, цирконом и рутилом. В шлихе месторождения горы Белой количество ильменита достигает 71% [11].

По данным А.А. Завалишина и Б.В. Надеждина [12, с. 16–32], содержание титана в разных группах почвообразующих пород Калининградской области следующее:

- моренные суглинки 0,38 – 0,65 % TiO_2 (0,23 – 0,39 % Ti);
- безвалунные глины 0,61 – 1,03 % TiO_2 (0,37 – 0,62 % Ti);
- песчаные породы 0,18 – 0,33 % TiO_2 (0,11 – 0,20 % Ti).

В минералогическом составе пород обнаруживаются рутил, сфен, анатаз и другие титансодержащие минералы. Все они приурочены к фракции 0,25 – 0,01 мм. Однако содержание титана закономерно увеличивается от песчаных пород к глинистым. Результаты наших исследований отражены в табл. 1 [13].

Таблица 1. Статистические показатели содержания валового титана (%) в почвообразующих породах Замландского полуострова

Table 1. Statistical indices of the content of total titanium (%) in the parent rocks of the Samland Peninsula

Породы	n	M		m	lim (по TiO_2)	V
		Ti	TiO_2			
Водно-ледниковые пески и супеси	28	0,25	0,42	0,04	0,10 – 0,89	47,6
Моренные супеси и пески	18	0,32	0,53	0,05	0,15 – 0,75	35,8
Выщелоченные моренные суглинки	50	0,44	0,73	0,01	0,44 – 0,95	12,3
Карбонатные моренные суглинки	15	0,41	0,68	0,02	0,62 – 0,73	5,9
Выщелоченные озерно-ледниковые и озерно-морские	15	0,49	0,81	0,03	0,65 – 0,97	12,3
Карбонатные озерно-ледниковые и озерно-морские	15	0,40	0,66	0,06	0,45 – 0,81	16,7
Древнеаллювиальные пески и супеси	20	0,11	0,19	0,03	0,08 – 0,44	68,4
Аллювиальные	20	0,31	0,51	0,05	0,10 – 0,93	47,0
Эоловые пески Балтийской и Куршской кос	6	0,16	0,26	0,11	0,05 – 0,60	111,5
Все породы (без кос)	181	0,34	0,57	0,02	0,08 – 0,97	40,3

Примечание: n – объем выборки; M – среднее арифметическое; m – ошибка средней; lim – размах выборки: минимальное и максимальное содержание элемента; V – коэффициент вариации, %.

Среднее содержание титана в породах ниже кларкового значения в литосфере, однако в отдельных группах пород приближается к кларку (моренные суглинки), а в выщелоченных озерно-ледниковых и озерно-морских породах превышает его.

По сравнению с четвертичными отложениями Беларуси породы Замландского полуострова богаче титаном и, по-видимому, ближе к таковым Польши, так как имеют общий генезис.

В эоловых песках песчаных кос (Балтийской и Куршской) выявился большой разброс по содержанию титана. Образцы с аномально высоким количеством элемента отобраны на Куршской косе. В разрезе 107 (песчаный карликовый подзол) содержание титана максимально (0,6 % TiO_2) именно в почвообразующей породе. В разрезе 449, заложенном на участке археологического памятника Коралленберге (Хвойное), количество титана 0,69 % (1,152 % TiO_2) в горизонте, подстилающем культурный слой. Этот разрез не вошел в выборку, так как почвы на археологических памятниках изучаются нами отдельно. В результате можно сделать вывод, что столь высокие значения связаны с титан-цирконовой россыпью, на которую указывает Г.Н. Ельцина. По-видимому, данная россыпь частично развеевна ввиду передвижения дюн, и материал переотложен.

Среди аллювиальных пород выделяется один образец с высоким содержанием титана. Разрез 373 заложен в пойме лесного ручья – притока р. Медвежьей. Интересен разрез тем, что в этом месте близко к поверхности подходят палеогеновые янтароносные породы. Аллювиальные отложения прикрывают их, и в слоях неоднородного гранулометрического состава обнаруживается повышенное содержание титана. Возможно, это результат размыва локального рудопроявления.

Корреляционный анализ показывает, что в выборке из всех пород связь титана с илом близка к сильной ($r = 0,69$), а с фракцией «физической глины» (менее 0,01 мм) – сильная ($r = 0,75$). Внутри отдельных групп коэффициенты корреляции варьируют ($r = 0,42 - 0,77$), но с глиной связь немного теснее, чем с илом.

При изучении корреляции содержания валового титана с фракцией 0,25 – 0,01 мм (мелкий песок + крупная пыль) коэффициенты корреляции не выше 0,66.

Валовой титан тесно связан с цирконием ($r = 0,80$) и железом ($r = 0,83$). Этот факт свидетельствует о том, что эти элементы присутствуют в совместных минералах и преимущественно в тонкодисперсной части почвы.

По результатам исследований в среднем в почвах Замландского полуострова содержится валового Ti 0,35 % (0,59% TiO_2) [13], в том числе:

- в гумусовых горизонтах (среднее по всем почвам) – 0,34 % Ti (0,575% TiO_2);
- в гумусовом горизонте лесных почв – 0,35 Ti (0,59% TiO_2);
- в гумусовом горизонте почв сельскохозяйственных угодий – 0,355 % Ti (0,56% TiO_2).

Следовательно, среднее содержание титана: 1) ниже кларка в почвах мира; 2) выше, чем в почвах Беларуси, Литвы, Латвии, и ближе всего (но несколько выше) к таковому почв Польши [6; 14]; практически равно среднему значению почв Европы; 3) почти равно количеству его в почвообразующих породах Замландского полуострова (табл. 1); 4) не выявлено его достоверных различий между лесными и окультуренными почвами; 5) в гумусовых горизонтах и в почвах в целом почти равно, что указывает на очень слабую внутрипочвенную миграцию.

Распределение титана по группам почв отражено в табл. 2.

Таблица 2. Статистические показатели содержания валового титана (%) в гумусовых горизонтах почв Замландского полуострова
Table 2. Statistical indices of the content of total titanium (%) in the humus horizons of the soils of the Samland Peninsula

Почвы	Угодье	n	M		m	lim (по TiO ₂)	V
			Ti	TiO ₂			
Дерново-подзолистые песчаные и супесчаные	Лес	22	0,25	0,41	0,05	0,16 – 0,83	51,2
	С/х*	25	0,22	0,36	0,03	0,18 – 0,55	33,3
Дерново-подзолистые суглинистые	С/х	22	0,45	0,75	0,02	0,67 – 0,82	8,0
Буроземы песчаные и супесчаные	Лес	30	0,40	0,67	0,04	0,22 – 1,02	25,4
	С/х	22	0,35	0,58	0,03	0,49 – 0,70	17,2
Буроземы суглинистые	Лес	20	0,45	0,75	0,04	0,60 – 0,88	13,4
	С/х	22	0,41	0,69	0,02	0,55 – 0,80	26,1
Дерново-глеевые	Лес	13	0,35	0,59	0,06	0,30 – 0,80	25,4
	С/х	16	0,41	0,68	0,03	0,45 – 0,82	16,2
Аллювиальные	Лес	12	0,32	0,53	0,02	0,49 – 0,59	9,4
	С/х	16	0,42	0,70	0,04	0,52 – 0,76	15,7
Болотные низинные осушенные	С/х	20	0,25	0,42	0,08	0,02 – 0,81	71,4

* – сельскохозяйственные угодья (пашни, залежи, сенокосы, пастбища)

Достоверных различий по содержанию титана в гумусовых горизонтах почв песчаного, супесчаного и среднесуглинистого состава не обнаружено. Максимальное количество выявлено в пылеватых супесчаных почвах, сформированных на обогащенных титаном породах. По генезису это водно-ледниковые отложения.

Корреляционный анализ показал, что преобладающие почвы Замландского полуострова характеризуются нечёткими связями валового титана (r менее 0,5) с илистой и глинистой фракциями по сравнению с материнскими породами. Причина видится в интенсивном выносе ила из профиля подзолистых и буроземных почв. Этот факт подтверждается тем, что в группах дерново-глеевых и аллювиальных почв коэффициенты корреляции с илом и глиной варьируют в пределах 0,53 – 0,88.

Корреляция количества титана с валовым железом и цирконием в гумусовых горизонтах варьирует в широких пределах по разным группам почв, а в общей выборке связь слабая. С органическим веществом нет связи, а в болотных почвах корреляция резко отрицательная.

В почвенных Fe- и Fe-Mn-новообразованиях титан преимущественно не накапливается. Лишь изредка обнаруживается его незначительная недостоверная аккумуляция (коэффициент накопления 1,2 – 1,4).

ВЫВОДЫ

1. Среднее содержание валового титана в почвообразующих породах составляет 0,34% (0,57% TiO₂), сильно варьирует и зависит от генезиса (0,08 – 0,97%).

2. Повышенные количества элемента в песчаных породах Куршской косы и отдельных аллювиальных отложениях связаны с локальными россыпями преимущественно ильменит-цирконового типа, их размыванием и переотложением.

3. В выборке из всех пород связь титана с фракцией физической глины сильнее ($r = 0,75$), чем с илом ($r = 0,69$).

4. Корреляционный анализ подтвердил тесную связь валового титана с цирконием ($r = 0,80$) и железом ($r = 0,83$). Следовательно, эти элементы присутствуют в совместных минералах и преимущественно в тонкодисперсной части почвообразующих пород.

5. Среднее количество титана в гумусовых горизонтах всех почв совпало с содержанием в породах 0,34 % Ti (0,575 % TiO₂). Между гумусовыми горизонтами лесных и окультуренных почв не обнаружено достоверных различий. Титан характеризуется очень слабой миграционной способностью в почвенно-климатических условиях региона.

6. В почвах Замландского полуострова (суммарно по всем типам почв и по горизонтам) содержится 0,35 % Ti (0,59 % TiO₂). Это выше, чем в почвах Беларуси, Литвы, Латвии, ближе всего к показателям для Польши; практически равно среднему значению для почв Европы.

7. Количество титана в почвах региона наследуется от почвообразующих пород. Недостоверность корреляции содержания элемента с фракциями глины и ила связана с интенсивным лессиважем и текстурной дифференциацией буроземных и дерново-подзолистых почв. При этом титан не подвержен миграции по профилю почв.

8. Наши данные не подтверждают повсеместное накопление титана в почвенных новообразованиях.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Алексеенко, В. А. Экологическая геохимия / В. А. Алексеенко. – Москва, 2000. – 627 с.
2. Geochemical Atlas of Europe [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.gtk.fi/publ/foregsatlas/>.
3. Lindsay, W. L. Chemical equilibria in soils / W. L. Lindsay. – 1979. – 449 p.
4. Перельман, А. И. Геохимия / А. И. Перельман. – Москва, 1979. – 423 с.
5. Перельман, А. И. Геохимия ландшафта / А. И. Перельман, Н. С. Касимов. – Москва, 1999. – 610 с.
6. Кабата-Пендиас, А. Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас. – Москва: Мир, 1989. – 439 с.
7. Беус, А. А. Геохимия окружающей среды / А. А. Беус, Л. И. Грабовская, Н. В. Тихонова. – Москва: Недра, 1976. – 248 с.
8. Добровольский, В. В. Гипергенез четвертичного периода / В. В. Добровольский. – Москва: Недра, 1966. – 212 с.
9. Классификация и диагностика почв СССР / сост. В. В. Егоров [и др.]. – Москва: Колос, 1977. – 224 с.

10. Подзолистые почвы запада Европейской части СССР / отв. ред. Н. А. Ногина, А. А. Роде. – Москва: Колос, 1977. – 287 с.
11. Полезные ископаемые Калининградской области [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www2.gov39.ru/index.php?idpage=290>
12. Завалишин, А. А. Почвенный покров Калининградской области / А. А. Завалишин, Б. В. Надеждин // Почвы Калининградской области. – Москва: Изд-во АН СССР, 1961. – С. 5 – 130.
13. Анциферова, О. А. Геохимия элементов в почвах Замландского полуострова: моногр. / О. А. Анциферова. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2013. – 222 с.
14. Lis, J. Geochemical atlas of Poland / J. Lis, A. Pasieczna. – Warszawa, 1995. 12 p.

REFERENCES

1. Alekseenko V. A. *Ekologicheskaya geokhimiya* [Ecological geochemistry]. Moscow, 2000, 627 p.
2. Geochemical Atlas of Europe. Available at: <http://www.gtk.fi/publ.foregsatlas> (Accessed 23 January 2013).
3. Lindsay W. L. Chemical equilibria in soils. New York, Wiley, 1979, 449 p.
4. Perel'man A. I. *Geokhimiya* [Geochemistry]. Moscow, 1979, 423 p.
5. Perel'man A. I., Kasimov N. S. *Geokhimiya landshafta* [Geochemistry of the landscape]. Moscow, 1999, 610 p.
6. Kabata-Pendias A., Pendias Kh. *Mikroelementy v pochvakh i rasteniyakh* [Microelements in soils and plants]. Moscow, Mir, 1989, 439 p.
7. Beus A. A., Grabovskaya L. I., Tikhonova N. V. *Geokhimiya okruzhayushchey sredy* [Geochemistry of the environment]. Moscow, Nedra, 1976, 248 p.
8. Dobrovolskiy V. V. *Gipergenez chetvertichnogo perioda* [Hypergenesis of the Quaternary]. Moscow, Nedra, 1966, 212 p.
9. *Klassifikatsiya i diagnostika pochv SSSR* [Classification and diagnostics of soils of the USSR]. Sost. V.V. Egorov i dr. Moscow, Kolos, 1977, 224 p.
10. *Podzolistye pochvy zapada Evropeyskoy chasti SSSR* [Podzolic soils of the western part of the European part of the USSR]. Otv. red. N. A. Nogina, A. A. Rode. Moscow, Kolos, 1977, 287 p.
11. *Poleznye iskopaemye Kaliningradskoy oblasti* [Minerals of the Kaliningrad region]. Available at: <http://www2.gov39.ru/index.php?idpage.290> (Accessed 12 December 2012).
12. Zavalishin A. A., Nadezhdin B. V. *Pochvennyy pokrov Kaliningradskoy oblasti. Pochvy Kaliningradskoy oblasti* [Soil cover of the Kaliningrad region. Soils of the Kaliningrad Region]. Moscow, Izd-vo AN SSSR, 1961, pp. 5 - 130.
13. Antsiferova O. A. *Geokhimiya elementov v pochvakh Zamlandskogo poluostrova* [Geochemistry of elements in the soils of the Samland Peninsula]. Kaliningrad, Izd-vo FGBOU VPO «КГТУ», 2013, 222 p.
14. Lis J., Pasieczna A. Geochemical atlas of Poland. Cartographic material. Warszawa, Polish Geological Institute, 1995, 12 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Анциферова Ольга Алексеевна – Калининградский государственный технический университет; кандидат сельскохозяйственных наук, доцент;
E-mail: anciferova@inbox.ru

Antsiferova Olga Alekseevna – Kaliningrad State Technical University;
PhD in Agricultural Sciences, Associate Professor;
E-mail: anciferova@inbox.ru

УДК 631.4 : 633.1

ПРОДУКТИВНОСТЬ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ
НА ФОНЕ ЛИМИТИРУЮЩИХ ПОЧВЕННЫХ ФАКТОРОВ

О. А. Анциферова, Е. Д. Самарина

PRODUCTIVITY OF WINTER WHEAT ON THE BACKGROUND
OF LIMITATING SOIL FACTORS

O. A. Antsiferova, E. D. Samarina

Исследования проведены на пахотном поле в Зеленоградском районе Калининградской области. В физико-географическом аспекте ключевой участок находится в пределах Самбийской холмистой равнины. Почвенный покров контрастный. На вершинах и склонах расположены буроземы неоглеенные и глееватые супесчаного и легкосуглинистого состава, в понижениях – дерново-глеевые среднесуглинистые почвы. Почвы осушаются системой закрытого дренажа, который частично нарушен. За октябрь-ноябрь 2016 г. выпало 210 мм осадков. Их обилие привело к переувлажнению почв. В период с апреля по июль количество осадков составило 250 мм, что близко к многолетним значениям. Для буроземов глееватых характерно наличие верховодок в осенний и весенний период, а дерново-глеевые почвы понижений подвергались поверхностному затоплению с ноября 2016 по май 2017 г. Суммарная площадь вымочек в замкнутых понижениях составляет 25% от обследованной площади. Мелиоративное состояние осушенных почв неудовлетворительное. На поле преобладает сильноокислая реакция среды, обусловленная в основном обменным алюминием. Его содержание в пахотном горизонте большинства почв ниже 2 мг/100 г, за исключением единственного ареала. Установлено, что продуктивность озимой пшеницы снижается от буроземов вершин к дерново-глеевым почвам открытых понижений, а в замкнутых депрессиях наблюдается её полная гибель. Основные потери урожая произошли из-за поверхностного переувлажнения уже на стадии кущения в ареалах дерново-глеевых почв. Совместное действие переувлажнения и подкисления не позволило реализовать биологический потенциал сорта на фоне интенсивной технологии. Рекомендуется улучшение мелиоративного состояния поля (отвод поверхностной воды из замкнутых депрессий, щелчевание для разрушения глинистых прослоек) и известкование.

озимая пшеница сорта Скипетр, структура урожая, переувлажнение, кислотность почв, обменный алюминий, буроземы, дерново-глеевые почвы

The research has been conducted on an arable field in the Zelenogradskiy district of the Kaliningrad region. In the physico-geographical aspect, the key site is located within the Sambian hilly plain. The soil cover is contrasting. On the tops and slopes there are non-gleyed and gleysolic burozem (cambisol) of sandy loam and light loamy

composition, in depressions - sod-gleyed and middle loamy soils. Soils are drained by a closed drainage system, which is partially broken. During October-November 2016, the amount of precipitation was 210 mm. This led to waterlogging of soils. Between April and July, precipitation was 250 mm, which is close to long-term values. In the gleysolic burozem on the slopes of the hills, perched waters are formed in autumn and spring. Soddy-gley soils of depressions were subjected to surface flooding from November 2016 to May 2017. The total area of the wet spots in closed depressions is 25% of the surveyed area. The ameliorative condition of the drained soils is unsatisfactory. The field is dominated by a strong acid reaction, caused mainly by exchange aluminum. Its content in the arable horizon of most soils is below 2 mg / 100 g, except for a single area. It has been established that productivity of winter wheat is reduced from gleysolic burozem to open depressions. In closed depressions, complete loss of crops is observed. The main crop losses were due to surface waterlogging already at the tillering stage in the areas of soddy-gley soils. The joint action of waterlogging and acidification has hampered realization of the biological potential of the variety against the backdrop of the intensive technology. It is recommended to improve the ameliorative state of the field (drainage of surface water from closed depressions, para-ploughing to destroy clay layers) and chalking .

Skipetr winter wheat, crop structure, waterlogging, soil acidity, exchange aluminum, burozem, soddy-gley soils

ВВЕДЕНИЕ

Теория адаптивно-ландшафтных систем земледелия подразумевает научно обоснованный подход к проектированию агроландшафтов для получения экологически безопасной и экономически выгодной продукции [1–4]. Однако на практике до сих пор встречаются трудности в понимании роли почвенного покрова и важности изучения его состояния для высокоэффективного земледелия.

Озимая пшеница и рапс являются ведущими культурами в растениеводстве Калининградской области. Современная техника, система удобрений, средства защиты растений позволяют рассчитывать на получение высоких урожаев при благоприятном агроклиматическом потенциале региона. Но игнорирование почвенных факторов ведет к прямым потерям урожая. Повторное вовлечение залежных земель в сельскохозяйственный оборот требует проведения почвенно-экологической оценки, прежде всего, по лимитирующим для области факторам – степени кислотности и мелиоративному состоянию. По данным ФГБУ «Управление “Калининградмелиоводхоз”», общая площадь осушаемых почв сельскохозяйственных угодий Калининградской области на 2016 г. составляет 594,3 тыс. га, при этом в неудовлетворительном мелиоративном состоянии находится 193,6 тыс. га. Известкование требуется на площади 283,3 тыс. га.

Однако известкование и восстановление/ремонт нарушенных дренажных систем – весьма дорогостоящие мероприятия. Поэтому товаропроизводители не всегда уделяют этим проблемам первостепенное внимание, в большей мере полагаясь на собственные «эффективные» схемы агротехнологий.

Целью работы стало изучение влияния лимитирующих почвенных факторов на комплекс показателей продуктивности озимой пшеницы. Задачи: 1)

исследовать почвенно-гидрологические особенности поля; 2) выявить лимитирующие агрохимические факторы; 3) определить биометрические показатели и биологическую продуктивность озимой пшеницы в условиях интенсивного минерального питания и применения комплекса средств защиты от сорняков и болезней; 4) выявить взаимосвязь почвенных факторов и продуктивности культуры.

ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования выполнены в 2016–2017 гг. Ключевой участок «Перелески» представляет собой пахотное поле в Зеленоградском районе Калининградской области. Землепользование осуществляет ООО «Аграрная инвестиционная компания». Площадь обследования 100 га. Поле располагается в пределах Самбийской моренной равнины. Рельеф участка холмисто-волнистый. Холмы в основном камового происхождения. Микрорельеф выражен в форме замкнутых понижений различной конфигурации. Площадь западин варьирует в широких пределах – от десятка до сотых долей гектара. Глубина вреза замкнутых депрессий 0,5 – 1 м. Почвенный покров контрастный. На вершинах и склонах расположены буроземы неоглеенные ($L^0_{л, у}$) и глееватые ($L^{62}_{л, у}$) в разной степени супесчаного и легкосуглинистого состава, в понижениях – дерново-глеевые среднесуглинистые ($D^I_{с}$). Почвы осушаются системой закрытого дренажа со сбросом вод в открытые каналы. Глубина заложения гончарного дренажа на склонах 80–110 см, в понижениях – 40 – 60 см, междренное расстояние 12–20 м. Дренаж частично заилился, а частично был нарушен в результате прокладки по территории поля газопровода в 2012–2013 г. Смотровые колодцы засыпаны.

Режим влажности почв изучался буровым методом с послойным отбором образцов каждые 10 см до глубины 1 м. Систематическое бурение проводилось на 12 площадках, включающих четыре ареала буроземов на вершинах холмов, четыре ареала буроземов глееватых на склонах и четыре ареала дерново-глеевых почв в понижениях. Для решения задач выполнены следующие анализы почв: полевая влажность термостатно-весовым способом, $pH_{КС1}$ потенциметрически, подвижный калий и фосфор – по Кирсанову (ГОСТ Р 54650-2011), гумус – по Тюрину в модификации Симакова, обменные ионы Ca^{2+} и Mg^{2+} комплексометрическим методом (вариант ЦИНАО) по ГОСТ 26487-85, обменный алюминий – по Соколову. Оценка состояния осушенных территорий дана – по шкале Перцовича и Веденина [5]. Пробные снопы озимой пшеницы убраны в фазу созревания на 12 ареалах почв. Структура урожая изучалась по принятой в растениеводстве методике [6]. Все анализы выполнялись в четырехкратной повторности. Результаты обрабатывались с использованием статистических методов в программе Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для изучения влияния переувлажнения на урожай озимой пшеницы исследования проводились с сентября 2016 по июль 2017 г. Погодные условия этого периода отражены на графике (рисунок). Суммарно за октябрь – ноябрь 2016 г. выпало 210 мм осадков, что явилось причиной образования в ноябре верховодок на склонах, занятых буроземами глееватыми, и поверхностного затопления в понижениях с дерново-глеевыми почвами. Озимая пшеница в стадии кущения подверглась вымоканию (табл. 1).

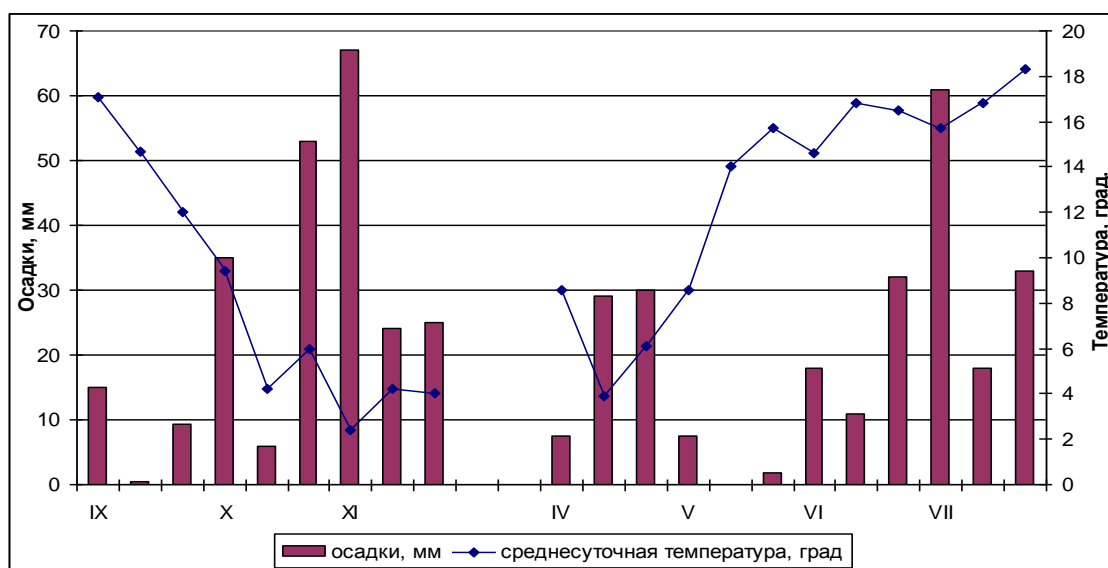


Рис. Подекадное распределение осадков и среднесуточной температуры воздуха в период вегетации озимой пшеницы 2016 – 2017 гг.

Fig. Decadal distribution of precipitation and average daily air temperature during the growing season of winter wheat 2016 - 2017

Таблица 1. Глубина залегания верховодки (см) в почвах склонов и понижений
Table 1. Depth of occurrence of perched water (cm) in soils of slopes and depressions

Период	Ареалы буроземов глееватых на склонах холмов				Ареалы дерново-глеевых почв в понижениях			
	5-й	6-й	7-й	8-й	9-й	10-й	11-й	12-й
Ноябрь 2016 г.	130	110	90–100	80–100	70	50	> 110	> 110
Апрель-май 2017 г.	>130	120 до конца апреля	Нет в слое 1 м	100-120 до конца мая	80-90, к середине мая 95-100	2 слоя: 40–50; 80-90 до середины мая	90, к середине мая >110	80 до середины мая

Экстремально влажным оказался 2017 г. По данным метеостанции г. Калининграда, за год выпало 1090 мм осадков при средней многолетней (1949 – 2013 гг.) норме 781 мм. Однако в период с апреля по июль количество осадков составило 250 мм, что близко к многолетним значениям за этот же период – 242 мм.

Вегетация озимой пшеницы возобновилась в апреле. В профиле буроземов на вершинах холмов свободной воды не обнаружено. В буроземах глееватых на склонах верховодка залегала глубже одного метра. В понижениях с дерново-глеевыми почвами сохранялось поверхностное затопление и верховодка располагалась в пределах метровой толщи (табл. 1). Причина длительного поверхностно-

го застоя воды в замкнутых микрозападинах заключается в наличии глинистых прослоек под гумусовым горизонтом. Эти прослойки являются водоупорами.

По площади вымочек на поле можно судить о мелиоративном состоянии осушенных территорий [5, с. 360]. В результате измерений с помощью GPS-навигатора установлено, что участки с полной гибелью урожая от вымокания занимали 25 % всей площади обследования. Согласно шкале, предложенной Перцовичем и Ведениным, состояние поля неудовлетворительное. Следовательно, поверхностное переувлажнение почв является лимитирующим урожайность фактором на поле.

В результате агрохимического обследования установлено, что все почвы имеют средне- и сильнокислую реакцию среды (табл. 2). Этот факт связан с длительным отсутствием известкования – в последний раз оно проводилось в 80-х годах XX в., а также с систематическим применением гидролитически кислых удобрений. Осушение привело к тому, что застойно-промывной водный режим в буроземах глееватых сменился промывным, а застойный в дерново-глеевых почвах – застойно-промывным. Согласно литературным данным по исследованию осушенных почв, такая трансформация приводит к усиленному выщелачиванию и подкислению [5, с. 448].

Таблица 2. Обобщенные агрохимические свойства почв
Table 2. Consolidated agrochemical properties of soils

pH _{KCl}	Обменный Al ³⁺ , мг/100 г	Обменные Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , мг-экв	Гумус, %	Подвижные формы, мг/кг	
				P ₂ O ₅	K ₂ O
Вершины. Буроземы неоглеенные и глееватые (n = 5)					
4,5 (4,4–4,6)	1,2 (0,63–1,98)	6,3 (6,0–6,6)	2,2 (1,9–2,48)	115,3 (81,0–177,0)	164,7 (150,0–185,0)
Склоны. Буроземы глееватые (n = 5)					
4,5 (4,3–4,6)	1,7 (0,99–3,24)	7,8 (6,6–9,8)	2,4 (2,22–2,53)	137,0 (69,0–243,0)	167,2 (132,0–185,0)
Понижения. Дерново-глеевые почвы (n = 5)					
4,7 (4,6–5,0)	1,1 (0,63–1,89)	14,1 (12,4–16,1)	5,8 (2,73–7,79)	226,2 (100,0–531,0)	181,6 (155,0–247,0)

Примечание: n – количество обследованных агрохимических контуров; в скобках указаны минимальное и максимальное значения агрохимических показателей.

Содержание гумуса в почвах повышений и склонов среднее – 2,3 %, а в почвах понижений варьирует от 2,7 до 7,8 % в зависимости от генетических особенностей и длительности ежегодного затопления. Сумма обменных оснований в пахотном горизонте буроземов вершин и склонов в среднем низкая, причинами чего являются малая емкость катионного обмена супесей и опесчаненных

легких суглинков и повышенная кислотность почв. В пахотном горизонте дерново-глеевых почв пониженное количество обменных кальция и магния увеличивается в связи с лучшей гумусированностью.

Содержание доступных фосфора и калия в пахотных почвах зависит от объемов вносимых удобрений. В среднем по полю оно высокое. Сильнокислая реакция среды способствует увеличению подвижности железа и алюминия. Они образуют комплексы с фосфатами минеральных удобрений и снижают их доступность растениям.

В образцах почв с агрохимических контуров изучено соотношение обменных алюминия и водорода. Обменный водород преобладал над алюминием в 14,3 % случаев, алюминий над водородом – в 71,4 %, равное содержание ионов наблюдалось в 14,3 %. Следовательно, природа кислотности связана в основном с обменным алюминием. Этот ион является токсичным для сельскохозяйственных культур.

Таким образом, возделывание сельскохозяйственных культур на поле без известкования приведет к отрицательным последствиям: 1) общему снижению урожая в связи с повышенной кислотностью почв; 2) сильному угнетению в ареалах с высоким содержанием обменного алюминия.

Схема возделывания озимой пшеницы сорта Скипетр включала комплекс мероприятий с запланированной урожайностью 6–7 т/га (табл. 3). Сорту рекомендован для Северо-Западного региона, где по результатам испытаний в 2007–2009 гг. получена максимальная урожайность 71,1 ц/га. Высокие экологическая пластичность и физиологические характеристики позволяют выращивать сорт при различном уровне плодородия. В технологической схеме хозяйства для защиты растений использованы рекомендованные эффективные фунгициды [7–8], особенно против фузариоза колоса, которому сорт подвержен в регионе [9]. Существенных потерь урожая от болезней и сорняков по результатам обследования не выявлено. Интенсивное применение пестицидов вызвало у растений неинфекционный некроз листьев. При созревании зерна признаки фузариоза колоса наблюдались у 3–10 % растений в разных ареалах. Интенсивность поражения была не выше одного балла.

Таблица 3. Технология возделывания озимой пшеницы в 2017 г.

Table 3. Cultivation technology of winter wheat in 2017

Мероприятия	Стадия развития пшеницы, препараты, сроки
1	2
Предшественник	Залежь возрастом три года
Гербицидная прополка	Глифосатсодержащий препарат
Предпосевные мероприятия	Июль 2016. Дискование тяжелыми дисковыми боронами и легкими боронами, комплексное удобрение N ₃₀ P ₄₀ K ₄₀
Посев	Сентябрь 2016 г. Норма высева 180 кг/га
Гербицидная прополка	Фаза трех листьев. Глифосатсодержащий препарат
Подкормка 1	Возобновление вегетации в первой декаде апреля 2017 г. Аммонийная селитра 200 кг/га (~N ₇₀)
Гербицидная прополка	Конец кушения. Глифосатсодержащий препарат
Подкормка 2 и химическая защита	Начало выхода в трубку. Баковая смесь: Балерина 0,25 л/га + Магнум 5 г/га + Калимаг + ЦеЦеЦе 1,5 л/га

Окончание табл. 3

1	2
Подкормка 3 и химическая защита	Флаговый лист. Комплекс: фунгицид Прозаро + полифоска 120 кг/га + аммонийная селитра 150 кг/га
Химическая защита	Появление соцветия. Фунгицид Прозаро
Химическая защита	Раннемолочная спелость. Фунгицид Фоликур
Десикация	Твердая восковая спелость
Уборка	Стадия созревания, первая декада августа 2017 г.

В литературе указывается, что наиболее достоверный индикатор на избыточное увлажнение осушенных почв из зерновых культур – озимая пшеница [6, с. 359].

Результаты анализа структуры урожая и биологической продуктивности озимой пшеницы представлены в табл. 4–5. Между буроземами глееватыми вершин и склонов различия недостоверны по массе зерна и соломы, массе 1000 зерен, количеству стеблей с колосом и достоверны по высоте растений, длине колоса, числу колосков в колосе и количеству зерен. Между буроземами глееватыми вершин и дерново-глеевыми почвами понижений различия существенны по всем показателям, кроме массы соломы и количества стеблей с колосом. Различия между буроземами глееватыми склонов и дерново-глеевыми почвами понижений существенны по массе зерна, массе 1000 зерен, высоте растений, длине колоса, числу колосков, количеству зерен и несущественны по массе зерна и соломы, массе соломы, количеству стеблей с колосом.

Дисперсионный анализ выявил, что различия более достоверны между буроземами и дерново-глеевыми почвами по сравнению с варьированием показателей на вершинах и склонах холмов. Установлено, что продуктивность озимой пшеницы снижается от буроземов вершин к дерново-глеевым почвам открытых понижений, а в замкнутых депрессиях наблюдается полная её гибель (табл. 6). На перифериях западин озимая пшеница находилась в сильно угнетенном состоянии (низкорослость, разреженность, малая озернённость колоса) и урожай не имел производственной значимости.

Средневзвешенный урожай озимой пшеницы на поле (с учетом площадей почв) составил 3,5 т/га, что почти в два раза меньше запланированного. Основная причина такого снижения заключается в потерях от вымокания на дерново-глеевых почвах.

Таблица 4. Структура урожая озимой пшеницы в 2017 г.

Table 4. Structure of the winter wheat crop in 2017

Почвы и рельеф	Количество стеблей с колосом на 1м ² , шт.	Высота растений, см	Длина колоса без остей, см	Количество зерен в колосе, шт.	Масса 1000 зерен, г
1	2	3	4	5	6
Л ⁰ л,у Л ⁰ л, у Вершины (1)	318,5 ± 26,99	82,64 ± 0,57	8,47 ± 0,09	35,45 ± 0,78	52,63 ± 1,06
Л ⁰ л, у Склоны (2)	313,54 ± 21,54	77,78 ± 0,63	7,77 ± 0,09	29,67 ± 0,67	51,48 ± 1,07

Окончание табл. 4

1	2	3	4	5	6
П ^Д у, Д ^Г с Открытые понижения (3)	239 ± 53,10	60,09 ± 1,58	5,83 ± 0,19	19,93 ± 1,28	40,24 ± 1,92
Д ^Г с Замкнутые понижения (4)	0 (98 ± 9,30)	0 (38,8 ± 1,37)	0 (4,19 ± 0,14)	0 (8,06 ± 0,85)	0 (37,6 ± 7,94)
НСР ₀₅					
1 – 2	58,83	1,67	0,24	2,0	3,14
1 – 3	132,84	3,29	0,43	2,94	4,88
2 – 3	122,05	1,96	0,43	2,84	4,69

Примечание. Среднее арифметическое ± ошибка среднего, в скобках – периферия западин

Таблица 5. Биологическая продуктивность озимой пшеницы в 2017 г. (т/га)

Table 5. Biological productivity of winter wheat in 2017 (t/ha)

Почва	Зерно + солома	Солома	Зерно	Корни в слое 0 – 20 см
Л ^б л, у Л ^{бг} л, у Вершины (1)	10,67 ± 1,23	5,03 ± 0,71	5,63 ± 0,6	1,00 ± 0,08
Л ^{бг} л, у Склоны (2)	9,62 ± 1,16	4,74 ± 0,57	4,88 ± 0,76	0,81 ± 0,13
П ^Д у, Д ^Г с Открытые по- нижения (3)	4,73 ± 2,12	2,62 ± 1,14	2,11 ± 0,99	0,29 ± 0,16
Д ^Г с Замкнутые по- нижения (4)	0 (0,49 ± 0,32)	0 (0,36 ± 0,23)	0 (0,13 ± 0,10)	0 (0,12 ± 0,01)
НСР ₀₅				
1 – 2	3,53	1,89	2,03	33,12
1 – 3	5,46	2,99	2,59	40,12
2 – 3	5,15	2,70	2,66	44,22

Рассмотрим, как сказалась неблагоприятная реакция среды на продуктивности культуры. По отношению к кислотности почвы озимая пшеница входит во вторую группу (чувствительные). Эта культура хорошо отзывается на известкование сильно- и среднекислых почв [10]. На поле не было ареалов почв со слабо-кислым или близким к нейтральному рН, чтобы можно было сравнить урожай на них с таковым на кислых почвах. Однако с полным основанием следует предположить, что при достаточной обеспеченности влагой в вегетационный период и интенсивном комплексном минеральном питании сорт мог бы реализовать свой биологический потенциал на уровне запланированного хозяйством урожая. К тому же уборка на опытном поле была проведена в оптимальные сроки, что позволило избежать сырого периода и потерь урожая. Для сравнения на других полях урожай озимых подвергся вымоканию и полеганию из-за ливневых осадков последней декады августа и сентября.

Таблица 6. Снижение показателей продуктивности озимой пшеницы в зависимости от гидрологических факторов (%)

Table 6. Decrease in productivity of winter wheat depending on hydrological factors (%)

Почва и рельеф	Высота растений	Количество стеблей с колосом	Длина колоса	Количество колосков	Количество зерен	Масса 1000 зерен	Масса соломы и зерна	Масса зерна	Масса соломы	Масса корней в слое 0-20 см
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Л ^б л,у Л ^{бс} л,у Вершины	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Л ^{бс} л,у Склоны	94,1	98,4	91,7	91,5	83,7	97,8	90,2	86,7	94,2	83,9
П ^д у, Д ^г с Открытые понижения	72,7	75,0	68,8	65,6	56,2	76,5	44,3	37,5	52,1	29,9
Д ^г с Замкнутые понижения	0 (48,9)*	0 (30,8)	0 (50,8)	0 (54,4)	0 (23,7)	0 (23,8)	0 (4,6)	0 (2,3)	0 (7,2)	0 (12,4)

* - в скобках значения на периферии ареалов с угнетенным состоянием посевов

По чувствительности к обменному алюминию озимая пшеница относится к первой группе (наиболее чувствительные). По литературным данным, содержание обменного Al^{3+} , вызывающее достоверное снижение урожайности, составляет 2 мг/100 г, особенно в первые периоды роста и при перезимовке [11]. В пахотном горизонте большинства почв оно колеблется в допустимых пределах. Высокое количество обнаружилось только на одном ареале – буроземе глееватом супесчаном и составило 3,24 мг/100 г. Именно здесь урожайность озимой пшеницы была на 63 % ниже по сравнению со средней по склонам и вершинам.

Таким образом, на общем кислом фоне почв продуктивность озимой пшеницы на поле в большей степени зависит от обменного алюминия, на что указывают высокие коэффициенты корреляции (табл. 7).

Таблица 7. Коэффициенты корреляции между уровнем рН, обменным алюминием и показателями продуктивности озимой пшеницы в 2017 г.

Table 7. Correlation coefficients between pH level, exchange aluminum and winter wheat productivity in 2017

Показатели	Зерно, т/га	Высота растений, см	Длина колоса, см	Число колосков в колосе, шт.	Количество зерен, шт.
pH_{KCl}	0,34	0,51	0,59	0,58	0,52
Обменный Al^{3+}	-0,77	-0,75	-0,87	-0,83	-0,83

ВЫВОДЫ

1. Для буроземов глееватых характерно наличие верховодок в осенний и весенний период, а дерново-глеевые почвы понижений подвергались поверхностному затоплению с ноября 2016 по май 2017 г. Суммарная площадь вымочек в замкнутых понижениях составляет 25% от обследованной площади. Мелиоративное состояние осушенных почв неудовлетворительное.

2. На поле преобладает сильнокислая реакция среды, обусловленная в основном обменным алюминием, но его содержание в пахотном горизонте большинства почв ниже 2 мг/100 г, за исключением единственного ареала.

3. Установлено, что переувлажнение и кислотность (особенно за счет обменного алюминия) являются лимитирующими факторами для всех показателей продуктивности озимой пшеницы.

4. Основные потери урожая произошли из-за поверхностного переувлажнения уже на стадии кущения в ареалах дерново-глеевых почв.

5. Совместное действие переувлажнения и подкисления не позволило реализовать биологический потенциал сорта на фоне интенсивной технологии.

6. Производству рекомендуется: а) улучшение мелиоративного состояния путем устранения разрывных нарушений дренажа на склонах и отвода поверхностных вод из понижений (раскрытие западин, щелевание); б) известкование в дозе 6 т/га.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Кирюшин, В. И. Теория адаптивно-ландшафтного земледелия и проектирование агроландшафтов / В. И. Кирюшин. – Москва: КолосС, 2011. – 443 с.

2. Якушев, В. П. На пути к точному земледелию / В. П. Якушев. – Санкт-Петербург: Изд-во ПИЯФ РАН, 2002. – 458 с.
3. McBratney, A. B. Future direction of Precision Agriculture / A. B. McBratney, Whelan B. M., Ancev T., Bouma J. // Precision Agriculture, 2005 – P. 7 – 23.
4. Werner, A. Integrated management of soil and crop in precision agriculture / A. Werner, R. Ruth at al. // Programme book of the joint conference of ECPA-ECPLF. – Wageningen, 2003. – 10 p.
5. Зайдельман, Ф. Р. Методы эколого-мелиоративных изысканий и исследований почв / Ф. Р. Зайдельман. – Москва: Колос, 2008. – 486 с.
6. Посыпанов, Г. С. Практикум по растениеводству / Г. С. Посыпанов. – Москва: Мир, 2004. – 308 с.
7. Черненькая, Н. А. Комплексная защита озимой пшеницы сорта Скипетр / Н. А. Черненькая, З. Р. Цуканова // Земледелие, 2016. – № 4. – С. 46 – 48.
8. Трейкале, О. Защита озимой пшеницы от фузариоза колоса с помощью нового фунгицида Прозаро / О. Трейкале, И. Афанасьева, Е. Пугачева // Защита и карантин растений, 2011. – № 6. – С. 49 – 50.
9. Давыдова, Е. А. Поражение фузариозом разных сортов озимой пшеницы в условиях Калининградской области / Е. А. Давыдова, Г. Н. Чупахина // Физиология растений – теоретическая основа инновационных агро- и фитобиотехнологий: междунар. науч. конф. и школа молодых ученых: материалы: в 2 ч. – Калининград: Аксиос, 2014. – Ч. II. – С. 146 – 148.
10. Ягодин, Б. А. Агрехимия: учебник / Б. А. Ягодин, Ю. П. Жуков, В. И. Кобзаренко; под ред. Б. А. Ягодина. – Москва: Колос, 2002. – 584 с.
11. Авдонин, Н. С. Повышение плодородия кислых почв / Н. С. Авдонин. – Москва: Колос, 1969. – 304 с.

REFERENCES

1. Kiryushin V. I. *Teoriya adaptivno-landshaftnogo zemledeliya i proektirovanie agrolandshaftov* [Theory of adaptive-landscape agriculture and design of agro landscapes]. Moscow, KolosS, 2011, 443 p.
2. Yakushev V. P. *Na puti k tochnomu zemledeliyu* [Towards accurate farming]. Saint-Petersburg, PIYaF RAN, 2002, 458 p.
3. McBratney A. B., Whelan B. M., Ancev T., Bouma J. Future direction of Precision Agriculture. Precision Agriculture, 2005, pp. 7 – 23.
4. Werner A., Ruth R. at al. Integrated management of soil and crop in precision agriculture. Programme book of the joint conference of ECPA-ECPLF. Wageningen, 2003, 10 p.
5. Zaydel'man F. R. *Metody ekologo-meliorativnykh izyskaniy i issledovaniy pochv* [Methods of environmental and land exploration and soil research]. Moscow, Kolos, 2008, 486 p.
6. Posypanov G. S. *Praktikum po rastenievodstvu* [Practical course on plant growing]. Moscow, Mir, 2004, 308 p.
7. Chernenkaya N. A., Tsukanova Z. R. Kompleksnaya zashchita ozimoy pshe-nitsy sorta Skipetr [Complex protection of Skipetr winter wheat]. *Zemledelie*, 2016, no. 4, pp. 46 – 48.

8. Treikale O., Afanasyeva I., Pugacheva E. Zashchita ozimoy pshenitsy ot fuzarioza kolosa s pomoshch'yu novogo fungitsida prozaro [Protection of winter wheat from Fusarium disease of spike using a new prozaro fungicide]. *Zashchita i karantin rasteniy*, 2011, no. 6, pp. 49 – 50.

9. Davydova E. A., Chupakhina G. N. Porazhenie fuzariozom raznykh sortov ozimoy pshenitsy v usloviyakh Kaliningradskoy oblasti [Fusarium infection of different varieties of winter wheat in the Kaliningrad region]. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii i shkoly molodykh uchenykh „Fiziologiya rasteniy – teoreticheskaya osnova innovatsionnykh agro- i fitobiotekhnologiy“* [Proceedings of the International Scientific Conference and School of Young Scientists "Plant Physiology – Theoretical Basis of Innovative Agro- and Phyto-Biotechnology"]. Kaliningrad, Aksios, 2014, part 2, pp. 146 – 148.

10. Yagodin B. A., Zhukov Yu. P., Kobzarenko V. I. *Agrokimiya. Uchebnik*. Pod red. B. A. Yagodina [Agrochemistry. Textbook. Ed. B. A. Jagodina]. Moscow, Kolos, 2002, 584 p.

11. Avdonin N. S. *Povyshenie plodorodiya kislykh pochv* [Increase in fertility of acidic soils]. Moscow, Kolos, 1969, 304 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

Самарина Елизавета Денисовна – Калининградский государственный технический университет; студентка

Samarina Elizaveta Denisovna – Kaliningrad State Technical University; student

УДК 633.2.03

ФИТОТОПОЛОГИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ СЕНОКОСОВ И ПАСТБИЩ
ЮЖНОЙ И ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТЕЙ ГУРЬЕВСКОГО РАЙОНА КАЛИ-
НИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ.

О. М. Бедарева, О. П. Федюнина

PHYTOTOPOLOGICAL CLASSIFICATION OF HAYLANDS AND PASTURES
OF THE SOUTH AND SOUTHEAST PARTS OF THE GURYEVSK DISTRICT
OF THE KALININGRAD REGION.

O. M. Bedareva, O. P. Fedyunina

В настоящее время существует необходимость в изучении флористического состава растительности природных кормовых угодий (ПКУ). Являясь основным ресурсом, обеспечивающим развитие отрасли животноводства, ПКУ утрачивают свой статус, так как происходит обеднение луговой флоры и продуктивность фитоценозов падает. Тем не менее спрос на качественную продукцию животноводства растет, и актуальность изучения развития растительных сообществ ПКУ очевидна, поскольку своевременная оценка состояния агрофитоценозов и разработка агротехнических и мелиоративных мероприятий способствуют увеличению продуктивности и повышению качества травостоев, а также сохранению агроландшафтов в целом.

Объектом исследования послужили ПКУ южной и юго-восточной частей территории Гурьевского района Калининградской области. В процессе написания статьи авторами изучено культуртехническое состояние природных и сеяных пастбищ и сенокосов, составлена фитотопологическая классификация растительности объекта исследования, проанализированы фондовые материалы геоботанических обследований.

В пределах объекта выделено пять классов растительности кормовых угодий с описанием характерных растительных ассоциаций. Определена их площадь, урожайность по подклассам, дана оценка кормовой ценности.

природные кормовые угодья, агрофитоценоз, животноводство, фитотопологическая классификация, таксономические единицы

There is now a need for a study of the floristic composition of the vegetation of natural grasslands (NG). As a principal resource that provides development of the livestock industry, NG loses its status as meadow flora grows poor and vegetation productivity falls. Nevertheless, the demand for high-quality animal products is increasing and the relevance of the study of NG plant communities development is obvious, because timely assessment of the state of agrophytocenosis and development of agronomic and meliorative measures increase productivity and improve quality of herbage as well as agro-conservation as a whole.

The object of the study was NG of the south and southeast parts of the Guryevsk district of the Kaliningrad region, Russia. In the process of writing the article, the authors

have studied crop-engineering condition of natural and seeded pastures and haylands, made fitotopological vegetation classification of the object of research, analyzed stock materials of geobotanic surveys.

Within the object, 5 grassland vegetation classes have been selected describing the characteristic of plant associations. Their area, yields on subclasses have been described, the feeding value has been assessed.

natural grassland, agrophytocenosis, livestock, phytotopological classification, taxonomical units

ВВЕДЕНИЕ

Агропромышленный комплекс является одним из приоритетных секторов экономики Гурьевского района. В него входят 16 действующих сельскохозяйственных и 22 перерабатывающих предприятия, 93 крестьянских (фермерских) хозяйства и индивидуальных предпринимателей, один перерабатывающий сельскохозяйственный потребительский и один потребительский снабженческо-бытовой кооперативы. Кроме того, в округе насчитывается 15778 личных подсобных хозяйств.

Основным направлением специализации сельского хозяйства в сфере животноводства признано производство молока и мяса [1].

Природные кормовые ресурсы (ПКУ) – важный фактор развития животноводства, получения качественной продукции с низкой себестоимостью, но также велика их роль в рациональном природопользовании. Они являются одним из компонентов биосферы, выполняют важнейшие аккумулятивные, средостабилизирующие и природоохранные (противоэрозионные) функции в агроландшафтах и в совокупности оказывают влияние на экологическую обстановку в мире.

Современная продуктивность ПКУ Калининградской области не отвечает требованиям времени – почти вдвое уменьшился сбор кормовых единиц за счет изменения видового состава (выпадение некоторых ценных кормовых трав), продуктивности (количественная деградация), культуртехнических параметров кормовых угодий (закочкаренность, засоренность и т.д.), и это, в свою очередь, ограничивает рост поголовья скота [2].

Естественно, что качество кормовых угодий и возможные мероприятия по его улучшению зависят от топологических и хозяйственных свойств этих угодий: климата, рельефа, гидрологических условий местности, свойств почвы, состава растительности и культуртехнического состояния угодий.

Комплекс топологических признаков служит основой для фитотопологической классификации. Она необходима как в научной, так и практической работе с ПКУ. Выделенные при классификации таксономические единицы нужны при составлении карт, определении урожайности и качества корма, разработке мероприятий по улучшению и использованию кормовых угодий, составлении и изменении земельного кадастра [3].

Цель исследования: осуществить фитотопологическую классификацию сенокосов и пастбищ объекта с выделением доминирующих классов и подклассов ПКУ.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования послужили кормовые угодья южной и юго-восточной частей территории Гурьевского района Калининградской области, так как данный район является наиболее репрезентативным и отображает в целом территорию Калининградской области в плане разнообразия ПКУ.

В работе используются различные единицы иерархического ряда таксонов (ассоциация, экосистема, тип пастбища). Ассоциация выделяется в общепринятом объеме по общности состава доминирующих и содоминирующих видов и флористическому ядру сопряженных видов и рассматривается в качестве единицы низшего ранга.

При этом ассоциация расценивается как элементарная единица растительного покрова с точки зрения динамической фитоценологии и объединяет участки растительного покрова с одними и теми же видами господствующего яруса, общим набором характерных видов и одной и той же сукцессионной тенденцией [4].

На ключевых участках различных типов лугов были организованы постоянные наблюдения: выделены доминирующие ассоциации; подробно изучены экотопические и фитоценотические условия местообитания.

Растительность кормовых угодий Калининградской области можно разбить на девять ботанико-кормовых районов. Объект исследования относится к четвертому, начинающемуся с северо-восточного угла Приморского, охватывающему собой почти весь Гурьевский, Полесский, северную часть Калининградского, Гвардейский, почти весь Большаковский и примыкающие к нему части Советского и Черняховского административных районов [5] (рисунок).

Характерной чертой данного ботанико-кормового района является мозаичное распределение ассоциаций по элементам рельефа от разнотравно – мелкозлаковых – полевицевых, расположенных на повышенных элементах рельефа и обладающих хорошей дренированностью, до разнотравно – осоково – смешаннозлаково – плотнокустовых с наличием канареечника и щучки – на пониженных формах рельефа [6].

Геоботанические наблюдения реализовывались в соответствии с существующими инструкциями и указаниями («Общесоюзная инструкция по проведению геоботанического обследования природных кормовых ресурсов и составлению крупномасштабных карт». – М., 1984). Полевые детально-маршрутные исследования базировались на классических геоботанических и ландшафтных методах. Полевое картографирование выполнялось сочетанием методов поконтурной съемки и ландшафтно-экологического профилирования. Особое внимание уделялось пространственной структуре растительности и ее связи с другими компонентами ландшафта (рельефом, почвами) [7].

Геоботаническое изучение растительных ассоциаций с последующей оценкой их пастбищных качеств производилось на учетных площадках (1 x 1 м), которые размещаются в центральной части круговой площадки и по ее окружности – на концах двух взаимно перпендикулярных диаметров. На учетных площадках определялось общее проективное покрытие травянистого яруса и каждого вида растений, обилие по шкале Друде, степень стравленности растений по видам; измерялась высота травянистого яруса; описывалось жизненное состояние растений с учетом фенофазы; учитывалось культуртехническое состояние [7].

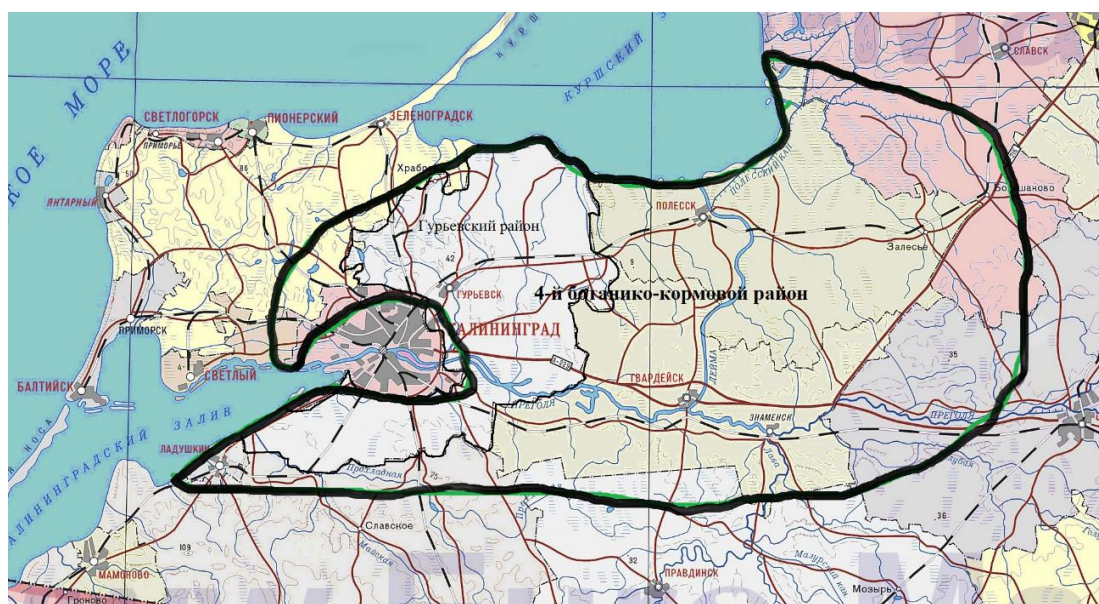


Рис. Карта Калининградской области
Fig. Map of the Kaliningrad region

В работе использованы фондовые материалы «Севзапгипрозема» (1983 г.) [8] с включением уточняющих характеристик ПКУ по данным обследования (2015-2017 гг.), на основе которых были получены данные о растительном составе южной и юго-восточной частей территории Гурьевского района и выделены таксономические группы на уровне подклассов с площадными характеристиками растительных сообществ, определена их урожайность, выполнено почвенное обследование на ключевых участках.

В статье используется фитотопологический классификационный подход к определению класса и подкласса растительности кормовых угодий по природным зонам, предложенный группой ученых Института кормов в 1977 г. (Л. Г. Раменским, И. А. Цаценкиным, С. И. Дмитриевой и др.).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Согласно фитотопологической классификации И. А. Цаценкина Калининградская область относится к лесной зоне, подзоне смешанных лесов [3]. Объект исследования (южная и юго-восточная части территории Гурьевского района) представлен пятью классами растительности кормовых угодий и в зависимости от условий местообитания (рельеф, микроклимат, увлажнение, почва) делится на подклассы с характерными видами растений.

Класс – Равнинные суходольно-луговые на дерново-подзолистых, подзолистых и других почвах лесной зоны.

Подклассы:

Злаково-разнотравные мелкотравные абсолютные суходолы равнин. Характерные растения – белоус (*Nardus stricta* L.), полевица обыкновенная (*Agrostis capillaris* L.), овсяницы овечья (*Festuca ovina* L.) и красная (*F. rubra* L.), ястребинка волосистая (*Pilosella officinarum* F.W.Schultz & Sch.Bip.), кошачья лапка (*Antennaria dioica* (L.) Gaertn).

Злаково-разнотравные нормально увлажненные суходолы равнин. Характерные растения – полевица обыкновенная (*Agrostis capillaris* L.), мятлик луговой (*Poa pratensis* L.), овсяницы красная и луговая (*Festuca ovina* L., *F. rubra* L.), душистый колосок (*Anthoxanthum odoratum* L.), клевер красный (*Trifolium pratense* L.) и белый (*Trifolium repens* L.), тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium* L.), осоки бледная (*Carex accrescens* Ohwi) и заячья (*Carex leporina* L.), манжетки (*Alchemilla* L.), василек луговой (*Centaurea jacea* L.).

Злаково-осоково-разнотравные временно избыточно увлажненные суходолы равнин. Характерные растения – щучка дернистая (*Deschampsia cespitosa* (L.) P.Beauv.), белоус (*Nardus stricta* L.), полевица собачья (*Agrostis canina* L.), мятлик луговой (*Poa pratensis* L.), клевер белый (*Trifolium repens* L.), осоки (*Carex sp.sp.*), лютик едкий (*Ranunculus acris* L.) и ползучий (*Ranunculus repens* L.).

Класс – Низинные и западинные луговые лесной зоны на луговых и лугово-болотных почвах.

Подклассы:

Злаково-осоково-мелкотравные влажные и сырые луга выщелоченных понижений. Характерные растения – полевица собачья (*Agrostis canina* L.), белоус (*Nardus stricta* L.), осоки обыкновенная (*Carex nigra* (L.) Reichard), просьяная (*Carex paniculata* L.); пушица узколистная (*Eriophorum angustifolium* Honck.), ситник нитевидный (*Juncus filiformis* L.).

Злаково-осоково-разнотравные луга низин натечно-грунтового питания. Характерные растения – щучка дернистая (*Deschampsia cespitosa* (L.) P.Beauv.), мятлик болотный (*Poa palustris* L.) и луговой (*Poa pratensis* L.), полевица белая (*Agrostis alba* L.), осоки обыкновенная (*Carex nigra* (L.) Reichard) и желтая (*Carex flava* L.), манжетка (*Alchemilla* L.), гравилат речной (*Geum rivale* L.), лютики (*Ranunculus sp.sp.*), таволга вязолистная (*Filipendula ulmaria* (L.) Maxim.).

Класс – Краткопоемные луговые лесной зоны на аллювиальных луговых почвах.

Подклассы:

Злаково-разнотравные мелкотравные сухие и свежие луга на оподзоленных почвах. Характерные растения – полевица обыкновенная (*Agrostis capillaris* L.), душистый колосок (*Anthoxanthum odoratum* L.), белоус (*Nardus stricta* L.), овсяница овечья (*Festuca ovina* L.), клевер красный (*Trifolium pratense* L.), василек луговой (*Centaurea jacea* L.), манжетки (*Alchemilla* L.).

Разнотравно-злаковые мелкотравные, сухие и влажные луга. Характерные растения – овсяницы луговая (*Festuca ovina* L.) и красная (*F. rubra* L.), тимофеевка луговая (*Phleum pratense* L.), мятлик луговой (*Poa pratensis* L.), клевер белый (*Trifolium repens* L.), кульбаба осенняя (*Scorzoneroideis autumnalis* (L.) Moench), подорожник средний (*Plantago media* L.).

Злаково-разнотравные с примесью осок сыроватые и сырые луга. Характерные растения – щучка дернистая (*Deschampsia cespitosa* (L.) P.Beauv.), полевица собачья (*Agrostis canina* L.), овсяница красная (*Festuca rubra* L.), осока обыкновенная (*Carex nigra* (L.) Reichard), гравилат речной (*Geum rivale* L.), лютик (*Ranunculus L. sp.sp.*).

Класс – Долгопоемные луговые лесной зоны на аллювиально-луговых почвах.

Подклассы:

Злаково-разнотравные с примесью бобовых свежие и влажные луга. Характерные растения – костер безостый (*Bromus inermis* Leyss.), пырей ползучий (*Elymus repens* (L.) Gould), овсяницы луговая и красная (*Festuca ovina* и *F. rubra* L.), вейники (*Calamagrostis* Adans.), полевицы (*Agrostis* sp.sp.), клевер красный (*Trifolium pratense* L.), люцерна желтая (*Medicago falcata* L.), подмаренники (*Galium* L.), кровохлебка (*Sanguisorba* (Ruppius) L.).

Злаково-разнотравно-осоковые сыроватые и сырые луга. Характерные растения – пырей ползучий (*Elymus repens* L.), вейники (*Calamagrostis* Adans.), бекмания (*Beckmannia* Host), мышиный горошек (*Vicia cracca* L.), осоки ранняя (*Carex praecox* Schreb), стройная (*C. acuta* L.), дернистая (*C. cespitosa* L.), лютик (*Ranunculus* L. sp.sp.), чистец болотный (*Stachys palustris* L.), таволга вязолистная (*Filipendula ulmaria* (L.) Maxim.).

Класс – Болотные на минеральных, торфянистых и торфяно-болотных почвах лесной зоны.

Подклассы:

Осоково-болотистые луга с примесью злаков и разнотравья на минеральных почвах. Характерные растения - осоки стройная (*Carex acuta* L.), дернистая (*C. cespitosa* L.), вилкойская (*C. juncella* (Fr.) Th.), водяная (*Carex aquatilis* Wahlenb.); вейники (*Calamagrostis* Adans.), канареечник (*Phalaris* L.), арктофила (*Arctophila fulva* (Trin.) Anderss.), бекмания (*Beckmannia* Host), сабельник болотный (*Comarum palustre* L.), калужница (*Caltha* L.), вахта трехлистная (*Menyanthes trifoliata* L.), хвощи (*Equisetum* L. sp.sp.).

Классификация природных кормовых угодий объекта приведена в табл. 1.

В первом подклассе суходольных лугов преобладают разнотравно-мелкозлаковые травостои среднего качества – это небольшого габитуса и низкого кормового качества злаки: овсяница красная *Festuca rubra* L., полевица обыкновенная *Agrostis capillaris* L. (*Agrostis tenuis* Sibth.), гребенник обыкновенный *Cynosurus cristatus* L. В травостое присутствуют типично остепненные виды: лапчатка серебристая *Potentilla argentea* L., ястребинка волосистая *Hieracium pilosella* F.W.Schultz & Sch.Bip, клевер пашенный *Trifolium arvense* L., щавелек малый *Rumex acetosella* L. Также в подклассе абсолютных суходолов имеются верховозлаковые луга, представленные растениями высокого кормового достоинства (ежа сборная *Dactylis glomerata* L., райграс пастбищный *Arrhenatherum elatius* (L.) M.et K.) [9].

Кормовые угодья, относящиеся ко второму подклассу суходольных лугов, включают в себя травостои различных категорий – от сеяных улучшенных до обедненных полевичников. Доминирует группа типов сеяные травы (тимофеевка луговая *Phleum pratense* L., овсяница луговая *Festuca pratense* L., ежа сборная *Dactylis glomerata* L., клевер луговой *Trifolium repens* L.), они составляют около 24% площади данного подкласса. Остальная часть представлена разнотравно-рыхлодерновинными и рыхлокустовыми травостоями с овсяницей луговой *Festuca pratense* L., тимофеевкой луговой *Phleum pratense* L., ежой сборной *Dactylis glomerata* L., полевицей обыкновенной *Agrostis capillaris* L. (*Agrostis tenuis* Sibth.), гребенником обыкновенным *Cynosurus cristatus* L., которые, как и сеяные, обладают высоким кормовым качеством и хорошей поедаемостью.

Таблица 1. Классификация природных кормовых угодий объекта
 Table 1. Classification of natural grasslands of the object

Класс	Подкласс	Наименование группы	Номер группы	Почвы	
1	2	3	4	5	
Равнинно сухо-дольно- луговой	Злаково-разнотравные мелкотравные абсолютные суходолы равнин	Разнотравно-мелкозлаково-полевицевые (мятлик луговой, овсяница красная, полевица обыкновенная)	1	Дерново-слабоподзолистые супесчаные и песчаные	
		Верхозлаковые хорошего качества (ежа сборная, райграс высокий)	2		
		Пашня	3		
	Злаково-разнотравные нормально увлажненные суходолы равнин		Белоклеверно-низкозлаковые с райграсом пастбищным, полевицей обыкновенной, гребенником обыкновенным, ежой сборной	4	Дерново-слабо- и скрытоподзолистые легко- и среднесуглинистые
			Верхозлаковые рыхлодерновинные хорошего качества (тимофеевка луговая, ежа сборная, лисохвост луговой, райграс высокий)	5	
			Низовозлаково-полевицевые (райграс пастбищный, гребенник обыкновенный, овсяница красная)	6	
			Разнотравно-верхозлаково-полевицевые (райграс высокий, ежа сборная, вейник наземный)	7	

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5
		Рыхлодерновинные мелкозлаковые хорошего качества (райграс пастбищный, мятлик луговой с клевером белым)	8	
		Сорноразнотравные	9	
		Сеяные (тимOFFеевка луговая, овсяница луговая, ежа сборная, клевер луговой)	10	
		Пашня	11	
	Злаково-осоково-разнотравные временно избыточно увлажненные суходолы равнин	Разнотравно-смешаннозлаково-плотнокустовые (щучковые) с полевицей обыкновенной, лисохвостом луговым, овсяницей луговой, ежой сборной, тимOFFеевкой луговой, мятликом луговым	12	
		Разнотравно-плотнокустовые (щучковые) с лисохвостом луговым, канареечником тростниковым, осоками	13	
		Сорнотравные	14	
		Рыхлодерновинные верхозлаково-полевицевые с тимOFFеевкой луговой, ежой сборной, овсяницей луговой	15	
		Разнотравно-полевицевые	16	
		Низкозлаковые-полевицевые с райграсом пастбищным, мятликом луговым, овсяницей красной	17	
		Белоклеверно-полевицевые с разнотравьем	18	
		Белоклеверно-низкозлаковые с райграсом пастбищным, мятликом луговым, полевицей обыкновенной	19	

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5
		Рыхлодерновинные верхозлаково-низовозлаковые хорошего качества на стадии деградации (тимофеевка луговая, ежа сборная, овсяница луговая, лисохвост луговой, полевица белая, овсяница красная, райграс пастбищный, мятлик луговой, клевер белый)	20	
		Сеяные (овсяница тростниковидная, пырей многоукосный, райграс пастбищный)	21	
		Пашня	22	
Низинные и западинные луговые лесной зоны на луговых и лугово-болотных почвах	Злаково-осоково-мелкотравные влажные и сырые луга выщелоченных понижений	Беловоклеверно-низовозлаково-плотнокустовые (щучковые) с райграсом пастбищным, полевицей обыкновенной	23	Дерново-подзолистые глеевые, дерново-глеевые различного гранулометрического состава
		Верховозлаково-плотнокустовые с лисохвостом луговым, вейником наземным, осоками	24	
		Разнотравно-смешаннозлаково-полевицевые с овсяницей луговой, тимофеевкой луговой, ежой сборной, мятликом луговым, овсяницей красной, райграсом пастбищным	25	
		Низовозлаково-верхозлаковые хорошего качества на стадии деградации с мятликом луговым, пыреем ползучим, овсяницей красной, райграсом пастбищным, ежой сборной, лисохвостом луговым, полевицей белой, клевером белым	26	
		Сеяные (пырей многоукосный, ежа сборная, овсяница тростниковидная)	27	
		Пашня	28	

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5
	Злаково-осоково-разнотравные луга низин натеchno-грунтового питания	Разнотравно-лисохвостово-плотнокустовые с ситниками, осоками, полевицей белой	29	Дерново-подзолистые глеевые и дерново-глеевые различного гранулометрического состава
		Осоково-канареечниково-лисохвостовые	30	
		Разнотравно-верховозлаково-полевицевые с ежой сборной, тимфеевкой луговой, щучкой дернистой	31	
		Верховозлаково-низовозлаковые рыхлодерновинные хорошего качества на стадии деградации (тимфеевка луговая, лисохвост луговой, овсяница луговая, ежа сборная, мятлик луговой)	32	
		Сеяные (ежа сборная, тимфеевка луговая)	33	
		Пашня	34	
	Злаково-разнотравные влажные и сырые луга низин и западин обеспеченного грунтового питания	Разнотравно-смешаннозлаково-плотнокустовые (щучковые) с овсяницей красной, полевицей белой и обыкновенной, вейником наземным, лисохвостом луговым, осоками, таволгой вязолистной	35	Дерново-глеевые различного гранулометрического состава
		Сеяные (ежа сборная, тимфеевка луговая)	36	
		Пашня	37	
	Краткопоемные луга	Злаково-разнотравные мелкоотравные сухие и свежие луга на оподзоленных почвах	Верховозлаково-низовозлаковые рыхлодерновинные (тимфеевка луговая, пырей многоукосный, ежа сборная, лисохвост луговой, щучка дернистая, бухарник шерстистый)	38

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5
	Злаковые и злаковоразнотравные мелкотравные, сухие и влажные луга	Сорноразнотравные дерновозлаковые с ежой сборной, канареечником тростниковидным, таволгой вязолистной	39	Пойменные дерновые и дерново-глеевые слабо- и скрытоподзолистые, преимущественно суглинистые
	Злаково-разнотравные с примесью осок сыроватые и сырые луга	Разнотравно-верховозлаково-полевичевые с тимфеевкой луговой, лисохвостом луговым, канареечником тростниковидным	40	Пойменные дерновые и дерново-глеевые различного гранулометрического состава
		Сеяные (ежа сборная, тимфеевка луговая)	41	
		Пашня	42	
Долгопоемные луговые лесной зоны на аллювиально-луговых почвах	Злаково-разнотравные с примесью бобовых свежие и влажные луга	Канареечниково-осоковые с щучкой дернистой, полевичей обыкновенной, манником большим, вейником наземным	43	Аллювиальные дерново-глеевые различного мехсостава, обычно слоистые
		Сеяные	44	
	Злаково-разнотравно-осоковые сыроватые и сырые луга	Канареечниково-осоково-манниковые с мятликом болотным, щучкой дернистой, овсяницей красной	45	Аллювиальные дерново-глеевые и глееватые различного гранулометрического состава
		Лисохвостово-плотнокустовые (щучковые) с осоками, ситниками, клевером белым, разнотравьем	46	
		Разнотравно-лисохвостово-манниковые с полевичей белой	47	
		Разнотравно-низовозлаковые (овсяница красная, райграс пастбищный, мятлик луговой, клевер белый) с ежой сборной, тимфеевкой луговой, лисохвостом луговым, овсяницей	48	

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5
Болотные на минеральных, торфянистых и торфяно-болотных почвах лесной зоны	Осоково-болотистые луга с примесью злаков и разнотравья на минеральных почвах	Разнотравно-плотнокустовые (щучковые) с канареечником тростниковидным, лисохвостом луговым	49	Болотные и низинные перегнойно-глеевые
		Смешаннозлаково-плотнокустовые (лисохвост луговой, полевица обыкновенная, овсяница красная) с осоками и разнотравьем	50	
		Разнотравно-осоковые с манником большим, канареечником тростниковидным, щучкой дернистой, ситниками	51	
		Низовозлаковые с гребенником обыкновенным, райграсом пастбищным, полевицей обыкновенной, тимфеевкой луговой	52	
		Сорнотравные	53	
		Сеяные	54	
		Пашня	55	
		Осоково-болотистые луга с примесью злаков и разнотравья на торфянистых и торфяных почвах	Разнотравно-осоково-канареечниковые с манником большим, лисохвостом луговым, мятликом болотным	
	Разнотравно-смешаннозлаково-плотнокустовые (щучковые) с райграсом пастбищным, полевицей обыкновенной, мятликом болотным, овсяницей красной, осоками		57	
	Сеяные		58	
	пашня		59	

Подкласс избыточно увлажненных суходолов существенно отличается от двух предыдущих характером увлажнения и оглеенностью почв. В него вводится плотнокустовой злак – щучка дернистая *Deschampsia cespitosa* (L.) P.Beauv. и корневищно-рыхлокустовой злак - лисохвост луговой *Alopecurus pratensis* L.

Доминантной растительностью низинных и западных лугов являются характерные для данного класса представители плотнокустовых, рыхлокустовых и корневищно-рыхлокустовых злаков: щучка дернистая *Deschampsia cespitosa* (L.) P.Beauv., полевица обыкновенная *Agrostis capillaris* L., лисохвост луговой *Alopecurus pratensis* L. К ним примыкает смешанно-злаковое разнотравье из тимофеевки луговой *Phleum pratense* L., овсяницы луговой, ежи сборной *Dactylis glomerata* L., канареечника тростниковидного *Phalaris arundinacea* L., мятлики лугового *Poa pratensis* L., вейника наземного *Calamagrostis epigéjos* (L.) Roth. В травостое низин и западин с преимущественно грунтовым питанием наблюдаются включения осоки лисьей *Carex vulpina* L., омской *Carex omskiana* Meinsh., изящной *Carex delicata* C.B.Clarke, ситника развесистого *Juncus effuses* L.

Растительность лугов, располагающихся в непосредственной близости к прирусловой части рек, широко представлена такими видами, как лисохвост луговой *Alopecurus pratensis* L., таволга вязолистная *Filipéndula ulmária* (L.) Maxim, осоки *Carex sp.sp.*, канареечник *Phalaris arundinacea* L., щучка дернистая *Deschampsia cespitosa* (L.) P.Beauv., тимофеевка луговая *Phleum pratense* L., манник большой *Glyceria maxima* (Hartm.) Holmb., клевер белый *Trifolium repens* L., овсяница красная *Festuca rubra* L., райграс пастбищный *Arrhenatherum elatius* (L.) M.et K., мятлик луговой *Poa pratensis* L.

Соотношение видов в травостоях поемных лугов зависит от режима половодья и в первую очередь от его продолжительности.

На краткопоемных лугах при затоплении не более двух недель видовой состав доминантов представлен мезофитными формами рыхлокустовых злаков (тимофеевка луговая *Phleum pratense* L., ежа собранная *Dactylis glomerata* L., полевица обыкновенная *Agrostis capillaris* L., райграс пастбищный *Arrhenatherum elatius* (L.) M.et K.) и разнотравьем (клевер белый *Trifolium repens* L., осоки *Carex sp.sp.*).

Травостои долгопоемных лугов заливаются полыми водами до 40 дней, видовой состав представлен мезофитами, гигрофитами и гигромезофитами (манник большой *Glyceria maxima* (Hartm.) Holmb., осоки *Carex sp.sp.*, щучка дернистая *Deschampsia cespitosa* (L.) P.Beauv., лисохвост луговой *Alopecurus pratensis* L.), в разнотравье преобладают представители двудольных, а также бобовые (клевер белый *Trifolium repens* L.) и однодольные (ситник развесистый *Juncus effuses* L.), вполне типичны популяции однодольных верхово- и низовозлаковых (канареечник тростниковидный *Phalaris arundinacea* L., лисохвост луговой *Alopecurus pratensis* L., овсяница красная *Festuca rubra* L.).

Травостои болотных лугов, главным образом, представлены плотнокустовыми щучковыми (*Deschampsia cespitosa* (L.) P.Beauv.) и осоковыми (*Carex sp.sp.*) ассоциациями с *Glyceria maxima* (Hartm.) Holmb., *Juncus effuses* L., *Poa palustris* L., *Alopecurus pratensis* L., *Phalaris arundinacea* L.

Показатели урожайности и кормовой ценности ПКУ по подклассам приведены в табл. 2.

ВЫВОДЫ

Согласно геоботаническим данным класс суходольных лугов, включающий три обследованных подкласса, является самым обширным – 61% от общей площади кормовых угодий всего района (28274,2 га). Далее после суходольных следуют низинные и западинные луга – 16,9%, затем долгопоемные и болотные (10 и 10,6% соответственно). Замыкают иерархический ряд краткостебельные луга (1%).

Урожайность лугов варьирует в пределах 10 – 67 ц/га и зависит от видового и биоморфологического состава, залегания грунтовых вод согласно приуроченности к элементам рельефа.

Наиболее продуктивными являются сеяные суходольные луга (урожайность сена 37 - 46 ц/га) на дерново слабо- и скрытоподзолистых почвах различного гранулометрического состава, среди низинных и западинных лугов на дерново-подзолисто-глеевых и дерново-глеевых почвах различного гранулометрического состава высокой урожайностью обладает осоково-канареечниково-лисохвостовая ассоциация (67 ц/га), на заболоченных лугах - разнотравно-осоково-канареечниковая (46 ц/га). Несмотря на высокую урожайность травостоя, особенно в понижениях, кормовые характеристики этих лугов уступают менее урожайным (разнотравно-злаковым, злаково-разнотравным и т.д.), так как в своем составе имеют грубостебельные растения невысокого качества (осока), обладающие низкой поедаемостью.

Таблица 2. Показатели урожайности и кормовой ценности ПКУ по подклассам
 Table 2. Indicators of productivity and feeding value of NG according to subclasses

Название класса	Занимаемая площадь, га	Название подкласса	Площадь, га	Площадь по группе, га		Урожайность, ц/га		Кормовая ценность, кг/кг	
						Сено	Сухая поедаемая масса	Комовые единицы	Переваримый протеин
1	2	3	4	5		6	7	8	9
Равнинно суходольно – луговой	17320,8	Злаково-разнотравные мелкотравные абсолютные суходолы равнин	518,7	1	296,2	10	6	43	3,4
				2	23,7	36	29	44	3,3
				3	198,8	-	-	-	-
		Злаково-разнотравные нормально увлажненные суходолы равнин	4515,9	4	374,3	16	11	44	4,7
				5	305,8	24	19	54	4,4
				6	492,1	16	10	45	4,0
				7	869,4	17	10	40	4,1
				8	440,2	22	18	47	3,9
				9	287,0	-	-	-	-
				10	1081,4	37	33	49	3,9
				11	665,7	-	-	-	-
		Злаково-осоково-разнотравные временно избыточно увлажненные суходолы равнин	12286,2	12	1217,2	19	11	39	4,2
				13	163,9	31	19	40	5,6
				14	70,2	-	-	-	-
				15	1843,5	19	13	47	4,6
				16	560,4	16	8	34	4,5
				17	669,9	17	13	43	4,3
				18	452,5	9	7	44	4,5

Продолжение табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9			
				19	1040,8	19	15	44	4,7		
				20	1203,9	25	20	46	4,4		
				21	2864,9	46	41	49	5,1		
				22	2009,0	-	-	-	-		
Низинные и западинные луговые лесной зоны на луговых и лугово – болотных почвах	4801,4	Злаково-осоково-мелкотравные влажные и сырые луга выщелоченных понижений	1615,0	23	244,4	20	8	46	5,3		
				24	239,0	24	10	36	3,3		
				25	429,2	14	10	50	4,0		
				26	249,4	15	12	49	5,3		
				27	313,0	29	26	44	5,6		
				28	140,0	-	-	-	-		
		Злаково-осоково-разнотравные луга низин натечно-грунтового питания	2636,0			29	750,1	28	14	43	4,8
						30	65,6	67	46	44	5,8
						31	349,0	17	10	39	5,2
						32	291,7	27	22	42	3,1
						33	427,6	34	31	49	4,9
		Злаково-разнотравные влажные и сырые луга низин и западин обеспеченного грунтового питания	550,4			34	752,0	-	-	-	-
						35	416,5	32	16	45	4,0
36	49,4					31	28	49	5,6		
				37	84,5	-	-	-	-		
Краткопоемные луга	291,3	Злаково-разнотравные мелкотравные сухие и свежие луга на оподзоленных почвах	111,1	38	111,1	31	19	43	4,9		

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5		6	7	8	9
		Злаковые и злаково-разнотравные мелкотравные, сухие и влажные луга	87,5	39	87,5	32	19	44	3,8
		Злаково-разнотравные с примесью осок сыроватые и сырые луга	92,7	40	78,9	33	20	47	3,9
				41	8,3	26	23	54	5,6
Долгопоемные луговые лесной зоны на аллювиально-луговых почвах	2852,0	Злаково-разнотравные с примесью бобовых свежие и влажные луга	532,0	42	5,5	-	-	-	-
				43	413,7	49	34	60	4,3
		Злаково-разнотравно-осоковые сыроватые и сырые луга	232,0	44	118,3	30	27	56	4,8
				45	1211,0	42	29	42	4,5
				46	663,0	30	15	71	4,7
47	244,6	40	32	42	5,8				
48	201,4	21	17	49	4,4				
Болотные на минеральных, торфянистых и торфяно-болотных почвах лесной зоны	3008,7	Осоково-болотистые луга с примесью злаков и разнотравья на минеральных почвах	1380,7	49	97,4	26	16	37	4,8
				50	582,0	36	16	43	5,6
				51	221,5	33	17	40	5,6
				52	157,7	19	13	44	4,5
				53	87,2	-	-	-	-
				54	111,8	21	19	58	5,2
		55	123,1	-	-	-	-		
		Осоково-болотистые луга с примесью злаков и разнотравья на торфянистых и торфяных почвах	1628,0	56	899,6	46	32	50	4,7
				57	495,1	34	17	41	4,5
58	101,7			29	26	49	4,6		
59	131,6	-	-	-	-				

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Территория Гурьевского района [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://gurievsk.gov39.ru/index.php/agriculture/>
2. Культуртехническое состояние природных кормовых угодий и перспективы их оптимизации / О. М. Бедарева [и др.] // Калининград: Известия Калининградского государственного технического университета. – 2017. – № 45. – С. 221–230.
3. Пастбища и сенокосы СССР / под ред. акад. ВАСХНИЛ Н. Г. Андреева. – Москва: Колос, 1974. – С. 5-41.
4. Бедарева, О. М. Экосистемы средних пустынь Казахстана и их инвентаризация методами дистанционного зондирования: моногр. / О. М. Бедарева. – Калининград: Изд-во КГТУ, 2015. – С. 36–37.
5. Амелина, М. А. Кормопроизводство в условиях Калининградской области / М. А. Амелина, Л. С. Еремеева. – Калининград: ФГУИПП «Янтарный сказ», 2000. – С. 8–25.
6. Матвеева, Е. П. Сенокосы и пастбища и меры их улучшения / Е. П. Матвеева. – Москва, 1953. – С. 84 – 92.
7. Бедарева, О. М. Продуктивность пустынных пастбищ Казахстана и оценка их состояния методами дистанционного зондирования / О. М. Бедарева, В. К. Хлюстов. – Калининград: Изд-во КГТУ, 2006. – С. 57–60.
8. Фондовые материалы «Севзапгипрозем», 1983. – С. 9–54.
9. Андреев, Н. Г. Луговое хозяйство / Н. Г. Андреев. – Москва: ВО «Агропромиздат», 1989. – С. 10–104.

REFERENCES

1. *Territoriya Gur'yevskogo rayona* [Territory of the Guryesk district]. Available at: <http://gurievsk.gov39.ru/index.php/agriculture/> [[Accessed 15 February 2018](#)].
2. Bedareva O. M. i dr. Kul'turtekhnicheskoye sostoyaniye prirodnikh kormovykh ugodiy i perspektivy ikh optimizatsii Kaliningrad [Crop-engineering condition of the natural grasslands and prospects of their use]. *Izvestiya KGTU*, 2017, no. 45, pp. 221-230.
3. *Pastbishcha i senokosy SSSR* [Pastures and haylands of USSR]. Moscow, Kolos, 1974, pp. 5-41.
4. Bedareva O. M. *Ekosistemy srednikh pustyn' Kazakhstanai ikh inventarizatsiya metodami distantsionnogo zondirovaniya* [Ecosystems of the average deserts of Kazakhstan and their inventory by remote sensing methods]. Kaliningrad, izd-vo KGTU, 2015, pp. 36–37.
5. Amelina M. A., Eremeeva L. S. *Kormoproizvodstvo v usloviyakh Kaliningradskoy oblasti* [The forage production in conditions of the Kaliningrad region]. Kaliningrad, FGUIPP “Yantarnyy skaz”, 2000, pp. 8-25.
6. Matveyeva Ye. P. *Senokosy i pastbishcha i mery ikh uluchsheniya*. [Hayfields and pastures and measures to improve them]. Moscow, 1953, pp. 84–92.
7. Bedareva O. M., Khlyustov V. K. *Produktivnost' pustynnykh pastbishch Kazakhstana i otsenka ikh sostoyaniya metodov distantsionnogo zondirovaniya* [Productiv-

ity of desert pastures in Kazakhstan and assessment of their condition by remote sensing]. Kaliningrad, izd-vo KGTU, 2006, pp. 57-60.

8. Fondovyye materialy “Sevzapgiprozem”, 1983, pp. 9-54.

9. Andreyev N. G. *Lugovodstvo* [Grassland science]. Moscow, VO “Agropromizdat”, 1989, pp. 10-104.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Бедарева Ольга Михайловна – Калининградский государственный технический университет; доктор биологических наук, доцент; заведующая кафедрой агропочвоведения и агроэкологии; E-mail: olgabedareva@mail.ru

Bedareva Olga Mikhajlovna – Kaliningrad State Technical University; Doctor of Biological Science, Assistant Professor; Head of the Department of Agropedology and Agroecology; E-mail: olgabedareva@mail.ru

Федюнина Оксана Павловна – Калининградский государственный технический университет; аспирант; E-mail: oksana.fedyunina@klgtu.ru

Fedyunina Oksana Pavlovna – Kaliningrad state technical university; graduate student; E-mail: oksana.fedyunina@klgtu.ru

УДК 577

ВЛИЯНИЕ АБИОТИЧЕСКИХ СТРЕССОВ НА
МЕТАБОЛИЗМ ВТОРИЧНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В РАСТЕНИЯХ

М. Н. Кондратьев, Е. С. Роньжина, Ю. С. Ларикова

EFFECT OF ABIOTIC STRESSORS
ON SECONDARY METABOLISM IN PLANTS

M. N. Kondratev, E. S. Ron'zhina, Ju. S. Larikova

Проанализировано использование современных подходов системной биологии и ее трех направлений – транскриптомики, протеомики и метаболомики – в изучении ответных стрессовых реакций растений на действие экологических факторов и оценке экологического стресса. Системный анализ включает несколько уровней сложности – от клеточного и субклеточного до организменного, что в сочетании с существованием нескольких этапов развития и взаимодействием растений с окружающей средой значительно усложняет описание и понимание ответных реакций организмов на действие абиотических стрессов. Подчеркнуто, что на клеточном и субклеточном уровне стресс-реакция растений включает комплекс разветвленных процессов на генетическом (транскрипционном, посттранскрипционном) и молекулярном (метаболическом) уровне, через регуляцию активности ферментов. В итоге формируется несколько метаболических путей, ведущих к образованию десятков тысяч вторичных продуктов, выполняющих протекторную функцию; в работе описана последовательность и взаимосвязь этих событий. Охарактеризовано участие активных форм кислорода и азота в модификации активности ферментов и регуляции экспрессии генов как одних из ранних сигналов при действии многих абиотических стрессов. Рассмотрена важная регуляторная роль и механизмы действия фитогормонов – абсцизовой кислоты и этилена - в ответных реакциях растений на абиотический стресс. Сделан вывод о том, что именно интеграция данных, полученных с использованием направлений системной биологии, позволяет идентифицировать специфику ответных реакций растений на тот или иной абиотический стресс; описаны факторы, ограничивающие этот подход.

системная биология, транскриптомика, протеомика, метаболомика, омик-технологии, абиотический стресс, регуляторные механизмы устойчивости растений, вторичные метаболиты, уровни организации

Modern approaches of system biology and its three directions – transcriptomics, proteomics, metabolomics – in studying of plant stress-reactions to ecological stress-factors have been analyzed. The system analysis includes different levels of organization, from cellular and subcellular to organismal. In combination with several stages of plant development and its interaction with environment it considerably complicates description and understanding of plant-reactions to effects of abiotic stressors. It is empha-

sized that plant stress reactions at the cellular and subcellular level include a complex of branched processes on the genetic and molecular (metabolic) level through regulation of enzyme activity. As a result, they form several metabolic pathways leading to formation of many protected secondary metabolites; the paper describes the sequence and interaction of these events. The role of oxygen and nitrogen active forms in enzyme activity and gene expression regulation as one of the earliest signal of abiotic stress is characterized. An important regulatory role and mechanisms of phytohormone (abscisic acid and ethylene) action in plant reaction to an abiotic stress is considered. It is concluded that complex data obtained with the directions of systems biology allows us to identify specifics of plant reactions to different abiotic stresses; factors limiting this approach are described.

system biology, transcriptomics, proteomics, metabolomics, omics technologies, abiotic stress, regulatory mechanisms of plant resistance, secondary metabolites, levels of organization

ВВЕДЕНИЕ

Растения постоянно испытывают воздействие неблагоприятных экологических условий – абиотических факторов, которые вызывают стрессы, играющие важную роль в определении продуктивности растений [1], а также дифференциальном распределении растительных видов в разных типах окружающей среды [2]. Наиболее распространёнными абиотическими стрессорами являются: снижение доступности воды, экстремальные температуры (нагрев или охлаждение), высокая концентрация солей в среде корнеобитания, снижение доступности питательных веществ в почве и/или избыток токсичных ионов, света, повышенная эвапотранспирация, уплотнение почвы, препятствующее росту корней. Способность акклиматизироваться и/или адаптироваться в разных условиях среды прямо или косвенно связана с пластичностью и эластичностью фотосинтеза в сочетании с другими процессами, определяющими рост, развитие и продуктивность растений [3].

Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК) в 2012 г. указала, что повышение температуры, недостаток влаги, наводнения, опустынивание и ухудшение состояния пахотных земель, экстремальные погодные условия будут серьезно влиять на сельское хозяйство, особенно в регионах, подверженных засухе [4]. Проблема продовольственной безопасности подчеркивает необходимость согласованного на глобальном уровне исследовательского подхода для улучшения сортов сельскохозяйственных культур в целях смягчения неурожаев в экстремальных условиях. Поэтому одной из основных целей совершенствования растений является создание сортов и гибридов, устойчивых к воздействию стрессирующих факторов и способных дать значительный урожай в аномальных условиях.

Наиболее перспективным направлением, позволяющим решить эту проблему, является проведение исследований, основанных на разработке молекулярных маркеров, идентификации потенциальных генов или профилей экспрессии генов, а также использование трансгенных подходов. Так, несколько устойчивых

к стрессу генов, кодирующих функциональные белки, были идентифицированы и с помощью генной инженерии введены в модельные виды, такие как *Medicago truncatula* Gaertn., *Nicotiana tabacum* L. или *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh., что демонстрирует возможность создания растений с улучшенной толерантностью к абиотическим стрессам. Тем не менее следует иметь в виду, что успех этого подхода основан на разработке эффективных методов регенерации и трансформации растений, адекватных целевым видам или генотипам.

РОЛЬ ОМИЧЕСКОЙ И СИСТЕМНОЙ БИОЛОГИИ В ПОНИМАНИИ ОТВЕТНЫХ АБИОТИЧЕСКИХ СТРЕССОВЫХ РЕАКЦИЙ

В течение последнего десятилетия подходы «редукционистской» молекулярной и функциональной биологии постепенно заменяются «целостным» подходом системной биологии. Однако молекулярная и системная биология являются фактически взаимозависимыми и взаимодополняющими способами изучения и понимания сложных явлений, происходящих в живых организмах [5]. В настоящее время разработка и использование постгеномных методологий, таких как глобальный анализ транскриптов, протеомов и метаболитов, интегрированных на базе биоинформатики, заметно изменили наши знания и целостное понимание различных функций растений, в том числе реакцию на абиотические стрессы [6].

Системный анализ включает в себя несколько уровней сложности – от отдельных органелл или клеток, тканей, органов до целых организмов. Эти переменные могут сочетаться с несколькими этапами развития и взаимодействием с окружающей средой, что ещё более усложняет описание ответных реакций растений на действие абиотических стрессов [7].

Такие подходы обеспечили прорыв в так называемых омик-технологиях, который привел к разработке новых типов экспериментов, обеспечивающих глубокое понимание функции генов, а также их влияния на фенотипические изменения в конкретном биологическом контексте [8]. Подходы системной биологии могут обойти некоторые барьеры, которые ранее блокировали распространение знаний, полученных на модельных растениях, таких как *A. thaliana* и *M. truncatula*, к другим экономически важным видам в свете текущего прогресса в создании новых последовательностей и функциональных ресурсов генома. Предполагают, что эта тенденция сохранится и в следующем десятилетии [7, 9].

Большинство из них основаны на трех направлениях («омиках»): транскриптомика, протеомика и метаболомика (рис. 1).

Кроме того, для идентификации регуляторных белков, участвующих в комплексных реакциях целого растения, успешно используют взаимодействия ДНК-белок и белок-белок [10]. Решающее значение во всех аспектах исследований, основанных на «омиках», для эффективного управления различными типами данных генома и получения ценной информации, облегчения обмена знаниями, полученными на модельных организмах, имеет биоинформатика [11].

Транскриптом обозначает полный набор транскриптов в данном организме или специфический набор транскриптов (молекул РНК), представленный в клетках определённого типа. Транскриптомика, также называемая профилированием экспрессии, фиксирует пространственную и временную экспрессию гена в тканях

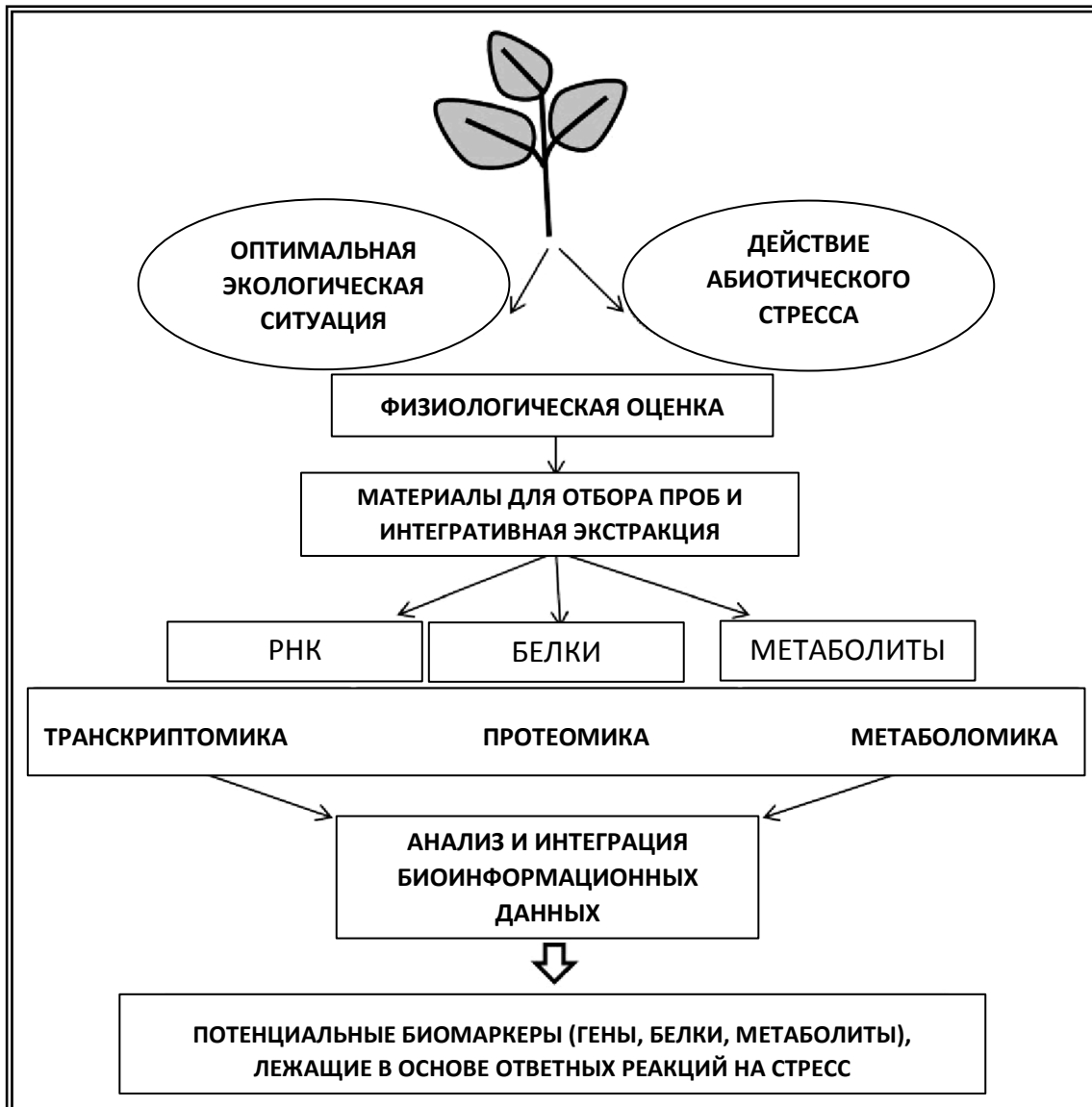


Рис. 1. Схема общего подхода в системной биологии для изучения ответных реакций растений на абиотический стресс [11] (с изменениями)

Fig. 1. Schematic overview of a common System Biology approach to study abiotic stress responses in plants [11] (with amendments)

растений или популяциях клеток в конкретном биологическом контексте (например, генотип, рост или состояние окружающей среды). Во многих случаях транскриптомический анализ используют в скрининге генов-кандидатов для программ смягчения абиотического стресса [12] или предсказания предполагаемой функции гена путем ассоциации экспрессированных или совместно выраженных генов в связи с изменением фенотипа растения [13]. Транскриптомические подходы должны включать высокоспецифичные, чувствительные и количественные измерения в большом динамическом диапазоне с учетом пластичности для идентификации изменений в структурах и последовательностях транскриптов [14]. Примерами

успешного использования транскриптомиического анализа являются исследования с кассавой (*Manihot esculenta* Crantz) [15] и нутом (*Cicer arietinum* L.) [16].

Протеомику можно определить как науку, которая изучает протеом, т. е. количество белков, содержащихся в данной клетке, ткани, органе, организме или популяции. Её обычно ассоциируют с двумя направлениями: 1) характеристикой протеома, в которой идентифицированы все белки, выраженные в данной клетке, ткани, органе, организме или популяциях; 2) дифференциальной протеомикой, в которой протеом, например растение, выращиваемое в контрольных условиях, сравнивают с протеомом того же растения, произрастающего в экспериментальных условиях, таких как воздействие дефицита тяжелого металла или воды, или, в другом примере, сравнение экспрессии белковых профилей между различными сортами пшеницы. Протеомика преимущественно использует два лабораторных метода: электрофорез белков (в частности, двумерный электрофорез и DIGE - разностный гель-электрофорез) и идентификацию белков с использованием масс-спектрометрии [17]. Протеомику (особенно дифференциальную) широко применяют для изучения влияния нескольких абиотических стрессов на органы и ткани растений. Так, и транскриптомику, и протеомику использовали для изучения эффектов холодового и солевого стресса на листьях картофеля (*Solanum tuberosum* L.) [18]. Благодаря этим исследованиям удалось выявить ряд дифференцированных генов и белков при действии обоих стрессов. Интересно, что в результате воздействия солей сильно снижалась регуляция генов, участвующих в первичном метаболизме, работе детоксикационного аппарата и трансдукции сигнала, тогда как при холодовом воздействии гены с повышенным и пониженным уровнем действия были одинаковыми. Напротив, анализ протеома указывал на увеличение экспрессии почти каждого белка, за исключением тех, которые функционируют в фотосинтетическом аппарате. Результаты этого исследования свидетельствуют не только о существовании различий между экспрессией транскриптома и протеома под действием холодового и солевого стрессов, но и о том, что анализ протеома имеет тенденцию быть намного более полным, чем анализ транскриптома.

Метод DIGE использовали для изучения действия высокого уровня ультрафиолетового (УФ) излучения на листовую протеом артишока (*Cynara* L.), способного накапливать высокие концентрации индуцируемых антиоксидантов [19]. Авторы наблюдали в общей сложности 145 белковых зон, из которых идентифицировали 111. Большинство белков были дифференциально модулированы, располагались в хлоропластах, принимали участие в фотосинтезе, метаболизме сахаров, в изменении структуры белков и стрессовых реакциях растений, что открывало новые возможности для понимания физиологических и метаболических изменений, вызванных воздействием УФ-излучения.

Эти и другие примеры [20] демонстрируют преимущества использования (дифференциальной) протеомики для изучения эффектов различных абиотических стрессов, таких как дефицит воды, температура или УФ-облучение. Результаты показывают, что большое количество белков и метаболические пути, в которых они принимают участие, находятся под негативным воздействием этих факторов. Преимущества протеомики еще более подчеркивает возможность изучения посттрансляционных модификаций, имеющих ключевое значение в физиологических и биохимических реакциях растений на стресс.

ВЛИЯНИЕ АБИОТИЧЕСКОГО СТРЕССА НА СИНТЕЗ ВТОРИЧНЫХ МЕТАБОЛИТОВ В РАСТЕНИЯХ

Растения способны эффективно реагировать на стрессовые ситуации, вызванные биотическими и абиотическими факторами, благодаря тому, что имеют несколько метаболических путей, ведущих к образованию десятков тысяч вторичных продуктов. Пути превращения продуктов основных процессов первичного метаболизма при первоначальном дублировании генов часто ограничиваются конкретными таксономическими группами и играют важную роль при взаимодействии растений с окружающей средой [21].

Очевидно, что различные условия роста растений должны оказывать существенное влияние на синтез и накопление в их органах продуктов вторичного метаболизма. Как правило, растения обладают способностью приспосабливать свой метаболизм к изменениям окружающей среды. При произрастании в нормальных условиях они синтезируют комплекс вторичных продуктов, стрессовые факторы могут привести к увеличению их производства. Установлено [22], что в условиях стресса возникает значительный избыток восстановительных эквивалентов ($\text{НАДФ}\cdot\text{H} + \text{H}^+$), при этом количество вторичных метаболитов выше в растениях, сильно пострадавших от абиотического стресса, по сравнению с растениями, выращенными в оптимальных условиях. Для уменьшения повреждения активными формами кислорода (АФК) $\text{НАДФ}\cdot\text{H} + \text{H}^+$ повторно окисляется с помощью фотодыхания и виолаксантинового цикла.

ГЛАВНЫЕ РЕГУЛЯТОРЫ ОБМЕНА ВЕЩЕСТВ ПРИ ДЕЙСТВИИ СТРЕССОВЫХ ФАКТОРОВ

Реакции растений на абиотические стрессы являются динамическими и сложными и подразделяются на обратимые и необратимые. Одним из самых ранних метаболических ответов на действие абиотического стресса и последующее торможение роста является ингибирование синтеза белка [23] в сочетании с нарушением третичной и четвертичной структуры белковых молекул [24]. По мере нарастания стресса также изменяется углеводный и липидный обмен [25]. Таким образом, существует постепенное и комплексное изменение метаболизма в ответ на действие неблагоприятных факторов среды.

Реакция молекулярных механизмов растений на абиотические стрессы включает взаимодействия со многими обменными процессами [26]. Для выяснения некоторых ключевых регуляторных путей в реакции растений и используют подходы системной биологии и «омики» (рис. 2). Одним из ранних сигналов при действии многих абиотических стрессов является появление АФК (ROS) и активных видов азота (RNS), которые модифицируют активность ферментов и регуляцию генов [27, 28]. ROS и RNS образуют согласованный комплекс, регулирующий многие реакции растений на воздействие окружающей среды. Существует большое количество исследований окислительных эффектов ROS на реакции растений на абиотический стресс, но в доступной нам литературе имеется только одна работа, в которой описаны нитрозативные эффекты RNS [27].

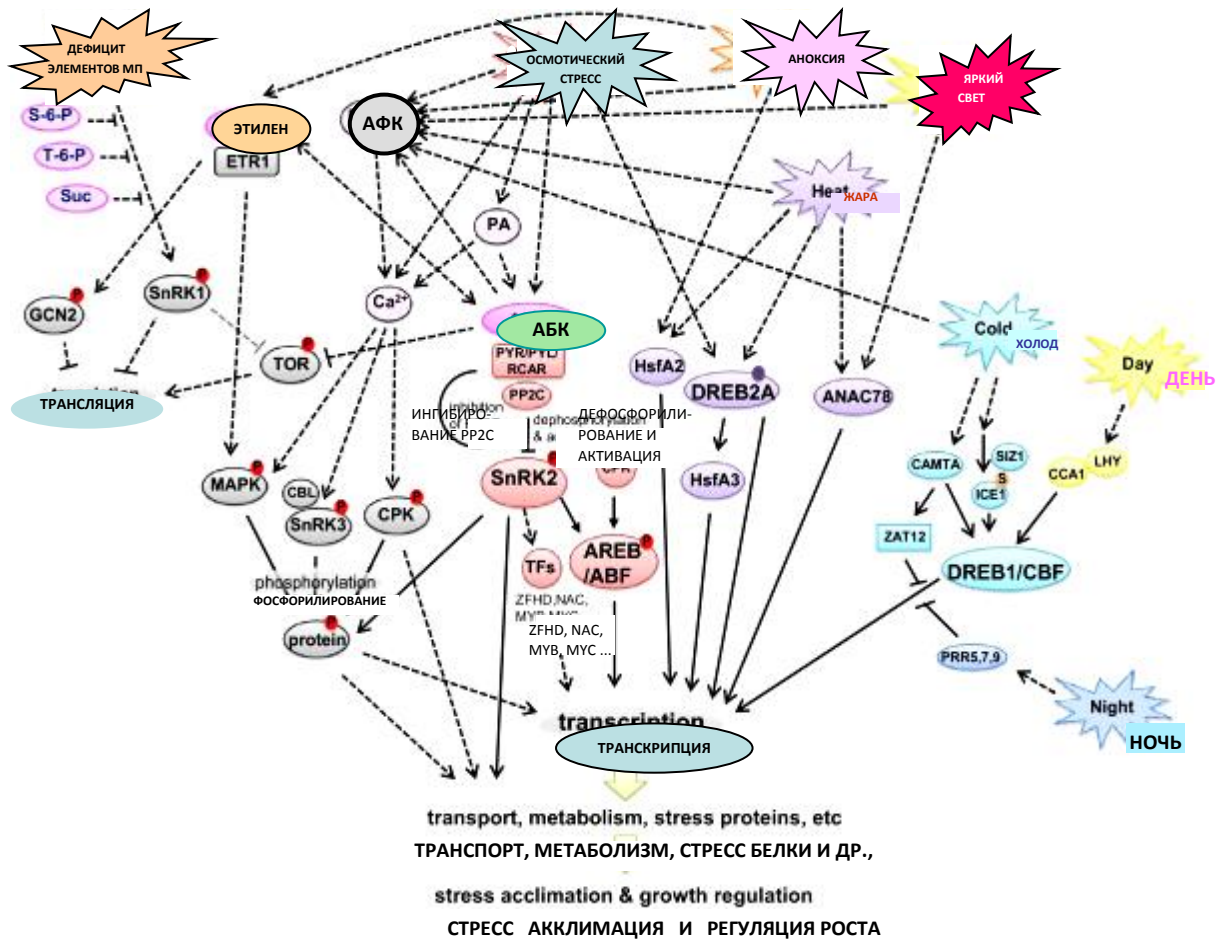


Рис. 2. Упрощенная рабочая модель сигнальной сети реакций растений на абиотический стресс [7]: овалы указывают на белки, метаболиты или процессы; сплошные линии - прямые соединения; пунктирные линии – косвенные соединения (действующие через некоторую промежуточную молекулу); серая линия - реакция не была показана в растениях. Сокращения: АБК - абсцизовая кислота; ANAC - домен белков *Arabidopsis* NAC; CAMTA - кальмодулин-связывающий активатор транскрипции, CBL (кальциневрин В – обеспечивает взаимодействие с протеинкиназой), CCA (обеспечивает взаимодействие с циркадными ритмами), CPK (кальций-зависимая протеинкиназа), сайт DREB/CBF (элемент реакции на обезвоживание, связанный с белками/C – дублирующий связывающий фактор), ETR1 (ответ на этилен 1), GCN2 (общий контроль отсутствия репрессии 2), HSF (фактор теплового шока), ICE (индуктор экспрессии CBF), MAPK (митоген-активируемая протеинкиназа), LHY (окончание удлинения гипокотыля), PA (фосфатидная кислота), PP2C (белок фосфатазы 2C), PRR (псевдоответ регулятора), PYR/PYL/RCAR (рецепторы АБК), RNS (активные формы азота), АФК (активные формы кислорода), SIZ (SAP и домен Miz белка), SnRK (неферментированная сахароза 1, связанная с киназой), TFs (фактор транскрипции), TOR (мишень рапамицина), ZAT (Zn-содержащий белок)

Fig. 2. A simplified working model of a signaling network of plant responses to abiotic stress: ovals represent proteins, metabolites or processes; solid lines represent direct connections; dotted lines represent indirect connections (acting through some intermediate molecule); the gray line indicates that this reaction has not been shown in plants. Not all linkages and details of stress and hormone effects are shown in this diagram in order to simplify the model. Abbreviations: ABA (abscisic acid), ANAC (*Arabidopsis* NAC domain-containing protein), CAMTA (calmodulin-binding transcription activator), CBL (calcineurin B-like interacting protein kinase), CCA (circadian clock associated), CPK (calcium-dependent protein kinase), DREB/CBF (dehydration response element binding protein/C-repeat binding factor), ETR1 (ethylene response 1), GCN2 (general control non-repressible 2), HSF (heat shock factor), ICE (inducer of CBF expression), MAPK (mitogen-activated protein kinase), LHY (late elongated hypocotyl), PA (phosphatidic acid), PP2C (protein phosphatase 2C), PRR (pseudo response regulator), PYR/PYL/RCAR (ABA receptors), RNS (reactive nitrogen species), ROS (reactive oxygen species), SIZ (SAP and Miz domain protein), SnRK (sucrose nonfermenting-1 related kinase), TFs (transcription factors), TOR (target of rapamycin), ZAT (zinc finger protein)

Важными регуляторами растений в ответах на абиотический стресс также являются фитогормоны (рис. 2). При этом абсцизовая кислота (АБК) служит центральным регулятором многих ответов растений на неблагоприятное воздействие факторов среды, особенно осмотического стресса. Сигнал, распространяемый с участием АБК, может быть очень быстрым и формироваться без привлечения транскрипционной активности. Хорошим примером считают поддержание баланса воды в растении посредством контроля АБК устьичной транспирации. Более медленными являются транскрипционные ответы на АБК, регулирующие рост, прорастание и защитные механизмы растений. В последнее время установлены наиболее существенные компоненты сигнальной системы АБК, уточнен механизм их действия [29]. Модель сигнализации АБК включает три основных компонента: рецепторы (PYR / PYL / RCAR), белковые фосфатазы (PP2C) и протеинкиназы (SnRK2 / OST1) (рис. 2). При изучении транскрипционной регуляции водного и солевого стресса выявили как АБК-зависимые, так и АБК-независимые пути. Воздействие водного и солевого стрессов приводит к увеличению эндогенного уровня АБК, что сопровождается активацией генов, включающих в работу всю сигнальную систему, факторы транскрипции, метаболические ферменты и т.д. [30]. Таким образом, активация сигнальных каскадов АБК приводит к усилению толерантности к дегидратационному стрессу.

Этилен также участвует во многих стресс-ответах, включая реакцию растений на засуху, гипоксию и аноксию, неблагоприятные температуры, УФ-облучение [31]. Описано взаимодействие между этиленом и АБК при засухе, созревании плодов и в период покоя почек древесных пород [32]. Все эти взаимодействия делают реакцию растения на стресс очень сложной.

Многие абиотические стрессы прямо или косвенно влияют на синтез, концентрацию, обмен веществ, транспорт и запасание сахаров. Растворимые сахара являются потенциальными сигналами регуляции роста и развития растений под влиянием света, азота и других стрессирующих абиотических факторов. По крайней мере, 10% генов *Arabidopsis* являются сахарозащитными [33]. Анализ мутантов показал, что «сахарная» сигнализация взаимодействует с этиленом [34], АВА [35], цитокининами [36] и светом [37].

Анализ временных рядов позволил выявить наличие нескольких фаз в реакции на абиотический стресс [38]. Временной ряд – это полученные в разные моменты времени статистические данные о значении каких-либо параметров исследуемого процесса. Например, при проведении эксперимента по действию УФ-В радиации на *Arabidopsis* с применением временного ряда [39] использовались метаболические и транскриптомические подходы. Выявлено, что ответная реакция растений на стресс состояла из двух фаз с повышенным образованием первичных метаболитов в первой фазе и индукцией синтеза защитных вторичных метаболитов (особенно фенолов) во второй фазе. Индукция фенолов соответствовала транскриптам, участвующим в фенилпропаноидном пути, но транскрипты для первичных метаболитов были менее согласующимися, что указывало на возможность регуляции другими механизмами (например, киназами). Транскриптомический ответ на действие засухи варьировал в зависимости от времени суток [40]. Можно полагать, что эти ответы зависят от гормонального статуса растений и действия других стрессов, которые, естественно, меняются в течение дня.

Интеграция данных транскриптомики и метаболомики позволяет идентифицировать различия в ответных реакциях на тот или иной абиотический стресс. Было выявлено, что растения, испытывающие воздействие засухи, в большей степени индуцируют процессы, необходимые для осмотической корректировки и защиты от АФК и фотоингибирования. Засоление в большей степени активирует реакции, связанные с энергетическим обменом, переносом ионов, синтезом и обменом белков [25]. Сравнительное изучение краткосрочных и длительно действующих стрессов показало, что в последнем случае ответные реакции растений являются более сложными [41]. Кроме того, комплексный анализ с использованием транскриптомики и метаболомики раскрывает связи между генами и метаболитами, демонстрируя широкий диапазон сигналов, исходящих от АБК при дегидратации [42] и транскрипционных факторов DREB1 / CBF в ответ на действие, например, низких температур [43]. Метаболомное профилирование показывает, что уровень АБК повышается во время обезвоживания, регулируя накопление различных аминокислот и сахаров, в частности глюкозы и фруктозы, которые повышают осмотический потенциал клеток.

На растениях *Arabidopsis* производили сравнение метаболомики между такими стрессами, как обезвоживание, засоление, интенсивность света, низкая и высокая температура с целью выявления специфичности метаболитов, образуемых при действии каждого из названных абиотических стрессов [25, 40, 43]. При одновременном воздействии водного и теплового стрессов последний снижал антидотное действие пролина, указывая на то, что в растениях при более сильном водно-тепловом стрессе сахароза заменяет пролин в качестве основного осмопротектора [44]. Сравнительный анализ метаболитов, образуемых при воздействии на *Arabidopsis* теплового и холодового шока, показал, что их количество при тепловом шоке было значительно больше, чем при холодовом [43]. Эти результаты свидетельствуют о том, что метаболическая сеть растворимых веществ, образуемых в ответ на действие стрессора, включает пролин, моносахара (глюкозу и фруктозу), галактинол и раффинозу, которые играют важную роль в толерантности к температурному стрессу.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сопоставление ответных реакций при действии различных абиотических факторов обеспечило новое понимание механизмов их протекания в растительной клетке. Тем не менее требуется гораздо больше исследований для составления полной картины реакции растений на абиотический стресс. Характер и способы ответов будут в сильной степени зависеть от вида, органа, изучаемых тканей, типа клеток, этапа развития растения, а также от вида стресса (стрессов), действующего на растение, его уровня и продолжительности. Несмотря на огромное количество работ, посвящённых абиотическому стрессу в последнее десятилетие, в наших знаниях по-прежнему существуют значительные пробелы. Как следует из настоящего обзора, есть определённые достижения в исследовании действия стрессирующих факторов на молекулярном, субклеточном, клеточном уровнях, но их явно недостаточно для выявления эффекта абиотического стресса на уровне целого растения и растительных сообществ.

Большая часть научной литературы по абиотическим стрессовым реакциям растений основана на данных транскриптомики, меньшая – протеомики (меха-

низмы первичной сигнализации). Однако транскриптомического анализа недостаточно из-за существования общей низкой корреляции профилей транскриптомики с профилями протеомики [45] или активностью ферментов [46]. Кроме этого, существенное методическое затруднение состоит в том, что данные транскриптомики могут быть собраны в течение нескольких дней или недель, но их анализ часто занимает больше года. Тем не менее подходы системной биологии позволили получить более целостное представление об ответных реакциях на абиотический стресс на молекулярном уровне.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Boyer, J. S. *Plant Productivity and Environment* / J. S. Boyer // *Science*. – 1982. – Vol. 218. – P. 443–448.
2. Chaves, M. M. *Understanding Plant Responses to Drought – from Genes to the Whole Plant* / M. M. Chaves, J. P. Maroco, J. S. Pereira // *Functional Plant Biol.* – 2003. – Vol. 30. – P. 239–264.
3. Chaves, M. M. *Recent Advances in Photosynthesis under Drought and Salinity* / M. M. Chaves, J. M. Costa, N. J. M. Saibo // *Adv. Bot. Res.* – 2011. – Vol. 57. – P. 50–83.
4. Goodstein, D. M. *Phytozome: a Comparative Platform for Green Plant Genomics* / D. M. Goodstein, S. Shu, R. Howson, R. Neupane, R. D. Hayes, J. Fazo, T. Mitros, W. Dirks, U. Hellsten, N. Putnam, D. S. Rokhsar // *Nucleic Acids Res.* – 2012. – Vol. 40. – P. 1178–1186 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.phytozome.net> (дата обращения: 21.12.2017).
5. Fang, F. C. *Reductionistic and Holistic Science* / F. C. Fang, A. Casadevall // *Infection and Immunity*. – 2011. – Vol. 79. – P. 1401–1404.
6. Mochida, K. *Advances in Omics and Bioinformatics Tools for Systems Analysis of Plant Functions* / K. Mochida, K. Shinozaki // *Plant Cell Physiol.* – 2011. – Vol. 52. – P. 2017–2038.
7. Cramer, G. R. *Effects of Abiotic Stress on Plants: a Systems Biology Perspective* / G. R. Cramer, K. Urano, S. Delrot, M. Pezzotti, K. Shinozaki // *BMC Plant Biol.* – 2011. – Vol. 11 [Электронный ресурс]. URL: <https://bmcplantbiol.biomedcentral.com/articles/10.1186/1471-2229-11-163> (дата обращения: 15.01.2018).
8. Jogaiah, S. *Systems Biology-Based Approaches toward Understanding drought Tolerance in Food Crops* / S. Jogaiah, S.R. Govind, L.S.P. Tran // *Crit. Rev. Biotechnol.* – 2013. – Vol. 33(1). – P. 23–39.
9. Nambara, E. E. *Seed Biology in the 21st Century: Perspectives and New Directions* / E. E. Nambara, H. Nonogaki // *Plant Cell Physiol.* – 2012. – Vol. 53. – P. 1–4.
10. Zhang, Y. *Plant Protein-Protein Interaction Network and Interactome* / Y. Zhang, P. Gao, J. S. Yuan // *Current Genomics.* – 2010. – Vol. 11. – P. 40–46.
11. Duque, A. S. *Abiotic Stress Responses in Plants: Unraveling the Complexity of Genes and Networks to Survive* / A. S. Duque, A. M. Almeida, A. B. Silva, J. M. Silva, A. P. Farinha, D. Santos, P. Fevereiro, S. S. Araujo [Электронный ресурс]. URL: <http://dx.doi.org/10.5772/52779> (дата обращения: 10.01.2018).
12. Shinozaki, K. *Omics and Bioinformatics: an Essential Toolbox for Systems Analysis of Plant Functions beyond 2010* / K. Shinozaki, H. Sakakibara // *Plant Cell Physiol.* – 2009. – Vol. 50. – P. 1177–1180.

13. Francki, M. G. Transcriptomics, Proteomics and Metabolomics: Integration of Latest Technologies for Improving Future Wheat Productivity / M.G. Francki, A.C. Crawford, K. Oldach // *Sustainable Agriculture and New Technologies*. N. Benkeblia (ed.). – Boca Raton: CRC Press, 2012. – P. 425–452.
14. Lister, R. Next is Now: New Technologies for Sequencing of Genomes, Transcriptomes and beyond / R. Lister, B.D. Gregory, J.R. Ecker // *Current Opinion in Plant Biol.* – 2009. – Vol. 12. – P. 107–118.
15. Huang, L. Boron Nutrition and Chilling Tolerance of Warm Climate Crop Species / L. Huang, Z. Ye, R.W. Bell, B. Dell // *Ann. Bot.* – 2005. – Vol. 96. – P. 755–67.
16. Gunes, A. Genotypic Response of Chickpea (*Cicer arietinum* L.) Cultivars to Drought Stress Implemented at Pre- and Post-Anthesis Stages and Its Relations with Nutrient Uptake and Efficiency / A. Gunes, N. Cicek, A. Inal, M. Alpaslan, F. Eraslan, E. Guneri, T. Guzelordu // *Plant Soil Environ.* – 2006. – Vol. 52. – P. 368–376.
17. Soares, R. Mass Spectrometry and Animal Science: Protein Identification Strategies and Particularities of Farm Animal Species / R. Soares, G. Franco, E. Pires, M. Ventosa, R. Palhinas, K. Koci, A.M. Almeida, A.V. Varela Coelho // *J. Proteomics.* – 2012. – V.75. – P. 4190-4206.
18. Evers, D. Towards a Synthetic View of Potato Cold and Salt Stress Response by Transcriptomic and Proteomic Analysis / D. Evers, S. Legay, D. Lamoureux, J.F. Hausman, L. Hoffmann, J. Renaut // *Plant Mol. Biol.* – 2012. – Vol. 78. – P. 503–514.
19. Falvo, S. 2-D DIGE Analysis of UV-C Radiation-Responsive Proteins in Globe Artichoke Leaves / S. Falvo, M. Di Carli, A. Desiderio, E. Benvenuto, A. Moglia, T. America, S. Lanteri, A. Acquadro // *Proteomics.* – 2012. – Vol. 12. – P. 448-460.
20. Farinha, A. P. Novel Clues on Abiotic Stress Tolerance Emerge from Embryo Proteome Analysis of Rice Varieties with Contrasting Stress Adaptation / A. P. Farinha, S. Irar, E. de Oliveira, M. M. Oliveira, M. Pages // *Proteomics.* – 2011. – Vol. 11. – P. 2389-2405.
21. Nackimento, N. Plant Secondary Metabolism and Challenges in Modifying its Operation: an Overview / N. Nackimento, A. Fett-Neto // *Methods Mol. Biol.* – 2010. – Vol. 54. – P. 1-13.
22. Kleinwachter, M. New Insights Explain that Drought Stress Enhances the Quality of Spice and Medicinal Plants: Potential Applications / M. Kleinwachter, D. Selmar // *Agron. Sustain. Dev.* – 2015. – Vol. 35. – P. 121–131.
23. Good, A. The Effects of Drought Stress on Free Amino Acid Accumulation and Protein Synthesis in *Brassica napus* / A. Good, S. Zaplachinski // *Physiol. Plant.* – 1994. – Vol. 90. – P. 9-14.
24. Liu, J. Endoplasmic Reticulum Protein Quality Control and Its Relationship to Environmental Stress Responses in Plants / J. Liu, S. Howell // *Plant Cell.* – 2010. – Vol. 2. – P. 2930-2942.
25. Cramer, G. Water and Salinity Stress in Grapevines: Early and Late Changes in Transcript and Metabolite Profiles / G. Cramer, A. Ergul, J. Grimplet, R. Tillett, A. Tattersall, M. Bohlman, D. Vincent, J. Sonderegger, J. Evans, C. Osborne, D. Quilici, K. Schlauch, D. Schooley, J. Cushman // *Funct. Integr. Genomics.* – 2007. – Vol. 7. – P. 111–134.

26. Takahashi, S. Monitoring the Expression Profiles of Genes Induced by Hyperosmotic, High Salinity, and Oxidative Stress and Abscisic Acid Treatment in Arabidopsis Cell Culture Using a Full-Length cDNA Microarray / S. Takahashi, M. Seki, J. Ishida, M. Satou, T. Sakurai, M. Narusaka, A. Kamiya, M. Nakajima, A. Enju, K. Akiyama, K. Yamaguchi-Shinozaki, K. Shinozaki // *Plant Mol. Biol.* - 2004. - Vol. 56. - P. 29-55.
27. Molassiotis A. Oxidative and Nitrosative Signaling in Plants: Two Branches in the Same Tree? / A. Molassiotis, V. Fotopoulos // *Plant Signal Behav.* - 2011. - Vol. 6. - P. 210-214.
28. Mittler, R. ROS Signaling: the New Wave? / R. Mittler, S. Vanderauwera, N. Suzuki, G. Miller, V. Tognetti, K. Vandepoele, M. Gollery, V. Shulaev, B. Van // *Trends Plant Sci.* - 2011. - Vol. 16. - P. 300-309.
29. Umezawa, T. Systems Biology Approaches to Abscisic Acid Signaling / T. Umezawa // *J. Plant Res.* - 2011. - Vol. 124. - P. 539-548.
30. Yamaguchi-Shinozaki, K. Transcriptional Regulatory Networks in Cellular Responses and Tolerance to Dehydration and Cold Stresses / K. Yamaguchi-Shinozaki, K. Shinozaki // *Annu. Rev. Plant Biol.* - 2006. - Vol. 57. - P. 781-803.
31. Morgan, P. Ethylene and Plant Responses to Stress / P. Morgan, M. Drew // *Physiol. Plant.* - 1997. - Vol. 100. - P. 620-630.
32. Ophir, R. Gene Expression Profiling of Grape Bud Response to Two Alternative Dormancy-Release Stimuli Expose Possible Links between Impaired Mitochondrial Activity, Hypoxia, Ethylene-ABA Interplay and Cell Enlargement / R. Ophir, X. Pang, T. Halaly, J. Venkateswari, S. Lavee, D. Galbraith, E. Or // *Plant Mol. Biol.* - 2009. - Vol. 71. - P. 403-423.
33. Kang, S. The Arabidopsis bZIP1 Transcription Factor is Involved in Sugar Signaling, Protein Networking, and DNA Binding / S. Kang, J. Price, P. Lin, J. Hong, J. Jang // *Mol. Plant.* - 2010. - Vol. 3. - P. 361-373.
34. Zhou, L. Glucose and Ethylene Signal Transduction Crosstalk Revealed by an Arabidopsis Glucose-Insensitive Mutant / L. Zhou, J. Jang, T. Jones, J. Sheen // *Proc. Nat. Acad. Sci. USA.* - 1998. - Vol. 95. - P. 10294-10299.
35. Arenas-Huertero, F. Analysis of Arabidopsis Glucose Insensitive Mutants, gin5 and gin6, Reveals a Central Role of the Plant Hormone ABA in the Regulation of Plant Vegetative Development by Sugar / F. Arenas-Huertero, A. Arroyo, L. Zhou, J. Sheen, P. Leon // *Genes Dev.* - 2000. - Vol. 14. - P. 2085-2096.
36. Franco-Zorrilla, J. Interaction between Phosphate-Starvation, Sugar, and Cytokinin Signaling in Arabidopsis and the Roles of Cytokinin Receptors CRE1/AHK4 and AHK3 / J. Franco-Zorrilla, A. Martin, A. Leyva, J. Paz-Ares // *Plant Physiol.* - 2005. - Vol. 138. - P. 847-857.
37. Thum, K. Light- and carbon-signaling pathways. Modeling circuits of interactions / K. Thum, D. Shasha, L. Lejay, G. Coruzzi // *Plant Physiol.* - 2003. - Vol. 132. - P. 440-452.
38. Kilian, J. The AtGenExpress Global Stress Expression Data Set: Protocols, Evaluation and Model Data Analysis of UV-B Light, Drought and Cold Stress Responses / J. Kilian, D. Whitehead, J. Horak, D. Wanke, S. Weinl, O. Batistic, C. D'Angelo, E. Bornberg-Bauer, J. Kudla, K. Harter // *Plant J.* - 2007. - Vol. 50. - P. 347-363.

39. Kusano, M. Metabolomics Reveals Comprehensive Reprogramming Involving Two Independent Metabolic Responses of Arabidopsis to UV-B Light / M. Kusano, T. Tohge, A. Fukushima, M. Kobayashi, N. Hayashi, H. Otsuki, Y. Kondou, H. Goto, M. Kawashima, F. Matsuda, R. Niida, M. Matsui, K. Saito, A. Fernie // *Plant J.* - 2011. - Vol. 67. - P. 354-369.
40. Wilkins, O. Time of Day Shapes Arabidopsis Drought Transcriptomes / O. Wilkins, K. Brautigam, M. Campbell // *Plant J.* - 2010. - Vol. 63. - P. 715-727.
41. Tattersall, E. Transcript Abundance Profiles Reveal Larger and More Complex Responses of Grapevine to Chilling Compared to Osmotic and Salinity Stress / E. Tattersall, J. Grimplet, L. Deluc, M. Wheatley, D. Vincent, C. Osborne, A. Ergul, E. Lomen, R. Blank, K. Schlauch, J. Cushman, G. Cramer // *Funct. Integr. Genomics.* 2007. - Vol. 7. - P. 317-333.
42. Urano, K. Characterization of the ABA-Regulated Global Responses to Dehydration in Arabidopsis by Metabolomics / K. Urano, K. Maruyama, Y. Ogata, Y. Morishita, M. Takeda, N. Sakurai, H. Suzuki, K. Saito, D. Shibata, M. Kobayashi, K. Yamaguchi-Shinozaki, K. Shinozaki // *Plant J.* - 2009. - Vol. 7. - P. 1065-1078.
43. Maruyama, K. Metabolic Pathways Involved in Cold Acclimation Identified by Integrated Analysis of Metabolites and Transcripts Regulated by DREB1A and DREB2A / K. Maruyama, M. Takeda, S. Kidokoro, K. Yamada, Y. Sakuma, K. Urano, M. Fujita, K. Yoshiwara, S. Matsukura, Y. Morishita, R. Sasaki, H. Suzuki, K. Saito, D. Shibata, K. Shinozaki, K. Yamaguchi-Shinozaki // *Plant Physiol.* - 2009. - Vol. 150. - P. 1972-1980.
44. De Block, M. Poly(ADP-ribose) Polymerase in Plants Affects Energy Homeostasis, Cell Death and Stress Tolerance / M. De Block, C. Verduyn, D. De Brouwer, M. Cornelissen // *Plant J.* - 2005. - Vol. 41. - P. 95-106.
45. Nie, L. Integrative Analysis of Transcriptomic and Proteomic Data: Challenges, Solutions and Applications / L. Nie, G. Wu, D. Culley, J. Scholten, W. Zhang // *Crit. Rev. Biotechnol.* - 2007. - Vol. 27. - P. 63-75.
46. Usadel, B. Multilevel Genomic Analysis of the Response of Transcripts, Enzyme Activities and Metabolites in Arabidopsis Rosettes to a Progressive Decrease of Temperature in the Non-Freezing Range / B. Usadel, O. Blasing, Y. Gibon, F. Poree, M. Hohne, M. Gunter, R. Trethewey, B. Kamlage, H. Poorter, M. Stitt // *Plant Cell Environ.* - 2008. - Vol. 31. - P. 518-547.

REFERENCES

1. Boyer J. S. Plant Productivity and Environment. *Science*, 1982, vol. 218, pp. 443-448.
2. Chaves M. M., Maroco J. P., Pereira J. S. Understanding Plant Responses to Drought - from Genes to the Whole Plant. *Functional Plant Biol.*, 2003, vol. 30, pp. 239-264.
3. Chaves M. M., Costa J. M., Saibo N. J. M. Recent Advances in Photosynthesis Under Drought and Salinity. *Adv. Bot. Res.*, 2011, vol. 57, pp. 50-83.
4. Goodstein D. M., Shu S., Howson R., Neupane R., Hayes R. D., Fazo J., Mitros T., Dirks W., Hellsten U., Putnam N., Rokhsar D. S. Phytozome: a Comparative Platform for Green Plant Genomics. *Nucleic Acids Res.*, 2012, vol. 40, pp. 1178-1186, available at: <http://www.phytozome.net> (Accessed 21 December 2017).

5. Fang F. C., Casadevall A. Reductionistic and Holistic Science. *Infection and Immunity*, 2011, vol. 79, pp. 1401-1404.
6. Mochida K., Shinozaki K. Advances in Omics and Bioinformatics Tools for Systems Analysis of Plant Functions. *Plant Cell Physiol.*, 2011, vol. 52, pp. 2017-2038.
7. Cramer G. R., Urano K., Delrot S., Pezzotti M., Shinozaki K. Effects of Abiotic Stress on Plants: a Systems Biology Perspective. *BMC Plant Biol.*, 2011, vol. 11, available at: <https://bmcpantbiol.biomedcentral.com/articles/10.1186/1471-2229-11-163> (Accessed 15 January 2018).
8. Jogaiah S., Govind S. R., Tran L. S. P. Systems Biology-Based Approaches toward Understanding drought Tolerance in Food Crops. *Crit. Rev. Biotechnol.*, 2013, vol. 33(1), pp. 23-39.
9. Nambara E. E., Nonogaki H. Seed Biology in the 21st Century: Perspectives and New Directions. *Plant Cell Physiol.*, 2012, vol. 53, pp. 1-4.
10. Zhang Y., Gao P., Yuan J. S. Plant Protein-Protein Interaction Network and Interactome. *Current Genomics*, 2010, vol. 11, pp. 40-46.
11. Duque A. S., Almeida A. M., Silva A. B., Silva J. M., Farinha A. P., Santos D., Fevereiro P., Araujo S. S. Abiotic Stress Responses in Plants: Unraveling the Complexity of Genes and Networks to Survive, available at: <http://dx.doi.org/10.5772/52779> (Accessed 10 January 2018).
12. Shinozaki K., Sakakibara H. Omics and Bioinformatics: an Essential Toolbox for Systems Analyses of Plant Functions beyond 2010. *Plant Cell Physiol.*, 2009, vol. 50, pp. 1177-1180.
13. Francki M. G., Crawford A. C., Oldach K. Transcriptomics, Proteomics and Metabolomics: Integration of Latest Technologies for Improving Future Wheat Productivity. In: *Sustainable Agriculture and New Technologies*. Benkeblia N. (ed.). Boca Raton: CRC Press. 2012, pp. 425-452.
14. Lister R., Gregory B. D., Ecker J. R. Next is Now: New Technologies for Sequencing of Genomes, Transcriptomes and Beyond. *Current Opinion in Plant Biol.*, 2009, vol. 12, pp. 107-118.
15. Huang L., Ye Z., Bell R. W., Dell B. Boron Nutrition and Chilling Tolerance of Warm Climate Crop Species. *Ann. Bot.*, 2005, vol. 96, pp. 755-67.
16. Gunes A., Cicek N., Inal A., Alpaslan M., Eraslan F., Guneri E., Guzelordu T. Genotypic Response of Chickpea (*Cicer arietinum* L.) Cultivars to Drought Stress Implemented at Pre- and Post-Anthesis Stages and its Relations with Nutrient Uptake and Efficiency. *Plant Soil Environ.*, 2006, vol. 52, pp. 368-376.
17. Soares R., Franco G, Pires E., Ventosa M., Palhinhos R., Koci K., Almeida A.M., Varela Coelho A.V. Mass Spectrometry and Animal science: Protein Identification Strategies and Particularities of Farm Animal Species. *J. Proteomics*, 2012, vol.75, pp. 4190-4206.
18. Evers D., Legay S., Lamoureux D., Hausman J. F., Hoffmann L., Renaut J. Towards a Synthetic View of Potato Cold and Salt Stress Response by Transcriptomic and Proteomic Analysis. *Plant Mol. Biol.*, 2012, vol. 78, pp. 503-514.
19. Falvo S., Di Carli M., Desiderio A., Benvenuto E., Moglia A., America T., Lanteri S., Acquadro A. 2-D DIGE Analysis of UV-C Radiation-Responsive Proteins in Globe Artichoke Leaves. *Proteomics*, 2012, vol. 12, pp. 448-460.

20. Farinha A. P., Irar S., de Oliveira E., Oliveira M. M., Pages M. Novel Clues on Abiotic Stress Tolerance Emerge from Embryo Proteome Analysis of Rice Varieties with Contrasting Stress Adaptation. *Proteomics*, 2011, vol.11, pp. 2389-2405.
21. Nackimento N., Fett-Neto A. Plant Secondary Metabolism and Challenges in Modifying Its Operation: an Overview. *Methods Mol. Biol.*, 2010, vol. 54, pp. 1-13.
22. Kleinwachter M., Selmar D. New Insights Explain that Drought Stress Enhances the Quality of Spice and Medicinal Plants: Potential Applications. *Agron. Sustain. Dev.*, 2015, vol. 35, pp. 121-131.
23. Good A., Zaplachinski S. The Effects of Drought Stress on Free Amino Acid Accumulation and Protein Synthesis in *Brassica napus*. *Physiol. Plant.*, 1994, vol. 90, pp. 9-14.
24. Liu J., Howell S. Endoplasmic Reticulum Protein Quality Control and Its Relationship to Environmental Stress Responses in Plants. *Plant Cell*, 2010, vol. 2, pp. 2930–2942.
25. Cramer G., Ergul A., Grimplet J., Tillett R., Tattersall A., Bohlman M., Vincent D., Sonderegger J., Evans J., Osborne C., Quilici D., Schlauch K., Schooley D., Cushman J. Water and Salinity Stress in Grapevines: Early and Late Changes in Transcript and Metabolite Profiles. *Funct. Integr. Genomics*, 2007, vol. 7, pp. 111-134.
26. Takahashi S., Seki M., Ishida J., Satou M., Sakurai T., Narusaka M., Kamiya A., Nakajima M., Enju A., Akiyama K., Yamaguchi-Shinozaki K., Shinozaki K. Monitoring the Expression Profiles Of Genes Induced by Hyperosmotic, High Salinity, and Oxidative Stress and Abscisic Acid Treatment in *Arabidopsis* Cell Culture Using a Full-Length cDNA Microarray. *Plant Mol Biol.*, 2004, vol. 56, pp. 29-55.
27. Molassiotis A., Fotopoulos V. Oxidative and Nitrosative Signaling in Plants: Two Branches in the Same Tree?. *Plant Signal Behav.*, 2011, vol. 6, pp. 210-214.
28. Mittler R., Vanderauwera S., Suzuki N., Miller G., Tognetti V., Vandepoele K., Gollery M., Shulaev V., Van B. ROS Signaling: the New Wave? *Trends Plant Sci.*, 2011, vol. 16, pp. 300-309.
29. Umezawa T. Systems Biology Approaches to Abscisic Acid Signaling. *J. Plant Res.*, 2011, vol. 124, pp. 539-548.
30. Yamaguchi-Shinozaki K, Shinozaki K. Transcriptional Regulatory Networks in Cellular Responses and Tolerance to Dehydration and Cold Stresses. *Annu. Rev. Plant. Biol.*, 2006, vol. 57, pp. 781-803.
31. Morgan P., Drew M. Ethylene and Plant Responses to Stress. *Physiol. Plant.*, 1997, vol. 100, pp. 620-630.
32. Ophir R., Pang X., Halaly T., Venkateswari J., Lavee S., Galbraith D., Or E. Gene Expression Profiling of Grape Bud Response to Two Alternative Dormancy-Release Stimuli Expose Possible Links between Impaired Mitochondrial Activity, Hypoxia, Ethylene-ABA Interplay and Cell Enlargement. *Plant Mol. Biol.*, 2009, vol. 71, pp. 403-423.
33. Kang S., Price J., Lin P., Hong J., Jang J. The *Arabidopsis* bZIP1 Transcription Factor Is Involved in Sugar Signaling, Protein Networking, and DNA Binding. *Mol. Plant.*, 2010, vol. 3, pp. 361-373.
34. Zhou L., Jang J., Jones T., Sheen J. Glucose and Ethylene Signal Transduction Crosstalk Revealed by an *Arabidopsis* Glucose-Insensitive Mutant. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 1998, vol. 95, pp. 10294-10299.

35. Arenas-Huertero F., Arroyo A., Zhou L., Sheen J., Leon P. Analysis of Arabidopsis Glucose Insensitive Mutants, *gin5* and *gin6*, Reveals a Central Role of the Plant Hormone ABA in the Regulation of Plant Vegetative Development by Sugar. *Genes Dev.*, 2000, vol. 14, pp. 2085-2096.
36. Franco-Zorrilla J., Martin A., Leyva A., Paz-Ares J. Interaction between Phosphate-Starvation, Sugar, and Cytokinin Signaling in Arabidopsis and the Roles Of Cytokinin Receptors CRE1/AHK4 and AHK3. *Plant Physiol.*, 2005, vol. 138, pp. 847-857.
37. Thum K., Shasha D., Lejay L., Coruzzi G. Light- and Carbon-Signaling Pathways. Modeling Circuits of Interactions. *Plant Physiol.*, 2003, vol. 132, pp. 440-452.
38. Kilian J., Whitehead D., Horak J., Wanke D., Weinl S., Batistic O., D'Angelo C., Bornberg-Bauer E., Kudla J., Harter K. The AtGenExpress Global Stress Expression Data Set: Protocols, Evaluation and Model Data Analysis of UV-B Light, Drought and Cold Stress Responses. *Plant J.*, 2007, vol. 50, pp. 347-363.
39. Kusano M., Tohge T., Fukushima A., Kobayashi M., Hayashi N., Otsuki H., Kondou Y., Goto H., Kawashima M., Matsuda F., Niida R., Matsui M., Saito K., Fernie A. Metabolomics Reveals Comprehensive Reprogramming Involving Two Independent Metabolic Responses of Arabidopsis to UV-B Light. *Plant J.*, 2011, vol. 67, pp. 354-369.
40. Wilkins O., Brautigam K., Campbell M. Time of Day Shapes Arabidopsis Drought Transcriptomes. *Plant J.*, 2010, vol. 63, pp. 715-727.
41. Tattersall E., Grimplet J., Deluc L., Wheatley M., Vincent D., Osborne C., Ergul A., Lomen E., Blank R., Schlauch K., Cushman J., Cramer G. Transcript Abundance Profiles Reveal Larger and More Complex Responses of Grapevine to Chilling Compared to Osmotic and Salinity Stress. *Funct. Integr. Genomics*, 2007, vol. 7, pp. 317-333.
42. Urano K., Maruyama K., Ogata Y., Morishita Y., Takeda M., Sakurai N., Suzuki H., Saito K., Shibata D., Kobayashi M., Yamaguchi-Shinozaki K., Shinozaki K. Characterization of the ABA-Regulated Global Responses to Dehydration in Arabidopsis by Metabolomics. *Plant J.*, 2009, vol. 7, pp. 1065-1078.
43. Maruyama K., Takeda M., Kidokoro S., Yamada K., Sakuma Y., Urano K., Fujita M., Yoshiwara K., Matsukura S., Morishita Y., Sasaki R., Suzuki H., Saito K., Shibata D., Shinozaki K., Yamaguchi-Shinozaki K. Metabolic Pathways Involved in Cold Acclimation Identified by Integrated Analysis of Metabolites and Transcripts Regulated by DREB1A and DREB2A. *Plant Physiol.*, 2009, vol. 150, pp. 1972-1980.
44. De Block M., Verduyn C., De Brouwer D., Cornelissen M. Poly(ADP-ribose) Polymerase in Plants Affects Energy Homeostasis, Cell Death and Stress Tolerance. *Plant J.*, 2005, vol. 41, pp. 95-106.
45. Nie L., Wu G., Culley D., Scholten J., Zhang W. Integrative Analysis of Transcriptomic and Proteomic Data: Challenges, Solutions and Applications. *Crit. Rev. Biotechnol.*, 2007, vol. 27, pp. 63-75.
46. Usadel B., Blasing O., Gibon Y., Poree F., Hohne M., Gunter M., Trethewey R., Kamlage B., Poorter H., Stitt M. Multilevel Genomic Analysis of the Response of Transcripts, Enzyme Activities and Metabolites in Arabidopsis Rosettes to a Progressive Decrease of Temperature in the Non-Freezing Range. *Plant Cell Environ.*, 2008, vol. 31, pp. 518-547.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Кондратьев Михаил Николаевич – Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия имени К. А. Тимирязева; доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры физиологии растений;
E-mail: plantphys@timacad.ru

Kondrat'ev Mikhail Nikolaevich - K. A. Timiryazev Moscow State Agrarian University;
Doctor of Biological Sciences, Professor, Professor of the Department of Plant Physiology; E-mail: plantphys@timacad.ru

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

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

Ларикова Юлия Сергеевна – Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия имени К. А. Тимирязева; кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры физиологии растений;
E-mail: plantphys@timacad.ru

Larikova Julia Sergeevna – K. A. Timiryazev Moscow State Agrarian University;
PhD in Biological Sciences, Associate Professor,
Associate Professor of the Department of Plant Physiology;
E-mail: plantphys@timacad.ru

УДК 632.954 : 633.15

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ГЕРБИЦИДНОЙ ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ
ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ КУКУРУЗЫ (*Zea mays* L.) НА ЗЕРНО
В АГРОЭКОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

О. Н. Проворова, Л. М. Григорович

EFFICIENCY OF PLANT HERBICIDIC PROTECTION WHEN CORN
IS CULTIVATED FOR GRAIN UNDER AGROECOLOGICAL CONDITIONS
OF THE KALININGRAD REGION

O. N. Provorova, L. M. Grigorovich

В сельскохозяйственном производстве Калининградской области посевные площади кукурузы, выращиваемой на зерно, ежегодно увеличиваются. С учетом высокой степени засоренности агроценозов кукурузы при возделывании по интенсивной технологии, вся посевная площадь культуры обрабатывается гербицидами. Объектом исследования послужил агроценоз кукурузы гибрида ТК-202 Кфт «Вудсток» (страна оригинатор - Венгрия). Полевые производственные опыты проведены в сельскохозяйственном предприятии Калининградской области. Почвы на опытном участке для проведения научных исследований дерново-подзолистые глееватые. Урожайность семян определена стандартными методами, учет засоренности проводили по методикам ВНИИФ (Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии) глазомерным и количественно-весовым методом. Представленные в статье результаты явились завершающим этапом трехлетних исследований по изучаемой теме. В течение вегетации в посевах кукурузы отмечался высокий уровень засоренности с устойчивым увеличением массы сорняков, что доказало необходимость проведения своевременной гербицидной защиты. Гербициды во всех вариантах опыта активно подавляли сорную растительность, прибавка урожайности подтвердила результативность гербицидной защиты. Полевые испытания гербицидов в посевах кукурузы на зерно в условиях региона показали высокую биологическую, хозяйственную и экономическую эффективность агроприема. Таким образом, доказана целесообразность усовершенствования системы защиты агроценоза культуры от нежелательной растительности путем введения послевсходовых гербицидных обработок.

кукуруза, сорные растения, гербициды, эффективность, зерновая продуктивность

In the agricultural industry of the Kaliningrad region the cultivated area of corn grown for grain is annually increasing. Taking into account a high degree of weediness of corn agrocoenosis cultivated using intensive technology; the whole corn cultivated area is treated with herbicides. The subject of the research is agrocoenosis of corn hybrid ТК-202 Kft “VUDSTOK (the originator country is Hungary). Field production experiments have been conducted at the agricultural enterprises of the Kaliningrad region. Soils on the experimental site for scientific research are sod-podzolic gley. Yield of seed has been found using

standard methods, the allowance for contamination has been defined by the methodologies of All-Russian Scientific Research Institute of Phytopathology by eye and quantitative-weight method. Results presented in the article are the final stage of three-year research on the topic. In the course of vegetation, a high level of weediness with stable growth of weed mass has been marked, which proved the necessity to provide timely herbicide protection. Herbicides of all variants actively suppressed weeds, yield increase proved the effectiveness of herbicide protection. Field tests of herbicides in the corn sowing for grain in the conditions of the region manifested high biological and economic effectiveness of agro-industry. Thus, advisability of modification of corn agrocoenosis protection system defending it from undesirable weeds using post-emergence herbicide treatments has been proved.

corn, weeds, herbicides, effectiveness, grain productivity

ВВЕДЕНИЕ

В сельскохозяйственном производстве Калининградской области посевные площади кукурузы, выращиваемой на зерно, ежегодно увеличиваются, занимая в структуре посевных площадей зерновых и зернобобовых культур 13–14 %. Урожайность зерна варьировала по годам от 5,03 до 6,56 т/га, достигая на отдельных полях до 8 т/га [1].

Учитывая высокую степень засоренности агроценозов кукурузы при возделывании по интенсивной технологии, на всей посевной площади культуры ежегодно применяются гербициды. При этом обработка гербицидами в производственных условиях должна отвечать требованиям по их применению с учетом сроков и норм внесения, спектра засоренности, биологических особенностей сорняков и гибридов кукурузы [2, 3].

Отсутствие научно обоснованных сведений о наиболее эффективном использовании гербицидов в системе защиты посевов кукурузы от нежелательной растительности в агроэкологических условиях региона обуславливает актуальность выбранной цели исследований.

Для ее выполнения были поставлены задачи по изучению влияния гербицидов на сорную флору в условиях полевого опыта и агроэкологической оценки гербицидной активности пестицидов при возделывании кукурузы на зерно; по определению экономической оценки эффективности гербицидов в снижении засоренности и повышении зерновой продуктивности агроценоза культуры. Представленные в статье результаты явились завершающим этапом трехлетних исследований по изучаемой теме [4–6].

ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектом исследования послужил агроценоз кукурузы гибрида ТК-202 Кфт «Вудсток» (страна оригинатор – Венгрия), внесенный в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию в Российской Федерации.

Природно-климатические условия региона – относительно сухая весна, длительный безморозный период и достаточное увлажнение – в целом относительно благоприятны для возделывания ранних сортов и гибридов кукурузы на зерно, однако избыточное увлажнение в летний период и ряд неблагоприятных

агрофизических и агрохимических свойств почв может приводить к интенсивному развитию сорной растительности, менее требовательной к условиям произрастания [7].

Полевые производственные опыты проведены в сельскохозяйственном предприятии Калининградской области, активно занимающемся возделыванием современных гибридов кукурузы на зерно, однако урожайность зерна в хозяйстве была ниже среднеобластных показателей. Сравнительный анализ семенной продуктивности культуры показал необходимость совершенствования технологии возделывания культуры в сельскохозяйственном предприятии, в первую очередь рациональной системы защиты от сорной растительности.

Опытный участок для проведения научных исследований подобран с почвами, характерными для большинства полей хозяйства – дерново-подзолистые глееватые, по гранулометрическому составу – средний суглинок, содержание гумуса варьировало от 1,52 до 2,00%, рН 5,2–5,7 %, содержание фосфора 6,6–20,6 мг/100 г почвы, содержание калия 10,4–17,0 мг/100 г почвы, окультуренность – от слабой до средней. Предшественник – озимая пшеница. Кукуруза возделывалась по интенсивной технологии с использованием всех ее элементов и современной сельскохозяйственной техники. Полевой опыт заложен в соответствии с методиками [8, 9].

Урожайность семян определена стандартными методами, учет засоренности посева кукурузы проводили по методикам ВНИИФ (Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии) глазомерным и количественно-весовым методом [9]. Полученные данные обработаны методами математической статистики с использованием компьютерной программы MS Excel .

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Полевые опыты состояли из пяти вариантов (по четыре повторения) опрыскиваний посевов кукурузы послевсходовыми гербицидами и баковыми смесями препаратов, включающих два-три действующих вещества, в сравнении с контролем без гербицидов. Вариант 1 - контроль без применения гербицидов; вариант 2 – смесь гербицидов Дублон (действующее вещество никосульфурон) + Балерина (никосульфурон + 2,4-Д эфир + флорасулам) с нормой расхода 1,5 и 0,5 л/га; вариант 3 – обработка гербицидом Кордус Плюс (дикамба + никосульфурон + римсульфурон) с добавлением поверхностно-активного вещества Тренд (0,44 кг/га и 0,2 л/га); вариант 4 - обработка гербицидом Майстер Пауэр (форамсульфурон + йодосульфурон-метил-натрий + тиенкарбазон-метил) с нормой расхода 1,5 л/га; вариант 5 – Элюмис (мезотрион + никосульфурон) с нормой расхода 2 л/га [10]. Внесение гербицидов в стадию развития кукурузы 13-14 по Zadoks (фаза трех-четырех листьев) проведено наземным опрыскивателем Amazone UF 1201 с нормой расхода рабочего раствора 150 л/га.

Агроэкологические условия в период закладки полевого опыта были оптимальными как для проведения технологической операции, так и для растений кукурузы: температура воздуха 17°C, скорость ветра 1 м/с, осадки в количестве 3 мм выпали через шесть дней после опрыскивания. Большинство сорняков находилось в уязвимой для воздействия гербицидов фазе всходов.

Из-за недостаточной влагообеспеченности и пониженных температур воздуха всходы кукурузы появились позднее, чем обычно: массовые всходы отмечены через 22 дня после посева, тогда как в предыдущие годы эта фаза наступала

через 13-15 дней. От момента посева (27 апреля) до стадии развития 11 по Zadoks (появление полных всходов – 19 мая) выпало 22 мм осадков, среднесуточная температура воздуха составила 10,3°C. Тепловой режим и обеспечение влагой в этот период были не благоприятны как для растений кукурузы, так и для большинства сорняков, но в дальнейшем (в июне, июле, августе) условия в целом благоприятствовали развитию и кукурузы, и сорной растительности.

В течение всех лет наблюдений в посевах кукурузы отмечался высокий уровень засоренности, определяемый по пятому баллу, т. е. более 100 сорных растений на 1 м². Оперативные обследования проведены при появлении трех-четырех листьев кукурузы, в период массовых всходов сорняков, т. е. в сроки перед проведением гербицидных опрыскиваний [11].

В стадию развития кукурузы 13-14 по Zadoks на опытном поле засоренность составила 222 сорняка на 1 м², что значительно ниже показателя засоренности в предыдущие годы (641-849 шт./м²). Видовой состав сорной растительности был представлен малолетними двудольными и многолетними однодольными сорняками. Доминантом сорного компонента стала звездчатка средняя (*Stellaria media* (L.) Vill.) – 70 шт./м, появились злаковые сорняки. В структуре засоренности на момент обработки доля двудольных сорняков составляла 83 % – 186 шт./м², в том числе фиалка полевая (*Viola arvensis* Murr.) 16 % – 35 шт./м², марь белая (*Chenopodium album* L.) 11 % – 25 шт./м², звездчатка средняя (*Stellaria media* (L.) Vill.) 31 % - 70 шт./м². Падалица рапса (*Brássica nápus* L.), ярутка полевая (*Thlaspi arvense* L.), горец вьюнковый (*Polygonum convolvulus* L.) – составляли от 2 до 7 %. Многолетние однодольные злаковые сорняки в структуре засоренности заняли 16 % и были представлены пыреем ползучим (*Elytrigia repens* Nevski) с численностью 35 шт./м². Кроме того, на опытном поле встречались единичные экземпляры щавеля курчавого (*Rumex crispus* L.) – 1 % от общей засоренности. Однако в течение месяца произошло устойчивое увеличение массы сорной растительности в 6,7 раза (от 780 до 5211 г/м²), что доказало необходимость проведения своевременной гербицидной защиты.

Критическим периодом развития кукурузы считается период с фазы трех-четырех (13-14-я стадии) до 6-10 (16-19-я стадии по шкале Zadoks) листьев. В этот период посева кукурузы должны быть свободными от сорняков [3]. Применение гербицидов в фазу трех-четырех листьев (13-14 стадия) обеспечило наиболее эффективное их воздействие на сорную растительность и высокую семенную продуктивность агроценоза кукурузы.

Через 15 дней после обработки в контроле (вариант без применения гербицида) на 1 м² насчитывалось в среднем 207 шт. (массой 2096 г/м²) нежелательных растений с преобладанием мари белой (*Chenopodium album* L.) – 40 (410 г), звездчатки средней (*Stellaria media* Vill.) – 30 (650 г), ярутки полевой (*Thlaspi arvense* L.) – 20 (120 г), пырея ползучего (*Elytrigia repens* Nevski.) – 23 (300 г), метлицы обыкновенной (*Apera spicaventi* Beauv.) – 32 шт./м² (30 г/ м²). Количество и масса сорняков в вариантах с применением гербицидов снизились на 92-97 %. При этом отмечено активное воздействие всех гербицидов практически на все виды сорняков, кроме звездчатки средней (*Stellaria media* Vill.), набравшей к этому времени достаточно большую массу.

Через месяц в контрольном варианте (без гербицидной обработки) масса сорняков увеличилась в 2,5 раза, нежелательные растения были хорошо развиты и

имели значительную вегетативную массу – 5211 г/м². Основную долю составляли полынь обыкновенная (*Artemisia vulgaris* L.) – 1322 г/м² и виды ромашки (*Matricaria spp.*) – 2050 г. В вариантах опыта с применением гербицидов в этот период произошло активное подавление сорняков. Биологическая эффективность гербицидного воздействия на сорную растительность варьировала от 89 до 95 %. Однако отмечено более эффективное влияние на доминирующие виды сорняков (полынь обыкновенная – *Artemisia vulgaris* L. и виды ромашки – *Matricaria spp.*) гербицида Элюмис (мезотрион + никосульфурон) с нормой расхода 2 л/га (биологическая эффективность – 100 %).

В течение третьего года исследований в регионе сложились неблагоприятные условия для произрастания кукурузы. Однако прибавка урожайности в вариантах опыта подтвердила результативность гербицидной защиты посева кукурузы (таблица).

Таблица. Сравнительная семенная продуктивность гибрида кукурузы ТК-202 Кфт «Вудсток» в зависимости от применения гербицидов в вариантах полевого опыта
Table. Comparative seed productivity of corn hybrid TK-202 Kft “VUDSTOK” depending on herbicide treatment in the variants of field study

Вариант опыта	Влажность зерна при уборке, %	Урожайность зерна, т/га		Прибавка +; – к контролю, т/га
		при уборочной влажности	при влажности 14 %	
1. Контроль (без обработки)	57,7	4,4	2,2	–
2. Дублон, 1,5 л/га + Балерина, 0,5 л/га	47,8	12,4	7,5	+5,3
3. Кордус Плюс, 0,44 кг/га+ Тренд, 0,2 л/га	48,0	11,4	7,6	+5,4
4. Мастер Пауэр, 1,5 л/га	50,8	10,9	6,2	+4,0
5. Элюмис, 2,0 л/га	47,2	13,2	8,1	+5,9
S _x =			2,4	–

Сопоставляя фактические значения t-критерия Стьюдента с теоретическими, приходим к выводу, что различия урожайности зерна кукурузы между вариантами достоверны для уровня значимости 1 % (при n = 10).

Семенная продуктивность кукурузы на опытном участке варьировала от 6,2 (Мастер Пауэр, 1,5 л/га) до 8,1 т/га (Элюмис, 2,0 л/га), что на 4,0-5,9 т/га превысило показатели урожайности варианта без гербицидной защиты.

Прибавка урожайности зерна в вариантах с применением гербицидной обработки по сравнению с контролем составила: в варианте Дублон (1,5 л/га) и Балерина (0,5 л/га) – 5,3 т/га; в варианте Кордус Плюс, + Тренд (0,44 кг/га) – 5,4 т/га; в варианте Мастер Пауэр (1,5 л/га) – 4,0 т/га; в варианте Элюмис (2 л/га) – 5,9 т/га. Наибольшую семенную продуктивность кукурузы обеспечило применение гербицида Элюмис (2 л/га) – 8,1 т/га.

Экономическая оценка гербицидной защиты посевов возделываемой на зерно по интенсивной технологии кукурузы от сорной растительности показала, что затраты на применение гербицидов окупились в 3,0–4,9 раза. При сложив-

шихся ценах реализации зерна кукурузы наиболее выгодным оказалось применение гербицида Элюмис с нормой расхода препарата 2 л/га (затраты окупались в 4,9 раза).

ВЫВОДЫ

1. При возделывании кукурузы на зерно по интенсивной технологии в агроэкологических условиях Калининградской области устойчивое снижение засоренности агроценоза культуры достигается основным способом – применением гербицидов.

2. Мониторинг засоренности посева кукурузы на участке без применения гербицидов показал стабильное нарастание численности нежелательных растений. В стадию развития кукурузы 13-14 по Zadoks (критический период) на опытном поле засоренность составила 222 шт./м², но в течение месяца произошло устойчивое увеличение массы сорной растительности в 6,7 раза (от 780 до 5211 г/м²), что доказало необходимость проведения своевременной гербицидной защиты.

3. В течение вегетации гербициды во всех вариантах опыта активно подавляли сорную растительность. Биологическая эффективность гербицидного воздействия на сорняки через 15 дней после обработки варьировала от 92 до 97, через 30 – от 89 до 95 %.

4. Прибавка урожайности в вариантах с применением гербицидной обработки по сравнению с контролем составила от 4,0 до 5,9 т/га. Наибольшую семенную продуктивность кукурузы обеспечило применение гербицида Элюмис (2 л/га) – 8,1 т/га с прибавкой урожайности по сравнению с контролем – 5,9 т/га.

5. Экономическая оценка гербицидной защиты посевов возделываемой на зерно по интенсивной технологии кукурузы от сорной растительности показала, что затраты на применение гербицидов окупались в 3,0-4,9 раза.

6. Полевые испытания гербицидов в посевах кукурузы на зерно в условиях региона обеспечили высокую биологическую, хозяйственную и экономическую эффективность агроприема. Таким образом, доказана целесообразность усовершенствования системы защиты агроценоза культуры от нежелательной растительности путем введения в нее послевсходовых гербицидных обработок.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Оперативные данные Министерства сельского хозяйства Калининградской области по состоянию на 02.11.2017 г. / Министерство сельского хозяйства Калининградской области [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://mcs39.ru/operativnaya-informaciya/>.

2. Спиридонов, Ю. Я. Развитие отечественной гербологии на современном этапе / Ю. Я. Спиридонов, В. Г. Шестаков. – Москва: Изд-во «Печатный город», 2013. – 426 с.

3. Шпаар, Д. Кукуруза / Д. Шпаар Д. [и др.]. – Москва: ИД ООО «DLV АГРОДЕЛО», 2009. – 390 с.

4. Григорович, Л. М. Эффективность применения гербицидов в посевах кукурузы (*Zea Mays* L.SSP. *Mays*) на зерно в условиях Калининградской области / Л. М. Григорович, О. Н. Проворова // Физиология растений – теоретическая основа инновационных агро- и фитобиотехнологий: сб. материалов Международной научной

конференции и школы молодых ученых / КГТУ. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2014. – С. 206-207.

5. 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 / XIV международная научная конференция в рамках IV международного «Балтийского морского форума» (22-28 мая 2016 г.): тез. докл. – Калининград, 2016. – С. 135-137.

6. Проворова, О. Н. Сравнительная эффективность гербицидных препаратов в посевах кукурузы (*Zea mays* L. ssp. *mays*) в условиях Калининградской области / О. Н. Проворова // Инновации в науке, образовании и предпринимательстве – 2017 (21-27 мая, 2017 г.) / V междуна. Балтийский морской форум. XV междуна. научн. конф.: тез. докл. – Калининград: Изд-во БГАРФ, 2017. – Ч. 2. – С. 123–124.

7. Удобрение, технологии и урожай: справочник агронома по химизации земледелия / В. И. Панасин [и др.]. – Калининград: Изд-во БФУ им. И. Канта, 2018. – 315 с.

8. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б. А. Доспехов. – Москва: Агропромиздат, 1985. – 351 с.

9. Спиридонов, Ю. Я. Методические указания по проведению производственных испытаний гербицидов / Ю. Я. Спиридонов [и др.] // Защита и карантин растений. – 2004. – 24 с.

10. Список пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации. 2016 год: справ. издание // прил. к журналу «Защита и карантин растений». – 2016. – № 4. – 880 с.

11. Артохин, К. С. Сорные растения: справочное и учебно-методическое пособие / К. С. Артохин. – Москва: Изд-во «Печатный город», 2010. – 272 с.

REFERENCES

1. *Operativnye dannye Ministerstva sel'skogo hozjajstva Kaliningradskoj oblasti po sostojaniju na 02.11.2017 g.* [Operational data of the Ministry of Agriculture of the Kaliningrad Region as of 02.11.2017.]. Available at: <http://mcx39.ru/operativnaya-informaciya/>.

2. Spiridonov Ju. Ja. *Razvitie otechestvennoj gerbologii na sovremennom jetape* [Development of national herbology at the present stage]. Moscow, izd-vo "Pечатnyj gorod", 2013, 426 p.

3. Shpaar D. Corn. Moscow, Publ. ID ООО «DLV AGRODELO», 2009, 390 p.

4. Grigorovich L.M., Provorova O.N. *Jeffektivnost' primeneniya gerbicidev v posevah kukuruzy (Zea Mays L.SSP. Mays) na zerno v uslovijah Kaliningradskoj oblasti* [Efficiency of herbicide application in maize crops (*Zea Mays* L.SSP. Mays) for grain in conditions of the Kaliningrad region]. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchnoy konferencii i shkoly molodykh uchenykh "Fiziologiya rasteniy – teoreticheskaya osnova innovacionnykh agro- i fitobiotekhnologiy"* [Annual meeting of Russian Society of Plant Physiologists, international scientific conference and School for young scientists «Plant Physiology as a Theoretical Basis for Innovative Agriculture and Phytobiotechnologies»]. Kaliningrad, 2014, pp. 206–207.

5. Provorova O. N., Grigorovich L. M. *Vlijanie gerbicidev na semennuju*

produktivnost' agrocenoza kukuruzy (*Zea mays* L. ssp. *mays*) [Effect of herbicide protection on seed productivity of maize agrocenosis (*Zea mays* L. ssp. *mays*)]. *Tezisy докладov XIV mezhdunarodnoy nauchnoy konferencii "Innovacii v nauke, obrazovanii i predprinimatel'stve – 2016"* [Abstracts of XIV Int. Scien. Conf. "Innovations in science, education and entrepreneurship – 2016"], Kaliningrad, 2016, pp. 135-137.

6. Provorova O. N. Sravnitel'naja jeffektivnost' gerbicidnyh preparatov v posevah kukuruzy (*Zea mays* L. ssp. *mays*) v uslovijah Kaliningradskoj oblasti [Comparative efficiency of herbicidal preparations in maize (*Zea mays* L. ssp. *Mays*) in conditions of the Kaliningrad region]. *Tezisy докладov XV mezhdunarodnoy nauchnoy konferencii "Innovacii v nauke, obrazovanii i predprinimatel'stve – 2017"* [Abstracts of XV Int. Scien. Conf. "Innovations in science, education and entrepreneurship – 2017"]. Kaliningrad, 2017, pp. 123-124.

7. Panasin V. I., Grigorovich L. M., Shogenov T. A. i dr. *Udobrenie, tehnologii i urozhaj: spravochnik agronoma po himizacii zemledelija* [Fertilizer, technology and yield: agronomist's guide to chemization of agriculture]. Kaliningrad, izd-vo BFU im. I. Kanta, 2018, 315 p.

8. Dospheov B. A. *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovanij)* [Methodology of field study (with the basics of statistical processing of research results)]. Moscow, Agropromizdat, 1985, 351 p.

9. Spiridonov Ju. Ja., Shestakov V.G. [i dr.] *Metodicheskie ukazaniya po provedeniju proizvodstvennyh ispytaniy gerbicidov: metodicheskoe izdanie* [Methodological instructions for carrying out production tests of herbicides: methodological edition]. Zashchita i karantin rasteniy, 2004, 24 p.

10. Spisok pesticidov i agrohimikatov, razreshennykh k primeneniyu na territorii Rossiyskoy Federacii. 2016 god: spravochnoe izdanie [List of pesticides and agrochemicals allowed for use on the territory of the Russian Federation. 2016: reference edition]. *Zashchita i karantin rasteniy*, 2016, no. 4, 880 p.

11. Artohin K. S. *Sornye rasteniya: spravochnoe i uchebno-metodicheskoe posobie* [Weed plants: reference and studyguide]. Moscow, izd-vo "Pechatnyj gorod", 2010, 272 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Проворова Ольга Николаевна – Калининградский государственный технический университет; аспирант;
E-mail: provorova.olga@mail.ru

Provorova Ol'ga Nikolaevna – Kaliningrad State Technical University;
Post graduate student;
E-mail: provorova.olga@mail.ru

Григорович Людмила Михайловна – Калининградский государственный технический университет; кандидат биологических наук; доцент;
E-mail: lmg05@mail.ru

Grigorovich Lyudmila Mikhailovna – Kaliningrad State Technical University;
PhD in Biological Sciences, Associate Professor;
E-mail: lmg05@mail.ru

УДК 635.928:635.052

РОСТ И РАЗВИТИЕ ТЫКВЫ КРУПНОПЛОДНОЙ
(*CUCURBITA MAXIMA DUCHESNE*) ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ
В КОРМОВЫХ ЦЕЛЯХ

Т. Н. Троян, Э. С. Новожилова

GROWTH AND DEVELOPMENT OF THE LARGE-FRUITED PUMPKIN
(*CUCURBITA MAXIMA DUCHESNE*)
WHEN CULTIVATED FOR FODDER PURPOSES

T. N. Troyan, E. S. Novozhilova

В условиях Калининградской области из сочных кормов в рационы предпочтительно включают силос, клубне- и корнеплоды. Анализ посевных площадей показал, что бахчевыми культурами (из сочных кормов) занята малая их доля. Кластер промышленного производства бахчевых на кормовые цели в условиях региона остаётся незанятым. Представители рода *Cucurbita* являются перспективными видами для использования в данном направлении. В 2017 г. в России выращивали более 150 сортов и гибридов тыквы. В государственном реестре селекционных достижений рекомендовано 105 сортов крупноплодных видов, 33 – мускатных и 18 – столовых. В статье приведены результаты аналитического обзора посевных площадей бахчевых культур, роли тыквы на кормовые цели. Представлены данные роста и развития тыквы крупноплодной (*Cucurbita maxima* Duchesne) сорта Стофунтовая на осушенных дерново-подзолистых почвах без применения минеральных удобрений и химических средств защиты растений в условиях Калининградской области, так как в современном мире актуально направление производства экологически безопасной продукции как для пищевой промышленности, так и для кормления сельскохозяйственных животных. Сорт давно известный, широко распространенный, высокоурожайный, среднепоздний. В результате фенологических наблюдений были определены следующие фазы роста и развития тыквы: всходы, появление первого настоящего листа, фаза шатрика (прямостоячий кустик с пятью-шестью листьями), начало цветения мужских цветков с одновременным ростом основного побега, начало цветения женских цветков, образование завязи, плодообразование и созревание плодов. Продолжительность вегетационного периода *Cucurbita maxima* Duchesne составила 130 дней в условиях Калининградской области.

корма, кормовые бахчевые культуры, безопасные корма, фазы развития, тыква кормовая, период вегетации

In conditions of the Kaliningrad region, feed rations preferably include silage, tubers and root crops. Acreage analysis showed that a small proportion of succulent feed is occupied by melons and gourds. The cluster of industrial production of melons

for fodder purposes in conditions of the region remains unoccupied. Members of the *Cucurbita* genus are promising species for these uses. In 2017, more than 150 varieties and hybrids of pumpkins were grown in Russia. 105 varieties of large – fruited species, 33 – Muscat, and 18-table are recommended in the state register of selective breeding results. The article presents analytical review results of the acreage of melons and gourds for fodder purposes, as well as the role of pumpkins for fodder purposes. The article presents data on growth and development of large-fruit pumpkin (*Cucurbita maxima* Duchesne) of the "Stofuntovaya" cultivar on drained sod-podzolic soils without the use of mineral fertilizers and chemical plant protection agents in the Kaliningrad region, because in the modern world production of environmentally safe products is of great relevance for both food industry and feeding farm animals. The cultivar is long-known, widespread, high-yielding and middle-late. As a result of phenological observations, the following development stages of pumpkins have been defined: germination, emergence of first true leaf, the phases of the roof (upright shrub with five to six leaves), beginning of flowering of male flowers with a simultaneous increase of the main shoot, the beginning of flowering of female flowers, ovary formation, fruit formation, and ripening. Duration of the vegetation period of *Cucurbita maxima* Duchesne in the Kaliningrad region-130days.

forage, fodder melons, safe forage, development stages, fodder pumpkin, vegetation period

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время уровень развития агропромышленного комплекса в России характеризуется увеличением темпов роста производства основных видов сельскохозяйственной и пищевой продукции. С 2012 г. стабильно повышается производство продукции сельского хозяйства, в том числе животноводства. В условиях интенсификации сельскохозяйственного производства агроценозы продуцируют стабильно высокие урожаи, в том числе и кормовых культур, что позволяет обеспечивать полноценными рационами различных сельскохозяйственных животных. Анализ статистических данных Калининградской области по посевным площадям и урожайности бахчевых свидетельствует о низком проценте возделывания этих видов (табл. 1) [1]. Перспективной культурой полевого кормопроизводства является представитель рода *Cucurbita* – тыква крупноплодная (*Cucurbita maxima* Duchesne). Она является хорошим источником сочных кормов для КРС, свиней, овец, кроликов (рисунок).

После введения тыквы в рацион отмечено повышение молочной продуктивности у крупного рогатого скота на 5–12%, улучшение качества шерсти у кроликов и качества молока у лактирующих особей. Особое значение кормовая тыква имеет в свиноводстве. При включении этой культуры в рацион животных наблюдается стабильный привес живой массы на 500-800 г/сут. Тыква и продукты её переработки помогают стабилизировать гомеостаз и повысить эффективность кормления высокопродуктивных дойных коров [2 – 6].

Таблица 1. Статистика посевных площадей в Калининградской области при выращивании бахчевых культур на кормовые цели [1]

Table 1. Statistics of acreage in the Kaliningrad region when growing melons for fodder purposes [1]

2014 г.	2015 г.	2016 г.
Посевные площади*, га		
0,2	1,5	0,5
Посевные площади по категориям хозяйств**, га		
0,5	1,5	32,9
Урожайность по категориям хозяйств, ц/га		
200,0	322,4	62,0

Примечание. * Крестьянское фермерское хозяйство (КФХ); ** хозяйства всех категорий

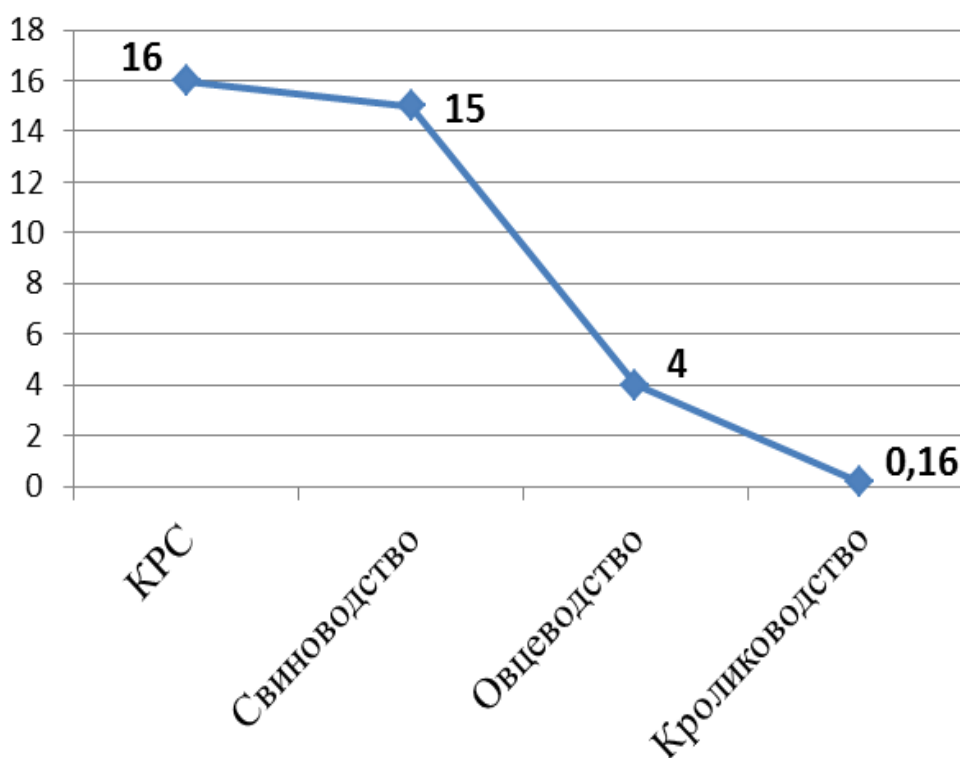


Рис. Доля сочных кормов в рационах животных, кг/сут/гол.

Fig. Proportion of succulent feed in animal diets, kg/day/head

В основу работы положены результаты полевых наблюдений 2017 г. Исследования выполнены в рамках инициативной поисковой (фундаментальной и прикладной) научной работы кафедры агропочвоведения и агроэкологии ФГБОУ ВО «КГТУ» по теме «Биологические и почвенные ресурсы Калининградской об-

ласти и перспективы их использования», раздел «Кормовые ресурсы Калининградской области» (Рег. № Код: 13.16.016.2 (ООПНДиНТИ КГТУ)). Исследования будут осуществляться 2020 года.

ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ

Объект исследования – тыква крупноплодная (*Cucurbita maxima* Duchesne), сорт Стофунтовая. Сорт известный, широко распространенный высокоурожайный, среднепоздний (112-138 дней от полных всходов до сбора плодов); допущен к использованию в трёх регионах: Волго-Вятском, Северо-Кавказском и Средневожском [7].

Растение длинноплетистое, средней мощности. Длина главного стебля до семи метров. Листья почковидной формы; слабовеячатые; опушены грубыми волосками. Черешок длинный (до 40 см). Цветки очень крупные, оранжево-желтые. Плоды шаровидные и короткоовальные. Поверхность плода гладкая или слабосегментированная и бугристая. Масса плода 10-20 кг и более. Плоды плоскоокруглые с розовой, желтой, оранжевой и серой окраской. Кора тонкая, гибкая. Мякоть кремовая и желтая, рыхлая, несладкая или малосладкая, толщиной четыре-пять сантиметров. Семенное гнездо большое, плаценты средней плотности. Для определения потенциальной урожайности без применения минеральных удобрений и средств защиты растений осуществлено наблюдение за ростом и развитием культуры.

Полевые учёты и наблюдения проводили согласно работе «Методика полевого опыта в овощеводстве» [8]. Всхожесть семян определяли по ГОСТ 12038-84 «Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести (с изменениями № 1, 2 и поправкой)».

Фенологические наблюдения за ростом и развитием культуры выполняли с момента посева и до полного созревания плодов. При составлении феноритма развития культуры отмечалось начало фазы и массовое наступление её (полная фаза). За начало фазы принимают первый день, в который она зарегистрирована не менее чем у 10% растений, а за массовое наступление — день, в который фаза отмечена не менее чем у 50% (или 75%) растений.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ








Энергия прорастания и всхожесть семенного материала составили 62 и 95% соответственно.

В результате фенологических наблюдений были определены следующие фазы роста и развития тыквы (табл. 2): всходы, появление первого настоящего листа, фаза шатрика (прямостоячий кустик с пятью-шестью листьями), начало цветения мужских цветков с одновременным ростом основного побега, начало цветения женских цветков, образование завязи, плодообразование и созревание плодов.

Сев культуры осуществлялся во второй декаде мая рядовым способом с междурядьем 1,4 м на глубину 1,5-2 см. Дружные всходы фиксированы спустя семь-восемь дней. Через месяц после всходов началась фаза ветвления, которая пришлась на III декаду июня. В этот же период растения характеризовались усиленным ростом, который привёл к почти полному смыканию их в междурядьях. Фаза цветения у тыквы имеет растянутый временной период. Сначала отмечено цветение мужских цветков (протандрий), через семь-одиннадцать дней – женских.

Таблица 2. Стадии роста и развития тыквы крупноплодной в условиях Калининградской области (2017 г.)

Table 2. Stages of growth and development of large-fruit pumpkin in the Kaliningrad region (2017)

Фаза развития	Посев	Всходы	Появление первого настоящего листа	Фаза шатрика (прямостоячий кусти́к с пятью-шестью листьями)	Рост основного побега и начало цветения мужских цветков	Начало цветения женских цветков	Рост боковых побегов и образование завязи (плодообразование)	Созревание плодов
Дата наступления фазы развития	15.V.	23.V.	26-28.V.	29.V-08.VI	21.VI.-23.VI.	С 24.VI.	С 30.VI.	С 01.IX
								

При этом мужских цветков было в четыре-шесть раз больше, чем женских. Такое соотношение их объясняется особенностям опыления и оплодотворения женских цветков. Оно происходит при полном созревании пыльцы мужских и готовности рылец. Пыльца у тыквы тяжёлая, ветром не переносится. Тыква - энтомофильное растение. После опыления и оплодотворения женских цветков начинает развиваться завязь.

У тыквенных растений фазы цветения и плодоношения неразрывны. На одном растении одновременно можно наблюдать образование бутонов, цветков и растущей завязи, однако после того как образуется предельное количество плодов, которое растение может обеспечить питанием и влагой, дальнейшее развитие завязи прекращается [9].

Наиболее долгим оказался период плодообразования – созревания плодов, он начинается с 30 июня и длится до середины сентября. В целом продолжительность периода вегетации тыквы в условиях Калининградской области в 2017 г. составила около 130 дней.

Обычно полное созревание плодов характеризуется высыханием плодоножки и отмиранием основного побега. Однако в условиях сильного переувлажнения в августе, сентябре, октябре, напротив, наблюдалась сильнейшая обводненность плодоножки плодов и основных пробегов растения. Сложившиеся климатические условия года резко увеличили риски сохранности полученного урожая плодов тыквы, сократив сроки хранения.

ВЫВОДЫ

1. Природно-климатические условия Калининградской области оптимальны для роста и развития тыквы крупноплодной (*Cucurbita maxima* Duchesne) сорта Стофунтовая. Растения достаточно влагообеспечены, хорошо переносят динамику изменения положительных температур в период вегетации.

2. Для данной культуры были определены следующие фазы роста и развития: всходы, появление первого настоящего листа, фаза шатрика (прямостоячий кустик с пятью-шестью листьями), начало цветения мужских цветков с одновременным ростом основного побега, начало цветения женских цветков, образование завязи, плодообразование и созревание плодов.

3. На одном растении в период активного роста наблюдаются одновременно фазы цветения, плодообразования, созревания плодов.

4. Продолжительность периода вегетации тыквы крупноплодной в условиях Калининградской области в 2017 г. составила около 130 дней.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Посевные площади и валовые сборы сельскохозяйственных культур в Калининградской области в 2016 году: Федеральная служба государственной статистики. - Калининград, 2017. – 146 с.

2. Подобед, Л. И. Тыква и продукты её переработки [Электронный ресурс]. – URL: http://podobed.org/tykva_i_produkty_eyo_pererabotki_pomogayut.html (дата обращения 09.03.2018).

3. Тыква в кормлении коров / Проект soft-agro.com. [Электронный ресурс]. – URL: <https://soft-agro.com/korovy/tykva-v-kormlenii-korov.html> (дата обращения 09.03.2018)
4. Кормовая тыква / Виды кормов, кормление сельскохозяйственных животных [Электронный ресурс]. – URL: http://korm.apk.in.ua/Сочные_корма/Кормовая_тыква_ (дата обращения 09.03.2018)
5. Кормление животных/ Сайт зоотехников. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.zootehnikoff.ru/sample-page/> (дата обращения 09.03.2018)
6. Кормление кроликов тыквой / Всё о кроликах [Электронный ресурс]. – URL: https://okrolike.ru/kormlenie/mozhno-li-davat-krolikam-kabachki-ili-tykvu.html#h2_3 (дата обращения 09.03.2018)
7. Сорт Стофунтовая / Федеральное государственное бюджетное учреждение «Государственная комиссия Российской Федерации по испытанию и охране селекционных достижений» [Электронный ресурс]. – URL: <http://reestr.gossort.com/reestr/sort/4700414> (дата обращения 03.03.2018)
8. Литвинов, С. С. Методика полевого опыта в овощеводстве / С. С. Литвинов. – Москва: ФГУП «Типография» Россельхозакадемии, 2011. – 649 с.
9. Биология развития тыквы / Образовательный портал «Живая планета» [Электронный ресурс]. – URL: http://lifeplanet.org/plant/cucurbit_developmental_biology.html (дата обращения 09.03.2018)

REFERENCES

1. *Posevnye ploshhadi i valovye sbory sel'skhozajstvennyh kul'tur v Kaliningradskoj oblasti v 2016 godu: Federal'naja sluzhba gosudarstvennoj statistiki* [Acreages and gross harvest of agricultural crops in the Kaliningrad region in 2016: Federal service of state statistics]. Kaliningrad, 2017, 146 p.
2. Podobed L. I. Тыква i produkty ejo pererabotki [Pumpkin and its derivatives]. Available at: http://podobed.org/tykva_i_produkty_eyo_pererabotki_pomogayut.html (Accessed 09 March 2018).
3. Тыква v kormlenii korov [Pumpkin in feeding cows]. Available at: <https://soft-agro.com/korovy/tykva-v-kormlenii-korov.html> (Accessed 09 March 2018).
4. Kormovaja tykva [Fodder pumpkin]. Available at: http://korm.apk.in.ua/Sochnye_korma/Kormovaja_tykva (Accessed 09 March 2018).
5. Kormlenie zhivotnyh [Feeding of animals]. Available at: <http://www.zootehnikoff.ru/sample-page/> (Accessed 09 March 2018).
6. Kormlenie krolikov tykvoj [Feeding rabbits with pumpkin]. Available at: https://okrolike.ru/kormlenie/mozhno-li-davat-krolikam-kabachki-ili-tykvu.html#h2_3 (Accessed 09 March 2018).
7. Sort Stofuntovaja [Stofuntovaya cultivar]. Available at: <http://reestr.gossort.com/reestr/sort/4700414> (Accessed 03 March 2018).
8. Litvinov S. S. Metodika polevogo opyta v ovoshhevodstve [Methods of field study in vegetable growing]. Moscow. FGUP "Tipografija" Rossel'hozakademii, 2011, 649 p.
9. Biologija razvitija tykvy [Biology of pumpkin development]. Available at: http://lifeplanet.org/plant/cucurbit_developmental_biology.html (Accessed 09 March 2018).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Троян Татьяна Николаевна – Калининградский государственный технический университет; кандидат биологических наук, доцент; Email: p-tanik@mail.ru

Troyan Tatyana Nikolaevna – Kaliningrad State Technical University;
PhD in Biological Sciences, Associate Professor; Email: p-tanik@mail.ru

Новожилова Элина Сергеевна – Калининградский государственный технический университет; студент

Novozhilova Elina Sergeevna – Kaliningrad State Technical University; student

УДК 633.63: 631.816.3: 631.1

УРОЖАЙНОСТЬ КОРМОВОЙ СВЕКЛЫ
НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ

Т. Н. Троян, И. М. Шульга

PRODUCTIVITY OF FODDER BEET ON SOD-PODZOLIC SOILS

T. N. Troyan, I. M. Shulga

Цель работы состояла в оценке продуктивности кормовой свёклы (*Beta vulgaris L.*) на дерново-подзолистых почвах в условиях Калининградской области. Результаты региональных исследований по производству грубых, концентрированных или сочных кормов, таких как силос, отражены в научных, периодических изданиях. Причем изучения вопросов продуктивности корне- или клубнеплодов явно недостаточно. В статье представлен обзор статистических исследований по посевным площадям и средней урожайности корнеплодов в Калининградской области за последние семь лет. Максимальная доля посевных площадей под корнеплоды, в том числе сахарную и кормовую свёклу, отмечена в 2013 г. – 198 га. В 2016 г. площади возделывания корнеплодов сократились на 71%. Установлено, что поля под кормовую свёклу, как правило, выделяют в прифермерских севооборотах крестьянских фермерских или подсобных хозяйств на небольших площадях. Промышленное выращивание корнеплодов кормовой свёклы остается незамеченным кластером в полевом кормопроизводстве области. В задачи входило определить влияние агроклиматических и эдафотопических факторов на интенсивность продукционного процесса кормовой свёклы. Как показали результаты, эта культура высокопродуктивна в условиях достаточного влагообеспечения в период вегетации, а корнеплоды прекрасно хранятся в свежем виде и являются хорошим сочным кормом для кроликов, нутрий, сельскохозяйственной птицы и крупного рогатого скота. Урожайность кормовой свёклы сортотипа Эккендорфская желтая на дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах с оптимальными физическими свойствами, большим запасом влаги и высоким содержанием растворимых питательных веществ в условиях Калининградской области в 2016 г. составила 488,2 ц/га корнеплодов с коэффициентом вариации $V=8,9\%$ и 684,5 ц/га свежей надземной фитомассы.

животноводство, полевое кормопроизводство, корма, кормовая свёкла, посевные площади, урожайность, корнеплоды, ботва

The purpose of the research was to estimate productivity of fodder beet (*Beta Vulgaris L.*) on sod-podzolic soils in conditions of the Kaliningrad region. Regional research on production of coarse, concentrated or succulent fodder, such as silage, can often be found in scientific publications and periodicals.

What is more, studies on the production of roots or tubers are not enough. The article presents an overview of statistical studies on sown areas and average yields of root crops in the Kaliningrad region over the past seven years. The maximum share of acreage under root crops, including sugar and fodder beet, was registered in 2013 and amounted to 198 hectares. By 2016, the areas of root crops cultivation declined by 71%. It has been found that the lands for cultivation of fodder beet are as a rule provided in farming rotations in peasantry farm or subsidiary farming on small areas. Industrial cultivation of fodder beet root crops remains an unoccupied cluster in the arable fodder cropping of the region. The tasks were the following: to evaluate the influence of agro climatic and edaphotopic factors on the intensity of fodder beet production process.

As the results showed, this crop is highly productive in conditions of good moisture supply during the vegetation period, and the roots are perfectly preserved until spring in fresh form and are a good juicy feed for rabbits, nutrias, poultry and cattle.

The yield of «Eckendorf yellow» fodder beet on sod-podzolic light loamy soils with good physical properties, with a large moisture reserve and a high content of soluble nutrients in the Kaliningrad region in 2016 amounted to 488.2 t/ha of root crops with a coefficient of variation $V=8.9\%$ and 684.5 t/ha of fresh above-ground phytomass.

husbandry, arable fodder cropping, fodder, fodder beet, lands under cultivation, crop capacity, root crops, tops

ВВЕДЕНИЕ

В России динамично развиваются отрасли животноводства – свиноводство, птицеводство, молочное и мясное скотоводство. При этом до 70% себестоимости животноводческой продукции составляют корма. Кластер полевого кормопроизводства региона включает получение таких кормов, как силос, корнаж, корне- и клубнеплоды.

В Калининградской области около 54% от общей площади отводится под сельскохозяйственные угодья, причем 27% из них занято под производство зеленых и грубых объёмистых кормов. Анализ посевных площадей за последние несколько лет показал, что под кормовые корнеплоды отведены небольшие участки [1]. Так, в течение ряда лет структура посевных площадей корнеплодов в Калининградской области варьирует (рисунок).

Наиболее низкий процент посевных площадей корнеплодов, в том числе сахарной и кормовой свёклы, за последние семь лет отмечен в 2016 г. Этими культурами было занято 57,4 га, что на 71 % меньше, чем в 2013 г. (198 га).

Установлено, что в условиях Калининградской области корнеплоды, как правило, возделывают в крестьянских фермерских или подсобных хозяйствах на небольших площадях, а их средняя урожайность составляет $398 \pm 21,5$ ц/га. Для кормления животных используют нетоварную морковь и столовую свёклу, реже кормовую свёклу. Ранее на кормовые цели возделывали брюкву и турнепс. Промышленное выращивание корнеплодов кормовой свёклы остается незанятой нишей в полевом кормопроизводстве области.



Рис. Посевные площади корнеплодов в Калининградской области, в том числе сахарной и кормовой свёклы
 Fig. Sown areas of root crops in the Kaliningrad region, including sugar and fodder beet

В связи с актуальностью изучения вопроса цель исследования состояла в оценке продуктивности кормовой свёклы (*Beta vulgaris L.*) на дерново-подзолистых почвах в условиях Калининградской области.

ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

За основу приняты результаты полевых исследований 2016 г., выполненных в рамках научной работы кафедры агропочвоведения и агроэкологии ФГБОУ ВО «КГТУ» «Кормовые ресурсы Калининградской области» (Рег. № Код: 13.16.016.2 (ООПНДиНТИ КГТУ)).

Объектом изучения послужил сортотип кормовой свёклы Экендорфская жёлтая. Сорт среднеспелый, устойчивый к заболеваниям, высокоурожайный. Форма корнеплода мешковидная, цилиндрическая. Районирован очень широко [2–5], возделывается на кормовые цели.

Агрохимические показатели почвы определялись следующими методами: кислотность (pH_{KCl}) – потенциметрически (ГОСТ 26483-85); гидролитическая кислотность – по Каппену; подвижные соединения фосфора и калия – по Кирсанову (ГОСТ 26207-91).

Полевые учёт и наблюдения проводили согласно работе «Методика полевого опыта в овощеводстве» [6]. Урожайность кормовой свёклы определена в первой декаде октября путём учета корнеплодов и надземной фитомассы (ботвы) в рядках на 14 м^2 в четырехкратной повторности. Обрезку ботвы и её взвешивание осуществляли непосредственно в поле.

По результатам исследований проведена статистическая обработка экспериментальных данных методом вариационного анализа [7, 8].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В ходе исследования особое внимание уделено изучению агроклиматических и эдафотопических условий монопосевов свёклы, так как кормовая культура очень влаголюбива и требовательна к уровню обеспеченности питательными элементами в почве [5, 9]. Именно эти два фактора оказывают прямое влияние на интенсивность продукционного процесса посевов свёклы кормовой.

Посевы размещали в овощном севообороте. Предшественник – картофель. Посев рядовой на ширину междурядий 70 см в начале второй декады мая, что почти на две декады позже среднемноголетних сроков сева в Калининградской области. Причиной тому стал низкий температурный режим III декады апреля – I декады мая. Десятого мая зафиксировано резкое понижение температуры до минус 2 °С. Первые всходы отмечены на 9-11-й день. Из-за недостаточного влагообеспечения и невысоких температур всходы были недружными.

Почва диагностирована как дерново-подзолистая легкосуглинистая сильнокислая. Содержание гумуса среднее – 2,6 %. Высокая обеспеченность подвижным фосфором и обменным калием – 318 и 525 мг/кг соответственно.

Подготовка почвы общепринятая для возделывания корнеплодов. Под предпосевную культивацию вносили комплексное удобрение N₁₆P₁₆K₁₆ в количестве 200 кг/га.

Продуктивность кормовой свёклы значительно зависит не только от степени окультуренности почвы, но и насыщенности её влагой в период активного роста корнеплодов, который в условиях области начинается с II-III декады июля и продолжается до конца сентября, т.е. составляет 70–80 дней.

В 2016 г. в период активного продукционного процесса растений свёклы запасы продуктивной влаги в пахотном слое были высокими ввиду сложившихся климатических условий вегетационного периода. Продуктивность кормовой свёклы в Калининградской области составила 488 ц/га корнеплодов с коэффициентом вариации V=8,9% и 684 ц/га ботвы (таблица).

Таблица. Урожайность кормовой свёклы на дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах (2016 г.)

Table. Yield of fodder beet on sod-podzolic light loamy soils (2016)

Средняя высота растений, см	Число листьев на одно растение, шт.		Отношение ботвы к корням, кг	Урожайность, ц/га	
	зелёных	сухих		корнеплодов	ботвы
46,9	16 ± 1,3	2 ± 0,7	1 : 1,4	488,23 ± 7,8	684,5 ± 9,4

Установлено, что соотношение урожайности корнеплодов и ботвы составило 1:1,4 кг. Высокий урожай надземной фитомассы объясняется значительной обводнёностью растений – 86,3 %. В целом урожайность надземной фитомассы превысила таковую корнеплодов на 196,3 ц/га.

ВЫВОДЫ

Климатические и эдафотопические условия Калининградской области характеризуются как оптимальные для обеспечения высокой продуктивности кормовой свёклы.

В 2016 г. урожайность кормовой свёклы на дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах с хорошими физическими свойствами, большим запасом влаги и высоким содержанием растворимых питательных веществ составила 488,23 ц/га корнеплодов с коэффициентом вариации $V = 8,9\%$ и 684,23 ц/га свежей надземной фитомассы.

На основании полученных результатов кормовую свёклу сортотипа Эккендорфская желтая можно охарактеризовать как высокопродуктивную культуру и рекомендовать в системе кормопроизводства области.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Посевные площади и валовые сборы сельскохозяйственных культур в Калининградской области в 2016 году: Федеральная служба государственной статистики. – Калининград, 2017. – 146 с.
2. Thema der Biologie «Heute im BIO-UNTERRICHT: Futterrübe» [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.biologie-seite.de/Biologie/Futterr%C3%BCbe> (дата обращения 19.03.18)
3. Список культур, допущенных к использованию в 2016 году [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.rosselhoccenter.com/otdel.../557-gosreestr-sortov-2012-g> (дата обращения 27. 02.17).
4. Районированные сорта [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.activestudy.info/rajonirovannye-sorta/> (дата обращения 27.02.17).
5. What is a Mangel Wurzel? [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.wisegeek.com/what-is-a-mangel-wurzel.htm> (дата обращения 19.03.18).
6. Литвинов, С. С. Методика полевого опыта в овощеводстве / С. С. Литвинов. – Москва: Изд-во РАСХН, ГНУ ВНИИО, 2011. – 648 с.
7. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта с основами статистической обработки результатов исследований / Б. А. Доспехов. – Москва: Агропромиздат, 1985. – 135 с.
8. Козлов, М. В. Планирование экологических исследований: теория и практические рекомендации. – 2-е изд., испр. и доп. / М. В. Козлов. – Москва: Товарищество научных изданий КМК, 2015. – 171 с.
9. Futterrüben «on top» gehen immer [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.saaten-union.de/index.cfm/article/8498.html> (дата обращения 19. 03.18).

REFERENCES

1. *Posevnye ploshhadi i valovye sbory sel'skhozajstvennykh kul'tur v Kaliningradskoj oblasti v 2016 godu: Federal'naja sluzhba gosudarstvennoj statistiki* [Sown areas and gross harvest of agricultural crops in the Kaliningrad region in 2016: Federal service of state statistics]. Kaliningrad, 2017, 146 p.

2. Thema der Biologie “Heute im BIO-UNTERRICHT: Futterrübe”. Available at: <https://www.biologie-seite.de/Biologie/Futterr%C3%BCbe> (Accessed 19 March 2018).
3. *Spisok kul'tur dopushchennykh k ispol'zovaniyu v 2016 godu* [The list of cultivated crops assumed for using in 2016]. Available at: <http://www.rosselhocenter.com/otdel.../557-gosreestr-sortov-2012-g> (Accessed 27 February 2017).
4. *Rayonirovannye sorta* [District sort]. Available at: <http://www.activestudy.info/rajonirovannye-sorta/> (Accessed 27 February 2017).
5. What is a Mangel Wurzel? Available at: <http://www.wisegeek.com/what-is-a-mangel-wurzel.htm> (Accessed 19 March 2018).
6. Litvinov S. S. *Metodika polevogo opyta v ovoshchevodstve* [Methods of field study in vegetable-growing]. Moscow, RASKhN, GNU VNIIO, 2011, 648 p.
7. Dospekhov B. A. *Metodika polevogo opyta s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy* [Methods of field study with basis of statistical processing of the research results]. Moscow, Agropromizdat, 1985, 135 p.
8. Kozlov M. V. *Planirovanie ekologicheskikh issledovaniy: teoriya i prakticheskie rekomendatsii. 2-e izd., ispr. i dop.* [Ecological investigation planning: theory and practical recommendations 2ed, cor., and ad.]. Moscow, Tovarishestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2015, 171 p.
9. Futterrüben “on top” gehen immer. Available at: <http://www.saaten-union.de/index.cfm/article/8498.html> (Accessed 19 March 2018).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Троян Татьяна Николаевна – Калининградский государственный технический университет; кандидат биологических наук, доцент кафедры агропочвоведения и агроэкологии; E-mail: p-tanik@mail.ru

Troyan Tatyana Nikolaevna – Kaliningrad State Technical University; PhD in Biological Sciences, Associate Professor; Email: p-tanik@mail.ru

Шульга Ирина Мечеславовна – Калининградский государственный технический университет; студент

Shulga Irina Mecheslavovna – Kaliningrad State Technical University; student

СУДОСТРОЕНИЕ, МАШИНОСТРОЕНИЕ И ЭНЕРГЕТИКА

УДК 621.9(06)

МЕТОДИКА ВЫБОРА ГЕОМЕТРИИ НАКАТНОГО ИНСТРУМЕНТА
В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ГЕОМЕТРО-КИНЕМАТИЧЕСКИХ
ПАРАМЕТРОВ НАКАТКИ

О. С. Витренко

METHODOLOGY FOR SELECTING GEOMETRY OF A KNURLING
INSTRUMENT DEPENDING ON GEOMETRIC-KINEMATIC PARAMETERS
OF KNURLING

O. S. Vitrenko

В данной работе проводится теоретическое обоснование выбора геометрии накатного инструмента. Изменяя геометро-кинематические показатели процесса накатки зубчатых колес с помощью гиперболоидного инструмента, можно управлять качеством этого процесса. Для этого была выполнена накатка зубчатых колес с различным числом зубьев. В качестве накатного инструмента используем семнадцатизаходные гиперболоидные накатники. Рассматривалось изменение каждого из геометро-кинематических показателей в отдельности: относительная скорость скольжения, угол между вектором относительной скорости скольжения и направлением контактной линии, удельные скольжения на накатном инструменте и накатываемом цилиндрическом зубчатом колесе, приведенная кривизна поверхностей. Проведенные исследования показали, что еще на стадии проектирования можно прогнозировать работоспособность накатного инструмента и выбирать его правильные конструктивные параметры

зубчатые колеса, накатка, геометро-кинематические параметры, относительная скорость скольжения, удельное скольжение, приведенная кривизна

In this paper, a theoretical justification is given for the choice of geometry of a knurling instrument. By varying the geometric-kinematic parameters of the knurling process of gear-wheels with a hyperboloidal tool, it is possible to control the quality of this process. For this purpose, knurling of gear-wheels with different number of teeth has been performed. As a knurling instrument, we use 17-position hyperboloidal gear-wheels. A change in each of the geometric-kinematic parameters has been considered separately: relative speed of sliding, the angle between the relative slip velocity vector and the contact line direction, specific sliding on the knurling instrument and on the knurled cylindrical gear-wheel, resulted curvature of the surfaces. The conducted research has showed that as early as at the design stage it is possible to predict working capacity of the knurling instrument and to choose its correct design parameters.

gear-wheels, knurling, geometric-kinematic parameters, relative speed of sliding, specific sliding, resulted curvature

ВВЕДЕНИЕ

Современные высокоскоростные зубчатые колеса любых машин нуждаются в отделочной обработке. В настоящее время при изготовлении зубчатых колес применяется холодное накатывание вместо зубошевингования. При этом окончательная обработка боковых поверхностей зубьев осуществляется без снятия стружки, посредством пластического деформирования металла в холодном состоянии.

Процесс накатки зубьев цилиндрических зубчатых колес зависит от геометрических и кинематических параметров, получаемых в процессе накатки зубьев. К ним относятся:

1. Относительная скорость скольжения в точке контакта: инструмент – обрабатываемое колесо.
2. Суммарная скорость перемещения поверхности накатываемого зуба в направлении, перпендикулярном контактной линии.
3. Угол между вектором относительной скорости скольжения и направлением контактной линии.
4. Удельные скольжения на накатном инструменте и накатываемом цилиндрическом зубчатом колесе.
5. Приведенная кривизна поверхностей изделия и инструмента в направлении, перпендикулярном контактными линиями.

Если правильно выбрать геометрические и кинематические параметры, можно добиться наилучшего качества процесса накатки, а следовательно, и качество поверхности накатанного зуба [1, 2].

На процесс накатки зубьев цилиндрических зубчатых колес влияют и другие геометрические и кинематические параметры процесса накатки, но не в такой степени, как перечисленные выше. Поэтому в данной работе они не рассматриваются.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Целью данной работы является исследование влияния геометро-кинематических параметров на качество накатки зубьев.

Накатку проводилась одним и тем же инструментом, только изменяли число накатываемых зубьев.

Для этого выполнялась накатка зубчатых колес с различным числом зубьев $z_1 = 50$, $z_1 = 68$, $z_1 = 100$. В качестве накатного инструмента использовались семнадцатизаходные гиперболоидные накатники.

Для сравнения процесса накатки рассматривался гиперболоидный накатник с числом зубьев $z_2 = 17$, углом наклона витка $\gamma = 16^\circ$, делительным диаметром в горловом сечении $d_d = 62$ мм. Второй накатник был со следующими параметрами: число зубьев $z_2 = 17$, угол наклона витка $\gamma = 19^\circ$, делительный диаметр в горловом сечении $d_d = 52$ мм.

Далее рассмотрим, как меняется каждый из геометро-кинематических показателей в отдельности.

Основным кинематическим параметром накатки зубьев при накатывании зубьев цилиндрических зубчатых колес является относительная скорость скольжения, от которой будет зависеть интенсивность процесса накатки и качество об-

работанной поверхности. Необходимо стремиться, чтобы скорость скольжения вдоль поверхности обрабатываемого зуба была приблизительно одинаковой, что обеспечит равномерное течение деформируемого металла вдоль поверхности зуба.

В данной работе относительная скорость скольжения была найдена при определении уравнения непрерывности станочного зацепления $\vec{N} \cdot \vec{V}^{(12)} = 0$ в проекциях на декартовы оси координат в следующем виде:

$$\begin{aligned} V_x^{(12)} &= -y_1(1 - u_{21} \cos \gamma) - z_1 u_{21} \sin \gamma \cos \varphi_1 - A u_{21} \cos \gamma \sin \varphi_1; \\ V_y^{(12)} &= (x_1 - r)(1 - u_{21} \cos \gamma) + z_1 u_{21} \sin \gamma \sin \varphi_1 - A u_{21} \cos \gamma \cos \varphi_1; \\ V_z^{(12)} &= -u_{21} \sin \gamma [(x_1 - r) \cos \varphi_1 - y_1 \sin \varphi_1 + A] \end{aligned} \quad (1)$$

На рис. 1 мы видим, как изменяется относительная скорость скольжения при накатке зубчатых колес различными гиперболоидными накатниками.

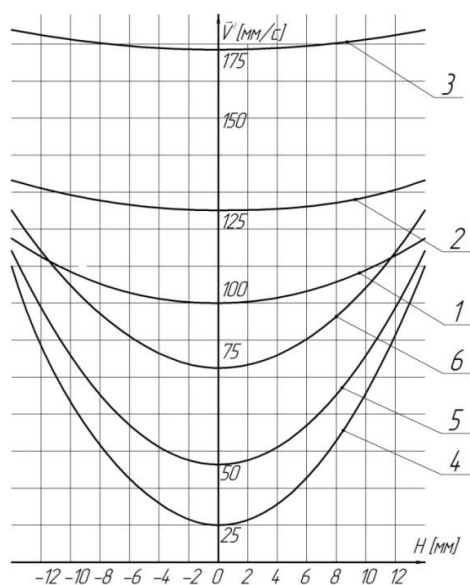


Рис. 1. Относительная скорость скольжения при накатке зубчатых колес
Fig. 1. Relative speed of sliding when knurling gear-wheels

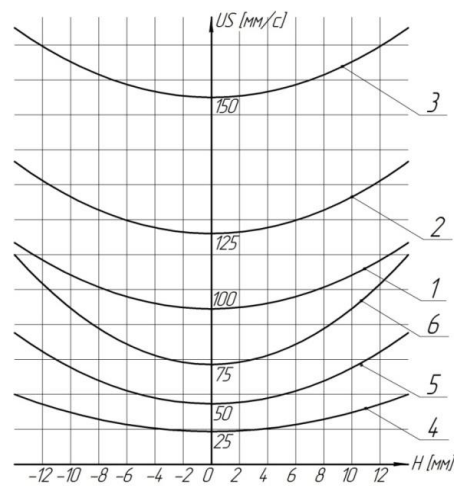


Рис. 2. Суммарная скорость перемещения контактирующих поверхностей
Fig. 2. Total rate of displacement of the contact surfaces

Кривые 1, 2, 3 соответствуют накатке зубчатых колес с числом зубьев $z_1 = 50$, $z_1 = 68$, $z_1 = 100$ при помощи гиперболоидного накатника с числом зубьев $z_2 = 17$, при этом диаметр накатника был равен $d_d = 62$ мм, а кривые 4, 5, 6 соответствуют накатке этих же зубчатых колес при помощи накатника с $d_d = 52$ мм (рис. 1).

Анализируя графики (рис. 1), можно сделать вывод, что с увеличением диаметра накатного инструмента качество процесса накатки улучшается.

Суммарная скорость перемещения контактирующих поверхностей состоит из скоростей движения точек контакта по поверхности зуба накатываемого зубча-

того колеса и скорости движения точки по поверхности зуба накатного инструмента. Суммарная скорость перемещения контактирующих поверхностей находится по следующей зависимости:

$$\vec{U} = \vec{V}_1 + \vec{V}_2. \quad (2)$$

На графике (рис. 2) видно, что суммарная скорость приблизительно одинакова вдоль оси накатного инструмента и увеличивается с увеличением числа накатываемых зубьев. Также она увеличивается с увеличением диаметра накатного инструмента.

Что касается изменения угла между вектором относительной скорости скольжения и направлением контактной линии (рис. 3), то очевидно, что чем больше этот угол, тем лучше условия накатки. Если угол между контактной линией и скоростью скольжения равен $\nu_{\bar{r}} = 0^\circ$, то такой накатной инструмент будет плохо накатывать зуб накатываемого зубчатого колеса из-за нагона волны пластически деформируемого металла вдоль контактирующей поверхности зуба. С увеличением этого угла процесс накатки стабилизируется, так как в зону контакта будет втягиваться смазка и деформируемый металл. Направление скорости скольжения по отношению к направлению контактной линии легко усматривается из рис. 3.

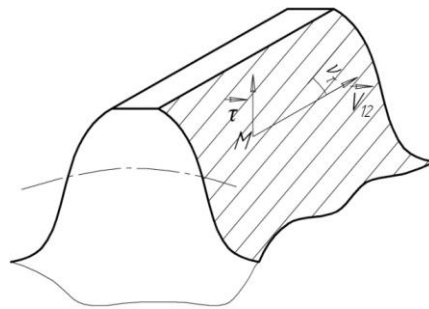


Рис. 3. Угол между вектором относительной скорости скольжения и направлением контактной линии

Fig. 3. The angle between the relative slip velocity vector and the contact line direction

Так, при накатке зубчатых колес с числом зубьев $z_1 = 50$, $z_1 = 68$, $z_1 = 100$, при помощи семнадцатизаходных накатников $z_2 = 17$ различного диаметра $d_d = 52$ мм; $d_d = 62$ мм видно, что с увеличением диаметра инструмента резко увеличивается угол между вектором относительной скорости скольжения и направлением контактной линии (см. рис. 4). В этом случае волна пластически деформируемого металла не будет идти вдоль зуба. Кроме того, видно, что сечения инструмента, отдаленные от горлового сечения, более качественно накатывают зуб колеса. Поскольку накатываемый зуб в процессе его накатки движется вдоль прямолинейной его образующей однополостного гиперболоида, то все сечения инструмента последовательно контактируют с каждым сечением накатываемого изделия, следовательно, процесс накатки зубьев равномерный.

Под приведенной нормальной кривизной K_{np} контактирующих поверхностей зубьев понимается разность кривизны обеих поверхностей зубьев в общем

нормальном сечении. В общем виде приведенная кривизна определяется по следующей зависимости:

$$K_{np} = K_1 - K_2, \quad (3)$$

где K_1 – кривизна поверхности накатываемого зуба; K_2 – кривизна поверхности накатного инструмента.

Большой вклад в экспериментальные исследования по накатке зубьев внесли ученые и производственники [3, 4]. В их работах приводятся графики зависимости геометрических параметров накатного инструмента на усилие накатывания. Следовательно, зная приведенную кривизну взаимооггибаемых поверхностей в существующих схемах накатки, можно определить усилие накатки зубьев при помощи разработанного в работе накатного инструмента.

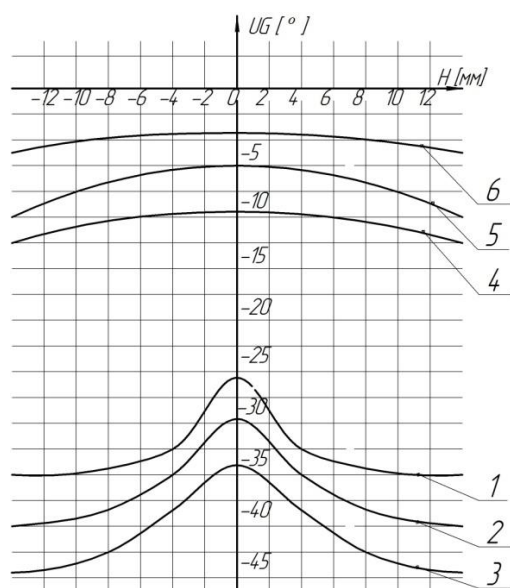


Рис. 4. Угол между вектором относительной скорости скольжения и направлением контактных линий
Fig. 4. The angle between the relative slip velocity vector and contact line direction

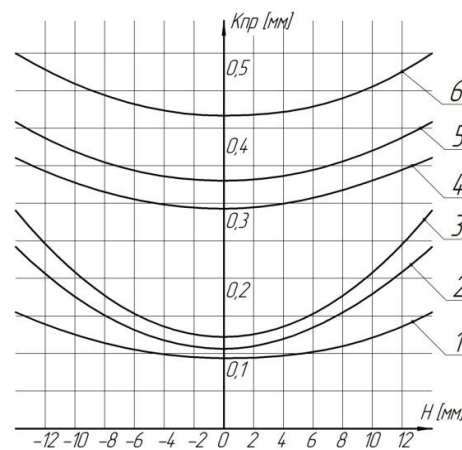


Рис. 5. Приведенная кривизна контактирующих поверхностей
Fig. 5. Resulted curvature of the contact surfaces

В результате исследований было определено, что приведенная кривизна контактирующих поверхностей влияет на усилие накатки, от которого зависит глубина залегания остаточных напряжений. Чем больше кривизна сопрягаемых поверхностей, тем меньшее усилие требуется для осуществления процесса накатки. Анализ графика (рис. 5) показывает, что с увеличением диаметра накатного инструмента необходимо увеличивать усилие накатки.

При контакте зубьев в процессе накатки цилиндрических зубчатых колес при помощи гиперboloидных накатников происходят сложные триботехнические процессы. Для контроля этих процессов необходимо оценить объективно процесс скольжения зубьев гиперboloидного накатника по зубьям накатываемого зубчатого колеса. В данном исследовании, как и в работах [2, 4], вводятся так называемые коэффициенты удельных скольжений:

по зубу накатываемого колеса

$$\eta_1 = |V_{12}| / V_1, \quad (4)$$

по зубу гиперboloидного накатного инструмента

$$\eta_2 = |V_{12}| / V_2. \quad (5)$$

Удельные скольжения в зоне контактирования инструмента с обрабатываемым зубчатым колесом необходимо разбить на удельное скольжение на накатываемом зубе и зубе накатного инструмента. Так как с помощью накатного инструмента накатывается большое количество зубчатых колес, то необходимо, чтобы удельное скольжение на зубе инструмента было минимальным, так как от этого зависит износ его поверхности. Анализ графика (рис. 6) показывает, что удельные скольжения на зубе накатного инструмента диаметра $d_d = 52$ мм в три раза больше, чем на зубе семнадцатизаходного накатника $d_d = 62$ мм.

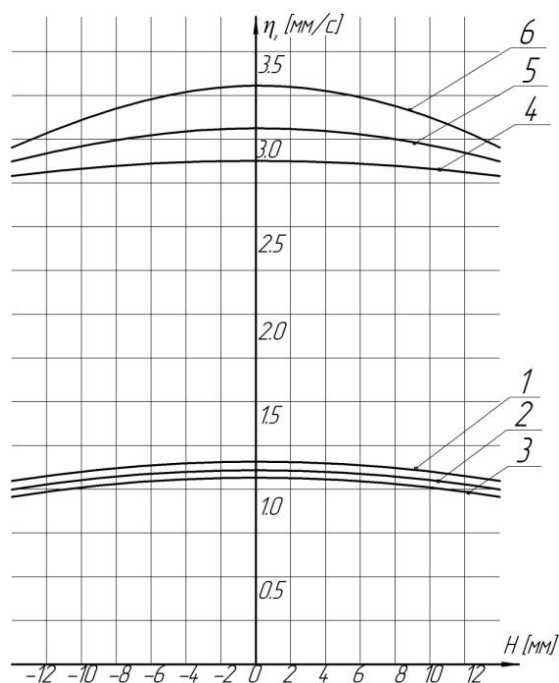


Рис. 6. Удельное скольжение на накатном инструменте
Fig. 6. Specific sliding on the knurling instrument

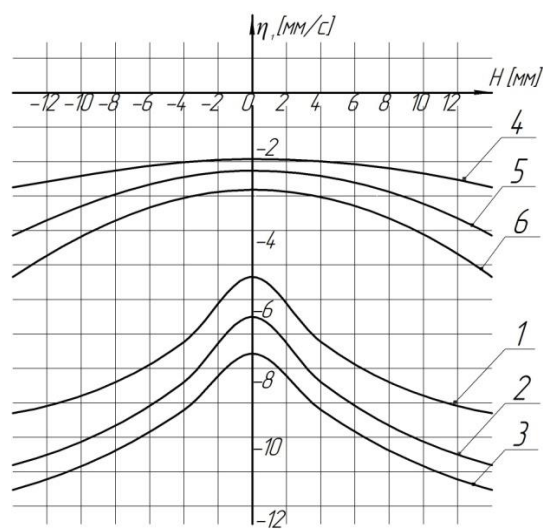


Рис. 7. Удельное скольжение на накатываемом зубчатом колесе
Fig. 7. Specific sliding on the knurled gear-wheel

Анализируя кривые, изображенные на рис. 7, видно, что удельное скольжение на накатываемом зубе увеличивается с увеличением габаритных размеров накатного инструмента и уменьшается при работе инструментом малого диаметра.

ВЫВОДЫ

1. Можно управлять качеством протекания процесса накатки зубьев, изменяя геометро-кинематические параметры накатки.

2. При увеличении скорости скольжения в зоне контакта происходит выглаживание обрабатываемой поверхности, а при увеличении скорости перекатывания поверхностей происходит их накатывание.

3. С увеличением угла между вектором относительной скорости скольжения и направлением контактной линии процесс накатки улучшается, следовательно, именно в этом случае необходимо проектировать накатной инструмент.

4. Удельные скольжения на накатываемом зубе и накатном инструменте характеризуют их износ, следовательно, необходимо проектировать накатной инструмент таким образом, чтобы скольжение по его зубу было минимальным.

5. Приведенная кривизна контактируемых зубьев, характеризует площадь контакта зубьев, а следовательно, позволяет управлять контактным давлением в процессе накатки.

6. Анализ геометро-кинематических параметров процесса накатки зубьев позволяет еще на стадии проектирования прогнозировать работоспособность накатного инструмента и выбирать его правильные конструктивные параметры.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Витренко, В. А. Повышение производительности зубонарезания цилиндрических зубчатых колес гиперболоидным инструментом за счет совершенствования формообразования резанием: моногр. / В. А. Витренко, В. В. Белозерова. – Луганск: «Ноулидж», 2009. – 147 с.

2. Витренко, О. С. Повышение точности упрочняющей накатки зубьев за счет разработки принципиально новой геометрии накатного инструмента: дис. ... канд. техн. наук: 05.03.01 / Витренко Ольга Сергеевна; ВНУ им. В. Даля. – Луганск, 2010. – 171 с.

3. Литвин, Ф. Л. Теория зубчатых зацеплений / Ф. Л. Литвин. – Москва: Наука, 1968. – 584 с.

4. Равская, Н. С. Геометрия сопряженных поверхностей / Н. С. Равская [и др.]. – Житомир: ЖИТИ, 2001. – 319 с.

REFERENCES

1. Vitrenko V.A., Belozerova V.V. *Povyshenie proizvoditel'nosti zubonarezaniya cilindricheskikh zubchatyh koles giperboloidnym instrumentom za schet sovershenstvovaniya formoobrazovaniya rezaniem* [Improving the performance of gear cutting of cylindrical gears with a hyperboloid tool by improving the shape of cutting]. Lugansk, Noulidzh, 2009, 147 p.

2. Vitrenko O. S. *Povyshenie tochnosti uprochnjajushhej nakatki zub'ev za schet razrabotki principial'no novoj geometrii nakatnogo instrumenta. Dis. kand. tehn. nauk* [Increase of teeth knurling strengthening precision through development of principally new knurling instrument geometry. Dis. Ph.D. Tehn. Sci.]. Lugansk, 2010, 171 p.

3. Litvin F. L. *Teorija zubchatyh zaceplenij* [Theory of gearing]. Moscow, Nauka, 1968, 584 p.

4. Ravskaja N. S., Rodin P. R., Nikolaenko T. P., Mel'nichuk P. P., Vygotovskij G. N. *Geometrija sopryazhjonnyh poverhnostej* [Geometry of mating surfaces]. Zhitoмир, ZhITI, 2001, 319 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Витренко Ольга Сергеевна – Калининградский государственный технический университет; кандидат технических наук, доцент;
Email: olga.vitrenko@klgtu.ru

Vitrenko Olga Sergeevna – Kaliningrad State Technical University;
PhD in Engineering, Associate Professor;
Email: olga.vitrenko@klgtu.ru

УДК 629.5.011.06

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СБОРОЧНО-СВАРОЧНОЙ ОСНАСТКИ
ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СЕКЦИЙ СУДОВ

П. Р. Гришин, С. В. Дятченко С. И. Шевелёва

UPGRADING ASSEMBLY-WELDING TOOLS
FOR MANUFACTURING OF SHIP PANELS

P. R. Grishin, S. V. Dyatchenko, S. I. Shevelyova

В условиях рыночной экономики механизация и автоматизация технологических процессов судостроительного производства стала важной государственной задачей для многих стран мира. Так, по состоянию на 2016 г. Китайская Народная Республика благодаря высокой производительности труда и низкой стоимости постройки судов стала крупнейшей судостроительной державой в мире. Развитие Российского судостроения связано с постройкой новых типов отечественных судов, использованием отечественного оборудования и современных технологий, обеспечением конкурентоспособности судостроительной отрасли на внутреннем и внешнем рынках. Успешное решение этих важных государственных задач в значительной степени определяется состоянием судокорпусных видов производства, на долю которых приходится в среднем до 40-45 % общей трудоемкости постройки судна. Именно поэтому повышение технического уровня корпусообработывающего, сборочно-сварочного и стапельного производств имеет большое значение для российского судостроения. Важным направлением развития отечественного судостроения должна стать быстрая и качественная модернизация отечественных предприятий за счет применения новейшего оборудования, современных программных продуктов и новых технологических процессов, позволяющих минимизировать долю ручного труда в технологии постройки судна, уменьшить себестоимость и повысить качество продукции, увеличить в разы объемы выпускаемой продукции. Целью выполненных исследований являлись анализ технологических процессов изготовления корпусных конструкций судов в сборочно-сварочном производстве и разработка технических предложений по совершенствованию сборочно-сварочной оснастки для изготовления секций судов.

судостроение, сборочно-сварочное производство, постели, лекала, стенды, пневмо-, гидроцилиндры

In the market-based economy, mechanization and automation of shipbuilding production processes has become an important public task for many countries in the world. So, as of 2016, the People's Republic of China has become the largest shipbuilding state in the world due to its high labor productivity and low construction costs. Development of Russian shipbuilding is associated with construction of new types of domestic vessels, use of domestic equipment and modern technology, ensuring competi-

tiveness of the shipbuilding industry in the domestic and foreign markets. Successful solution of these important state tasks is largely determined by the state of the shipbuilding industries, which account for an average of 40-45 % of the total complexity of ship construction. That is why rising a technical level of hull-processing, assembly-welding and staple industries is of great importance for Russian shipbuilding. An important line in the development of domestic shipbuilding should be rapid and high-quality modernization of domestic enterprises through the use of new equipment, modern software products and new technological processes that minimize the share of manual labor in shipbuilding technology, reduce costs and improve product quality. The purpose of the performed studies was analysis of technological processes for manufacturing of ship hull structures in assembly and welding production as well as development of technical proposals to improve assembly and welding tools for manufacturing of ship panels.

shipbuilding, assembly and welding production, welding beds, patterns, stands, pneumatic cylinders

ВВЕДЕНИЕ

Анализ технических документов и литературных источников показал, что для разработки технологии изготовления секций могут быть использованы данные, представленные в работах [1-4], а корпусов судов – [3-5]. Основы методологии механизации и автоматизации технологических процессов изложены в работе [6], а точности изготовления и монтажа корпусных конструкций судов в работе [14]. Патентный поиск по тематике исследований [7-13] выявил их в этом направлении. Анализ технической литературы показал, что имеются необходимые теоретические и методические основы, позволяющие перейти к разработке технических предложений по повышению точности изготовления корпусных конструкций в сборочно-сварочном производстве.

Технологический процесс изготовления судна на стапеле включает комплекс установочно-сборочных и проверочных работ. Трудоемкость этих работ составляет до 27 % от всех стапельных работ. Значительная их трудоемкость объясняется наличием технологических припусков, удаляемых в процессе сборочных работ. Установка секций на стапеле без монтажных припусков позволяет снизить трудоемкость сборочных работ на 20–40 % и проверочных на 10–20 %. Отказ от припусков и изготовление конструкций в чистый размер в сборочно-сварочном производстве позволяет снизить, с одной стороны, стоимость конструкций, а с другой – накладывает жесткие требования к точности их изготовления. Для повышения точности изготовления секций необходимо использовать универсальную сборочно-сварочную оснастку, унифицировать состав технологических операций (переходов, технологических комплексов приемов, приемов работ, движения рабочих), использовать в технологических процессах современные сварочные технологии и средства оптического контроля. В связи с этим актуальным является создание легко перенастраиваемой механизированной сборочно-сварочной постели с необходимой точностью обводов для сборки секций в чистый размер. На рис. 1 показана структурная схема исследований технологических процессов для изготовления корпусных конструкций судов.



Рис. 1. Структурная схема исследований технологических процессов для изготовления корпусных конструкций судов
 Fig. 1. Structural scheme of study of technological processes for manufacturing of ship hull structures

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В соответствии с рис. 1 собрана статистика по рыболовным судам типа БМРТ и РТМС, основные элементы которых представлены в табл. 1.

Таблица 1. Основные элементы промыслового судна
 Table 1. Main elements of a fishing vessel

Тип судна	Основные элементы промыслового судна								
	L	L _⊥	B	H _{гп}	H _{вп}	T _н	T _к	D _п	D
РТМК-С типа «Моозунд»	120,4	107,0	19,02	9,20	12,22	6,63	6,63	5801	9260
РТМС типа «Спрут»	117,5	107,4	17,40	8,65	11,0	6,50	6,76	4932	8473
РТМС типа «Горизонт»	111,3	99,9	17,3	8,2	11,0	6,52	6,52	4827	7972
БМРТ типа «Пулковский Меридиан»	103,7	96,4	16,0	7,40	10,2	5,13	6,61	3816	5720
БМРТ типа «Прометей»	101,8	91,8	15,2	6,9	9,7	5,71	5,74	3250	5367
БМРТ типа «Иван Бочков»	93,84	85,00	15,9	7,3	10,0	5,48	5,83	3188	4947

С учетом данных табл. 1, принят размер оснастки шириной 18 м. Длина оснастки должна регламентироваться исходя из листового проката, который может обрабатывать завод-изготовитель. На российских заводах это обычно 8 м, хотя в практике современного отечественного и зарубежного судостроения используют листы длиной 12 м. Нами принят размер листов 10 м. В таком случае размеры сборочной сварочной оснастки будут составлять 18 x 10 м. На основании патентного поиска [7-13] для исследования и дальнейшего сравнения выбрана кас-

сетная сборочно-сварочная постель, которая была модернизирована с целью повышения точности изготовления конструкций. Анализ погрешности приведен в табл. 2 и 3, а эскиз постели – на рис. 2.

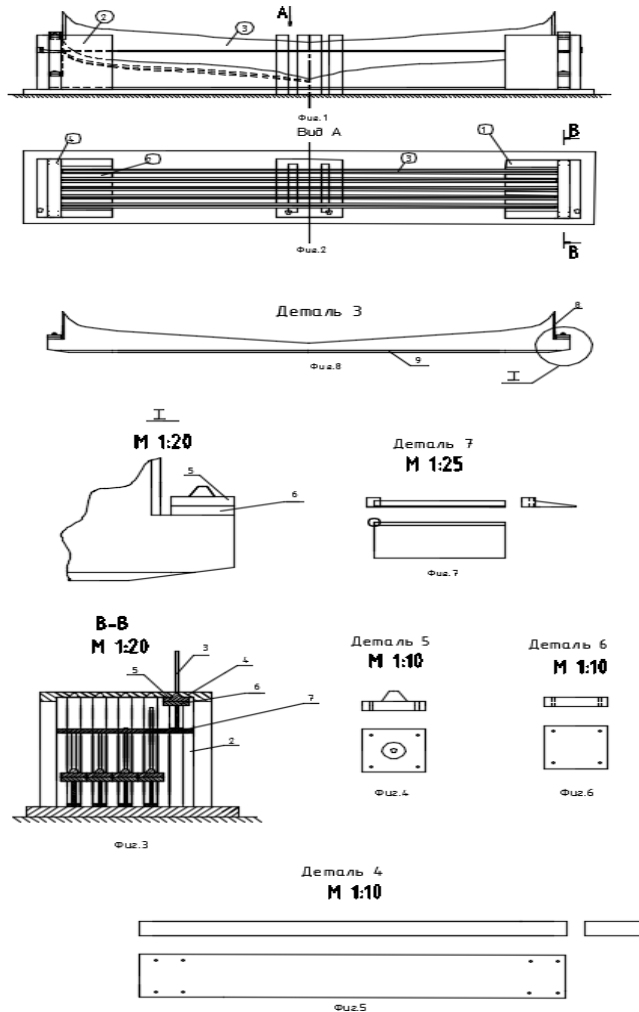


Рис. 2. Кассетная постель в модифицированном варианте:

фиг. 1 – общий вид тумбы; фиг. 2 – вид по стрелке А; фиг. 3 – разрез В-В; фиг. 4 – нижняя часть ловителя В; фиг. 5 – верхняя часть ловителя; фиг. 6 – платформа нижней части ловителя; фиг. 7 – шарнирно поворотный стопор; фиг. 8 – лекало; 1 – тумба; 2 – вертикальная кассета; 3 – сменное лекало; 4 – верхняя часть ловителя; 5 – нижняя часть ловителя; 6 – платформа для нижней части ловителя; 7 – шарнирно-поворотный стопор; 8 – ребро жесткости; 9 – подкрепляющая планка

Fig. 2. Cassette bed in a modified version:

fig. 1- general view of a cabinet; fig. 2 - view in arrow A; fig. 3- sectional view of BB; fig 4- lower part of the fishing tool B; fig. 5 -upper part of the fishing tool; fig. 6- platform of the lower part of the fishing tool; fig. 7 - pivotally rotatable stopper; fig. 8 -template; 1 - cabinet; 2 - vertical cassette;

3 - interchangeable template; 4 - upper part of the fishing tool; 5 - lower part of the fishing tool; 6 - platform for the lower part of the fishing tool; 7 - hinged and rotary stopper; 8 - stiffener; 9 - reinforcing bar

Таблица 2. Погрешность изготовления лекала с использованием модификаций
Table 2. Inaccuracy in manufacturing of patterns with the use of modifications

Номер звена	Контролируемые параметры	n	k	α	P	δ , мм	Δ , мм	t_H , мм	t_B , мм
1	Погрешность изготовления лекала верхней части ловителя (с отверстиями) (фрезерование)	2	1	0	1	0,15	0	-0,15	0,15
2	Погрешность установки верхней части ловителя на опорные стенки кондуктора для изделия лекал	2	1	0	1	0,1	0	-0,1	0,1
3	Погрешность сопряжения верхней части ловителя с нижней	2	1	0	1	0,01	0	-0,01	0,01
4	Погрешность оконтуровки рабочей кромки лекала фрезерным станком	1	1	0	1	0,15	0	-0,15	0,15
5	Замыкающее звено погрешности изготовления лекала					0,29	0	-0,29	0,29
Параметры замыкающего звена									
Полуширина поля рассеивания, мм	$\delta_{\Sigma} = \frac{1}{1} \sqrt{\sum_{i=1}^n 2 * (0,15)^2 + 2 * (0,1)^2 + 2 * (0,01)^2 + 0,15}$								
Координаты середины поля рассеивания, мм	$\Delta_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n 1 * (-1) * 0 = 0$								
Нижняя граница поля рассеивания, мм	$t_{H\Sigma} = \Delta_{\Sigma} - \delta_{\Sigma} = 0 - 0,29 = -0,29$								
Верхняя граница поля рассеивания, мм	$t_{B\Sigma} = \Delta_{\Sigma} + \delta_{\Sigma} = 0 + 0,29 = 0,29$								

Таблица 3. Погрешность установки лекала в рабочее положение (по высоте)
Table 3. Error of setting the pattern in the working position (height)

Номер звена	Контролируемые параметры	n	k	α	P	δ , мм	Δ , мм	t_H , мм	t_B , мм
1	Погрешность изготовления верхней части ловителя	2	1	0	1	0,15	0	-0,15	0,15
2	Погрешность установки верхней части ловителя на опорные стенки тумбы кассетной постели	2	1	0	1	0,1	0	-0,1	0,1
3	Погрешность изготовления лекала	1	1	0	1	0,29	0	-0,29	0,29
4	Погрешность, вызванная стопорением	2	1	0	1	0	0	0	0
5	Замыкающее звено погрешности установки лекала					2,87	0	-2,87	2,87
Параметры замыкающего звена									
Полуширина поля рассеивания, мм	$\delta_{\Sigma} = \frac{1}{1} \sqrt{\sum_{i=1}^n 2 * (0,15)^2 + 2 * (0,1)^2 + 1 * (0,29)^2 + 2 * (0,01)^2}$								
Координаты середины поля рассеивания, мм	$\Delta_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n 1 * (-) * 0 = 0$								

Окончание табл. 3

Но- мер зве- на	Контролируемые параметры	n	k	α	P	δ , мм	Δ , мм	t _n , мм	t _b , мм
Нижняя граница поля рассеивания, мм	$t_{n\Sigma} = \Delta_{\Sigma} - \delta_{\Sigma} = 0 - 0,38 = -0,38$								
Верхняя граница поля рассеивания, мм	$t_{b\Sigma} = \Delta_{\Sigma} + \delta_{\Sigma} = 0 + 0,38 = 0,38$								

В итоге погрешность установки постели в рабочее положение составила 0.38 мм.

Проектирование универсальной сборочно-сварочной оснастки

Проектирование оснастки заключается в определении рациональных размеров конструкции, подборе профиля поперечных и продольных балок по расчетному моменту сопротивления и моменту инерции. Конструкция сборочно-сварочной оснастки должна удовлетворять следующим требованиям:

- затраты на изготовление и эксплуатацию оснастки не должны увеличивать себестоимость корпусной конструкции;

- прочность и надежность оснастки должна быть достаточной для безотказной ее эксплуатации в течение установленного срока без поломок и необратимых деформаций;

- жесткость и расположение несущих связей оснастки должны обеспечивать правильную и надежную фиксацию заданных обводов и размеров изготавливаемой корпусной конструкции в течение всего периода ее формирования;

- конструкция оснастки должна быть удобной для выполнения на ней всех требующихся для изготовления секции работ и возможности применения средств механизации труда.

При проектировании универсальной стоечной постели необходимо предусмотреть следующие требования:

- разработать методику изготовления стоек;

- разработать постоянную основу для стоек и метод ее изготовления;

- разработать метод передвижения стоек в зависимости от плазовых данных;

- рассмотреть возможности крепления подвижных стоек к постоянной основе;

- разработать возможности крепления постоянной основы к независимому основанию.

Разработка возможных вариантов конструктивного оформления проектируемой оснастки

Основой проектируемой оснастки являются комплект подвижных стоек, постоянная основа для них и независимое основание, где эта конструкция будет устанавливаться. Анализ технической литературы показал, что информации конструктивного оформления таких постелей крайне мало, хотя их применение достаточно широко, но, учитывая конструкцию постели, следует отдельно рассмотреть стойки, постоянную основу для них и независимое основание. В данной статье будут рассматриваться только стойки.

Современные универсальные стоечные постели не отличаются большим многообразием. Конструкция универсальной постели в большинстве случаев представляет собой стенд с направляющими из швеллерных балок. В них установлены передвижаемые вдоль направляющих коксы. Их настраивают по таблицам по двум ординатам – по горизонтали и вертикали. Таблицы составляют на плазе. Коксы располагают на стенде по кривой, являющейся проекцией пересечения набора с обшивкой.

На рис. 3 показано устройство кокса со стойкой из трубы. Стойка 6 снабжена двумя рядами зубьев 7 и в верхней части имеет головку 5 на винте 4 для тонкой настройки. Стойка подвижно вмонтирована в тумбу 9, имеющую трубчатую либо коробчатую конфигурацию, снабженную стаканом 8, ограниченным верхней 1 и нижней 3 шайбами, причем нижняя шайба 3 имеет два винтовых выступа 2. Обе шайбы имеют цилиндрическое отверстие 10 и пазы 11 для вертикального перемещения стойки 6 кокса. Подняв или опустив стойку 6 кокса на заданную высоту, ее поворачивают. При этом, опираясь зубьями 7 на плоскую верхнюю шайбу 1, она зажимается винтовыми лентами 2 нижней шайбы 3 и жестко фиксируется в вертикальном положении. При сборке постели верхние шайбы 1 на всех тумбах устанавливаются строго горизонтально.

Для механизации и возможности контролировать стойку ее необходимо модифицировать. В качестве движителя стойки по заданным координатам можно использовать несколько вариантов: шаговый двигатель, сервопривод или пневмо-, гидроцилиндры.

Пневмоцилиндры дают большее усилие по сравнению с сервоприводами и шаговыми двигателями, занимая бóльший объем в месте расположения. В нашем же случае можно вообще заменить или насадить кокс на цилиндр и использовать как стойку (см. рис. 4). Минус цилиндров заключается в неточности позиционирования и невозможности задать точную координату перемещения, что недопустимо в данном проекте, так как он ориентирован на повышенную точность изготовления секций. Максимальная точность позиционирования, которую удалось найти – пневмоцилиндры SMC с магнитной шкалой и тормозом (серии SE2, ML2B). Они позволяют осуществлять дискретное позиционирование с точностью ± 0.5 мм при скорости движения поршня 100 ~ 500 мм/с. Эта функция выполняется системой, включающей в себя, наряду с цилиндром, программируемый контроллер, получающий сигнал обратной связи, и пневмораспределитель, управляемый от контроллера. Для повышения точности остановок программа контроллера содержит режим самообучения, позволяющий скорректировать момент подачи сигнала на торможение с целью минимизации перебега. Полностью минимизировать перебег не представляется возможным. Для того чтобы минимизировать погрешность, необходимо использовать головку точной настройки на винтовом соединении, как на рис. 3.

Гидроцилиндры имеют самую громоздкую конструкцию и также не обеспечивают точность позиционирования, так как сильно зависят от температуры окружающей среды из-за температурного расширения используемой жидкости внутри цилиндров. Помимо этого гидроцилиндры имеют бóльшую стоимость по сравнению со всеми вариантами приводов, так что мы считаем, что целесообразно отказаться от их анализа.

При использовании шагового двигателя есть несколько нюансов, например – это его особенность потери шагов. Данный эффект проявляется в некотором неконтролируемом смещении траектории перемещения инструмента от необходимой траектории. При изготовлении простых деталей, имеющих малую длину траектории перемещения инструмента, и при невысоких требованиях к изделию в большинстве случаев данным эффектом можно пренебречь. Но при обработке сложных изделий (пресс-формы, резьба и т. п.), где длина траектории может достигать километров, данный эффект в большинстве случаев будет приводить к неисправимому браку. Данный эффект проявляется при выходе за допустимые характеристики двигателя, при неправильном управлении двигателем, а также при «проблемах» с механикой. Применение современных технологий управления шаговыми двигателями с применением современной электроники позволяет полностью устранить данный эффект, однако стоимость возрастает.

Эффект потери шагов у сервоприводов полностью отсутствует, потому что в каждом сервоприводе имеется датчик положения (энкодер), который постоянно отслеживает положение ротора двигателя и при необходимости выдает команды коррекции положения. На их основании управляющая электроника, проанализировав данные, полученные с энкодера, вырабатывает необходимые сигналы управления на двигатель. Данный механизм называется обратной связью.

Также цена промышленного шагового двигателя сопоставима со стоимостью гидроцилиндров, так как в них применяются дорогостоящие редкоземельные магниты, а также ротор и статор изготавливаются с прецизионной точностью. У сервопривода большую часть стоимости составляет энкодер, но итоговая цена получается меньше. Шаговый двигатель практически не поддается ремонту, у него может выйти из строя только обмотка статора (что достаточно редкое явление), но ее замену может произвести только производитель двигателя. И самый главный недостаток как шагового двигателя, так и сервопривода – при повышенной нагрузке на них возможна прокрутка или же сгорание двигателя. Из-за этого необходимо предусмотреть в конструкции стойки механизм фиксации положения стойки, который будет брать на себя нагрузку при обжиге технологическими грузами секции.

На данный момент представим один эскиз проект – с использованием сервоприводов.

Конструкция стойки при использовании сервопривода

Стойка монтируется на подвижном ролике в постоянном основании для возможности изменения размера шпации по салазкам, сервопривод – на роликах, к выходному валу привода присоединяется резьбовой вал, на него ставится сам кокс, который будет перемещаться по резьбовому валу. На конце кокса находится головка точной настройки на винтовом соединении для возможности более точной корректировки высоты.

Данные стойки располагаются по всей оснастке. Кабели для подключения питания двигателями будут идти к питающему щиту с автоматическими предохранителями для экстренного отключения привода, кабеля сигнала – на пульт управления стойками, туда же загружаются координаты плазовых данных секции. Задается базовая плоскость, от которой выносятся ординаты на коксовом поле постели. За базовую плоскость принимается плоскость, параллельная ОП и лежащая в плоскости вершин коксов, выставленных в ДП по килевой линии, затем все дан-

ные преобразуются в сигнал для энкодера и стойка передвигается на необходимую высоту. На основе теоретических данных с плаза с помощью тахеометра следует выполнить окончательную проверку положения стоек в контрольных точках относительно базовой плоскости, зафиксировать положение стоек с помощью стопора Эскиз стойки с сервоприводом изображен на рис. 5.

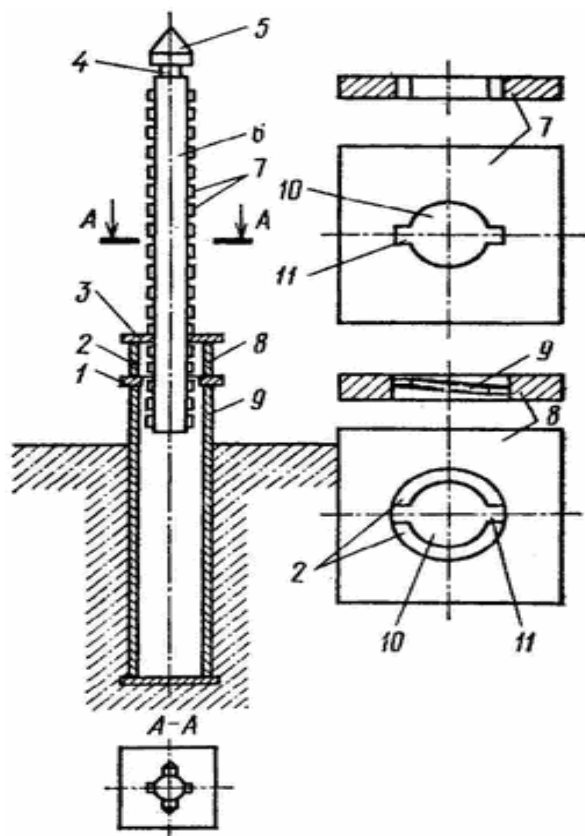


Рис. 3. Кокс со стойкой из трубы:
 1 - верхняя ограничивающая шайба; 2 - винтовой выступ; 3 - нижняя ограничивающая шайба;
 4 - винт тонкой настройки; 5 - головка тонкой настройки; 6 - стойка кокса;
 7 - опорные зубья; 8 - стакан; 9 - тумба; 10 - отверстие шайбы; 11 - паз шайбы

Fig. 3. Coke with a tube stand:
 1 - upper limiting washer; 2 - screw protrusion; 3 - lower limiting washer; 4 - fine adjustment screw;
 5 - the fine-tuning head; 6 - coke stand;
 7 - supporting teeth; 8 - glass; 9 - cabinet;
 10 - washer eye; 11 - washer groove

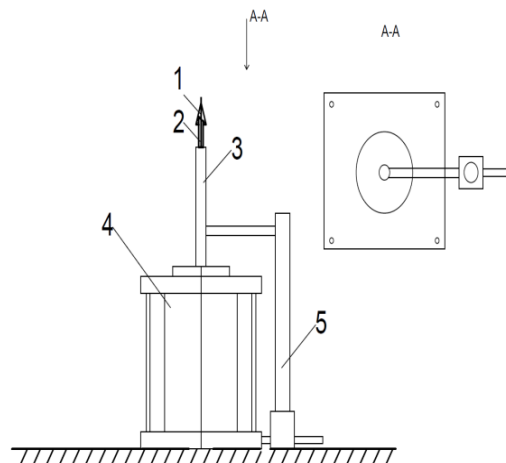


Рис. 4. Кокс на стойке пневмоцилиндра:

1 - корректировочная головка кокса;
 2 - резьбовой вал головки кокса;
 3 - поршень; 4 - пневмоцилиндр;
 5 - позиционер пневмоцилиндра

Fig. 4. Coke on the stand of the pneumatic cylinder:

1 - correction head of coke; 2 - threaded shaft of the coke head; 3 - piston; 4 - pneumatic cylinder; 5 - pneumatic cylinder positioner

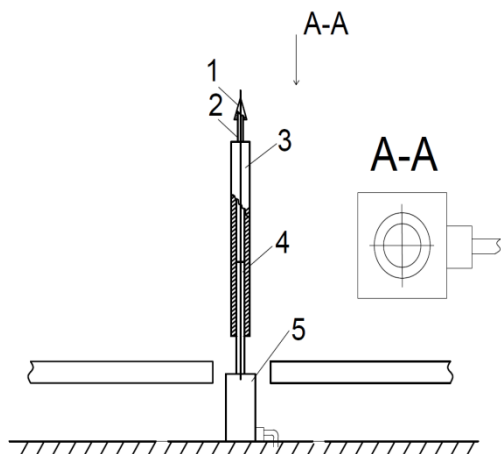


Рис. 5. Кокс на резьбовом валу с сервоприводом:

- 1 - корректировочная головка кокса;
- 2 - резьбовой вал головки кокса; 3 - подвижный кокс; 4 - основной резьбовой вал; 5 - сервопривод

Fig. 5. Coke on a threaded shaft with a servo drive: 1 - correction head of the coke; 2 - threaded shaft of the coke head; 3 - movable coke; 4 - main threaded shaft; 5 - servomotor

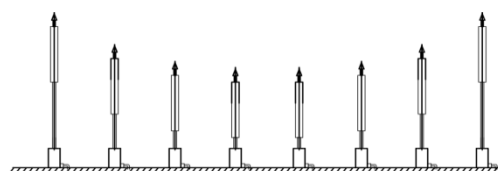


Рис. 6. Эскиз лекальной поверхности на основе коксов на сервоприводах
Fig. 6. Sketch of a coke-based surface on servo drives

Далее представлено сравнение точности установки в рабочее положение лекальной поверхности (рис. 6). Так как у сервопривода отсутствует эффект потери шагов, погрешность, связанная напрямую с ним, отсутствует (табл. 4, 5).

Таблица 4. Погрешность изготовления стойки
Table 4. Rack manufacturing error

Но- мер звена	Контролируемые параметры	n	k	α	P	δ , мм	Δ , мм	тн, мм	тв, мм
1	Погрешность изготовления деталей стойки	3	1	0	1	0,1	0	-0,1	0,1
2	Погрешность установки деталей стойки на сервопривод	3	1	0	1	0	0	0	0
3	Погрешность оконтурки рабочей кромки головки стойки фрезерным станком	1	1	0	1	0,01	0	-0,01	0,01
4	Замыкающее звено погрешности изготовления стойки					0,17	0	-0,17	0,17
Параметры замыкающего звена									
Полуширина поля рассеивания, мм		$\delta_{\Sigma} = \frac{1}{1} \sqrt{\sum_{i=1}^n 3 * (0,1)^2 + 3 * (0)^2 + 0,01^2} = 0,17$							

Окончание табл. 4

Номер звена	Контролируемые параметры	n	k	α	P	δ , мм	Δ , мм	tn, мм	tv, мм
	Координаты середины поля рассеивания, мм	$\Delta_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n 1 * (-1) * 0 = 0$							
	Нижняя граница поля рассеивания, мм	$t_{n\Sigma} = \Delta_{\Sigma} - \delta_{\Sigma} = 0 - 0,18 = -0,17$							
	Верхняя граница поля рассеивания, мм	$t_{b\Sigma} = \Delta_{\Sigma} + \delta_{\Sigma} = 0 + 0,18 = 0,17$							

Таблица 5. Погрешность установки стойки в рабочее положение (по высоте)

Table 5. Accuracy of rack installation in working position (height)

Номер звена	Контролируемые параметры	n	k	α	P	δ , мм	Δ , мм	tn, мм	tv, мм
1	Погрешность изготовления стойки	1	1	0	1	0,17	0	-0,17	0,17
2	Погрешность проверочного оборудования	1	1	0	1	0,1	0	-0,1	0,1
3	Погрешность калибровки головки стойки	1	1	0	1	0,1	0	-0,1	0,1
4	Погрешность вызванная стопорением стойки	1	1	0	1	0,01	0	-0,01	0,01
5	Замыкающее звено погрешности установки лекала					0,22	0	-0,22	0,22
Параметры замыкающего звена									
	Полуширина поля рассеивания, мм	$\delta_{\Sigma} = \frac{1}{1} \sqrt{\sum_{i=1}^n 0,17^2 + 0,1^2 + 0,1^2 + 0,001^2} = 0,22$							
	Координаты середины поля рассеивания, мм	$\Delta_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n 1 * (-) * 0 = 0$							
	Нижняя граница поля рассеивания, мм	$t_{n\Sigma} = \Delta_{\Sigma} - \delta_{\Sigma} = 0 - 0,22 = -0,22$							
	Верхняя граница поля рассеивания, мм	$t_{b\Sigma} = \Delta_{\Sigma} + \delta_{\Sigma} = 0 + 0,22 = 0,22$							

ВЫВОДЫ

1. По полученным данным можно сделать вывод, что разница при изготовлении между лекалом и стойкой составляет 0,12, а при установке – 0,16, что влияет на точность в дальнейшем производстве.

2. Предлагаемое усовершенствование сборочно-сварочной оснастки направлено на повышение точности изготовления секций корпусов судов различной кривизны. Точность изготовления составляет до 0.25 мм.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Галкин, В. А. Справочник по сборочно-сварочной оснастке цехов верфи / В. А. Галкин. – Ленинград: Судостроение, 1983. – 304 с.
2. Иванов, А. П. Методика и результаты исследования технологических операций сварки при изготовлении секций корпусов судов / А. П. Иванов, И. Н. Долгина // Известия КГТУ. – Калининград, 2011. – № 21. – С.157-163.

3. Кузьминов, С. А. Сварочные деформации судовых корпусных конструкций / С. А. Кузьминов. – Ленинград: Судостроение, 1974. – 286 с.
4. Мацкевич, В. Д. Сборка и сварка корпусов судов / В. Д. Мацкевич. – Ленинград: Судостроение, 1968. – 402 с.
5. Основы технологии судостроения: учебник / под ред. В. Ф. Соколова. – Санкт-Петербург: Судостроение, 1995. – 400 с.
6. Основы механизации и автоматизации судостроительного производства: учебник / под ред. В. Ф. Соколова. – Ленинград: Судостроение, 1989. – 360 с.
7. Точность изготовления и монтажа корпусных конструкций судов / Л. Ц. Адлерштейн [и др.]. – Ленинград: Судостроение, 1978. – 256 с.
8. Пат. SU1105366 АВ63В 9/00 СССР. Постель для сборки секций корпуса судна / А. П. Кулаков, Г. Б. Михайлюк, А. В. Лебедев. – Заявка: 3571934, 15.02.1983.
9. Пат. SU712316 АВ63В 9/00 СССР. Сборочно-сварочная постель / Ю. Н. Мильруд. – Заявка: 2644346, 10.07.1978.
10. Пат. SU1390121 А1 В63В 9/06 СССР. Сборочно-сварочная постель / Т. И. Плотников, Л. И. Бирюков. – Заявка: 4001209, 02.01.1986.
11. Пат. SU132498 А1В63В 9/06 СССР. Сборочно-сварочная постель / П. А. Никитин. – Заявка: 637873, 02.09.1979.
12. Пат. SU 1219444 АВ63В 9/06 СССР. Постель для секций корпуса судна / И. А. Блывштейн, А. А. Бовсуновский. – Заявка: 3414820, 01.04.1982.
13. Пат. RU 2249532С1 В63В 9/06 РФ. Сборочно-сварочная постель / Э. В. Лапочкин, В. А. Сошкин, В. Я. Марков. – Заявка: 2003126229/11, 26.08.2003.
14. Пат. на п. м. № 116832, В63В9/06 2011 РФ. Постель для сборки и сварки секций корпуса судна / А. П. Иванов, Д. А. Жаравин. – Оpubл.: 10.06. 2012.

REFERENCES

1. Galkin V. A. *Spravochnik po sborochno-svarochnoj osnastke cehov verfi* [Handbook of assembly and welding equipment of shipyard workshops]. L., Sudostroenie, 1983, 304 p.
2. Ivanov A. P., Dolgina I. N. Metodika i rezul'taty issledovanija tehnologicheskikh operacij svarki pri izgotovlenii sekcij korpusov sudov [Methodology and results of research of welding process operations in manufacturing of ship hull panels]. *Izvestija KGTU*, 2011, no. 21, pp.157-163.
3. Kuz'minov S. A. *Svarochnye deformacii sudovyh korpusnyh konstrukcij* [Welding deformations of ship hull structures]. L., Sudostroenie, 1974, 286 p.
4. Mackevich V. D. *Sborka i svarka korpusov sudov* [Assembly and welding of ship hulls]. L., Sudostroenie, 1968, 402 p.
5. *Osnovy tehnologii sudostroenija: uchebnik* [Fundamentals of shipbuilding technology: textbook], pod red. V. F. Sokolova. Saint-Petersburg, Sudostroenie, 1995, 400 p.
6. *Osnovy mehanizacii i avtomatizacii sudostroitel'nogo proizvodstva: uchebnik* [Fundamentals of mechanization and automation of shipbuilding: textbook], pod red. V. F. Sokolova. L., Sudostroenie, 1989, 360 p.

7. Adlershtejn L. C., Vasjunin S. V., Sokolov V. F., Stoljarskij L. L. *Tochnost' izgotovlenija i montazha korpusnyh konstrukcij sudov* [Accuracy of manufacturing and installation of ship hull structures]. L., Sudostroenie, 1978, 256 p.

8. Pat. SU1105366 AB63B 9/00 SSSR. *Postel' dlja sborki sekcij korpusa sudna* [Bed for assembling ship hull panels]. Kulakov A. P., Mihailjuk G. B., Lebedev A. V. Zajavka 3571934, 15.02.1983.

9. Pat. SU712316 AB63B 9/00SSSR. *Sborochno-svarochnaja postel'* [Assembly and welding bed]. Mil'rud Ju. N. Zajavka 2644346, 10.07.1978.

10. Pat. SU1390121 A1 B63B 9/06 SSSR. *Sborochno-svarochnaja postel'* [Assembly and welding bed]. Plotnikov T. I., Birjukov L. I. Zajavka 4001209, 02.01.1986.

11. Pat. SU132498 A1B63B 9/06 SSSR. *Sborochno-svarochnaja postel'* [Assembly and welding bed]. Nikitin P. A. Zajavka 637873, 02.09.1979.

12. Pat. SU 1219444AB63B 9/06 SSSR. *Postel' dlja sekcij korpusa sudna* [Bed for ship hull panels]. Bluvshstejn I. A., Bovsunovskij A. A. Zajavka 3414820, 01.04.1982.

13. Pat. RU 2249532C1 B63B 9/06 RF. *Sborochno-svarochnaja postel'* [Assembly and welding bed]. Lapochkin Je. V., Soshkin V. A., Markov V. Ja. Zajavka 2003126229.11, 26.08.2003.

14. Patent na poleznuju model' № 116832, 2011 g. *Postel' dlja sborki i svarki sekcij korpusa sudna* [Bed for assembling and welding of hull panels]. Ivanov A. P., Zharavin D. A.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Дятченко Сергей Васильевич – Калининградский государственный технический университет; доктор технических наук, доцент;
заведующий кафедрой кораблестроения; E-mail: svd.ks@mail.ru

Dyatchenko Sergey Vasilyevich – Kaliningrad State Technical University;
Doctor of Technical Sciences, Associate Professor;
Head of the Shipbuilding Department; E-mail: svd.ks@mail.ru

Гришин Павел Романович – Калининградский государственный технический университет; магистрант кафедры кораблестроения;
E-mail: pchel2000@gmail.com

Grishin Pavel Romanovich – Kaliningrad State Technical University;
graduate student of the Shipbuilding Department;
E-mail: pchel2000@gmail.com

Шевелёва Сюзанна Игоревна – Калининградский государственный технический университет; магистрант кафедры кораблестроения;
E-mail: susha1027@gmail.com

Shevelyova Suzanna Igorevna – Kaliningrad State Technical University;
graduate student of the Shipbuilding Department;
E-mail: susha1027@gmail.com

УДК 624.042: 629.5.024

РАСЧЕТ КРУТИЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ СУДОВОГО
ВАЛОПРОВОДА БУКСИРА ПРОЕКТА 1606

В. И. Сутырин, И. А. Шинкаренко

CALCULATION OF SHIP SHAFTING TORSIONAL OSCILLATIONS
OF A TOWING VESSEL PROJECT 1606

V. I. Sutyurin, I. A. Shinkarenko

Как показывает статистика, до восьмидесяти процентов отказов в машиностроении связано с повышенной вибрацией. По этой причине борьба с резонансными колебаниями является весьма актуальной проблемой современного машиностроения. Расчет крутильных колебаний валопровода производится для выявления резонансных режимов работы движительного комплекса судна. Предотвращение длительной работы движителя в зонах резонансов – одно из важных условий безопасной работы судового валопровода. В настоящей статье выполнен расчет основных параметров свободных крутильных колебаний буксира пр. 1606. Рассмотрены самые важные элементы конструкции движительного комплекса судна. Описан порядок выполнения и представлены данные расчета резонансных частот валопровода судна. Результаты расчета параметров свободных колебаний показаны в виде диаграммы Кембелла, которая позволяет определять резонансные режимы работы валопровода. С использованием расчетных данных установлен наиболее опасный участок валопровода. Полученные на этом этапе результаты могут быть использованы для выполнения измерений крутильных колебаний и установления «запрещенных» режимов работы движителя.

валопровод, крутильные колебания, вибрация, гребной винт, гребной вал, судно

According to the statistics, up to eighty percent of failures in engineering is associated to elevated vibration. For this reason, protection against resonance oscillations is a very urgent problem in modern machinery manufacturing. Calculation of torsional oscillations of the shaft line is carried out to find the resonant operating conditions of the propulsion complex of a vessel. Prevention of long operation of the propeller in resonance zones is one of the important conditions for safe operation of the ship shafting. The present work presents calculation of main parameters of free torsional oscillations of a towing vessel of the pr. 1606. Main elements of the ship propulsion complex design are considered. The procedure is described and the data for calculation of resonant oscillations of the ship shafting are presented. The results of calculating the parameters of free oscillations are presented in the form of a Campbell diagram, which makes it possible to determine resonance modes of the shafting operation. Using the calculated data, the most dangerous part of the shaft line has been identified. The data obtained at this

stage can be used to perform measurements of torsional oscillations and to determine “forbidden” operation modes of the propulsion unit.

shafting, torsional oscillations, vibration, ship propeller, screw shaft, ship

ВВЕДЕНИЕ

Крутильные колебания машин с дизельным приводом могут быть причиной возникновения опасных динамических нагрузок, приводящих к аварийным повреждениям упругих муфт, гребных валов, редукторов, шестерен и других элементов системы.

Валопровод судна, являясь одним из важнейших элементов движителя, эксплуатируется в условиях переменных динамических нагрузок со стороны двигателя и гребного винта. Возникающие динамические напряжения при определенных ситуациях могут превысить предел усталости металла, из которого изготовлен вал, и вызвать его разрушение. Крутильные колебания также могут стать причиной местных вибраций корпусных конструкций.

Маломерные суда, обладая небольшой массой и высокой скоростью, имеют значительно большую виброактивность, чем крупные. Элементы корпуса и судовые конструкции при этом испытывают значительные вибрации в процессе работы, а значит, больше подвержены износу. Кроме этого, вибрация существенно ухудшает условия обитания на судне.

Требования по обязательному расчетно-экспериментальному определению параметров крутильных колебаний содержатся в правилах всех классификационных сообществ, в том числе и российских. В статье представлены методика и компьютерная программа расчета динамики движительного комплекса на примере буксира пр. 1606 (рис. 1).

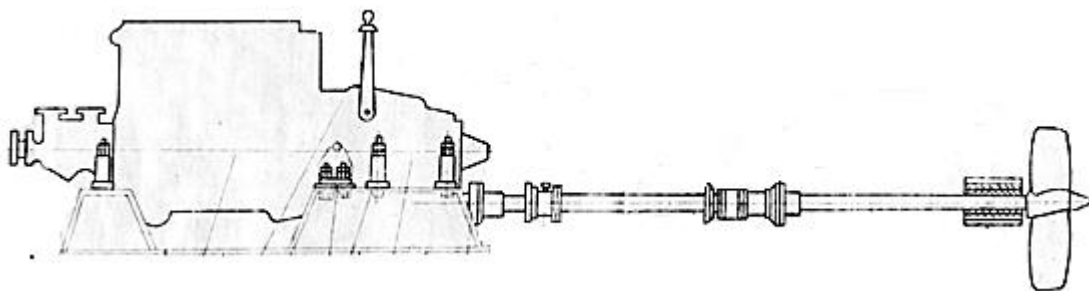


Рис. 1. Схема движительного комплекса судна пр.1606

Fig. 1. Configuration of the propulsion complex of the ship pr. 1606

В основу расчета положен метод приведения, разработке которого в области судостроения посвящена основополагающая работа Ю.А. Шиманского «Динамический расчет судовых конструкций» [1]. Особенность представленного анализа заключается в преобразовании конечно-элементной расчетной схемы движительного комплекса судна на основе модифицированной вычислительной процедуры Айронса-Гайяна (Irons – Guyan) [2, 3]. Алгоритмические особенности расчетной программы, реализующей указанную процедуру, приводятся в ранее опубликованных работах [4, 5].

Расчет резонансных частот крутильных колебаний производится в соответствии с Правилами РРРС с целью оценки динамики линии вала относительно моментов и выявления «запретных» режимов работы движителя, при которых может произойти повреждение коленчатого или гребного вала водопровода вследствие недопустимых напряжений от крутильных колебаний. Вычисление собственных крутильных колебаний движительного комплекса выполняется по алгоритму, который предусматривает: составление расчетной модели движительного комплекса в виде дискретной модели; расчет приведенных параметров (жесткости и инерции) его элементов; вычисление частот и форм свободных колебаний; построение частотной диаграммы и определение резонансных частот работы двигателя. По результатам расчета сделано заключение о наличии запрещенных режимов и характере возмущающих сил при данных режимах работы, а также предложены рекомендации по эксплуатации.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И ПРОГРАММА РАСЧЕТА

Рассматриваемый движительный комплекс представляет собой одновальную энергетическую установку. Линия вала включает в себя восьмицилиндровый четырехтактный v-образный дизельный двигатель ЯМЗ 238С2 с присоединенным реверс-редуктором DMT110А (передний ход $i=1/3.19$ и задний ход $i=1/3.19$), содержащим упругую муфту, соединительную муфту, цельный гребной вал, гребной винт правого вращения.

Таблица 1. Исходные данные для расчета крутильных колебаний
Table 1. Initial data for calculation of torsional oscillations

№ n/n	Элемент	Тип/модель	Основные параметры
1	Гребной винт	Черт. 1606-427-020	Число лопастей – 4, шаг винта – 1.1 м, диаметр – 0.9 м, дисковое отношение – 0.75, шаговое отношение – 1.22, масса – 62 кг
2	Валопровод	–	Сплошной вал, длина – 4 м, диаметр – 90 мм, сталь 35
3	Муфта валопровода	СТ305-421-003	Сталь 45
4	Реверс- редуктор	DMT110 А	Коэффициент редукции: – на передний ход 3.19, – на задний ход 3.19
5	Двигатель	ЯМЗ 238 С2	Ном. мощность – 110 кВт, ном. частота вращения – 1700 об/мин, число цилиндров – 8, рабочий цикл – 4 тактный, расположение цилиндров – V- образное, масса – 1350 кг

Исследуемая система (см. рис. 1) является цепной эквивалентной расчетной схемой, параметры которой в конечном итоге приводятся к валу судового двигателя. Вращающиеся массы представляются моментами инерции, а упругие связи между ними (валы, муфты) – крутильными жесткостями или податливостями. В расчетной программе исходная расчетная схема (ИРС) движительного комплекса (ДК) строится на основе стержневого конечного элемента (e), работающего на кручение, матрица жесткости $\|R\|_e$ и инерции $\|J\|_e$ которого известны [6]:

$$\|R\| = GJ_x / L \begin{vmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{vmatrix}; \quad \|R\| = \mu l / 3 \begin{vmatrix} 1 & 1/2 \\ 1/2 & 1 \end{vmatrix}, \quad (1)$$

где $\mu = \rho F$ – погонная масса вала; F – площадь сечения; ρ – массовая плотность материала; G – модуль сдвига; J_x – момент инерции при кручении; L – длина элемента.

В процессе расчета ИРС ДК преобразуется путем приведения ее матрицы коэффициентов жесткости и инерции к предварительно назначенным расчетным точкам (узлам приведения - np). При этом используются следующие матричные выражения [4, 5]:

$$\|R_{np}\| = \|R_{ss}\| - \|R_{sn}\| \|R_{nn}\|^{-1} \|R_{ns}\|; \quad (2)$$

$$\|J_{np}\| = \|J_{ss}\| + \|R_{sn}\| \|R_{nn}\|^{-1} \|J_{nn}\| \|R_{nn}\|^{-1} \|R_{ns}\| - \quad (3)$$

$$- \|J_{sn}\| \|R_{nn}\|^{-1} \|R_{ns}\| - \|R_{sn}\| \|R_{nn}\|^{-1};$$

$$\|J_{ns}\| = \|J_{ss}\| + \|Q\| + \|Q\|^T + \|G\| \cdot \|G\|^T,$$

$$\text{где } \|Q\| = \|L\|^T \|J_{ns}\|; \quad \|G\| = - \|L\|^T \|J_{nn}\|^{1/2}; \quad \|L\| = - \|R_{nn}\|^{-1} \|R_{ns}\|,$$

$\|R_{ss}\|$, $\|J_{ss}\|$; $\|R_{nn}\|$, $\|J_{nn}\|$ – матрицы жесткости и массы сохраняемых и исключаемых узлов ИРС ДК; $\|R_{sn}\| = \|R_{ns}\|^T$; $\|J_{sn}\| = \|J_{ns}\|^T$ – блок матрицы взаимного влияния ИРС; t – знак транспонирования матрицы.

После завершения конденсации и построения обобщенных матриц коэффициентов жесткости $\|R_{np}\|$ и моментов инерции $\|J_{np}\|$ расчет динамики может быть продолжен по одному из двух вариантов (рис. 2). Их выбор зависит от конечных целей расчета.

Так, решение обсуждаемой задачи может сводиться к хорошо разработанному в математике численному решению уравнения следующего вида:

$$| R_{np} - p^2 J_{np} | = 0, \quad (4)$$

где p – частота собственных колебаний.

Как правило, сразу несколько частот (по числу порядка матрицы) обращают определитель (4) в ноль. Однако не все они являются точными. Определение частот из уравнения (4) легче всего произвести путем подбора. Для этой цели можно задать ряд значений p и построить график зависимости значений определителя от частоты, а затем путем графической интерполяции найти корни уравнения. Трудоемкость подобных вычислений незначительна. Однако при их выполнении важно исключить возможность пропуска какой-либо собственной частоты. Возможно применение и других пошаговых либо итерационных расчетных методов [7].

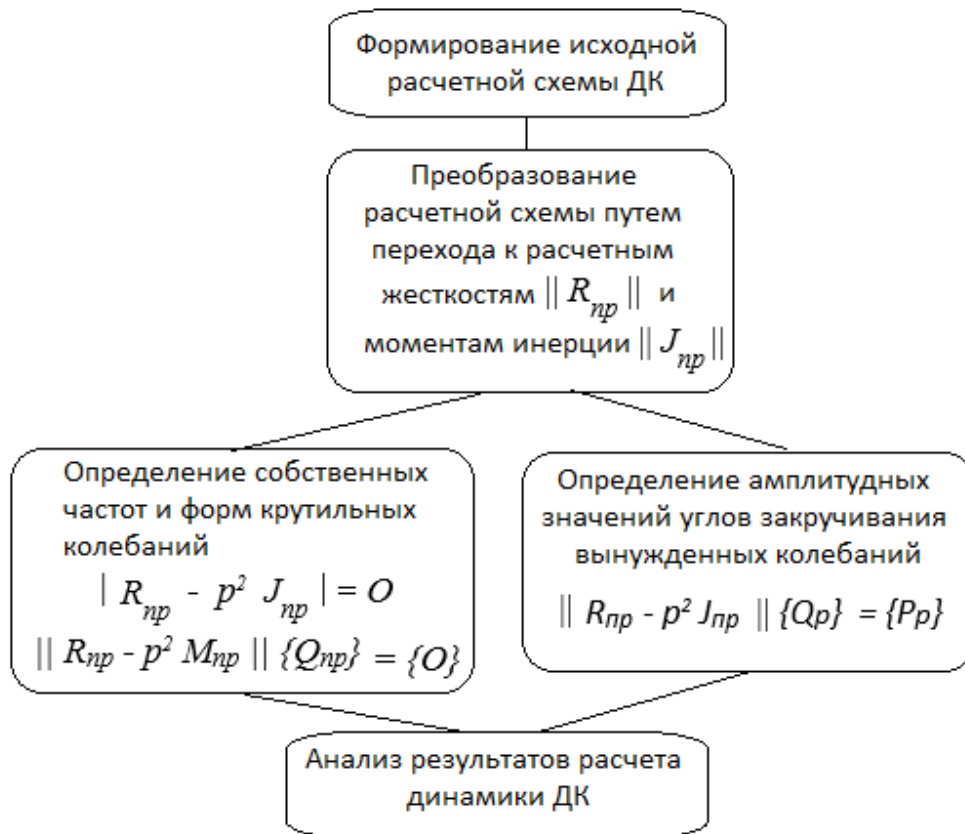


Рис. 2. Блок-схема расчетного анализа движительного комплекса
Fig. 2. Block diagram of the calculation analysis of the propulsion complex

Если частота установлена, то можно определить соответствующую ей форму колебаний, решая систему уравнений следующего вида:

$$\| R_{np} - p^2 J_{np} \| \{ Q_p \} = \{ P_p \}, \quad (5)$$

где $\{ Q_{np} \}$ - искомый вектор узловых перемещений узлов приведения.

Преимущества квазистатической модели связаны с возможностью эффективного определения гармонического отклика системы (амплитуд) установившихся вынужденных колебаний сложной колебательной системы. В указанной модели массы конструкции интерпретируются как дополнительные безынерционные линейные упругие связи, обладающие отрицательными жесткостями со значениями, пропорциональными квадрату частоты вынужденных колебаний [8]. Средством их структуризации (приведения) могут служить матрично-векторные равенства (1), в которых вместо матриц жесткости традиционного вида выступают динамические, рассчитываемые с учетом частоты колебаний

$$\| R \| \rightarrow \| D \| = \| R - p^2 J \|. \quad (6)$$

Рассмотрим особенности операций приведения жесткостных и инерционных параметров основных компонент системы ДК.

Двигатель. Приведение действительной массы системы ДВС сводится к определению жесткости или податливости отдельных участков вала и моментов инерции отдельных масс. Крутильная система двигателя ЯМЗ 238 представлена

на рис. 3. Основными инерционными элементами являются вентилятор, коленвал и маховик.

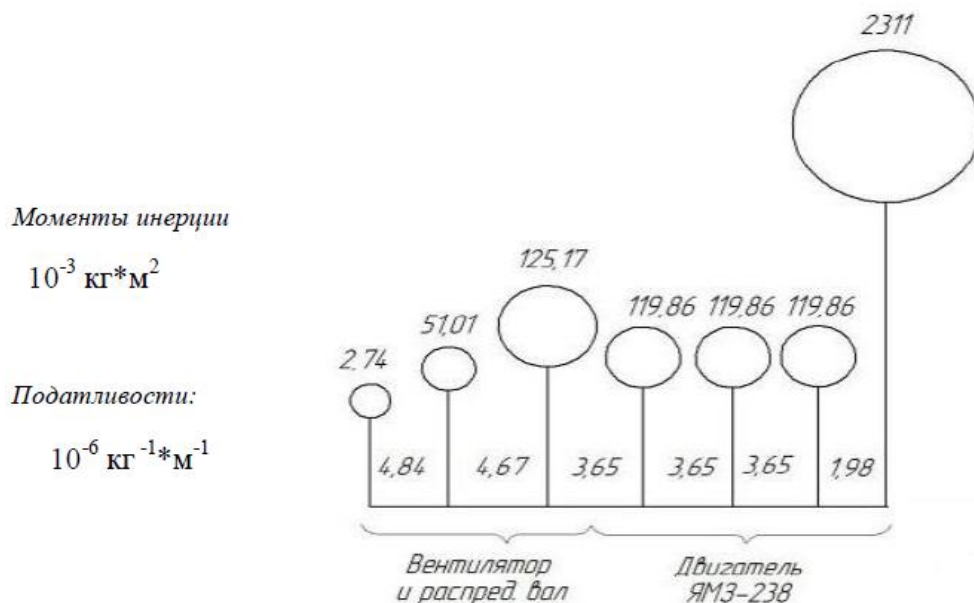


Рис. 3. Эквивалентная крутильная схема дизельного двигателя ЯМЗ 238

Fig. 3. Equivalent torsional scheme of a diesel engine ЯМЗ 238

В рамках рассматриваемой задачи для уменьшения числа степеней свободы целесообразно произвести упрощение системы, заменив дискретные моменты инерции элементов распределительного вала и коленчатого вала одним моментом инерции. Учитывая высокие крутильные жесткости данной системы, такое упрощение вполне оправданно, так как низкие частоты являются наиболее важными. В результате мы получим двухмассовую систему, параметры которой учитываются в общей крутильной системе: $J_1 = 0.539 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ $J_2 = 2.311 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ $C_1 = 1.98 \times 10^6 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

Реверс-редуктор. Важная особенность редуктора – наличие эластичной муфты, которая существенно влияет на динамику всей крутильной системы валопровода. При этом крутильная жесткость редуктора практически полностью определяется жесткостью муфты, а моменты инерции – параметрами входного и выходного стыковочных дисков редуктора.

Таким образом, редуктор представляется в виде двухмассовой системы с параметрами:

$J_{p1} = 0.827 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ – момент инерции входной части со стороны двигателя;

$C_p = 0.1561 \times 10^6 \text{ Н} \cdot \text{м}$ – жесткость упругой муфты;

$J_{p2} = 0.0850 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ – момент инерции редуктора со стороны гребного вала.

Согласно данным по крутильным системам от производителя [1] жесткости системы и моменты инерции при прямом и реверсном включении идентичны. Следовательно, не требуется выполнение отдельного расчета крутильных колебаний для обратного хода, так как он будет иметь практически те же параметры.

Валопровод. Для расчета крутильной жесткости гребной вал буксира пр. 1606 принимается как простое тело вращения цилиндрического сечения со следующими параметрами: длина $L = 4 \text{ м}$; диаметр $d = 0.09 \text{ м}$; материал: сталь 35;

модуль сдвига $G = 74000$ Мпа. Крутильная жесткость вала определяется следующим образом:

$$C = 3.19^{-2} \frac{\pi d^4 G}{32L}; C = \frac{3.19^{-2} \times \pi \times 0.09^4 \times (74 \times 10^9)}{32 \times 4} = 1.171 \times 10^4 \text{ Н*м}. \quad (7)$$

Муфта валопровода. В расчете муфта валопровода учитывается как сосредоточенная масса. Для расчета момента инерции использован чертеж муфты. Момент инерции определяется методом разделения муфты на части и расчета моментов инерции каждой из частей. Получаем: $J_{м.пр} = 0.0914 \text{ кг*м}^2$. Так как муфта редуктора крепится непосредственно к его фланцу и имеет сравнительно небольшой момент инерции, то ее момент инерции целесообразно учесть, суммировав с моментом инерции кормовой части редуктора, что выполнено в итоговом расчете частот.

Гребной винт. Гребной винт пр. 1606 - сварной четырехлепестной фиксированного шага. Основные параметры гребного винта представлены в табл. 1. Приведенный момент инерции гребного винта при нормальном (нешвартовом) режиме нагрузки с учетом присоединенной массы воды можно определить по формуле:

$$J_{в.пр} = 0.02MD^2K(K+3)i^2, \quad (8)$$

где $i = (3,19)^{-1}$ – коэффициент редукции $M = 62$ кг – масса винта; $K = 0.75$ – дисковое отношение; $D = 0.9$ м – диаметр винта.

Результат вычислений: $J_{в.пр} = 0.278 \text{ кг*м}^2$.

РАСЧЕТ ЧАСТОТ И ФОРМ СВОБОДНЫХ КОЛЕБАНИЙ

Общая последовательная крутильная схема для расчета частот колебаний представлена на рис. 4. В данной схеме необходимо объединить попарно элементы 2 с 3 и 3 с 4, так как они связаны фланцевыми соединениями и являются фактически едиными вращающимися массами. В таком случае из вышеприведенной схемы исключим жесткости $C_{к-р}$ и $C_{р-м}$, а также объединим моменты инерции, введя новые обозначения: $J_{м-р} = J_{мах} + J_{р1} = 3.138 \text{ кг*м}^2$; $J_{р-м} = J_{р2} + J_{м} = 0.1764 \text{ кг*м}^2$.

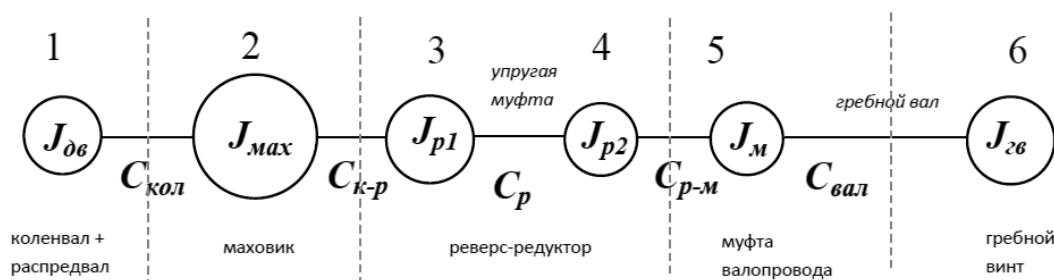


Рис. 4. Эквивалентная крутильная схема движительного комплекса

Fig. 4. Equivalent torsional scheme of the propulsion complex

В результате получим крутильную систему с четырьмя степенями свободы (рис. 5).

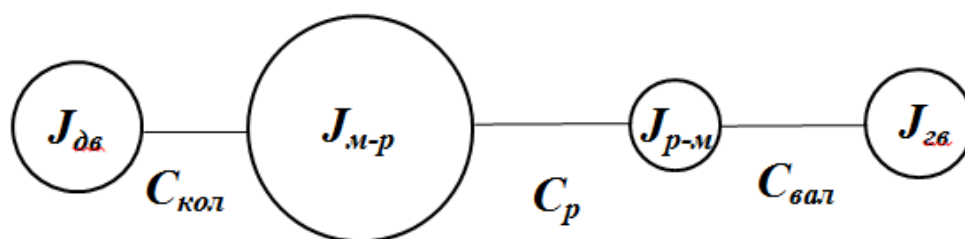


Рис. 5. Приведенная расчетная крутильная схема двигательного комплекса
 Fig. 5. Torsional design model of the propulsion complex

Данная расчетная модель должна иметь три характерных резонансные частоты, называемые частотами главных колебаний. Параметры этой системы, полученные на основе исходных данных, приведены в табл. 2.

Таблица 2. Данные расчетной модели крутильных колебаний
 Table 2. Initial data for calculation of torsional oscillations

Параметр	Значение	Размерность
$J_{дв}$	0.539	кг*м ²
$J_{м-р}$	3.138	
$J_{р-м}$	0.1764	
$J_{гв}$	0.278	
$C_{кол}$	1.98	10 ⁶ Н*м
$C_{р}$	0.1561	
$C_{вал}$	0.0117	

Для нахождения собственных частот формируется система дифференциальных уравнений [4], характеристическое уравнение (уравнение частот) которой после подстановки исходных данных выглядит следующим образом:

$$k^6 - (5.348 \times 10^6)k^4 + (4.501 \times 10^{12})k^2 - 1.801 \times 10^{17} = 0, \quad (9)$$

где $k = 2\pi f$; f – собственная частота системы.

Решая данное уравнение, найдем три действительных корня k :

$$k_1 = 204.94; k_2 = 995.49; k_3 = 2077.0.$$

В итоге получаем значения резонансных частот ($f=k/2\pi$): $f_1= 32.62$ Гц; $f_2= 158.44$ Гц; $f_3= 330.57$ Гц.

Для определения форм свободных колебаний рассчитываются безразмерные коэффициенты амплитуды каждой из четырех масс системы. Вычисление делается на основе исходной системы дифференциальных уравнений. Амплитуду колебаний первого элемента системы ($J_{дв}$) принимаем за единицу, т. е. полагаем, что $\alpha_1^{(1)} = \alpha_1^{(2)} = \alpha_1^{(3)} = \alpha_1^{(4)}$.

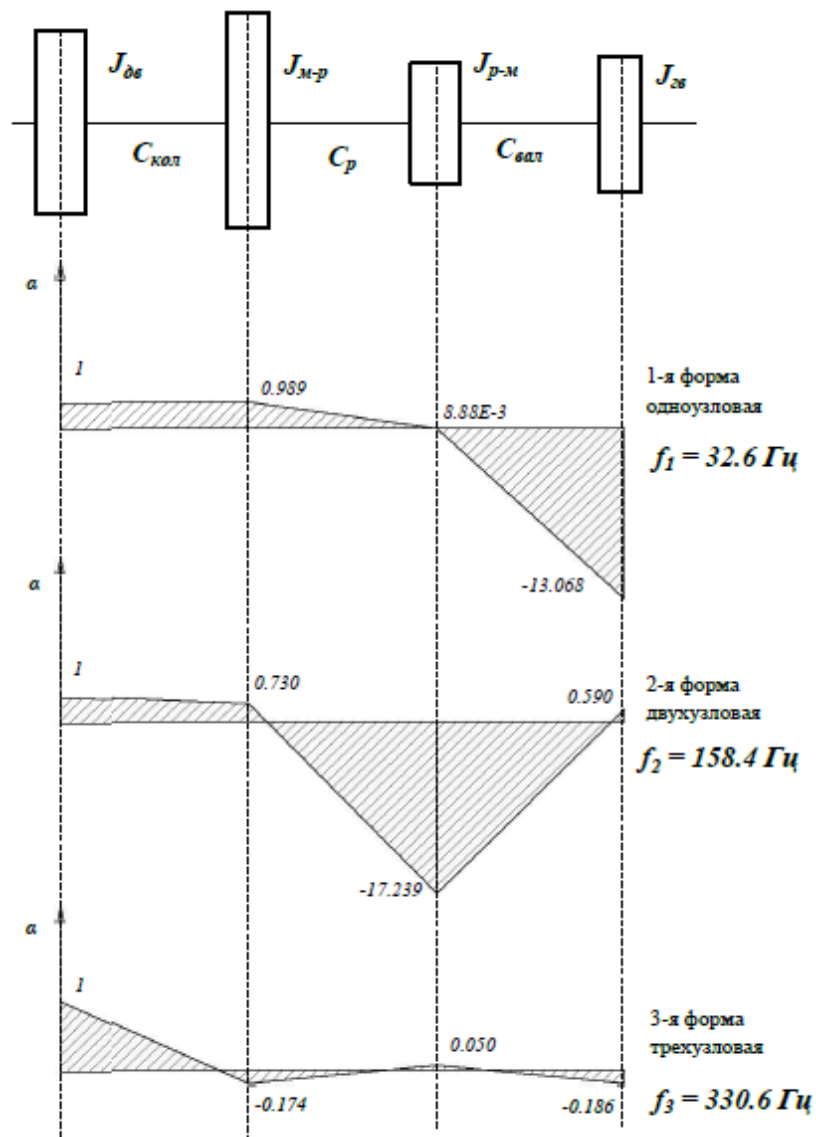


Рис. 5. Формы резонансных крутильных колебаний
 Fig. 5. Forms of resonant torsional oscillations

Заключительная процедура расчета свободных колебаний связана с построением частотной диаграммы Кэмбелла. Она позволяет определить режимы эксплуатации движительного комплекса. Частотная диаграмма строится в прямоугольной системе координат. Горизонтальными линиями на ней отмечают частоты свободных колебаний, а лучами в виде пучка прямых – частоты вынуждающих моментов. Точки пересечения лучей с горизонтальными линиями указывают на резонансы частоты вращения ДК.

Сначала построим диаграмму для возмущающих сил в двигателе. Для восьмицилиндрового V-образного двигателя наиболее критичными являются первый и четвертый (частота всплеск цилиндров) порядок частоты вращения. Лучи, соответствующие этим гармоническим составляющим, отображены на графике (рис. 6).

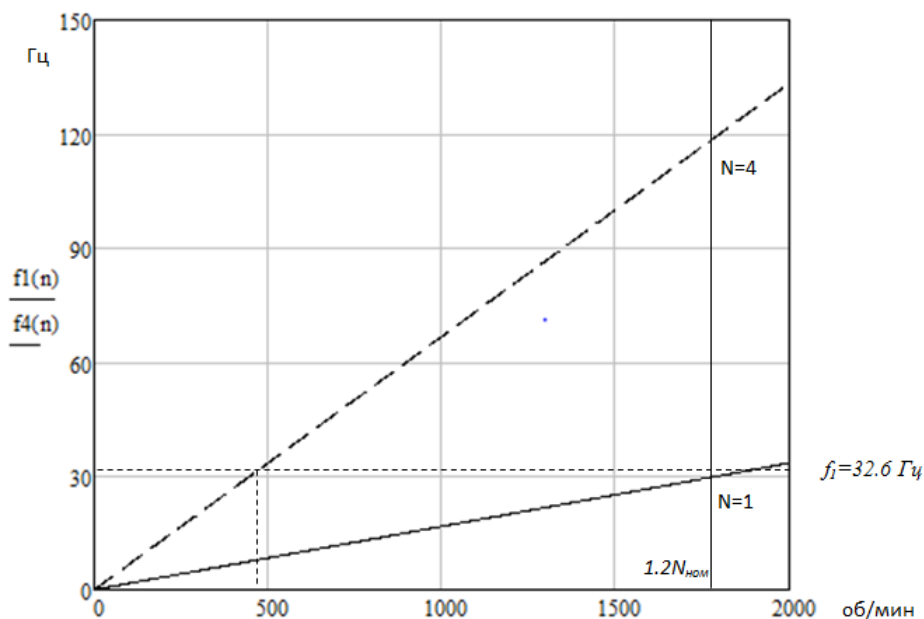


Рис. 6. Диаграмма Кембелла для возмущающих сил в двигателе
 Fig. 6. Campbell diagram for perturbing forces in the engine

Как видно из диаграммы, в диапазоне $0.2 \div 1.2$ от номинальной частоты вращения $N_{ном}=1500$ об/мин для данных гармоник может происходить один резонанс при частоте вращения двигателя 490 об/мин, обусловленный совпадением четвертого порядка частоты вращения двигателя с первой собственной частотой 32.6 Гц. Возмущающая сила четвертого порядка частоты вращения двигателя вызвана неравномерностью суммарного крутящего момента коленчатого вала. Других резонансных колебаний в диапазоне работы двигателя от данных возмущающих сил не возникает.

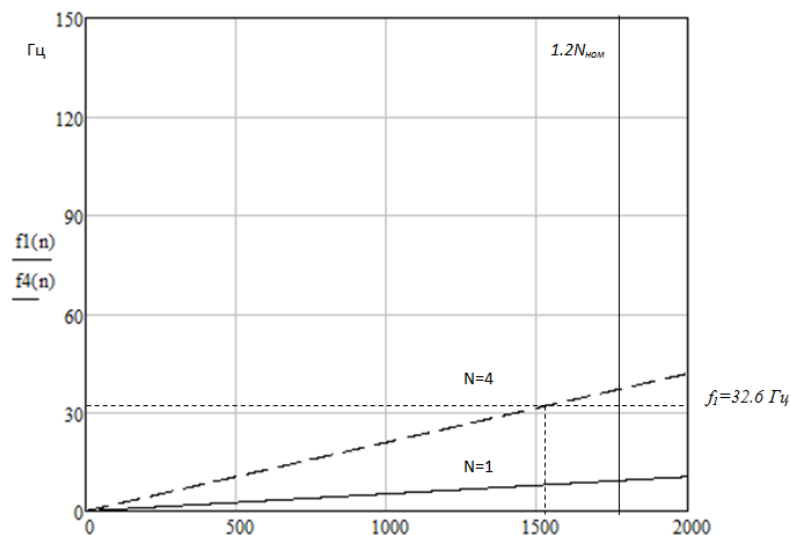


Рис. 7. Диаграмма Кембелла для возмущающих сил на гребном винте
 Fig. 7. Campbell diagram for perturbing forces on a propeller

Из гармонических оставляющих сил на винте значимыми являются вальсовая и лопастная частоты, которые соответствуют первому и четвертому порядку вращения гребного винта (рис. 7).

Как видно из диаграммы, в диапазоне $0.2 \div 1.2$ от номинальной частоты вращения $N_{ном} = 1500$ об/мин двигателя для данных гармоник возбуждения может происходить один резонанс при $N = 1560$ об/мин, обусловленный совпадением четвертого порядка частоты вращения гребного винта с первой резонансной частотой 32.6 Гц. Возмущающая сила четвертого порядка частоты вращения гребного вала, как правило, вызвана неравномерностью упора гребного винта вследствие градиента набегающего потока, а также погрешностей его геометрии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В статье представлен расчет собственных частот крутильных колебаний основных элементов ДК. Для эквивалентной расчетной системы определены значения собственных (резонансных) частот: 32.6; 158.4 и 330.6 Гц. Наиболее значимым является первый резонанс, частота которого (32,6 Гц) близка к основным возмущающим частотам двигателя и гребного винта. Другие резонансы менее энергоемки и по значению частот лежат далеко от основных гармоник возмущающих моментов.

2. Резонанс на частоте 32.6 Гц характеризуется одноузловой формой колебаний, при которой двигатель и гребной вал имеют максимальные амплитуды и противоположные фазы колебаний, а максимальное касательное напряжение возникает в узловом сечении гребного вала в месте его соединения с редуктором.

3. При частоте вращения вала двигателя 490 об/мин частота вспышек в цилиндрах двигателя совпадает с первой собственной частотой системы. За один оборот коленчатого вала происходят четыре последовательные вспышки в системе цилиндров. Данная частота соответствует четвертому порядку частоты вращения коленчатого вала двигателя. Следует отметить, что этот возмущающий момент является, как правило, наиболее интенсивным в системе двигателя.

4. При частоте вращения вала двигателя 1560 об/мин лопастная частота, равная четвертому порядку частоты вращения винта, совпадает с первой собственной частотой системы. Данный возмущающий момент обусловлен гидродинамикой гребного винта. Гребной винт, как элемент крутильной системы, имеет максимальную крутильную податливость согласно графику формы колебаний. Следовательно, этим резонансным режимом нельзя пренебрегать, и он должен быть учтен при натурных измерениях крутильных колебаний.

5. В дальнейшем предполагается провести экспериментальные исследования, по результатам которых будут уточнены собственные частоты и получены напряжения в контрольных сечениях. По этим показателям, используя полученные при расчете формы колебаний, будут рассчитаны напряжения во всех узловых сечениях линии вала и дана оценка их допустимости.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Шиманский, Ю. А. Динамический расчет судовых конструкций / Ю. А. Шиманский. – Ленинград: Судпромгиз, 1948. – 408 с.

2. Irons B. Structural Eigenvalue Problems: Elimination of Unwanted Variables. – JAIAA, 1965, 3, 961p.
3. Зенкевич, О. К. Метод конечных элементов в технике / О. К. Зенкевич. - Москва: Мир, 1975. - 540 с.
4. Сутырин, В. И. Варианты конденсации в практике расчетов динамики конструкций методом конечных элементов / В. И. Сутырин // Известия вузов. Машиностроение. - 1990. - №8. - С.7-13.
5. Сутырин, В. И. Применение способа фронтальной конденсации в расчетах динамики судовых корпусных конструкций / В. И. Сутырин // Судостроение. - 1996. - №7. - С.10-14.
6. Постнов, В. А. Метод конечных элементов в расчетах судовых конструкций / В. А. Постнов, И. Я. Хархурим. - Ленинград : Судостроение, 1974. - 400 с.
7. Голуб, Дж. Матричные вычисления / Дж. Голуб, Ч. Ван Лоун. - Москва: Мир, 1999. - 546 с.
8. Сутырин, В. И. Программа для расчета амплитуд установившихся колебаний корпусной конструкции с применением структуризации квазистатической модели / В.И. Сутырин, Е. И. Короткая // Проблемы кораблестроения и океанотехники: труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2013. - №3 (100). - С.175-181.

REFERENCES

1. Shimansky U. A. *Dinamicheskiy raschet sudovykh konstruktsiy* [Dynamic calculation of ship structures]. Leningrad, Sudpromgiz, 1948, 408 p.
2. Irons B. Structural Eigenvalue Problems: Elimination of Unwanted Variables.-JAIAA, 1965, 3, 961 p.
3. Zenkevich O. K. *Metod konechnykh elementov v tekhnike* [Finite element method in engineering]. Moscow, Mir, 1975, 540 p.
4. Sutyurin V. I. Varianty kondensatsii v praktike raschetov dinamiki konstruktsiy metodom konechnykh elementov [Variants of condensation in the practice of calculating structural dynamics using the finite element method]. *Izvestiya vyzov. Mashinostroenie*, 1990, no. 8, pp. 7-13.
5. Sutyurin V. I. Primenenie sposoba frontal'noy kondensatsii v raschetakh dinamiki sudovykh korpusnykh konstruktsiy [Application of the method of front condensation in calculations of the dynamics of ship hull structures]. *Sydostroenie*, 1996, no. 7, pp.10-14.
6. Postnov V. A. *Metod konechnykh elementov v raschetakh sudovykh konstruktsiy* [Finite element method in calculations of ship structures]. Leningrad, Sydostroenie, 1974, 400 p.
7. Golub Jon, Ch. Van. Loun. *Matrichnye vychisleniya* [Matrix calculations]. Moscow, Mir, 1999, 546 p.
8. Sutyurin V. I., Korotkaya E. I. Programma dlya rascheta amplitud ustanovivshikhsya kolebaniy korpusnoy konstruktsii s primeneniem strukturizatsii kvazistaticheskoy modeli [Programme for calculating steady-state amplitudes of a hull structure using structuring of a quasi-static model]. *Trudy NGTU im. R. E. Alekseeva. Problemy korablestroeniya i okeanotekhniki*, 2013, no. 3 (100), pp. 175-181.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Сутырин Валерий Игоревич – Балтийский федеральный университет им. И. Канта; доктор технических наук, профессор института транспорта и технического сервиса; E-mail: vsutyrin@mail.ru

Sutyurin Valerij Igorevich – Immanuel Kant Baltic Federal University; Doctor of Engineering, professor of the Institute of Transport and Technical Services; E-mail: vsutyrin@mail.ru

Шинкаренко Иван Александрович – АО «Прибалтийский судостроительный завод “Янтарь”»; инженер; E-mail: van-125@mail.ru

Shinkarenko Ivan Aleksandrovich – Baltic shipyard «Yantar»; Engineer; E-mail: van-125@mail.ru

ЕСТЕСТВЕННЫЕ И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК: 536.2; 535.016

ДИНАМИКА ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ В ТОНКОЙ ПОЛИМЕРНОЙ ПЛЕНКЕ
С НАНОЧАСТИЦАМИ СЕРЕБРА ПОСЛЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ
ИМПУЛЬСНОГО ИК-ЛАЗЕРА

Ю. Н. Антипов, Е. И. Константинова, Р. Ю. Боркунов, М. В. Царьков,
И. Г. Самусев, В. В. Брюханов

TEMPERATURE PATTERN DYNAMICS IN A THIN POLYMER FILM
WITH SILVER NANOPARTICLES AFTER THE IMPULSE IR-LASER IMPACT

Yu. N. Antipov, E. I. Konstantinova, R. Yu. Borkunov, M. V. Tzarkov,
I. G. Samusev, V. V. Bryukhanov

Методом последовательного лазерного фотовозбуждения в видимой и инфракрасной областях спектра тонких пленок эозина с наночастицами серебра исследованы температурные процессы затухания термолюминесценции. По кинетическим кривым затухания термолюминесценции пленок установлен экспоненциальный закон свечения люминесценции. Получено решение дифференциального уравнения теплопроводности при импульсном нагреве полимерной пленки, содержащей наночастицы серебра.

лазерное видимое и инфракрасное возбуждение, молекулы красителей, эозин, пленки, поливинилбутираль, замедленная термолюминесценция, наночастицы серебра, теплопроводность

The temperature processes of thermoluminescence decay have been studied using the method of sequential laser photoexcitation in the visible and infrared spectral region of thin eosin films doped with silver nanoparticles. Thin films thermoluminescence kinetic curves have been obtained and the exponential law of luminescence emission has been established. The differential equation of thermal conductivity for pulsed heating of a polymer film containing silver nanoparticles has been solved.

laser visible and infrared excitation, dye molecules, eosin, films, polyvinyl butyral, delayed thermoluminescence, silver nanoparticles, heat diffusivity

ВВЕДЕНИЕ

Двухфотонное лазерное возбуждение молекулярных систем в конденсированной среде в видимой и инфракрасной областях спектра позволяет получать сведения об электронно-колебательных процессах деградации энергии [1]. С развитием импульсных и непрерывных лазерных источников в широком спектральном диапазоне длин волн стали перспективными методы двухквантового возбуждения электронных и колебательных мод с временными сдвигами излучения источников [2, 3]. Современные методы двойной резонансной колебательной спек-

троскопии [4-6] с органическими и биологическими молекулами позволяют исследовать Ван-дер-Ваальсовы комплексы и различные кластеры в возбужденном и основном электронно-колебательном состояниях [7-8]. В конденсированной среде с люминесцирующими молекулярными системами двухквантовое Vis-NIR (видимое и инфракрасное) возбуждение сопровождается диполь-дипольным переносом электронной энергии в донорно-акцепторной паре молекул [9], электрон-фотонными процессами при передаче тепловой энергии [10, 11], переносом колебательной энергии [12], генерацией абляционных наночастиц металлов [13], которые могут участвовать в плазмонной передаче энергии [14]. Описанные выше исследования с двойным лазерным возбуждением направлены на получение сведений о колебательных процессах в простых молекулах или небольших кластерах, в которых происходит тепловой нагрев наноструктур. Поэтому представляет интерес рассмотреть процессы колебательной релаксации в молекулярных системах с люминофорами в полимерных пленках при двойном лазерном (стационарном видимом и инфракрасном импульсном) возбуждении электронно-колебательных состояний с одновременной регистрацией быстрой флуоресценции и замедленной термолюминесценции (ТЛ).

При разработке новых технологий, использующих пленочные композитные материалы, следует проанализировать тепловые процессы при лазерном нагреве пленок. Целью настоящей работы является изучение динамики температурного поля полимерной пленки с металлическими наночастицами серебра при ее нагреве одиночным импульсом инфракрасного лазера (ИК-лазер).

МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

В качестве объекта исследования были выбраны пленки поливинилбутираля (ПВБ). Диаметр диска пленки $d=5$ мм, её толщина $l=2R=80$ мкм. Пленка облучалась одиночным импульсом ИК-лазера ($\lambda=10,6$ мкм) длительностью $\tau_n=100$ мс. ИК-импульс имел практически прямоугольный фронт при $\tau \approx 1,0$ мкс. Энергия импульса, приходящаяся на облучаемую поверхность пленки, составляла $W=2$ Дж. Полная энергия, падающая на поверхность пленки, с учетом поглощения на оптических элементах установки прошедшей через пленку энергии ($\approx 3\%$), составляла 90% энергии излучения ИК-лазера. Исследование тепловых процессов в пленке ПВБ проводилось при постоянном лазерном фотовозбуждении синглетных состояний молекул эозина ($C=4 \cdot 10^{-4}$ М) на длине волны $\lambda=532$ нм с помощью диодного полупроводникового лазера ASG-1032 с энергией $W=50$ мВт. В работе исследована флуоресценция молекул эозина ($C=0,05 \div 0,5$ мМ) в пленках ПВБ.

Полимерные пленки изготавливались методом налива на предметное стекло смеси раствора красителя и ПВБ. Пленки ПВБ допировались наночастицами (НЧ) серебра радиусом $R \approx 36$ нм, полученными методом фемтосекундной лазерной абляции серебряной мишени в этиловый спирт. Концентрация НЧ серебра в пленке составила: $C_{Ag}=0$ М; $C_{Ag}=2,5 \cdot 10^{-9}$ М; $C_{Ag}=3,5 \cdot 10^{-9}$ М; $C_{Ag}=5 \cdot 10^{-9}$ М.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Для проведения экспериментов с двойным лазерным фотовозбуждением полимерных пленок с красителем эозином была собрана установка, представленная на рис. 1.

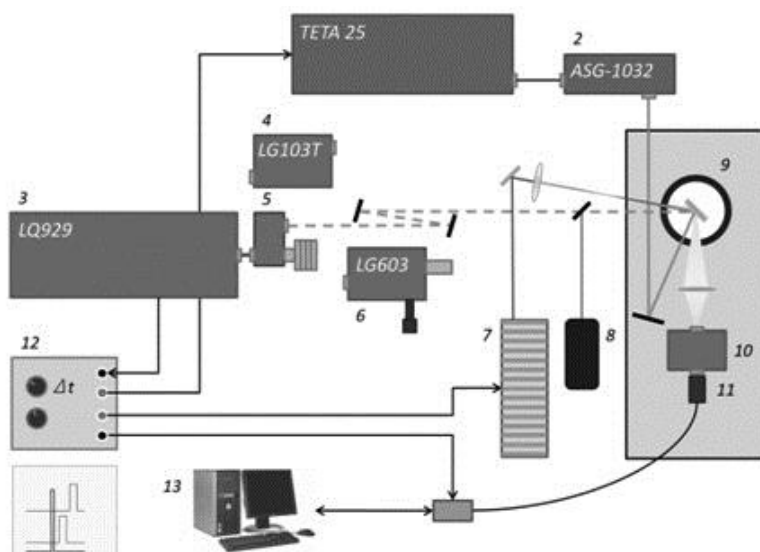


Рис. 1. Экспериментальная установка: 1-2 – фемтосекундный лазерный комплекс Avesta TETA-25 ($\tau=60$ фмс, $W=120$ нДж); 3-6 – импульсный Nd: YAG-лазер LQ929 с блоками преобразования излучения и параметрическим блоком; 7 – ИК-лазер марки С-20А, работающий в стационарном или импульсном режиме ($\tau_{ИК}= 50\div 200$ мс) на $\lambda\approx 10,0$ мкм; 8 – полупроводниковый лазер ASG-1032 ($\lambda=532$ нм, $W=50$ мВт); 9 – криостат Optistat DN-V; 10 – монохроматор ML44; 11 – ФЭУ, совмещенный со счетчиком фотонов (Hamamatsu C8855-01) и фотоприемным устройством на основе ПЗС-линейки (ЛОМО) с временным разрешением $\tau\approx 3,0$ мс; 12 – генератор двухканальный Г-56; 13 – компьютер

Fig. 1. Experimental setup: 1-2 – fs-laser unit Teta-25/30 ($\tau = 60$ fs, $W = 120$ nJ); 3-6 – YAG Nd³⁺ laser unit LQ929 (Solar Laser Systems); 7 – C-20A infrared laser operating in a stationary or pulsed mode ($\tau_{IR} = 50 \div 200$ ms) at $\lambda\approx 10,0$ μ m; 8 – semiconductor laser ASG-1032 ($\lambda = 532$ nm, $W = 50$ mW); 9 – cryostat Optistat DN-V; 10 – monochromator ML44; 11 – PMT/Photon counting unit C8855-01 (Hamamatsu C8855-01) and a photodetector based on a CCD-line (LOMO) with a time resolution of $\approx 3,0$ ms; 12 – 2-channel pulse generator G-56; 13 – computer

На рис. 2 представлена экспериментальная кривая затухания ТЛ пленок ПВБ с эозином ($C=5\cdot 10^{-4}$ М) и НЧ серебра ($C=5\cdot 10^{-9}$ М), зарегистрированная на длине волны $\lambda = 570$ нм при стационарном лазерном возбуждении ($\lambda=532$ нм) после ИК-импульса. Как видно из этого рисунка, длительность ТЛ, обусловленная замедленной флуоресценцией молекул эозина, термически активированной после ИК-воздействия, изменяется по экспоненциальному закону. Математический анализ кривых затухания позволил определить, что время жизни ТЛ эозина равно 4,34 с. Для пленок с красителем, допированных НЧ серебра, было установлено ускорение экспоненциального затухания ТЛ пленок с временем жизни, равным 1,72 с. При этом величина времени затухания ТЛ изменяется почти линейно в зависимости от концентрации НЧ серебра. В данном случае при импульсном ИК-воздействии на полимерную пленку с возбужденными молекулами красителя

НЧ серебра выполняют роль мгновенных тепловых центров, влияющих на процесс замедленной флуоресценции красителя вследствие изменения температурного поля пленки. При малых концентрациях НЧ, распределенных случайным образом в объеме полимера, можно установить характерные закономерности изменения температурного поля. Проведем моделирование тепловых процессов, происходящих в полимерной пленке при гомогенном распределении НЧ серебра после ИК-импульса.

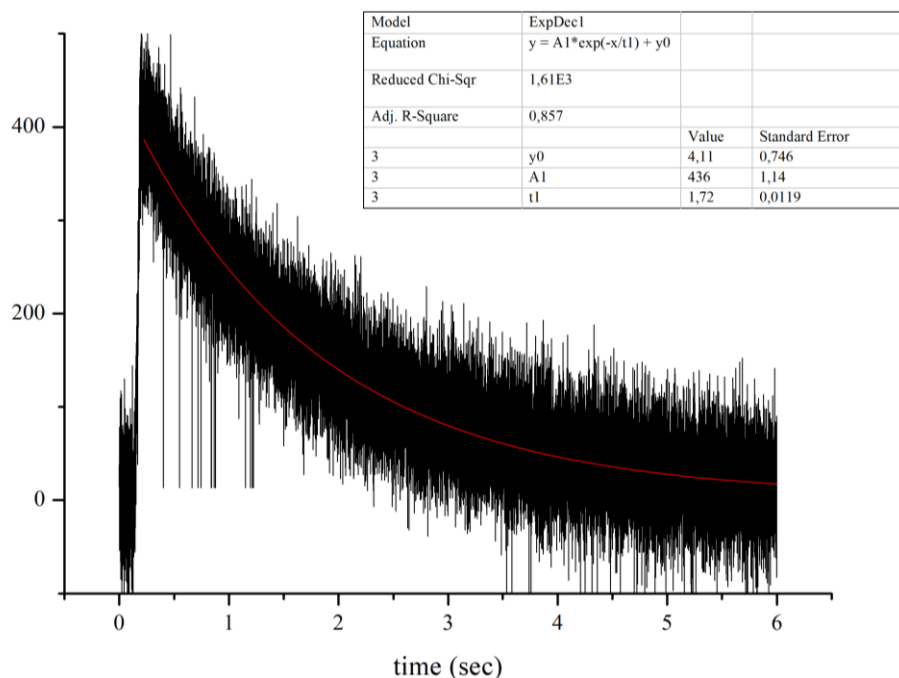


Рис. 2. Кинетическая кривая затухания ТЛ пленки ПВБ с эозином ($C = 5 \cdot 10^{-4}$ М) и НЧ серебра ($C=5 \cdot 10^{-9}$ М) после ИК-импульса
 Fig. 2. TL kinetic decay curve of a PVB film with eosin ($C = 5 \cdot 10^{-4}$ M) and NPs Ag ($C=5 \cdot 10^{-9}$ M) after IR laser pulse

Рассмотрим теплофизические процессы в полимерной пленке.

Так как отношение диаметра облучаемой поверхности пленки к ее толщине равно $d/l = 62,5$, то вместо температурного поля пленки в виде ограниченного цилиндра можно рассмотреть температурное поле неограниченной пластины толщиной l , т. е. решать одномерную задачу теплопроводности с граничным условием третьего рода.

Анализ профилей температуры по толщине пленки показывает, что в связи с малой толщиной пленки через время $\tau = 0,2 \div 0,5$ с профили температуры для случая воздействия мгновенного теплового источника на облучаемую поверхность (плоскость $x = -R$) и в центре пластины (плоскость $x = 0$) совпадают. Поэтому описание температурного поля пластины с мгновенным источником на плоскости $x = -R$ можно свести к симметричной задаче с мгновенным источником на плоскости $x = 0$ (рис. 3).

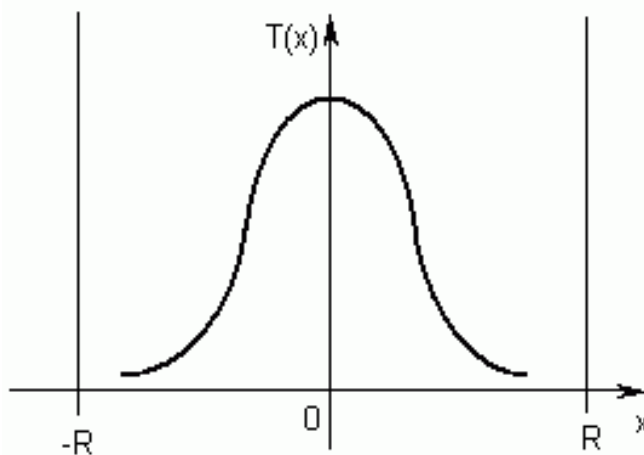


Рис. 3. Схематичное изображение распределения температуры в неограниченной пластине в случае симметричного мгновенного источника тепла
 Fig. 3. Schematic image of the temperature distribution in an unbounded plate in the case of a symmetric instantaneous heat source

Рассмотрим неограниченную пластину при температуре $T_0 = 0$ (отсчет температуры производим от температуры тела). В начальный момент времени ($\tau=0$) действует мгновенный источник тепла вдоль плоскости $x = 0$ с поверхностной плотностью Q (Дж/м²). Между противоположными поверхностями пластины ($+R$ и $-R$) и окружающей средой происходит теплообмен по закону Ньютона (граничное условие третьего рода). Требуется найти распределение температуры по толщине пластины в любой момент времени.

Уравнение теплопроводности с начальными и граничными условиями для данной задачи имеет следующий вид:

$$\frac{\partial T(R, \tau)}{\partial \tau} = a^2 \frac{\partial^2 T(R, \tau)}{\partial x^2}, \quad (1)$$

$$T(x, 0) = 0, \quad (2)$$

$$\frac{\partial T(0, \tau)}{\partial x} = 0, \quad (3)$$

$$\frac{\partial T(R, \tau)}{\partial x} + H \cdot T(R, \tau) = 0, \quad (4)$$

где $H = \alpha/\lambda$; α – коэффициент теплообмена пластины с окружающей средой; λ – коэффициент теплопроводности. Для упрощения расчетов температуру окружающей среды принимаем равной температуре тела ($T_c = T_0 = 0$).

Для решения используем метод преобразований Лапласа [15], тогда решение оригинала получим в виде

$$T(x, \tau) = \frac{b}{R} \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\mu_n}{\mu_n + \sin \mu_n \cdot \cos \mu_n} \cdot \cos \mu_n \cdot \frac{x}{R} \cdot \exp\left(-\mu_n^2 \cdot \frac{a \cdot \tau}{R^2}\right) \quad (5)$$

$$\text{где } b = \frac{Q}{c\rho R} = \frac{0,9W}{c\rho RS}; \quad (6)$$

c – коэффициент теплоемкости полимера; ρ – плотность полимера; S – площадь облучаемой поверхности; μ_n – корни характеристического уравнения

$$\text{ctg } \mu_n = \frac{1}{Bi} \mu_n; \quad (7)$$

Bi – критерий подобия Био, равный

$$Bi = \frac{\alpha}{\lambda} l = H \cdot l. \quad (8)$$

Критерий подобия Био представляет собой некоторую обобщенную переменную, которая для конкретного объекта исследования является характеристикой его теплообмена с окружающей средой. Следовательно, корни характеристического уравнения (7) определяют теплообмен исследуемого объекта с окружающей средой.

В [15] приведены значения первых шести корней μ_n для характеристического уравнения (7) при разных значениях критерия Био (от 0 до ∞). Однако в большинстве случаев достаточно использовать один корень, редко – два. В нашей задаче можно ограничиться корнем μ_1 .

Для применения выражения (5) к описанию конкретного процесса необходимо определить для него критерий Био и, используя табл. 6.1 из [15], найти соответствующий ему корень μ_1 . Значение коэффициента теплопроводности и толщина пластины известны, если объект исследования конкретизирован. Зная значение коэффициента теплообмена, по формуле (8) можно определить критерий Био.

Корень μ_1 также можно найти и из эксперимента, описывающего процесс остывания исследуемого объекта, и затем по табл. 6.1 из [15] подобрать критерий Био. Для определения корня μ_1 запишем выражение (5) для двух температур, соответствующих двум значениям времени τ_1 и τ_2 .

Так, для точки $x = 0$ имеем

$$T_1(0, \tau_1) = \frac{b}{R} \cdot \frac{\mu_1}{\mu_1 + \sin \mu_1 \cdot \cos \mu_1} \cdot \exp(-\mu_1^2 \cdot \frac{a \cdot \tau_1}{R^2}); \quad (9)$$

$$T_2(0, \tau_2) = \frac{b}{R} \cdot \frac{\mu_2}{\mu_2 + \sin \mu_2 \cdot \cos \mu_2} \cdot \exp(-\mu_2^2 \cdot \frac{a \cdot \tau_2}{R^2}). \quad (10)$$

Поделим выражение (9) на (10):

$$\frac{T_1(0, \tau_1)}{T_2(0, \tau_2)} = \exp\left[\mu_1^2 \cdot \frac{a \cdot (\tau_2 - \tau_1)}{R^2}\right],$$

тогда

$$\mu_1^2 = \frac{R^2}{a(\tau_2 - \tau_1)} \text{Ln} \frac{T_1(0, \tau_1)}{T_2(0, \tau_2)}. \quad (11)$$

По формуле (11) вычисляем μ_1 . Затем по табл. 6.1 из [15] можно определить критерий Био, имеющий значение, близкое к величине корня.

Для апробации изложенных выводов по кривой рис. 2, используя формулу (11), при $\tau_1 = 3$ с и $\tau_2 = 6$ с была определена величина корня μ_1 .

Полученная величина равна $\mu_1^{экс} = 0,0812$. Близким к этому значению является величина корня, равная $\mu_1^{lum} = 0,0632$, соответствующая критерию Био $Bi = 0,004$.

Используя табличное (табл. 6.1 из [15]) значение корня $\mu_1 = 0,0632$ и ограничившись первым членом ряда в формуле (5), при $x=0$ была рассчитана температура T полимерной пленки при различных концентрациях НЧ серебра и, соответственно, различных значениях коэффициента температуропроводности a , полученных нами ранее экспериментальным путем. Результаты расчетов приведены в таблице.

Таблица. Коэффициенты температуропроводности a и соответствующие им значения температуры T для пленки ПВБ с красителем эозином ($C = 5 \cdot 10^{-4}$ М) и НЧ серебра

Table. Heat diffusivity coefficient and temperature for PVB film with dye eosin ($C = 5 \cdot 10^{-4}$ M) and silver NPs

№ п/п	C_{Ag} (М/л)	a ($m^2 \cdot c^{-1}$)	Т (град)		
			$\tau=1$ с	$\tau=3$ с	$\tau=6$ с
1	$2,5 \cdot 10^{-9}$	$0,121 \cdot 10^{-6}$	243,7	133,2	53,6
2	$3,5 \cdot 10^{-9}$	$0,156 \cdot 10^{-6}$	224,0	105,3	31,8
3	$5,0 \cdot 10^{-9}$	$0,166 \cdot 10^{-6}$	217,4	94,7	27,5

Согласно литературным данным, коэффициент температуропроводности поливинилбутирала равен $\alpha_{пвб}^{lum} = 0,17 \cdot 10^{-6} m^2 c^{-1}$ [16], и его значения практически совпадают с рассчитанными нами из эксперимента.

Таким образом, двухквантовое лазерное возбуждение электронно-колебательных состояний молекул красителей в полимерных пленках (стационарное и импульсное) с использованием ИК-возбуждения позволяет получить количественные характеристики переноса тепловой энергии, связанные с теплопроводностью и температуропроводностью в полимерной пленке.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования показывают, что при импульсном нагреве полимерной пленки, содержащей наночастицы серебра, изменяется структура её теплового поля. Каждая частица выполняет роль отдельного теплового центра, температура в котором значительно выше таковой на соседних участках пленки. Это связано с тем, что теплоемкость серебра (235 Дж/кг·град) в несколько раз меньше теплоемкости материала пленки (~1000 Дж/кг·град). При малой концентрации наночастиц серебра их вклад как тепловых центров в распределение температурного поля несущественен. Поэтому тепловые центры можно считать изолированными друг от друга. С ростом концентрации наночастиц уменьшается вероятность взаимного влияния тепловых фронтов, исходящих от этих тепловых центров, а при их коррелированном распределении тепловые центры могут обра-

зовывать тепловые кластеры, влияющие на структуру и динамику температурного поля пленки в целом.

Дальнейшие исследования будут направлены на изучение электронно-колебательных процессов в пленке в зависимости от длины волны возбуждения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Летохов, В. С. Проблемы лазерной спектроскопии / В. С. Летохов // Успехи физических наук. – 1976. – Т. 118. – № 2. – С. 149 – 299.
2. Brumbaugh, D. V. Vibrational predissociation and intramolecular vibrational relaxation in electronically excited s-tetrazine-argon van der Waals complex / D. V. Brumbaugh, J.E. Kenny, D.H. Levy // J. Chem. Phys. – 1983. – V. 78. – P. 3415 – 3434.
3. Miyazaki, Y. Study on vibrational relaxation dynamics of phenol–water complex by picosecond time-resolved IR-UV pump–probe spectroscopy in a supersonic molecular beam. / Y. Miyazaki, Y. Inokuchi, T. Ebata, M. Petkovic // Chem. Phys. – 2013. – V. 419. – P. 205–211.
4. Yang, F. Emission enhancement of femtosecond laser-induced breakdown spectroscopy by combining nanoparticle and dual-pulse in crystal SiO₂ / F. Yang, Jiang L., Wang S., Zh. Cao, L. Liu, M. Wang, Y. Lu // Optics and Laser Technology. – 2017. – V. 93. – P. 194–200.
5. Ciofini, D. Multi-pulse laser irradiation of cadmium yellow films: The influence of binding medium and particle aggregates / D. Ciofini, I. Cassiari, S. Siano // Measurement. – 2017. – V. 122. – P. 200 – 206.
6. Takeshita, T. Improvement of Photoionization Efficiency of Diarylethene-Cyclodextrin Complexes by Using Multi-Laser Pulse Excitation / T. Takeshita, H. Kurata, M. Hara // Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry. – 2017. – V. 344. – P. 28–35.
7. Флуоресценция молекулярных нанокластеров в поле микроволнового ИК-излучения / В. В. Комаров [и др.] // Вестник Московского университета. – Серия 3. Физика. Астрономия. – 2013. – № 5. – С. 3 – 7.
8. Макаров, Г. Н. Лазерная ИК-фрагментация молекулярных кластеров: роль каналов ввода и релаксации энергии, влияние окружения, динамика фрагментации / Г. Н. Макаров // Успехи физических наук. – 2017. – Т. 187. – № 3. – С. 241 – 276.
9. Odeneye, M. A. Infrared photodissociation of (NO)_n+X cluster ions (n ≤ 5) / M. A. Odeneye, A. J. Stace // J Phys. Chem. Chem. Phys. – 2005. – V. 7. – P. 998 – 1004.
10. Sobolev, S. L. Nonlocal two-temperature model: Application to heat transport in metals irradiated by ultrashort laser pulses / International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2016. – V. 94. – P. 138–144.
11. Guangqing, Du, Wu Y., Uddin N., Yangn, Q., Chen, F., Lu, Y., Bian, H., Hou, X. Ultrafast thermal dynamics of nano-ripples formation via laser double pulses excitation / G. Du, Y. Wu, N. Uddin, Q. Yang, F. Chen, Y. Lu, H. Bian, X. Hou // Optics Communications. – 2016. – V. 375. – P. 54–57.

12. Ebata, T. Picosecond IR-UV Pump-Probe Spectroscopy. IVR of OH Stretching Vibration of Phenol and Phenol Dimer/ T. Ebata, M. Kayano, S. Sato, N. Mikami // *J. Phys. Chem. A.* – 2001. – V. 105. – P. 8623–8627.

13. Khalil, A. A. I. Development of double-pulse lasers ablation system for generating gold ion source under applying an electric field / *Optics and Laser Technology.* – 2015. – V. 75. – P. 105.

14. Климов, В. В. Наноплазмоника / В. В. Климов. – Москва: Физматлит, 2009. – 480 с.

15. Лыков, А.В. Теория теплопроводности / А. В. Лыков. – Москва: Высшая школа, 1967. – 600 с.

16. Новиченок, Н. Л. Теплофизические свойства полимеров / Н. Л. Новиченок, З. П. Шульман. – Минск: Наука и техника, 1971. – 120 с.

REFERENCES

1. Letokhov V. S. Problemy lazernoy spektroskopii [Challenges of laser spectroscopy]. *Uspekhi fizicheskikh nauk*, 1976, vol. 118, no. 2, pp. 149 – 299.

2. Brumbaugh D. V., Kenny J. E., Levy D. H. Vibrational predissociation and intramolecular vibrational relaxation in electronically excited s-tetrazine-argon van der Waals complex. *J. Chem. Phys.*, 1983, vol. 78, pp. 3415 – 3434.

3. Miyazaki Y., Inokuchi Y., Ebata T., Petkovic M. Study on vibrational relaxation dynamics of phenol–water complex by picosecond time-resolved IR-UV pump–probe spectroscopy in a supersonic molecular beam. *Chem. Phys.*, 2013, vol. 419, pp. 205 – 211.

4. Yang F., Jiang L., Wang S., Cao Zh., Liu L., Wang M., Lu Y. Emission enhancement of femtosecond laser-induced breakdown spectroscopy by combining nanoparticle and dual-pulse in crystal SiO₂. *Optics and Laser Technology*, 2017, vol. 93, pp. 194 – 200.

5. Ciofini D., Cassiari I., Siano S. Multi-pulse laser irradiation of cadmium yellow films: the influence of binding medium and particle aggregates. *Measurement*, 2017, vol., 122, pp. 200 – 206.

6. Takeshita T., Kurata H., Hara M. Improvement of photoionization efficiency of diarylethene-cyclodextrin complexes by using multi-laser pulse excitation. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 2017, vol. 344, pp. 28 – 35.

7. Komarov V. V., Popova A. M., Stureyko I. O., Shmidt L., Yungklas Kh. Fluorescenciya molekulyarnykh nanoklasterov v pole mikrovolnovogo IK-izlucheniya [Fluorescence of molecular nanoclusters in the field of microwave infrared radiation]. *Vestnik Moskovskogo Universiteta. Seriya 3. Fizika. Astronomiya*, 2013, no. 5, pp. 3 – 7.

8. Makarov G. N. Lazernaya IK-fragmentatsiya molekulyarnykh klastrov: rol' kanalov vvoda i relaksatsii energii, vlyainiei okruzheniya, dinamika fragmentatsii [Laser IR fragmentation of molecular clusters: the role of energy input and relaxation channels, the effect of environment, the dynamics of fragmentation]. *Uspekhi fizicheskikh nauk*, 2017, vol. 187, no. 3, pp. 241 – 276.

9. Odeneye M. A., Stace A. J. Infrared photodissociation of $(\text{NO})_n\text{X}$ cluster ions ($n \leq 5$). *J. Phys. Chem. Chem. Phys.*, 2005, vol. 7, pp. 998 – 1004.

10. Sobolev S. L. Nonlocal two-temperature model: application to heat transport in metals irradiated by ultrashort laser pulses. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2016, vol. 94, pp. 138 – 144.

11. Du G., Wu Y., Uddin N., Yang Q., Chen F., Lu Y., Bian H., Hou X. Ultra-fast thermal dynamics of nano-ripples for mation via laser double pulses excitation. *Optics Communications*, 2016, vol. 375, pp. 54 – 57.

12. Ebata T., Kayano M., Sato S., Mikami N. Picosecond IR-UV pump-probe spectroscopy. IVR of OH stretching vibration of phenol and phenol dimer. *J. Phys. Chem. A*, 2001, vol. 105, pp. 8623 – 8627.

13. Khalil A. A. I. Development of double-pulse lasers ablation system for generating gold ion source under applying an electric field. *Optics and Laser Technology*, 2015, vol. 75, pp. 105.

14. Klimov V. V. *Nanoplazmonika* [Nanoplasmonics]. Fizmatlit, Moscow, 2009, 480 p.

15. Lykov A. V. *Teoriya teploprovodnosti* [Theory of thermal conductivity]. Vysshaya shkola, Moscow, 1967, 600 p.

16. Novichenok N. L., Shul'man Z. P. *Teplofizicheskie svoystva polimerov* [Thermophysical properties of polymers]. Nauka i tekhnika, Minsk, 1971, 120 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Антипов Юрий Николаевич – Калининградский государственный технический университет; доктор физико-математических наук, профессор кафедры высшей математики; E-mail: yunikan@inbox.ru

Antipov Yuriy Nikolaevich – Kaliningrad State Technical University; Doctor of Physics and Mathematics Sciences; Professor; Department of High Mathematics; E-mail: yunikan@inbox.ru

Константинова Елизавета Ивановна – Калининградский государственный технический университет; аспирант 4-го года кафедры физики; E-mail: konstantinovaeliz@gmail.com

Konstantinova Elizaveta Ivanovna – Kaliningrad State Technical University; Department of Physics, postgraduate student; E-mail: konstantinovaeliz@gmail.com

Боркунов Родион Юрьевич – Балтийский федеральный университет им. И. Канта; аспирант 3-го года физико-технического факультета; E-mail: rborkunov@mail.ru

Borkunov Rodion Yurievich – Immanuel Kant Baltic Federal State University;
postgraduate student; Faculty of Physics and Technology;
E-mail: rborkunov@mail.ru

Царьков Максим Владимирович – Балтийский федеральный университет
им. И. Канта; НОЦ фундаментальной и прикладной фотоники, нанофотоники;
исследователь; E-mail: max.offreal@gmail.com

Tsarkov Maksim Vladimirovich – Immanuel Kant Baltic Federal State University;
Research and Development centre “Fundamental and applied photonics.
Nanophotonics”; researcher; E-mail: max.offreal@gmail.com

Самусев Илья Геннадьевич – Балтийский федеральный университет
им. И. Канта; кандидат физико-математических наук;
директор НОЦ фундаментальной и прикладной фотоники, нанофотоники;
E-mail: ISamusev@kantiana.ru

Samusev Iliy Gennad`evich – Immanuel Kant Baltic Federal State University, PhD
in Physics and Mathematics Sciences; Head of the Research and Development centre
“Fundamental and applied photonics. Nanophotonics”;
E-mail: ISamusev@kantiana.ru

Брюханов Валерий Вениаминович – Балтийский федеральный университет
им. И. Канта; доктор физико-математических наук, профессор;
E-mail: bryukhanov_v.v@mail.ru

Bryukhanov Valeriy Veniaminovich – Immanuel Kant Baltic Federal State University;
Doctor of Physics and Mathematics Sciences, Professor;
E-mail: bryukhanov_v.v@mail.ru

ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ АПК

УДК 639.2/.3(06)

ОСОБЕННОСТИ АКТУАЛИЗАЦИИ И АУДИТ РЕЗУЛЬТАТОВ
ПРОГРАММНОГО РАЗВИТИЯ РЫБОХОЗЯЙСТВЕННОГО КОМПЛЕКСА

Л. И. Сергеев

FEATURES OF UPDATING AND AUDIT OF FISHERIES INDUSTRY
PROGRAMME DEVELOPMENT RESULTS

L. I. Sergeev

Обобщаются методические подходы к разработке и корректировке государственных программ развития рыбохозяйственного комплекса (РХК). Отмечаются проблемы, связанные с корректировкой госпрограмм в процессе их выполнения. Акцентируется внимание на процессах целеполагания, согласования индикаторов и затрат на их достижение. Анализируются методические подходы к проведению мониторинга реализации программ, оценки промежуточных результатов их выполнения, даются предложения по усилению связи бюджетных затрат и результатов (индикаторов). Предлагается учитывать агрегирование программных параметров по горизонтам планирования.

госпрограмма, целевые индикаторы, оценка результатов, бюджетные ресурсы, подпрограмма, методика оценки

The paper summarizes methodological approaches to development and updating of state programmes of fisheries industry development. The problems connected with updating of state programs in the course of their execution are emphasized. A particular focus is placed on goal-setting, coordination of indicators and costs of their achievement. Methodological approaches are analyzed to carrying out monitoring of programmes implementation, assessment of intermediate results of their execution; offers on strengthening of connection between budgetary expenses and results (indicators) are given. It is offered to consider aggregation of programme parameters according to the planning horizons.

state programme, target indicators, assessment of results, budgetary resources, subprogramme, assessment technique

ВВЕДЕНИЕ

Программно-целевое управление получило широкое распространение в хозяйственной практике планирования и регулирования деятельности отраслей, предприятий и корпоративных холдингов. Действующая система программного развития с использованием средств федерального, регионального и местных бюджетов имеет особенности, которые следует рассматривать как с положительных, так и некоторых отрицательных сторон всех процессов управления. Актуальность решения возникающих проблем требует соответствующего обобщения и выработки предложений по совершенствованию разработки и реализации государственных программ.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

К положительным моментам организации и осуществления программного управления в стране следует отнести постепенное преодоление со стороны бюджетной сферы (сети бюджетных учреждений) убежденности в непереносимости соответствующего безапелляционного финансирования своей сети. Ранее часто встречающаяся практика «безусловного» бюджетного финансирования социальной сферы ушла в прошлое. Программный бюджет требует как присутствия конкуренции на рынке услуг для государственных и муниципальных нужд, так и выделения бюджетных средств для достижения конкретных целевых показателей.

Также необходимо подчеркнуть, что многочисленные виды и формы поддержки за счет различных бюджетов (федерального, региональных, муниципальных) отраслей народного хозяйства стали приобретать конкретную осязаемую форму получения желаемых результатов в виде достижения целевых индикаторов реализации программ при выделении бюджетного финансирования. Поддержка АПК, бюджетное финансирование ЖКХ, поддержка муниципального пассажирского транспорта и другие формы расходов для решения задач отдельных отраслей народного хозяйства также получили ориентацию на целевые показатели, которые должны быть достигнуты в случае использования бюджетных ресурсов.

У целевой ориентации хозяйственной деятельности на конечные результаты и связи с ними выделяемых бюджетных ресурсов имеется также вторая сторона вопроса эффективности использования ресурсов, заключающаяся в проблемах качества и обоснованности проработки всех положений программного развития. От того, насколько грамотно и обоснованно определены цели, рассчитаны целевые показатели и установлены мероприятия программного развития, зависит реальность возможного выполнения поставленных задач при условии выделения соответствующих бюджетных ресурсов. Как показывает практика выполнения федеральных государственных программ, не все они выполняются в соответствии с требуемой эффективностью. Некоторые государственные программы «секвестрируются», приостанавливаются или прекращаются ранее намеченных сроков исполнения. Причинами этого могут быть разные обстоятельства, часть из которых являются проблемами недостаточности выделяемых бюджетных ресурсов.

Учитывая важность и актуальность развития РХК для обеспечения продовольственной безопасности страны, федеральный и региональные бюджеты выделяют определенные ресурсы для решения первоочередных проблем функционирования рыбной отрасли. Данная поддержка осуществляется в форме финансирования государственных целевых программ, которые предусматривают выполнение конкретных мероприятий для достижения целевых установок при реализации задач развития рыбной промышленности [1, 2].

В стране разработана и используется соответствующая методическая база для формирования, мониторинга и подведения итогов выполнения государственных программ [3, 4]. Она должна постоянно совершенствоваться и наполняться новым содержанием, так как результативность программного развития иногда связывается только с возможностью получения дополнительных финансовых ресурсов из бюджетной системы для развития бизнеса. Повышение качества государственного финансового менеджмента, встраивание целевых программ в «программный бюджет» (федеральный, региональные) требует акцентирования внимания на методической базе разработки и оценке эффективности исполнения государственных программ с использованием бюджетных ресурсов.

Проведенный нами анализ решения проблем развития рыбного хозяйства в 60 субъектах РФ показал многочисленное разнообразие подходов к использованию форм поддержки отрасли в региональных программных документах. В ряде областей разработаны и реализуются специальные программы развития регионального РХК (Калининградская, Астраханская области, Камчатский край, Сахалинская область, Приморский край и др.), в ряде субъектов развитие отрасли в форме подпрограмм или отдельных задач включается в программы развития АПК, потребительского рынка (Ярославская область, Республика Карелия, Тамбовская область и др.). Ряд программных документов развития рыбного хозяйства включен в программные документы, связанные с охраной окружающей среды, развитием охотничьего хозяйства, регулирования рынков сельскохозяйственной продукции и сырья [2].

Многообразие программных форм поддержки регионального РХК учитывает специфику и особенности различных территорий, индивидуальные цели и задачи, комплекс соответствующих мероприятий по воспроизводству рыбных запасов, увеличению вылова ВБР, развитию портовых и рыбоперерабатывающих мощностей, повышению инвестиционной привлекательности отрасли и по решению других проблем. От того, насколько грамотно и обоснованно определены цели и целевые индикаторы (параметры) развития, определены соответствующие мероприятия, можно судить о качестве разработанной программы и возможной результативности развития РХК.

Как правило, целевые программы разрабатываются не на краткосрочный, а на среднесрочный и долгосрочный горизонты планирования. Ежегодно подводятся промежуточные итоги выполнения программ, анализируются результаты достижения заданных параметров реализации в контрольных точках. Логическая укрупненная схема технологической последовательности промежуточной экономической оценки эффективности реализации целевой программы развития РХК на этапе ее текущего исполнения в контрольных точках представлена на рис. 1.

Оперативное управление процессами реализации плана – графика выполнения программы РХК является необходимым элементом реализации исполнения программного развития. Данную функцию выполняет головной исполнитель целевой программы, который обеспечивает соответствующее регулирование всеми технологическими процессами исполнения намеченных мероприятий.

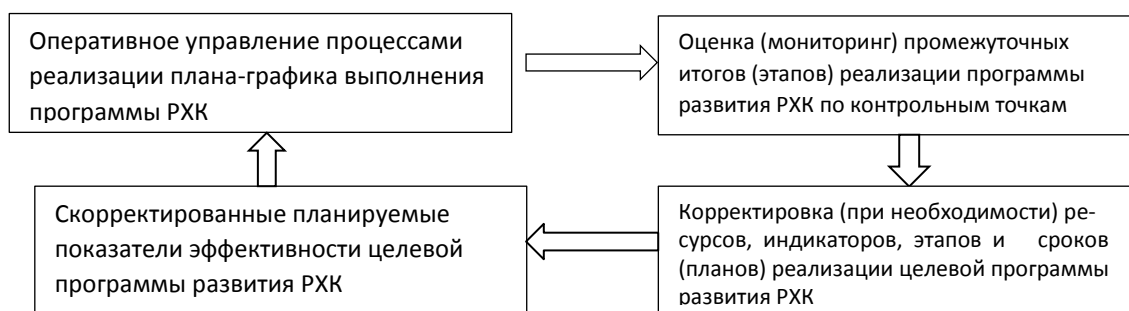


Рис. 1. Логическая укрупненная схема технологической последовательности промежуточной экономической оценки эффективности реализации целевой программы развития РХК на этапе ее текущего исполнения в контрольных точках

Fig. 1. Logical enlarged diagram of the technological sequence of intermediate economic assessment of implementation of the target programme of the fisheries industry development at the stage of its current execution at checkpoints

На федеральном уровне для обеспечения реализации мероприятий, рекомендуемых Государственной программой Российской Федерации «Развитие рыбохозяйственного комплекса», предусмотрены ответственные структуры, отвечающие за реализацию отдельных подпрограмм [программы](#). Утвержден также перечень подразделений Росрыболовства, ответственных за мониторинг целевых индикаторов реализации мероприятий Государственной программы (общих целевых индикаторов реализации и целевых индикаторов реализации по отдельным подпрограммам) [5]. В данной работе задействованы практически все структурные подразделения Росрыболовства. Следует отметить четкое закрепление всех целевых параметров (индикаторов) за конкретными подразделениями (управление организации рыболовства, управление аквакультуры, управление экономики и инвестиций, управление науки и образования и др.), которые обеспечивают анализ хода работ по достижению намеченных и утвержденных программных ориентиров. Адекватность действующей организационной структуры управления Росрыболовства структурной системе построения Государственной программы развития РХК исключает размытость всех процессов управления реализацией программы и способствует созданию качественной основы ее выполнения. Индивидуальная ответственность одного структурного подразделения за каждый целевой показатель программы является залогом ее успешной реализации.

Оценка (мониторинг) промежуточных итогов (этапов) реализации программы развития РХК по контрольным точкам является своеобразным сигналом, отражающим состояние дел с ходом выполнения мероприятий и задач программной деятельности [6]. Мониторинг может показать три основных варианта состояния дел: выполнение задач и мероприятий в соответствии с заданными параметрами, выполнение с превышением заданных параметров и невыполнение установленных программой параметров. В двух последних случаях следует творчески подойти к оценке и анализу факторов, которые привели к отклонениям от исполнения заданных программных параметров.

В случае низкого выполнения или значительного невыполнения индикативных параметров программного развития можно рассматривать три основных причины такого состояния функционирования экономической системы.

1. Недостаточная проработка и обоснование соответствующими технико-экономическими расчетами установленных индикативных параметров программы.
2. Недостаточное обеспечение исполнения программы соответствующими ресурсными источниками, предполагаемыми к использованию для ее реализации.
3. Низкое качество организационно-управленческой деятельности в процессе реализации соответствующих программных мероприятий.

Первая причина связана в основном с упущениями методической базы расчета целевых параметров. Как правило, для достижения высоких показателей роста добычи, увеличения производства рыбной продукции, снижения результатов негативного состояния природной среды (сокращение запасов ВБР, загрязнение водных бассейнов и др.) и других положительных изменений устанавливаются параметры целей, которые желательны для достижения (оптимистичный вариант). Они должны быть реальны и обоснованы соответствующими расчетами. Как завышение, так и занижение целевых показателей снижает эффективность реализации программного развития. При этом значительное внимание следует уделять использованию нормативной базы затрат ресурсов, прогнозным оценкам измене-

ния цен на продукцию различных отраслей народного хозяйства, связанных с РХК, проектируемым изменениям системы налогообложения и другим элементам показателей сценарного развития экономики в целом и отрасли в частности [7, 8].

Углубленная связь процесса согласования целевых показателей программы по уровням власти (или вертикальным органам управления) может быть представлена в виде технологической связи, помещенной на рис. 2.

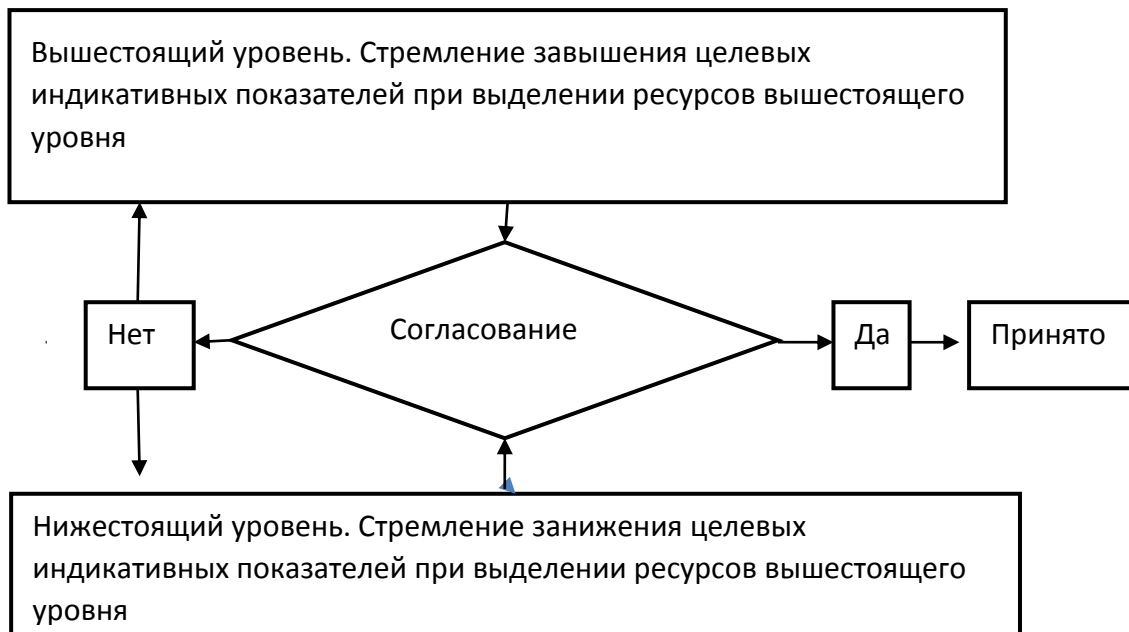


Рис. 2. Процесс согласования целевых показателей по уровням власти, принимающих решение о разработке и утверждении программы
 Fig. 2. The process of agreeing the targets on the levels of authority that decide on development and approval of the programme

При рассмотрении целевых индикативных параметров в процессе согласования и утверждения программ, как правило, изучаются возможности ресурсного обеспечения выполнения соответствующих программных мероприятий. Прежде всего – это средства бюджетов различного уровня: федеральная программа – федеральный бюджет, региональная программа – региональный бюджет. Финансирование многих федеральных программ предусматривает обязательное софинансирование региональными бюджетами программных мероприятий на соответствующих территориях. Стремление региональной власти – получить больше средств из федерального бюджета и взять для себя поменьше обязательств по значениям целевых индикативных параметров программы. Намерения федеральной власти – поменьше выделить средств из федерального бюджета и установить повыше значения индикативных целевых параметров государственной программы. Это естественное стремление всегда вызывается ограничением бюджетных ресурсов для решения всех проблем социально-экономического развития.

Согласование индикативных целевых параметров проводится итерационно, несколько раз до тех пор, пока не будут достигнуты результаты, удовлетворя-

ющие обе стороны значений данных целевых показателей. Данная технологическая схема взаимосвязи присутствует также в системе отношений одного уровня власти, когда, к примеру, на региональном или федеральном уровнях согласовываются целевые параметры и ресурсы (необходимые для их достижения) с финансовым органом. Для достижения необходимых целевых показателей финансовый орган стремится завышать величину данных показателей, а исполняющий и разрабатывающий программу орган – занижать. Все это связано, как правило, с ограниченностью бюджетных ресурсов, которые используются в процессе разработки государственной программы.

На этапе подведения промежуточных итогов исполнения целевой программы часто также возникает необходимость корректировки целевых параметров из-за недостатка или возможности увеличения бюджетных ресурсов для выполнения (и возможной корректировки) задач программного развития. Актуализация программных задач и целевых установок в случае изменения условий текущего исполнения должна также осуществляться в едином технологическом цикле согласования принимаемых изменений. Иногда, по различным причинам (недостатки в проектно-сметной документации выполнения программного мероприятия, недопоступление доходов в бюджет, срывы плана-графика выполнения программы и др.) «урежаются» бюджетные расходы, предусмотренные для выполнения программы. В этом случае необходимо корректировать значения целевых индикативных параметров, вносить изменения в программные мероприятия.

Аналогично следует вносить коррективы в программные действия и целевые индикаторы, когда возникает возможность или необходимость увеличения ресурсного обеспечения программы. Кроме того, может возникнуть целесообразность или необходимость включения в программу решения новых актуальных вопросов, которые возникают в процессе реализации программного развития.

В первоначальный вариант государственной программы «Развитие рыбохозяйственного комплекса» с начала ее реализации (2013 г.) вносилось девять поправок (последняя – 31 марта 2018 г.), которые учитывали необходимость изменений, вызываемых требованиями анализа хода реализации выполнения программы, корректировкой бюджетных ресурсов, переориентацией акцентов программного развития и другими обстоятельствами. Ряд правительственных решений федерального уровня напрямую не изменяли параметры государственной программы, но уточняли план ее реализации, касались отдельных вопросов импортозамещения продуктов питания, усиления контроля за использованием биоресурсов и других вопросов программного развития отрасли.

Например, в 2015 г. план реализации госпрограммы был дополнен контрольными событиями по двум подпрограммам «Развитие осетрового хозяйства» и «Повышение эффективности использования и развитие ресурсного потенциала рыбохозяйственного комплекса». Распоряжением Правительства РФ в план внесены изменения.

В рамках подпрограммы «Развитие осетрового хозяйства» планом дополнительно предусмотрены:

- разработка технологической схемы товарного выращивания осетровых видов рыб в термальной воде;
- выпуск осетровых в водные объекты рыбохозяйственного значения;
- рыбохозяйственная мелиорация водных объектов рыбохозяйственного значения;

- проведение совместных контрольно-надзорных мероприятий в области рыболовства МВД, ФСБ и территориальными управлениями Росрыболовства.

По подпрограмме «Повышение эффективности использования и развитие ресурсного потенциала рыбохозяйственного комплекса» план был дополнен контрольным событием, предусматривающим введение в эксплуатацию рыбоводных заводов и научно-исследовательских судов.

Распоряжением Правительства РФ от 24 декабря 2015 г. №2661-р. [9] в рамках государственной программы «Развитие рыбохозяйственного комплекса» уточнены меры по реализации национального плана действий по предупреждению, сдерживанию и ликвидации незаконного, несообщаемого и нерегулируемого промысла. Национальный план был подготовлен в соответствии с государственной программой «Развитие рыбохозяйственного комплекса» (распоряжение Правительства РФ от 7 марта 2013 г. №315-р) [10].

План предусматривает в том числе усиление контроля за оборотом уловов водных биоресурсов, создание системы отслеживания происхождения уловов водных биоресурсов на всех этапах их перемещения, введение в действие электронного судового журнала и использование электронной подписи капитанами судов рыбопромыслового флота, развитие международного сотрудничества в области противодействия незаконному, несообщаемому и нерегулируемому промыслу, усиление административных и уголовных санкций в отношении нарушителей законодательства о рыболовстве и сохранении водных биоресурсов, оперативно-профилактические меры по выявлению и пресечению фактов незаконной добычи (вылова) водных биоресурсов.

Предусмотренные перечнем меры направлены на:

- снижение к 2020 г. числа нарушений законодательства о рыболовстве и сохранении водных биологических ресурсов, приводящих к возникновению незаконного, несообщаемого и нерегулируемого промысла;

- проведение государственного мониторинга деятельности российских судов рыбопромыслового флота;

- обеспечение выполнения государственных обязательств по международным договорам в области рыболовства и сохранения водных биологических ресурсов в части, касающейся обеспечения контроля деятельности российских судов рыбопромыслового флота;

- автоматизацию процессов выдачи и получения разрешений на добычу (вылов) водных биологических ресурсов, предоставление и получение достоверных отчётных данных организаций рыбохозяйственного комплекса об объёмах добычи (вылова) водных биологических ресурсов и о производстве рыбной и другой продукции из них;

- подтверждение законности происхождения уловов водных биологических ресурсов и продукции из них, вывозимых из России и ввозимых в неё.

С 2015 г. в госпрограмму была добавлена новая, восьмая, подпрограмма «Развитие осетрового хозяйства». Также госпрограмма дополнена следующими мероприятиями:

- проведение научно-исследовательских работ в области формирования инфраструктуры и развития рыбохозяйственного комплекса;

- строительство и реконструкция рыбоводных заводов;

- развитие научно-производственной базы аквакультуры;

- реконструкция объектов федеральной собственности – портовых сооружений рыбных терминалов морских портов;

- комплексная капитальная реконструкция научно-исследовательских судов.

Ресурсное обеспечение госпрограммы было приведено в соответствие с федеральным бюджетом на 2014 г. и на плановый период 2015 и 2016 гг. и бюджетом на 2015 г. и на плановый период 2016 и 2017 гг. На период 2018-2020 гг. – в соответствии с рекомендациями Минфина России по предельным расходам на реализацию государственных программ в 2018-2020 гг.

Общий объём бюджетных ассигнований на реализацию госпрограммы до 2020 г. был увеличен на 9,3 млрд. руб. – с 83,2 до 92,5 млрд. руб. Дополнительные ассигнования федерального бюджета были направлены на реализацию мероприятий подпрограмм: «Развитие аквакультуры», «Наука и инновации», «Модернизация и стимулирование» и «Повышение эффективности использования и развитие ресурсного потенциала рыбохозяйственного комплекса».

В связи с увеличением бюджетных ассигнований федерального бюджета была уточнена динамика показателей и целевых индикаторов. Объём добычи (вылова) водных биологических ресурсов к 2020 г. прогнозируется на уровне 4,5 млн. т (вместо 3,9 млн. т), производство рыбы и продуктов рыбных переработанных и консервированных также увеличится к 2020 году до 4 млн. т (вместо 3,4 млн. т). Доля отечественной пищевой рыбной продукции на внутреннем рынке в 2020 г. составит 80 %, что соответствует доктрине продовольственной безопасности России (утверждена Указом Президента России от 30 января 2010 г. №120). Среднедушевое потребление рыбы и рыбопродуктов населением (по данным выборочного обследования бюджетов домашних хозяйств) составит к 2020 г. 22,7 кг. Объём производства продукции аквакультуры к 2020 г. составит 315,5 тыс. т в год (вместо 150 тыс. т).

Постановлением Правительства РФ [11] от 30 марта 2018 г. №380 Госпрограмма утверждена в новой редакции. Параметры финансирования госпрограммы приведены в соответствии с Федеральным законом «О федеральном бюджете на 2018 г. и на плановый период 2019 и 2020 гг.». Госпрограмма дополнена разделами по опережающему развитию приоритетных территорий Российской Федерации. Особое внимание обращено на развитие рыбного хозяйства в Дальневосточном Федеральном округе. Актуализирован состав основных показателей (индикаторов) госпрограммы.

Изменения общих расходов федерального бюджета на финансирование госпрограммы «Развитие рыбохозяйственного комплекса» представлено в табл. 1.

Таблица 1. Изменения общего объема бюджетных ассигнований федерального бюджета по государственной программе «Развитие рыбохозяйственного комплекса» (тыс. руб.)

Table 1. Changes in the total budget allocations of the federal budget under the state programme "Development of the fisheries industry" (thousand rubles)

Годы	Распоряжение от 07.03.2013 N 315-р	Постановление от 30.12.2017 N 1725	Постановление от 30.03.2018 № 380
2013	10 479 975,10	10 479 975,10	10 479 975,10
2014	10 190 553,30	10 225 228,50	10 225 228,50
2015	10 231 669,60	13 413 725,90	13 413 725,90

Окончание табл. 1

Годы	Распоряжение от 07.03.2013 N 315-р	Постановление от 30.12.2017 N 1725	Постановление от 30.03.2018 № 380
2016	10 702 190,45	11 998 358,80	11 998 358,80
2017	11 162 384,72	11 048 301,50	11 048 301,50
2018	11 620 042,61	10 23 053,4	11 667 103,30
2019	12 061 604,40	9 716 416, 1	11 672 283,60
2020	12 459 637,62	10 987 131,1	11 681 979,40
Всего	88 908 057,80	87 892 190,4	92 186 956,1

Наибольший рост затрат бюджета пришелся на 2015 г., когда расходы на программу увеличились на 31,1 % по отношению к первоначальной редакции госпрограммы. Наибольшее падение расходов бюджета приходится на 2019 г. – 19,5 % по отношению к первоначальной редакции госпрограммы. При этом следует отметить практически равномерное распределение бюджетных расходов по планируемыми годам ее реализации.

Изменения планируемых бюджетных ресурсов по отдельным подпрограммам значительно выше, чем в целом по госпрограмме. В табл. 2. представлены изменения общего объема бюджетных ассигнований федерального бюджета по подпрограмме 1 «Организация рыболовства» государственной программы «Развитие рыбохозяйственного комплекса».

Общее увеличение расходов по данной подпрограмме с 2018 г. составило 1,49 раза. Наибольшее увеличение расходов пришлось на 2019 г. (1,74 раза по отношению к первоначально намеченным затратам). Ни по одному году проанализированных изменений уменьшения бюджетных затрат не предусматривалось.

Таблица 2. Изменения общего объема бюджетных ассигнований федерального бюджета по подпрограмме 1 «Организация рыболовства» государственной программы «Развитие рыбохозяйственного комплекса» (тыс. руб.)

Table 2. Changes in the total budget allocations of the federal budget under subprogram 1 "Organization of fisheries" of the state programme "Development of the fisheries industry" (thousand rubles)

Годы	Распоряжение от 07.03.2013 N 315-р	Постановление от 30.12.2017 N 1725	Постановление от 30.03.2018 № 380
2013	38 264,40	38 264,40	38 264,40
2014	38 973, 0	39 445,40	39 445,40
2015	39 799,00	44 523,70	44 523,70
2016	41 630,49	68 292,20	68 292,20
2017	43 420,60	78 047,90	78 047,90
2018	45 200,84	74 118,10	78 895,10
2019	46 918,47	76 707,40	81 577,80
2020	48 466,78	48 466,80	82 919,0
Всего	342 674,28	467 865,90	511 965,50

Несколько раз на протяжении исполнения в госпрограмму «Развитие рыбохозяйственного комплекса» вносились изменения в «Правила предоставления и распределения субсидий из федерального бюджета бюджетам субъектов Российской Федерации на возмещение части затрат на уплату процентов по кредитам, полученным в российских кредитных организациях на развитие товарной аквакультуры (товарного рыбоводства), включая товарную аквакультуру осетровых видов рыб». Эти изменения были вызваны совершенствованием механизма субсидирования, что повышало ответственность субъектов РФ за использование федеральных ресурсов и эффективность использования бюджетных средств для достижения целевых индикаторов развития товарной аквакультуры.

Изменения параметров и положений госпрограмм на региональном уровне вызываются уменьшением или увеличением возможностей бюджетного финансирования за счет средств соответствующих бюджетов, пересмотром организационных структур организации государственного управления и другими обстоятельствами. При этом не всегда эти изменения сопровождаются корректировкой целевых индикаторов региональных госпрограмм РХК и программ, связанных с развитием рыбной отрасли в регионах. Рост затрат, к примеру, должен сопровождаться улучшением индикативных показателей программы.

Например, Государственная программа Калининградской области «Развитие рыбохозяйственного комплекса» утверждена в 2014 г. [12]. В 2015 г. в нее было внесено одно изменение. Она была изложена в новой редакции, а целевые программы, ранее включенные в программу в качестве программно-целевых инструментов, были признаны утратившими силу. Кроме того, изменился ответственный исполнитель государственной программы (вместо упраздненного Агентства по рыболовству и развитию рыбохозяйственного комплекса Калининградской области ответственным исполнителем стало Министерство сельского хозяйства Калининградской области).

В 2016 г. в Государственную программу было внесено два изменения:

1) скорректированы объемы финансирования государственной программы Калининградской области «Развитие рыбохозяйственного комплекса» на 2015-2020 гг., а также определен ответственный исполнитель программы – Агентство по рыболовству Калининградской области в связи с реорганизацией Министерства сельского хозяйства Калининградской области;

2) объемы финансирования Госпрограммы были приведены в соответствие с законом Калининградской области «О внесении изменений в Закон Калининградской области “Об областном бюджете на 2016 г.”». Также внесены изменения в сведения о показателях достижения цели государственной программы Калининградской области «Развитие рыбохозяйственного комплекса»:

– исключены показатели выполнения цели, задачи, основного мероприятия, не влияющие напрямую на достижение цели;

– добавлены дополнительные целевые показатели, отражающие изменение мощностей производства консервной продукции из прибрежного сырья, а также мощностей единовременного хранения рыбопродукции;

– изменен целевой показатель и индикатор государственной программы с целью охвата существующих аспектов достижения цели.

Аналогичные изменения по мере необходимости осуществляются также в процессе корректировки госпрограмм в других регионах (в субъектах РФ).

Немаловажное значение имеет ежегодный мониторинг исполнения госпрограмм, обобщение результатов которого дает почву для их возможной корректировки в различных случаях изменившихся условий хозяйственной деятельности или отчетных параметров выполнения программы. Ежегодный мониторинг позволяет оперативно принимать решения о состоянии дел реализации программных мероприятий и необходимости корректировки параметров программного развития.

Министерством сельского хозяйства РФ на основе рекомендаций Минэкономразвития РФ утверждена «Методика оценки эффективности государственной программы российской федерации «Развитие рыбохозяйственного комплекса» [6]. Оценку эффективности реализации государственной программы осуществляют в два этапа.

На первом этапе рассчитывается оценка эффективности реализации подпрограмм госпрограммы, которая определяется с учетом:

1. Оценки степени реализации основных мероприятий подпрограмм. Мероприятие считается выполненным в полном объеме при достижении следующих результатов:

- мероприятие, результаты которого оцениваются на основании числовых (в абсолютных или относительных величинах) значений показателей (индикаторов), считается выполненным в полном объеме, если фактически достигнутое значение показателя (индикатора) составляет не менее 80 % от запланированного и не хуже, чем значение показателя (индикатора), достигнутое в году, предшествующем отчетному, с учетом корректировки объемов финансирования по мероприятию. В том случае, когда для описания результатов реализации используется несколько показателей (индикаторов), для оценки степени реализации используется среднее арифметическое значение отношений фактических значений показателей к запланированным значениям, выраженное в процентах;

- по иным мероприятиям результаты реализации могут оцениваться как наступление или ненаступление контрольного события (событий) и (или) достижение качественного результата (оценка проводится экспертно).

2. Оценки степени соответствия запланированному уровню затрат, которая рассчитывается для каждой подпрограммы как отношение фактически произведенных в отчетном году расходов на реализацию подпрограммы к их плановым значениям.

3. Оценки эффективности использования средств федерального бюджета, которая рассчитывается для каждой подпрограммы как отношение степени реализации мероприятий к степени соответствия запланированному уровню расходов из средств федерального бюджета.

4. Оценки степени достижения целей и решения задач подпрограмм. Для этого определяется степень достижения плановых значений каждого показателя (индикатора), характеризующего цели и задачи подпрограммы.

На втором этапе осуществляется оценка эффективности реализации государственной программы, которая определяется с учетом:

1. Оценки эффективности реализации подпрограмм, которая рассчитывается путем умножения степени реализации подпрограммы на оценку эффективности использования средств федерального бюджета.

Эффективность реализации подпрограммы признается высокой в случае, если ее значение составляет не менее 0,85. Если значение произведения составля-

ет 0,77, эффективность реализации подпрограммы признается средней. В случае если значение произведения составляет не менее 0,65, эффективность реализации подпрограммы признается удовлетворительной. В остальных случаях – неудовлетворительной.

2. Оценки степени достижения целей и решения задач государственной программы. Для оценки степени достижения целей и решения задач (далее - степень реализации) государственной программы определяется степень достижения плановых значений каждого показателя (индикатора), характеризующего цели и задачи государственной программы. При этом отдельно осуществляется расчет для показателей (индикаторов), желаемой тенденцией развития которых является увеличение значений, и для показателей (индикаторов), желаемой тенденцией развития которых является снижение значений.

Эффективность реализации государственной программы в целом оценивается в зависимости от значений оценки степени реализации государственной программы и оценки эффективности реализации входящих в нее подпрограмм. При этом учитывается коэффициент значимости подпрограммы для достижения целей государственной программы, суть которого заключается в учете удельного веса затрат федерального бюджета на конкретную подпрограмму в суммарных расходах на всю программу. Эффективность реализации программы признается высокой, средней, удовлетворительной и неудовлетворительной в условиях достижения вышеотмеченных параметров оценки эффективности реализации подпрограмм.

Аналогичные методические подходы используются при оценке выполнения программ развития РХК на региональном уровне. По результатам оценки органы власти принимают решение о возможной корректировке параметров программного развития, намечают мероприятия по повышению эффективности реализации соответствующих программ.

Подведение промежуточных годовых итогов выполнений госпрограмм показывает, что в процессе их реализации возникает необходимость их актуализации, корректировки индикативных показателей, постоянной оценке экономической эффективности для принятия решений по повышению результативности деятельности отрасли. Возвращаясь к начальным этапам разработки госпрограммы, следует подчеркнуть важность качественной проработки первоначальных параметров индикативных показателей, мероприятий и условий ее выполнения. Чем глубже и качественнее проработаны эти вопросы, тем меньше приходится корректировать программу в процессе ее исполнения. Но два принципиальных вопроса программного развития не нашли, на наш взгляд, решения в действующей методической базе разработки госпрограмм.

Первое. Выделяемые бюджетные ресурсы для реализации программ не находят иногда полной взаимосвязи с индикативными показателями отраслевого развития. Это размывает ответственность за использование бюджетных ресурсов. Например, госпрограмма развития РХК в качестве основных целевых индикаторов по годам устанавливает добычу (вылов) биоресурсов, объем произведенной рыбы и продуктов рыбных, переработанных и консервированных, темпы роста производительности труда по виду экономической деятельности «Рыболовство, рыбоводство» и другие параметры. Бюджетные расходы отрасли из федерального бюджета на финансирование госпрограммы составляют только около 10 % от

суммарных расходов затрат всего РХК (без учета капитальных вложений). Поэтому связывать только не очень значительную часть затрат (только бюджетных расходов) с некоторыми общими итоговыми результатами отрасли недостаточно корректно. Если, например, целевой индикатор госпрограммы – построить пять рыбзаводов в основном за счет средств федерального бюджета, то затратный и результативный признаки будут соответствовать требованию «затраты – результат». В этом случае логично связывать затраты с результатом конкретного направления программного развития.

Второе. В долгосрочных госпрограммах (со сроком реализации более пяти лет) параметры и показатели развития (включая целевые индикаторы) следует агрегировать (укрупнять) по мере увеличения горизонта программного развития. Следует задавать определенные интервалы целевых показателей для долгосрочного периода развития, так как вероятность точного расчета в этом случае задаваемых параметров уменьшается с ростом горизонта планирования. В этом случае сократится, на наш взгляд, количество корректировок в госпрограмму в течение всего срока ее выполнения. Будет только «скользящий» график (как правило годовой) уточнения параметров программного развития по промежуточным результатам исполнения госпрограммы. Данное обстоятельство связано также с ежегодным рассмотрением возможностей федерального бюджета по финансированию программного развития отрасли.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подчеркнутые результаты анализа методических положений и аудит программно-целевого развития РХК характеризуют в целом положительные итоги данного экономико-управленческого направления деятельности отрасли, нацеленные на выполнение целевых показателей развития РХК. Имеющиеся и рассмотренные методические проблемы разработки, реализации и подведения промежуточных итогов выполнения госпрограмм развития РХК требуют своего дальнейшего совершенствования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 07 марта 2013 года № 315-р «О Государственной программе Российской Федерации «Развитие рыбохозяйственного комплекса».
2. Программно-целевые аспекты рыбохозяйственной деятельности / В. А. Волкогон [и др.]. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2017. – 182 с.
3. Постановление Правительства Российской Федерации от 2 августа 2010 г. № 588 «О Порядке разработки, реализации и оценки эффективности государственных программ».
4. Приказ Минэкономразвития России от 16 сентября 2016 г. № 582. Методические указания по разработке и реализации государственных программ Российской Федерации.
5. Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 21 июня 2017 г. № 297 «Об обеспечении реализации мероприятий, предусмотр-

ренных государственной программой Российской Федерации «Развитие рыбохозяйственного комплекса», утвержденной Постановлением Правительства Российской Федерации от 15 апреля 2014 г. № 314.

6. Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 7 декабря 2017 г. № 615 «Об утверждении методики оценки эффективности государственной программы Российской Федерации «Развитие рыбохозяйственного комплекса», утвержденной Постановлением Правительства Российской Федерации от 15 апреля 2014 г. № 314.

7. Сергеев, Л. И. Обобщение программно-стратегических целей развития рыбохозяйственного комплекса страны / Л. И. Сергеев // Балтийский экономический журнал. – 2017. – №3(19). – С. 63-73.

8. Сергеев, Л. И. Стратегическое целеполагание и моделирование целей развития рыбной отрасли / Л. И. Сергеев, Л. С. Шеховцева // Балтийский экономический журнал. – 2017. – №2(18). – С. 59 – 67.

9. Распоряжение Правительства РФ от 24.12.2015 N 2661-р «Об утверждении перечня мероприятий по реализации национального плана действий по предупреждению, сдерживанию и ликвидации незаконного, несообщаемого и нерегулируемого промысла».

10. Распоряжение Правительства РФ от 7 марта 2013 года №315-р. «Развитие рыбохозяйственного комплекса».

11. Постановление Правительства Российской Федерации от 30 марта 2018 г. № 380 «О внесении изменений в государственную программу Российской Федерации «Развитие рыбохозяйственного комплекса».

12. Постановление Правительства Калининградской области от 04 февраля 2014 года № 40 «О государственной программе Калининградской области «Развитие рыбохозяйственного комплекса».

13. Росрыболовство [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://fish.gov.ru/> (13 апреля 2018 г.).

14. «Целевые федеральные программы России» Минэкономразвития России [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://fcp.economy.gov.ru/cgi-bin/cis/fcp.cgi/Fcp/Title> (13 апреля 2018 г.).

REFERENCES

1. Rasporyazhenie Pravitel'stva Rossiyskoy Federacii ot 07 marta 2013 g. № 315-r “O Gosudarstvennoj programme Rossijskoj Federacii “Razvitie rybohozjajstvennogo kompleksa”.

2. Volkogon V. A., Sergeev L. I., Kuzin V. I., Mnacakanjan R. A. *Programmno-celevye aspekty rybokhozyaystvennoy deyatel'nosti* [Programme and target aspects of fisheries management]. Izdatel'stvo FGBOU VPO “KGTU”, Kaliningrad, 2017, 182 p.

3. Postanovlenie Pravitel'stva Rossiyskoy Federacii ot 2 avgusta 2010 g. № 588 “O Poryadke razrabotki, realizacii i ocenki effektivnosti gosudarstvennykh program”.

4. Prikaz Minekonomrazvitiya Rossii ot 16 sentyabrya 2016 g. № 582. Metodicheskie ukazaniya po razrabotke i realizacii gosudarstvennykh programm Rossiyskoy Federacii.

5. Prikaz ministerstva sel'skogo hozyaystva Rossiyskoy Federacii ot 21 iyunya 2017 g. № 297 ”Ob obespechenii realizacii meropriyatij, predusmotrennykh gosudar-

stvennoy programmoy Rossiyskoy Federacii “Razvitie rybohozyaystvennogo kompleksa”, utverzhdennoy Postanovleniem Pravitel'stva Rossiyskoy Federacii ot 15 aprelya 2014 g. № 314.

6. Prikaz ministerstva sel'skogo khozyaystva Rossiyskoy Federacii ot 7 dekabrya 2017 g. № 615 “Ob utverzhdenii metodiki ocenki effektivnosti gosudarstvennoy programmy Rossiyskoy Federacii “Razvitie rybohozyaystvennogo kompleksa”, utverzhdennoy Postanovleniem Pravitel'stva Rossiyskoy Federacii ot 15 aprelya 2014 g. № 314.

7. Sergeev L. I. Obobshchenie programmno-strategicheskikh celey razvitiya rybohozyaystvennogo kompleksa strany [Generalization of the programme and strategic goals of the country's fisheries industry development]. *Baltiyskiy ekonomicheskij zhurnal*, 2017, no. 3(19), pp. 63-73.

8. Sergeev L. I., Shehovceva L. S. Strategicheskoe celepolaganie i modelirovanie celey razvitiya rybnoy otrasli [Strategic goal setting and modelling purposes of the fishery industry development]. *Baltiyskiy ekonomicheskij zhurnal*, 2017, no. 2(18), pp. 59-67.

9. Rasporyazhenie Pravitel'stva RF ot 24.12.2015 № 2661-r “Ob utverzhdenii perechnya meropriyatiy po realizacii nacional'nogo plana deystviy po preduprezhdeniyu, sderzhivaniyu i likvidacii nezakonno, nesoobshchaemogo i nereguliruemogo promysla”.

10. Rasporyazhenie Pravitel'stva RF ot 7 marta 2013 g. № 315-r “Razvitie rybokhozyaystvennogo kompleksa”.

11. Postanovlenie Pravitel'stva Rossiyskoy Federacii ot 30 marta 2018 g. № 380 “O vnesenii izmeneniy v gosudarstvennuyu programmu Rossiyskoy Federacii “Razvitie rybokhozyaystvennogo kompleksa”.

12. Postanovlenie Pravitel'stva Kaliningradskoy oblasti ot 04 fevralya 2014 g. № 40 “O gosudarstvennoy programme Kaliningradskoy oblasti “Razvitie rybokhozyaystvennogo kompleksa”.

13. Sayt Rosrybolovstva. Available at: <http://fish.gov.ru/> (accessed 13 April 2018).

14. Portal “Celevye federal'nye programmy Rossii” Minekonomrazvitiya Rossii. Available at: <http://fcp.economy.gov.ru/cgi-bin/cis/fcp.cgi/Fcp/Title/> (accessed 13 April 2018).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Сергеев Леонид Иванович – Калининградский государственный технический университет; доктор экономических наук, профессор, заместитель заведующего кафедрой экономической теории; E-mail: doc_sergeevli@mail.ru

Sergeev Leonid Ivanovich – Kaliningrad State Technical University; Doctor of economic sciences, professor, deputy head of the department of economic theory; E-mail: doc_sergeevli@mail.ru

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ ЖУРНАЛА «ИЗВЕСТИЯ КГТУ»

Общие требования

Журнал публикует оригинальные неопубликованные ранее статьи, удовлетворяющие критериям высокого научного качества по научным направлениям: естественно-научные и математические, биологические и сельскохозяйственные, технические, экономические науки, промышленное рыболовство. Срок сдачи статей в редакцию – за два месяца до выхода журнала «в свет», график выхода: 1 февраля, 1 мая, 1 августа, 1 ноября. Все присланные статьи проходят проверку системой «Антиплагиат».

В редакцию журнала авторы представляют:

– **распечатку рукописи**, подписанную всеми авторами, и ее электронную версию. Текст рукописи должен полностью соответствовать тексту электронного варианта;

– **внешнюю или внутреннюю рецензию доктора наук** (на стандартном бланке), заверенную подписью и печатью ученого секретаря со словами: «Подпись рецензента такого-то заверяю, должность заверяющего, фамилия, роспись, число». Бланк рецензии можно скачать на сайте университета в разделе «Наука и инновации – Научный журнал». Рецензент должен являться признанным специалистом по тематике рецензируемого материала и иметь в течение последних трех лет публикации по тематике рецензируемой статьи;

– **экспертное заключение** с печатью о степени секретности сведений, содержащихся в статье.

В дальнейшем с автором заключается **Лицензионный договор** и оформляется **Акт передачи – приемки рукописи**.

Объем статьи

Объем статьи составляет от пяти до десяти страниц текста, включая рисунки, таблицы и список литературы.

Структура статьи

– **Введение** (состояние проблемы, задачи исследования) по центру, прописными буквами, кегль 12, шрифт не жирный);

– **Основная часть** (постановка задачи, методы и результаты исследования, их обсуждение – прописными буквами, кегль 12, шрифт обычный). Основную часть рекомендуется разбивать на разделы с названиями, отражающими их содержание;

– **Заключение** (выводы – прописными буквами, кегль 12, шрифт обычный).

Составные части статьи и порядок их следования

1. **Индекс** по универсальной десятичной классификации (УДК) размещается в левом верхнем углу без отступа (прописными буквами, кегль 12, шрифт обычный).

2. Через один интервал по центру – **название статьи** (прописными буквами, кегль 12, шрифт обычный).

3. Через один интервал по центру – **инициалы и фамилия (и) автора (ов)** (кегель 12, шрифт обычный).

4. Через один интервал по центру – **название статьи на английском языке** (прописными буквами, кегль 12, шрифт обычный).

5. Через один интервал по центру – **инициалы и фамилия (и) автора (ов) на английском языке** (кегель 12, шрифт обычный).

6. Через два интервала с отступом Tab. 1,27 – **аннотация** (кегель 12, шрифт обычный, слово «Аннотация» не указывается).

Рекомендуемый объем аннотации 1000-2000 знаков (200-250 слов). В начале не повторяется название статьи, аннотация не разбивается на абзацы. Аннотация должна быть полноценной и информативной, не содержать общих слов, отражать содержание статьи и результаты исследований, строго следовать структуре статьи. Следует избегать использования вводных слов и оборотов, лишних вводных фраз, например, «автор статьи рассматривает...», не нужно подчеркивать личный вклад автора. Исторические справки, если они не составляют основное содержание документа, описание ранее опубликованных работ и общеизвестные положения в аннотации не приводятся. В тексте аннотации следует применять значимые слова из текста статьи, избегать сложных грамматических конструкций. Вводная часть минимальна, место исследования уточняется до области (края). Изложение результатов содержит конкретные сведения (выводы, рекомендации и т.п.). Допускается введение сокращений в пределах аннотации (понятие из 2-3 слов заменяют на аббревиатуру из соответствующего количества букв, в первый раз дается полностью, сокращение – в скобках, далее используется только сокращение). Числительные, если не являются первым словом, передаются цифрами. Нельзя использовать аббревиатуры (например, названий учреждений) без расшифровки и сложные элементы форматирования (например, верхние и нижние индексы). Категорически не допускаются вставки через меню «Символ», знак разрыва строки, знак мягкого переноса, автоматический перенос слов. Значения t° обозначать как «град. С», в английском варианте – как «deg С».

7. С новой строки с отступом Tab. 1,27 – **ключевые слова** со строчной, через запятую (кегель 12, шрифт обычный, курсив, фраза «Ключевые слова» не указывается, точка в конце не ставится).

8. Через два интервала с отступом 1,27 – **аннотация на английском языке** (кегель 12, обычный, слово «Аннотация» не указывается).

Недопустимо использование машинного перевода, вместо десятичной запятой используется точка. Все русские аббревиатуры передаются в расшифрованном виде, если у них нет устойчивых аналогов в английском языке (допускается: ВТО – WTO, ФАО – FAO и т.п.). Безличные конструкции переводятся с использованием пассива.

9. С новой строки с отступом Tab. 1,27 – **ключевые слова на английском языке** со строчной через запятую (кегель 12, шрифт обычный, курсив, фраза «Ключевые слова» не указывается, точка в конце не ставится).

10. Через два интервала с отступом – **текст статьи** (кегель 12), включающий в себя обязательные структурные элементы (см. Структура статьи). **Нельзя использовать в текстах формулы-картинки и прочие искусственно вставленные символы.**

11. Через два интервала после текста статьи по центру **список использованных литературных источников** (прописными буквами, кегль 12, шрифт

обычный). Список литературы в научных публикациях обязателен (оформляется по ГОСТ 7.1-2003 «Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления», ГОСТ Р 7.0.5-2008 «Библиографическая ссылка. Правила составления»). Список литературы должен содержать все цитируемые и упоминаемые в тексте работы. В список включаются только те работы, на которые автор ссылается в тексте. Источники в списке литературы нумеруются и располагаются в порядке их упоминания в тексте (в порядке цитирования). Для размещения статьи в международной базе Agris (по рекомендации редактора рубрики) требуется не менее 7-ми источников, среди них должны быть зарубежные авторы.

Образцы оформления списка использованных литературных источников:

Монография

1. Агеев, В. В. Грузопассажирские суда в военных конфликтах: моногр. / В. В. Агеев. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «КГТУ», 2013. – 106 с.
2. Бухановский, А. В. Моделирование нелинейных систем в сложных динамических средах: моногр. / А. В. Бухановский, С. В. Иванов, Ю. И. Нечаев. – Санкт-Петербург: Издательский центр НИУ ИТМО, 2013. – 263 с.

Книга

Книги одного - трех авторов

1. Розенштейн, М. М. Методы оптимизации проектных характеристик орудий рыболовства: моногр. / М. М. Розенштейн. – Калининград: ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2013. – 185 с.
2. Новикова, А. М. Универсальный экономический словарь / А. М. Новикова, Н. Е. Новиков, К. А. Погосов. – Москва: Экономика, 1995. – 135 с.

Книги более трех авторов

- Религии мира: пособие для преподавателей / Я. Н. Шапов [и др]. – Санкт-Петербург: Питер, 1996. – 496 с.

Книги, не имеющие индивидуальных авторов (под редакцией)

- Сборник задач по физике: учеб. пособие для вузов / под ред. С. М. Павлова. – 2-е изд., доп. – Москва: Высшая школа, 1995. – 347 с.

Статья в журнале

1. Толкачева, О. В. Влияние барьерных факторов на стойкость пресервов / О. В. Толкачева, Б. Л. Нехамкин, В. И. Шендерюк // Рыбная промышленность. – 2006. – №2. – С. 14–16.
2. Байдалинова, Л. С. Перспективы использования растительных антиоксидантов для стабилизации гидролитических и окислительных процессов в препаратах полиненасыщенных жирных кислот / Л. С. Байдалинова, С. В. Андропова // Известия Калининградского государственного технического университета. – 2013. – № 29. – С. 74–80.

Статья в электронном журнале

1. Белоус, Н. А. Прагматическая реализация коммуникативных стратегий в конфликтном дискурсе / Н. А. Белоус // Мир лингвистики и коммуникации: электронный научный журнал. – 2006. – № 4 [Электронный ресурс]. – URL: http://www.tverlingua.by.ru/archive/005/5_3_1.htm (дата обращения: 15.12.2007).

2. Орехов, С. И. Гипертекстовый способ организации виртуальной реальности / С.И. Орехов // Вестник Омского государственного педагогического университета: электронный научный журнал. – 2006 [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.omsk.edu/article/vestnik-omgpu-21.pdf> (дата обращения: 10.01.2007).

Статья, опубликованная в сборниках научных трудов вузов, материалах конференций и семинаров

1. Авдеева, Е. В. Биоразнообразие паразитов рыб и ее особенности в бассейне Вислинского залива (Балтийское море) / Е. В. Авдеева, Е. Б. Евдокимова, С. К. Заостровцева // I Всерос. науч. интернет-конф. (12 февр. 2013): материалы. – Казань, 2013. – С. 52–56.

2. Александров, Ю. П. Измерение динамической твердости титановых сплавов / Ю. П. Александров // Инновации в науке, образовании и бизнесе – 2013: XI Междунар. науч. конф. (25-27 сент.): тр.: к 100-летию высш. рыбохоз. образования в России: в 2 ч. / Федер. Агентство по рыболовству; ФГБОУ ВО «КГТУ». – Калининград: ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2013. – Ч. 2. – С. 29-32.

Диссертация или автореферат диссертации

1. Данилов, Г. В. Как же быть?: дис. ... канд. экон. наук: 05.13.10 / Данилов Геннадий Петрович; МАИ. – Москва, 1999. – 138 с.

2. Манилов, А. В. Кто виноват?: автореф. дис. ... канд. юрид. наук: 05.13.10 / Манилов Алексей Владимирович; МЮИ. – Москва, 1999. – 16 с.

Переводная книга

1. Себехей, В. Теория орбит: ограниченная задача трех тел / В. Себехей: пер. с англ. / под ред. Г. Н. Дубошина. – Москва: Наука, 1982. – 656 с. [Victor G. Szebehely. Theory of Orbits: the Restricted Problem of Three Bodies. New York: Academic Press, 1967].

2. Дейт, К. Дж. Введение в системы баз данных / К. Дж. Дейт: пер. с англ. – Москва: Вильямс, 2006. – 1328 с. [Date C. J. An Introduction to Database Systems. 8th ed. Addison-Wesley, 2003. – 1024 p.].

Ссылки на все приведенные в списке литературы источники в тексте заключаются в квадратные скобки, например: [2], [4–7], [1, 18, 25]. Если в тексте есть прямая цитата, заключенная в кавычки, то обязательно должна быть указана страница, на которой эта цитата находится в цитируемом источнике. Например: [7, с. 28]. Ссылки на неопубликованные работы и работы, находящиеся в печати, не допускаются.

12. Через строку по центру – список литературы на латинице (должен быть озаглавлен – **references**, прописными буквами, кегль 12, шрифт обычный). Транслитерировать список литературы можно автоматически, зайдя на сайт <http://translit.ru> и выбрав режим BGN (транслитерируют только после оформления списка по образцу).

Образцы оформления ссылок:

Монография, книга

1. Shorygin A. A. *Pitanie i pishchevye vzaimootnosheniia ryb Kaspiiskogo moria* [Diet and food relations of fish in the Caspian Sea]. Moscow, Pishchepromizdat Publ., 1952, 268 p.

2. Latyshev V. N., *Tribologiya rezaniya. Kn. 1: Friksionnye protsessy pri rezanii metallov* [Tribology of Cutting, Vol. 1: Frictional Processes in Metal Cutting], Ivanovo, Ivanovskii Gos. Univ., 2009.

Статья в журнале

1. Zagurenko A. G., Korotovskikh V. A., Kolesnikov A. A., Timonov A. V., Kardymon D.V. Techno-economic Optimization of the Design of Hydraulic Fracturing [Tekhniko-ekonomicheskaya optimizatsiya dizaina gidrorazryva plasta]. *Neftyanoe khozyaistvo*, 2008, no.11, pp. 54-57.

2. Sokolov L. I. 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 resursoberegayushchie tekhnologii nedropol'zovaniya i povysheniya neftegazootdachi"* [Proc. 6th Int. Technol. Symp. "New Energy Saving Subsoil Technologies and the Increasing of the Oil and Gas Impact"]. Moscow, 2007, pp. 267-272.

Диссертация и автореферат

1. Turkovskaia O. V. *Biologicheskie i tekhnologicheskie aspekty mikrobnoy ochestki 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 ekologicheskii chistykh tekhnologiy belkovykh kormovykh produktov na osnove vtorichnykh resursov. Avtoreferat diss. dokt. tekhn. nauk* [Development of ecological pure technologies of protein feeding products on the basis of water resources. Abstract of dis. dr. sci.]. Saratov, 1997, 54 p.

Переводная книга

1. Timoshenko S.P., Yound D.H., Weaver W. *Vibration problems in engineering*. 4th ed. New York, Wiley, 1974. 521 p. (Russ. Ed.: Timoshenko S.P., Iang D.Kh., Uiver U. *Kolebaniia v inzhenernom dele*. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1985, 472 p.).

13. Через два интервала по центру – **информация об авторе (ах)** (прописными буквами, кегль 12, шрифт обычный). Через интервал по центру дается следующая информация: *Фамилия, имя, отчество автора (курсивом)*, далее прямой шрифт – место работы; научная степень, ученое звание; должность; E-mail (для всех данных кегль 12, точка в конце не ставится); телефон (лучше мобильный, остаётся в редакции, нужен на случай, если у редактора возникнут вопросы по тексту). Через интервал по центру информация дублируется на английском языке.

Образец:

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Петров Иван Иванович – ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»; доктор технических наук, профессор;
зав. кафедрой пищевых и холодильных машин;
E-mail: petrov@mail.ru; тел. 8(905)32-33-333

Petrov Ivan Ivanovich – Kaliningrad State Technical University; Doctor of Technical Sciences, Professor; Head of the Department of Food and Refrigeration Machines;
E-mail: petrov@mail.ru

Кужлева Елизавета Петровна – Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта (г. Калининград); аспирант кафедры машиноведения и технических систем;
E-mail: roza@bk.ru; тел. 8(952)32-33-654

Kuzhleva Elizaveta Petrovna – Immanuel Kant Baltic Federal University (Kaliningrad); Post-graduate student; Department of Engineering Science and Technical Systems;
E-mail: roza@bk.ru

Правила оформления рукописей

- формат бумаги: А4;
- ориентация: книжная;
- поля сверху, слева, справа – 3 см, снизу – 3,5 см;
- гарнитура шрифта: Times New Roman;
- кегль – 12;
- абзац с отступом Tab. 1,27;
- межстрочный интервал – одинарный;
- при наборе текста:

- не допускается: применять стили при формировании текста; вносить изменения в шаблон или создавать свой для формирования текста; ставить пробелы перед знаками препинания; применять любые разрядки слов;

- необходимо: слова внутри абзаца разделять одним пробелом; набирать текст без принудительных переносов; установить автоматическую расстановку переносов (путь: меню СЕРВИС → подменю ЯЗЫК → пункт РАССТАНОВКА ПЕРЕНОСОВ → поставить галочку в открывшемся окне «автоматическая расстановка переносов»).

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 крестика (\times). Перенос на знаке деления не допускается. Математический знак, на котором разрывается формула при переносе, обязательно должен быть повторен в начале второй строки. При переносе формул нельзя отделять выражения, содержащиеся под знаком интеграла, логарифма, суммы, произведения, от самих знаков. Небольшие формулы, не имеющие самостоятельного значения, набираются внутри строк текста. Наиболее важные формулы, все нумерованные формулы, а также длинные и громоздкие формулы, содержащие знаки суммирования, произведения и т. п., набирают отдельными строками. Отбивка до и после строки с формулой в этом случае – 6 пунктов. Вместо выражения вида $\frac{a}{b}$ рекомендуется писать a/b. Отдельные элементы математических формул, вынесенные в текст, набираются по приведенным выше правилам (прямой шрифт в формуле – прямой шрифт в тексте, курсив в формуле – курсив в тексте).

Химические символы (Ag, Cu) набирают прямым шрифтом. Для набора рекомендуется использовать редактор Chem Window.

Единицы физических величин следует приводить в международной системе СИ по ГОСТ 8.417-2002. ГСИ. Единицы величин.

Все аббревиатуры в тексте должны быть расшифрованы. Разрешаются лишь общепринятые сокращения названий мер, физических, химических и математических величин.

Электронный вариант материалов

Текст статьи, рефераты, ключевые слова и сведения об авторе(ах) размещаются в одном файле. Материалы должны быть оформлены с применением средств Microsoft Office 2003 (расширение текстового файла *.doc). Для передачи информации подойдут любые электронные носители.

Редакция журнала оставляет за собой право производить сокращения и редакционные изменения рукописи.

Статьи, не соответствующие вышеперечисленным требованиям, могут быть возвращены автору(ам) для доработки.

Рукописи статей, принятых к публикации, авторам не возвращаются.

Публикации статей бесплатные. Рукописи статей сотрудников ФГБОУ ВО «КГТУ» направляются в редакционную коллегию журнала по рекомендациям научно-методических семинаров кафедр. Все статьи проходят обязательное внешнее или внутреннее рецензирование. Автор самостоятельно или в соавторстве может представить в номер не более одной статьи. Статьи публикуются на русском или английском языке. Страницы не нумеровать.

Адрес редакции:
236022, г. Калининград, Советский проспект, 1,
ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»
Тел. (4012) 99-59-74
E-mail: svetlana.suprunova@klgtu.ru
<http://klgtu.ru/science/magazine/index.php>

Издание зарегистрировано в Федеральной службе по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор),
Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС77-47915
от 22.12.2011 г.

Редакторы: Е. В. Билко, И. В. Голубева, Г. А. Смирнова, Г. Е. Смирнова

Издательство ФГБОУ ВО «КГТУ»
236022, г. Калининград, Советский проспект, 1
Лицензия № 05609 от 14.08.2001
Подписано в печать 27.04.2018. Выход в свет 01.05.2018. Формат 60 x 88 (1/8)
Печ. л. 40,6. Уч.-изд. л. 26,0. Тираж 1000 экз. Заказ № 11