

ИЗВЕСТИЯ

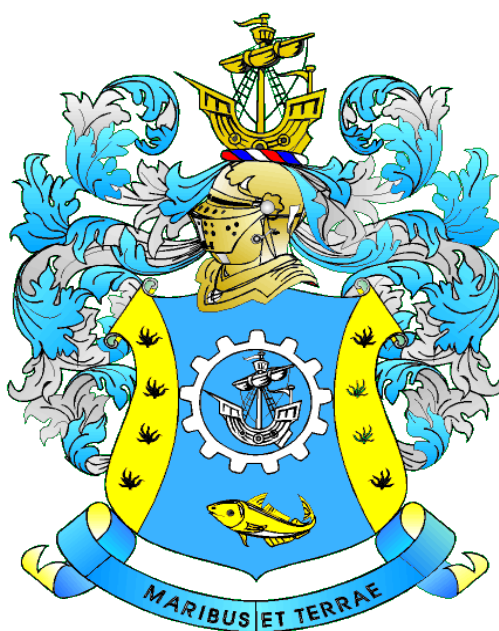
КГТУ

2019

№ 55

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

Научный журнал



Индексирование журнала, включение в базы данных

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

Российский индекс научного цитирования (РИНЦ)

Agricultural Research Information System (Agris)

Калининград

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

Научный журнал
Основан в 2002 г.

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

Редакционный совет:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Редакционная коллегия:

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

Выпускающий редактор С. В. Супрунова

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

© ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»,
2019



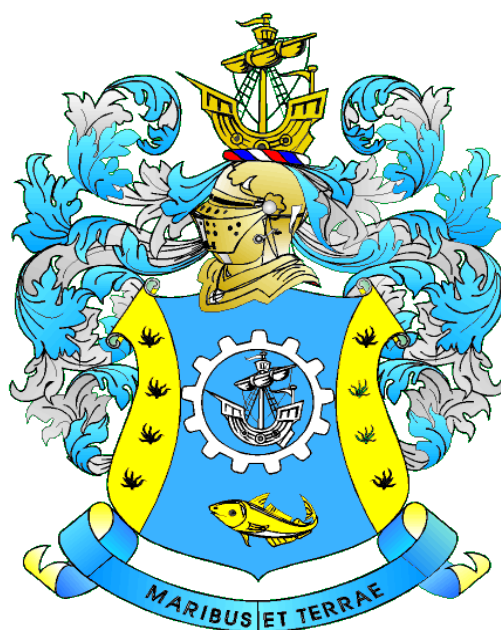
KSTU NEWS

2019

№ 55

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

SCIENTIFIC JOURNAL



Journal index, registration in databases

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

Russian Index of Scientific Citation (RISC)

Agricultural Research Information System (Agris)

Kaliningrad

СОДЕРЖАНИЕ

Биология, экология и рыбное хозяйство

<i>Анциферова О.А.</i> Оксалаторастворимое железо в окультуренных осушаемых почвах моренной равнины	13
<i>Анциферова О.А., Чиянова О.Ю.</i> Морфологическое строение и классификационная принадлежность почв морского побережья в окрестностях поселка городского типа Янтарного	22
<i>Бедарева О.М., Мурачева Л.С., Троян Т.Н., Волкова И.А.</i> Биоэкологические особенности и формирование высокопродуктивных агроценозов трибы просовидных в условиях Калининградской области ...	36
<i>Бубнова Е.С., Капустина М.В.</i> Гидролого-гидрохимические условия в придонном слое Гданьской впадины Балтийского моря в 2003-2018 годах ..	47
<i>Бугранова О. С., Буйняченко П. П., Берникова Т. А., Уманский С. А.</i> Оценка экологического состояния реки Гурьевки на основе гидрохимических данных и показателей фитопланктона	59
<i>Дубравин В.Ф., Капустина М.В., Стонт Ж.И.</i> Эволюции (сезонная и межгодовая изменчивость) синоптической составляющей потоков тепла на границе вода–воздух в юго-западной части Балтики (2003-2016 гг.)	74
<i>Мычкова А.В., Шibaев С.В., Шibaева М. Н., Саускан В. И.</i> Кормовая база и питание молоди массовых видов рыб реки Неман	88
<i>Савина Л. В., Серпунин Г. Г., Хрусталеv Е. И., Саускан В. И.</i> Показатели крови клариевого сома (<i>Clarias gariepinus</i>) из установки замкнутого водоснабжения	103
<i>Сташко А.В., Шендерюк В.В., Касьян А.В., Александров С.В., Виноградова Л. Л.</i> Содержание минеральных форм биогенных элементов в Куршском заливе в 2018 году	111
<i>Федотов М.С., Чернышков П.П.</i> Распределение промысловых скоплений ставриды в южной части Тихого океана в связи с океанологическими условиями	122
<i>Хрусталеv Е.И., Молчанова К.А., Гончаренко О.Е., Серпунин Г.Г., Шibaев С. В.</i> Реализация системы нормированного кормления радужной форели на третьем этапе формирования ремонтно-маточного стада в установках замкнутого водоснабжения	134
<i>Шibaев С.В., Соколов А.В., Алдушин А.В., Дегтеv А.И., Новожилов О.А., Барановский П.Н., Серпунин Г.Г., Саускан В.И.</i> Оценка воспроизводительной способности и возможного эффекта рыбохозяйственной мелиорации на примере реки Промысловой бассейна Куршского залива	145
<i>Шibaева М.Н., Кривоускова Е.В., Масюткина Е.А., Шibaев С.В.</i> Экологическое состояние Правдинского водохранилища (ГЭС 3) по результатам многолетних гидробиологических исследований	161

Техника и технология пищевых производств

<i>Агеев О.В., Наумов В.А., Фатыхов Ю.А., Самойлова Н.В.</i> Расчет деформационной составляющей коэффициента трения шероховатой поверхности ножа при резании рыбы	177
<i>Баженов Е.А., Байдалинова Л.С.</i> Исследование влияния протеолитических ферментных препаратов из вторичного рыбного сырья на микробиологические показатели безопасности пресервов	190
<i>Ключко Н.Ю., Ромазяева И.Р.</i> Совершенствование рецептуры функционального безалкогольного напитка на основе кураги	204
<i>Нгуен Тхи Сен, Нугманов А.Х.-Х., Арабова З. М., Нугманова А. А.</i> Вычисление энергии на испарение связанной влаги из джекфрута	214
<i>Рогачикова Н.М., Серпунина Л.Т., Казимирченко О.В.</i> Влияние сублимированных порошков черноплодной рябины и черной смородины на хранимоспособность мягкого сыра	226

Судостроение, машиностроение и энергетика

<i>Гришин П.Р., Дятченко С.В., Иванов В.П., Нефедов А.В.</i> Определение характеристик остойчивости малого рыболовного траулера при вариациях его основных элементов	241
<i>Кужахметова Э.Р.</i> Расчет вант с учетом геометрической и физической нелинейности	252
<i>Спиридонов А.Ю., Зобов П.Г., Дектярев А.В., Морозов В.Н.</i> Применение лазерного сканирования для увеличения точности гидрогазодинамических расчетов	267
<i>Федоров С.В., Серeda Н.А., Иванов В.П.</i> Определение коэффициента трения в паре «гибкий элемент – твердое тело»: теория и эксперимент	278

CONTENT

Biology, Ecology and Fishing Industry

<i>Antsiferova O. A.</i> Oxalate-extractable iron in cultivated drained soils of morainic plain	13
<i>Antsiferova O. A., Chiyanova O. Yu.</i> Morphological structure and classification of soils belonging to the sea coast in the vicinity of the smt. Yantarnyy	22
<i>Bedareva O. M., Murachyova L. S., Troyan T. N., Volkova I. A.</i> Bioecological peculiarities and formation of high-productive agrocenoses of the tribe of millet in conditions of the Kaliningrad region	36
<i>Bubnova E. S., Kapustina M. V.</i> Hydrological and hydrochemical conditions in the bottom layer of the Gdansk depression of the Baltic sea in 2003-2018.....	47
<i>Bugranova O. S., Buiniachenko P. P., Bernikova T. A., Umanskiy S. A.</i> Evaluation of the ecological status of the Gurievka river based on hydrochemical data and phytoplankton indicators	59
<i>Dubravin V. F., Kapustina M. V., Stont Zh. I.</i> Evolution (seasonal and interannual variability) of the synoptic component of heat fluxes on the ocean-atmosphere interface in the south-western part of the Baltic sea (2003-2016)	74
<i>Mychkova A. V., Shibaev S. V., Shibaeva M. N., Sauskan V. I.</i> Forage base and food investigation of mass juvenile fish in the Neman river	88
<i>Savina L. V., Serpunin G. G., Khrustalyov E. I., Sauskan V. I.</i> Blood values of 10 sharptooth catfish (<i>Clarias gariepinus</i>) from a recirculating aquaculture system.. .	3
<i>Stashko A. V., Shenderyuk V. V., Kasian A. V., Aleksandrov S. V., Vinogradova L. L.</i> Mineral nutrients content in the Curonian lagoon in 2018	1
<i>Fedotov M. S., Chernyshkov P. P.</i> Distribution of exploitable concentrations of 12 horse mackrel in the south Pacific in connection with oceanological conditions	2
<i>Khrustalyov E. I., Molchanova K. A., Goncharenok O. E., Serpunin G. G., Shibaev S. V.</i> Implementation of the rationed feeding system of rainbow trout on the third stage of formation of the replacement breeding stock in ras.....	4
<i>Shibaev S. V., Sokokov A. V., Aldushin A. V., Degtev A. I., Novozhilov O. A., Baranovskiy P. N., Serpunin G. G., Sauskan V. I.</i> Evaluation of the reproductive capacity and possible effect of spawning grounds recovery on the example of Promyslovaya river of the Curonian lagoon basin	5
<i>Shibaeva M. N., Krivopuskova E. V., Masyutkina E. A., Shibaev S. V.</i> Ecological state of the Pravdinsk reservoir according to the results of long-term hydrobiological researches	16

Food Production Techniques and Technology

<i>Ageev O. V., Naumov V. A., Fatykhov Ju. A., Samojlova N. V.</i> Estimation of deformation component of friction coefficient of rough knife surface during fish cutting	177
<i>Bazhenov E. A., Baydalinova L. S.</i> Study of the effects of proteolytic enzyme preparations from recycled fish raw materials to microbiological indicators of preserves safety	190

<i>Klyuchko N. Yu., Romazyayeva I. R.</i> Improving the recipe of the functional nonalcoholic drink on the basis of dried apricots	204
<i>Nguyen Thi Sen, Nugmanov A. H.-H., Arabova Z. M., Nugmanova A. A.</i> Calculation of energy for evaporation of related moisture of jackfruit	214
<i>Rogachikova N. M., Serpunina L. T., Kazimirchenko O. V.</i> The influence of sublimated powders of chokeberry and black current on the storage stability of soft cheese	226

Ship Building, Machinery and Power-Engineering

<i>Grishin P. R., Dyatchenko S. V., Ivanov V. P., Nefyodov A. V.</i> Determination of stability characteristics of a small fishing trawler during variations of its main elements	241
<i>Kuzhakhmetova E. R.</i> Calculation of the cables with regard to the geometric and physical nonlinearity	252
<i>Spiridonov A. Yu., Zobov P. G., Dektyarev A. V., Morozov V. N.</i> The use of laser scanning to increase the accuracy of hydro and gas dynamic calculations	267
<i>Fyodorov S. V., Sereda N. A., Ivanov V. P.</i> Determination of friction coefficient in the “flexible element – solid” pair: theory and experiment	278

БИОЛОГИЯ, ЭКОЛОГИЯ И РЫБНОЕ ХОЗЯЙСТВО

УДК 631.4 : 631.41

ОКСАЛАТОРАСТВОРИМОЕ ЖЕЛЕЗО В ОКУЛЬТУРЕННЫХ ОСУШАЕМЫХ
ПОЧВАХ МОРЕННОЙ РАВНИНЫ

О. А. Анциферова

OXALATE-EXTRACTABLE IRON IN CULTIVATED DRAINED SOILS OF
MORAINIC PLAIN

O. A. Antsiferova

Исследования проведены в условиях пахотного поля с контрастным почвенным покровом на холмисто-моренной равнине в Зеленоградском районе Калининградской области. Изучено содержание оксалаторастворимого железа по методу Тамма в трех группах почв: буроземы на вершинах холмов и глееватые на склонах, дерново-глеевые почвы в понижениях. Почвы осушаются системой гончарного дренажа. Для суглинистых буроземов на вершинах характерно биогенное накопление оксалаторастворимого (аморфного) железа в пахотном горизонте и слабое варьирование его вниз по профилю. В полугидроморфных буроземах склонов абсолютное содержание оксалаторастворимого железа выше по сравнению с вершинами холмов в связи с резко контрастным окислительно-восстановительным режимом. Количество $Fe_{окс}$ составляет 22–26 % от содержания валового железа. В дерново-глеевых почвах понижений глеевые карбонатные горизонты (особенно Gr) имеют минимальное количество аморфного железа при сопоставимом с буроземами содержанием валового. Такое явление связано с малой подвижностью железа в щелочной среде. Во всех группах изученных почв обнаружены зоны накопления оксалаторастворимого железа. Это вторично окисленные горизонты на кайме грунтовых вод или верховодки, где происходит частая смена окислительно-восстановительных условий. В периоды развития переувлажнения и восстановительных условий осуществляется мобилизация почвенного железа, а при просыхании почвы и окислительных условиях – осаждение и сегрегация. Высокие значения оксалаторастворимого железа в профиле глееватых и глеевых осушенных почв указывают на потенциальную способность части этого железа редуцироваться и мигрировать с дренажным стоком, что может быть причиной отложения охры в полостях дрен и дне водоприемников (открытых каналов).

оксалаторастворимое железо, валовое железо, буроземы, оглеение, дерново-глеевые почвы

The studies have been carried out in an arable field with contrasting soil cover on the hilly-morainic plain in the Zelenograd district of the Kaliningrad region. The content of oxalate-extractable iron has been researched by the Tamm method in the three groups of soils: brown soils on the tops of hills, gleyic soils on slopes, soddy gley soils in depressions. Soils are drained with a system of clay drainage. Loamy brown soils on tops are characterized by biogenic accumulation of oxalate-extractable (amor-

phous) iron in the arable horizon and its weak variation down the profile. In semi-terrestrial brown soils on slopes, the absolute content of oxalate-extractable iron is higher compared to the top of the hills in connection with sharply contrasting redox regimes. The amount of oxalate-extractable iron is 22 – 26 % of the gross content. In soddy gley soils of depressions, gley carbonate horizons (especially Gr) contain a minimum amount of amorphous iron with a content of gross iron comparable to that of brown soils. This phenomenon is associated with low mobility of iron in an alkaline medium. In all groups of soils under study, areas of accumulation of oxalate-extractable iron have been discovered. These are re-oxidized horizons on the edge of groundwater or upper water, where there is a frequent change of redox conditions. During the periods of development of waterlogging and reducing conditions there is a mobilization of soil iron, and at drying of the soil and oxidizing conditions, there occurs deposition and segregation. High values of oxalate-extractable iron in the profile of gleyic and gley drained soils indicate the potential ability of part of this iron to reduce and migrate with drainage flow. This may be the cause of ocher deposits in the cavities of the drains and in the bottom of the water intakes (open channels).

oxalate-extractable iron, gross iron, brown soils, gleying, soddy gley soils

ВВЕДЕНИЕ

Роль железа в кислых гумусированных почвах гумидных ландшафтов сопоставима с ролью кальция [1]. В почвоведении принято выделять группы почвенного железа: валовое, силикатное, несиликатное. Среди несиликатных соединений различают окристаллизованные, аморфные и подвижные формы. Аморфные соединения железа увеличивают уровень рН-зависимых зарядов почвенного поглотительного комплекса и фосфорфиксирующую способность почв, являются хорошим структурообразователем в кислых почвах [2, с. 12; 3, с. 180]. Ведущую роль играет аморфное железо в глееобразовании. Доказано, что результатом интенсивного развития оглеения является несбалансированный вынос железа [4]. Соотношение различных его форм в почвах служит диагностическим признаком гидроморфизма [4, 5], в связи с чем исследование почвенного железа в почвах - актуальная проблема [2, 4-10]. Выделяют аморфные соединения методом Тамма, используя оксалатный буфер [3]. При этом в вытяжку переходит как собственно аморфное, так и частично слабокристаллизованное железо. Поэтому почвоведы называют железо, выделяемое методом Тамма, оксалаторастворимым ($Fe_{окс}$).

Исследования показали, что в почвах различной степени гидроморфизма имеются определенные особенности $Fe_{окс}$. В автоморфных – это соединения железа (III), которые могут легко создавать комплексы с органическими веществами. В минеральных гидроморфных показатели оксалаторастворимого железа отражают количество железа (III), способного быстро раствориться и редуцироваться (биохимическим путем) в условиях застойного водного режима. В почвах с высоким содержанием органического вещества на значения $Fe_{окс}$ оказывает большое влияние восстановленная сера [8, 9].

Что касается Калининградской области, то изучение почвенного железа здесь находится на начальной стадии [11, 12]. Сведений о содержании аморфного железа в почвах региона нет. Целью исследования является сравнительный анализ аморфного (оксалаторастворимого) железа в осушенных почвах разной степени гидроморфизма в условиях пахотного поля.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились в Зеленоградском районе Калининградской области на ключевом участке «Перелески» (физико-географический район Самбийской холмисто-моренной равнины). Почвы осушены гончарным дренажем со сбором вод в открытые каналы. Последняя реконструкция дренажа проведена в 1975 г.

Почвенные разрезы заложены на основных элементах рельефа (вершины холмов, склоны, замкнутые понижения). Диагностика почв проведена по классификации 1977 г. [13]. Образцы почв отбирались по горизонтам. Анализ аморфного железа выполнен по методу Тамма. Параллельно изучались основные физические и физико-химические показатели [3]. Содержание валового железа определено рентгенфлуоресцентным методом. Все анализы выполнены в четырехкратной повторности. В статье представлены средние значения содержания железа.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Почвенный покров ключевого участка контрастный. Основными факторами дифференциации являются рельеф и литологические особенности (гранулометрический состав и химизм почвообразующих пород). К настоящему времени проанализированы образцы из семи разрезов. Три из них характеризуют разнообразие почв на вершинах холмов в пределах одного поля. Разрез 511 – бурозем окультуренный легкосуглинистый на моренных валунных суглинках, подстилаемых с глубины 210 см водно-ледниковыми песками. Разрез 510 – бурозем окультуренный глееватый осушенный легкосуглинистый на моренных валунных суглинках. Разрез 514 – бурозем окультуренный эродированный (среднесмытый) глееватый осушенный супесчаный на валунных супесях, подстилаемых неоднородными водно-ледниковыми отложениями (многочленный профиль). Оглеение в почвах развивается вследствие снижения коэффициента фильтрации над заиленными иллювиальными горизонтами или на контакте с тяжелой подстилающей породой.

Типичным представителем почв на склонах холмов является разрез 515 – бурозем окультуренный глееватый осушенный легкосуглинистый на валунных моренных супесях и суглинках. Весной и в сырые периоды осени в профиле ежегодно фиксируется верховодка. Почва переувлажнена намывными склоновыми водами.

В понижениях на различных участках поля было заложено три разреза (534, 522, 533). Все почвы – осушаемые дерново-глеевые на неоднородных отложениях. Они заболочены грунтовыми и намывными склоновыми водами. Глинистые и тяжелосуглинистые слои под пахотным горизонтом являются причиной ежегодного поверхностного затопления почв. В разрезе 533 до глубины 50 см встречаются крупные роренштейны.

Пахотные горизонты всех изученных почв кислые (в среднем pH_{KCl} 4,5) ввиду интенсивного применения кислых минеральных удобрений (прежде всего аммонийной селитры) и длительно не проводившегося известкования. В подпахотных горизонтах буроземов на вершинах холмов и склонах реакция среды сильнокислая, потому что породы сильно выщелочены в условиях промывного и застойно-промывного водного режима. Дерново-глеевые почвы сформировались на карбонатных породах, и поэтому в глубоких горизонтах реакция среды щелочная.

Содержание гумуса в почвах повышений и склонов варьирует в пределах 1,9 – 2,5 %. Дерново-глеевые понижения различаются по этому показателю в пахотном горизонте (0 – 20 см): в разрезе 533 – 6,7 %, в разрезах 534 и 522 – 3 – 3,5 %. Чем более длительный период поверхностного затопления, тем меньше гумуса.

Рассмотрим содержание валового и оксалоторастворимого железа в буроземах на вершинах холмов (табл. 1).

Таблица 1. Аморфное железо в буроземах на вершинах холмов

Table 1. Amorphous iron in the brown soils on the tops of hills

Разрез	Горизонт, глубина, см	Валовое железо	Аморфное железо по Тамму	Доля аморфных соединений от количества валового железа, %
511	Ап 0 - 20	3,42	0,56	16,4
	В1 30 – 55	4,20	0,43	10,2
	В2 55 - 90	4,19	0,40	9,5
	С 90 - 130	4,26	0,43	10,1
	С 130 - 150	4,50	0,42	9,3
	С 150 – 170	3,77	0,43	11,4
	С 170 - 190	3,23	0,40	12,4
	Д 210 – 240	2,18	0,10	4,6
510	Ап 0 - 20	3,43	0,55	16,0
	В1 30 – 50	4,67	0,63	13,5
	В2g' 50– 80	4,64	0,56	12,1
	В3g' 80 - 100	5,35	0,50	9,3
	Сg'' 100 - 120	4,80	0,50	10,4
	Сg'' 120 – 140	4,74	0,51	10,8
514	Ап 0 - 20	2,15	0,40	18,6
	В 30-50 песок серый	0,54	0,10	18,5
	В 30-50 песок железистый	0,77	0,28	36,4
	Д1 80-100	2,21	0,08	3,6
	Д1 100-135	3,02	0,49	16,2

Во всех почвах наблюдается биогенная аккумуляция аморфного железа. Это типично для буроземов равнинных областей [2, с. 68]. Распределение по профилю суглинистой толщи довольно ровное. Доля Fe_{окс} по отношению к валовому варьирует с глубиной незначительно, отражая особенности миграции.

Контрастное распределение железа наблюдается в слоистом профиле разреза 514. В подпахотном песчаном слое количество оксалоторастворимого железа связано с окислительно-восстановительным режимом. В слабооглеенном сером песке его меньше, чем в зоне ожелезнения над плотным слоистым пылеватым суглинком. Современный контрастный окислительно-восстановительный режим и периодическое переувлажнение вызывают мобилизацию почвенного железа и накопление именно аморфных форм. Аналогичный процесс, но менее выражен-

ный, характерен для нижней части суглинистого пласта над слоем песка (на глубине 100 – 135 см). А вот в самой толще пылеватой линзы количество $Fe_{окс}$ очень мало, что связано со слабым водообменном и преобладанием силикатного железа.

Глубина появления признаков оглеения в буроземах склонов на ключевом участке в среднем 46 см. По всему профилю почв начиная с горизонта В1 наблюдаются специфические новообразования: охристые пятна и шаровидные скопления аморфной гидроокиси железа. Периодическое ежегодное переувлажнение, контрастный окислительно-восстановительный режим (сопровождающийся оглеением большей части профиля), влияние верховодок приводят к накоплению больших количеств аморфного железа в буроземах склонов (табл. 2). Его содержание падает только в глубинных сильноглееватых горизонтах, что связано, скорее всего, с выносом проточной верховодкой.

Таблица 2. Аморфное железо в буроземах глееватых на склонах холмов
Table 2. Amorphous iron in gley brown soils on slopes

Разрез	Горизонт, глубина, см	Валовое железо	Аморфное железо по Тамму	Доля аморфных соединений от количества валового железа, %
		% Fe_2O_3		
515	Ап 0 - 20	3,60	0,80	22,2
	В1 30 – 44	3,57	0,80	22,4
	В2g" 44 – 63	3,67	0,83	22,6
	В3g'" 63 – 85	3,09	0,77	24,9
	ВСg'" 85 – 110	3,23	0,85	26,3
	Сg'" 110 – 135	3,60	0,40	11,1

Особенностью профиля дерново-глеевых почв является наличие геохимических барьеров, определяющих смены величин Eh и pH, а также пород различного состава (бескарбонатных карбонатными). Также расположение почв в замкнутых понижениях обеспечивает приток вод, содержащих железистые коллоидные соединения. Поэтому, как отмечал еще С. В. Зонн, «в пограничных зонах происходит выпадение железа, как из растворов, так и особенно вследствие коагуляции коллоидных систем, обогащенных железом» [2, с. 40]. Яркое выражено такое явление в почве разреза 522 (табл. 3).

Наиболее длительный период поверхностного затопления и переувлажнения наблюдается в почвах разрезов 534 и особенно 522. Это сопровождается глубоким анаэробиезом в гумусовом горизонте. При высыхании поверхности происходит выпадение охристых пленок аморфной гидроокиси железа на поверхности почвенных агрегатов и в полостях корневин. Поэтому гумусовые горизонты этих почв содержат высокие абсолютные количества $Fe_{окс}$ (табл. 3).

В глеевых горизонтах (особенно в карбонатных слоях) количество аморфного железа низкое. Сравнение участков с разной степенью оглеения в глинистой линзе разреза 534 показало сильную обедненность $Fe_{окс}$ сизого глея. Однако значительные различия обнаружались по количеству валового железа. При одинаковом глинистом составе илистой фракции несколько больше в породе первичного розово-красного цвета, поэтому и содержание железа там выше. В процессе оглеения происходит обезжелезнение породы, что отражается на ее окраске (морфологический признак). Значения валового железа уменьшаются.

Таблица 3. Аморфное железо в дерново-глеевых почвах понижений
Table 3. Amorphous iron in soddy gley soils of depressions

Разрез	Горизонт, глубина, см	Валовое железо	Аморфное железо по Тамму	Доля аморфных соедине- ний от количества валового железа, %
534	Апг 0 - 15	4,35	0,98	22,5
	АВг 15 – 26	4,27	0,66	15,5
	G1mr 26 – 60, сизый участок	6,41	0,15	2,3
	G1mr 30 – 50, розово-красный	9,17	0,54	5,9
	G2o 60 – 105	5,06	0,31	6,1
	G3o 105 - 150	2,44	0,08	3,3
	Cg ca, fe 150 – 165	3,57	0,07	2,0
533	Ап 0 – 10	4,26	0,64	15,0
	Апг 10 – 20	4,12	0,61	14,8
	G1 23 - 35	3,69	0,55	14,9
	G2 35 – 50	4,06	0,60	14,8
	G2 50 – 67	4,00	0,44	11,0
	G3 67 - 83	2,08	0,15	7,2
	Gr4 83 - 96	4,26	0,29	6,8
	Gr5 ca 96 – 115	2,68	0,19	7,1
	G6 ca 140 – 160	1,93	0,15	7,8
522	Апг" 0 - 10	5,07	1,00	19,7
	АВг" 10 – 30	4,53	0,91	20,1
	Bg 40 – 60	4,70	0,83	17,7
	Bfe 40 – 60	12,29	3,11	25,3
	G1ca 95 – 138	3,28	0,18	5,5
	G2r ca 138 - 145	3,20	0,16	5,0

ВЫВОДЫ

1. Для суглинистых буроземов на вершинах характерно биогенное накопление аморфного железа в пахотном горизонте и слабое варьирование его вниз по профилю.

2. В полугидроморфных буроземах склонов абсолютное содержание аморфного железа выше по сравнению с вершинами холмов в связи с резко контрастным окислительно-восстановительным режимом.

3. В дерново-глеевых почвах понижений глеевые карбонатные горизонты (особенно Gr) содержат минимальное количество аморфного железа при сопоставимом с буроземами количеством валового железа. Такое явление связано с малой подвижностью железа в щелочной среде.

4. Во всех группах изученных почв обнаружены зоны накопления аморфного железа. Это вторично окисленные горизонты на кайме грунтовых вод или верховодки, где происходит частая смена окислительно-восстановительных усло-

вий. В периоды развития переувлажнения и восстановительных условий наблюдается мобилизация почвенного железа, а при просыхании почвы и окислительных условиях – осаждение и сегрегация.

5. Высокие значения оксалаторастворимого железа в профиле глееватых и глеевых осушенных почв указывают на потенциальную способность части этого железа редуцироваться и мигрировать с дренажным стоком. Отмеченное может быть причиной отложения охры в полостях дрен и на дне водоприемников (открытых каналов).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Дюшофур, Ф. Основы почвоведения, эволюция почв (опыт изучения динамики почвообразования) / Ф. Дюшофур. – Москва: Прогресс, 1970. – 591 с.
2. Зонн, С. В. Железо в почвах / С. В. Зонн. – Москва: Наука, 1982. – 206 с.
3. Воробьева, Л. А. Химический анализ почв / Л. А. Воробьева. – Москва: Изд-во МГУ, 1998. – 272 с.
4. Зайдельман, Ф. Р. Процесс глееобразования и его роль в формировании почв / Ф. Р. Зайдельман. – Москва: Изд-во МГУ, 1998. – 316 с.
5. Schwertmann, U. Occurrence and formation of iron oxides in various pedoenvironment / U. Schwertmann // Iron in soils and clay minerals. NATO. Dordrecht: Reidel. 1988. P. 267–308.
6. Favre, F. Iron reduction and changes in cation exchange capacity in intermitently waterlogged soil / F. Favre, D. Tessier, M. Abdelmaula and at. // Eur. J. Soil Sci. 2002. V. 53. P. 175-183.
7. McKeague, J.A. Dithionite-and oxalate-extractable Fe and Al as aids in differentiating various classes of soils / J.A. McKeague, J.H. Day // Can. J. Soil Sci. 1966. V. 46. P. 13-22.
8. Водяницкий, Ю. Н. Дискуссионные вопросы интерпретации результатов химической экстракции соединений железа из почв / Ю. Н. Водяницкий, С. А. Шоба // Почвоведение. – 2014. – № 6. – С. 697–704.
9. Водяницкий, Ю. Н. Биогеохимия железа в переувлажненных почвах (аналитический обзор) / Ю. Н. Водяницкий, С. А. Шоба // Почвоведение. – 2013. – № 9. – С. 1047-1059.
10. Мотузова, Г. В. Действие растворов 0.1 н. серной кислоты, Тамма, Мера-Джексона на соединения железа в дерново-подзолистой почве / Г. В. Мотузова, А. К. Дегтярева, В. В. Морозов // Вестн. Моск. ун-та. – Серия 17. Почвоведение. – 1991. – № 1. – С. 67-72.
11. Анциферова, О. А. Железомарганцевые конкреционные новообразования в почвах западной части Калининградской области / О. А. Анциферова // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. – 2014. – № 1. – С. 73-78.
12. Анциферова, О. А. Валовое железо в почвообразующих породах и почвах Замландского полуострова / О. А. Анциферова // Геохимия ландшафтов (к 100-летию А. И. Перельмана): Всероссийская научная конференция: материалы. – Москва, 20-22 октября 2016 г. – Москва, 2016. – С. 93 – 96.
13. Классификация и диагностика почв СССР / сост. В.В. Егоров [и др.]. – Москва: Колос, 1977. – 224 с.

REFERENCES

1. Duchaufour F. *Osnovy pochvovedeniya, evolyutsiya pochv (opyt izucheniya dinamiki pochvoobrazovaniya)* [Fundamentals of soil science, evolution of soil (experience of studying dynamics of soil formation)]. Moscow, Progress, 1970, 591 p.
2. Zonn S. V. *Zhelezo v pochvakh* [Iron in soils]. Moscow, Nauka, 1982, 206 p.
3. Vorobyova L. A. *Khimicheskiy analiz pochv* [Chemical analysis of soils]. Moscow, MGU Publ., 1998, 272 p.
4. Zeidelman F. R. *Protsess gleyeobrazovaniya i yego rol' v formirovanii pochv* [The process of gleying and its role in soil formation]. Moscow, MGU Publ., 1998, 316 p.
5. Schwertmann U. Occurrence and formation of iron oxides in various pedoenvironment. Iron in soils and clay minerals, NATO, Dordrecht, Reidel., 1988, pp. 267–308.
6. Favre F., Tessier D., Abdelmaula M. and at. Iron reduction and changes in cation exchange capacity in intermittently waterlogged soil. , 2002, vol. 53, pp. 175-183.
7. McKeague J.A., Day J.H. Dithionite-and oxalate-extractable Fe and Al as aids in differentiating various classes of soils. Can. J. Soil Sci., 1966, vol. 46, pp. 13-22.
8. Vodyanitsky Yu. N., Shoba S. A. Diskussionnyye voprosy interpretatsii rezul'tatov khimicheskoy ekstraktsii soyedineniy zheleza iz pochv [Discussion questions of interpretation of the results of chemical extraction of iron compounds from soils]. *Pochvovedeniye*, 2014, no. 6, pp. 697-704.
9. Vodyanitsky, Yu.N., Shoba S.A. Biogeokhimiya zheleza v pereuvlazhnennykh pochvakh (analiticheskiy obzor). [Biogeochemistry of iron in waterlogged soils (analytical review)]. *Pochvovedeniye*, 2013, no. 9, pp. 1047-1059.
10. Motuzova G. V., Degtyareva A. K., Morozov V. V. Deystviye rastvorov 0.1 n. sernoy kisloty, Tamma, Mera-Dzheksona na soyedineniya zheleza v dernovo-podzolistoy pochve [The action of 0.1 n. solutions of sulfuric acid, Tamm, Mera-Jackson on iron compounds in sod-podzolic soil]. *Vestn. Mosk. un-that.*, ser. 17, *Pochvovedeniye*, 1991, no. 1, pp. 67-72.
11. Antsiferova O. A. Zhelezomargantsevyye konkretnyye novoobrazovaniya v pochvakh zapadnoy chasti Kaliningradskoy oblasti [Ferromanganese nodules in soils of the western part of the Kaliningrad region]. *Vestnik Baltiyskogo federal'nogo universiteta im. I. Kanta*, 2014, no. 1, pp. 73-78.
12. Antsiferova O. A. Valovoye zhelezo v pochvoobrazuyushchikh porodakh i pochvakh Zamlandskogo poluostrova [Gross iron in parent rocks and soils of the Zamland Peninsula]. *Materialy Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii «Geokhimiya landshaftov (k 100-letiyu A.I. Perel'mana)»* [Materials of the All-Russian scientific conference "Geochemistry of landscapes (on the 100th anniversary of A.I. Perelman)"], Moscow, 2016, pp. 93-96.
13. *Klassifikatsiya i diagnostika pochv SSSR* [Classification and diagnostics of soils of the USSR]. Sost. V. V. Egorov i dr. Moscow, Kolos, 1977, 224 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Анциферова Ольга Алексеевна – Калининградский государственный технический университет; кандидат сельскохозяйственных наук, доцент;
E-mail: anciferova@inbox.ru

Antsiferova Olga Alekseevna – Kaliningrad State Technical University;
PhD in Agricultural Sciences, Associate Professor; E-mail: anciferova@inbox.ru

УДК 631.4

МОРФОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ И КЛАССИФИКАЦИОННАЯ
ПРИНАДЛЕЖНОСТЬ ПОЧВ МОРСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ В ОКРЕСТНОСТЯХ
ПОСЕЛКА ГОРОДСКОГО ТИПА ЯНТАРНОГО

О. А. Анциферова, О. Ю. Чиянова

MORPHOLOGICAL STRUCTURE AND CLASSIFICATION OF SOILS
BELONGING TO THE SEA COAST IN THE VICINITY
OF THE SMT. YANTARNYY

O. A. Antsiferova, O. Yu. Chiyanova

Исследования проведены в 2008 – 2018 гг. в лесопарковой зоне, расположенной вдоль побережья Балтийского моря в пгт. Янтарном Янтарного городского округа Калининградской области. Было изучено восемь почвенных разрезов глубиной 160 – 250 см. Впервые установлено, что почвенный покров зеленой зоны является неоднородным и разновозрастным. Причины почвенной неоднородности: 1) литологический фактор (пласты пылеватых суглинков в толще супесчано-песчаных водно-ледниковых пород); 2) эрозионный фактор – переотложение пород в процессе водной и ветровой эрозии; 3) антропогенный фактор – техногенная деятельность по перемещению почвогрунтов. Влияние второго и третьего факторов приводит к разрушению и омолаживанию почв в результате формирования аккумулярованных (стратифицированных) слоев, под которыми иногда сохраняются исходные почвы. Так сформировались стратоземы и урбиквазиземы (по терминологии классификации 2004 г.). Проведен анализ морфологического строения и классификационной принадлежности почв. Толщина стратифицированных слоев составляет 55 – 130 см, максимально 180. Мощные гумусовые горизонты (55 – 80 см) обнаружены именно в насыпных или намывных почвах. Естественно развивающиеся почвы имеют гумусовые горизонты мощностью 10 – 30 см. Современные природные и погребенные почвы являются буроземами (с подразделениями на собственно буроземы и ржавоземы по классификации 2004 г.). Мощность гумусовых горизонтов погребенных почв 20 – 30 см. Буроземообразование является результатом развития почв в приморском климате. Бедность супесей и песков илистой фракцией, промывной тип водного режима и эрозионные процессы приводят к формированию слабых признаков оподзоливания в гумусовом горизонте некоторых буроземов. По классификации 1977 г. изученные почвы относятся к двум подтипам буроземов и группе искусственно аккумулярованных и переотложенных почв. Диагностика согласно классификации 2004 г. выявляет группы постлитогенного почвообразования (буроземы, ржавоземы) и синлитогенного (стратоземы). Отдельную группу составляют поверхностные техногенные образования – квазиземы.

буроземы, ржавоземы, стратоземы, урбиквазиземы, почвенный покров

The studies were conducted in 2008 – 2018 in the parkland located along the Baltic sea coast in the smt. Yantarnyy of Yantarnyy urban district of the Kaliningrad region. Eight soil profiles with a depth of 160 – 250 cm were investigated. For the first time it was established that the soil cover of green zone is heterogeneous and various-aged. The causes of soil heterogeneity: 1) lithological factor (layers of silty loams in the thickness of sandy loam water-glacial rocks); 2) erosion factor – redeposition of rocks in the process of water and wind erosion; 3) anthropogenic factor – anthropogenic activities for the movement of soils. The influence of the second and third factors leads to the destruction and rejuvenation of soils as a result of the formation of accumulated (stratified) layers, under which the original soils are sometimes stored. They formed stratozyoms and urbiquazizyoms (terminology classification, 2004). The analysis of morphological structure and classification of soils has been carried out. The thickness of stratified layers is 55 – 130 cm, maximum - is 180 cm. Thick humus horizons (55 – 80 cm) are found in bulk or deluvial soils. Naturally developing soils have humus horizons with a capacity of 10 – 30 cm. Modern natural and buried soils are brown soils – forest brown soils (divided into brown soils and rzhavozyoms according to the classification of 2004). The thickness of the humus horizons of buried soils is 20 – 30 cm. Formation of forest brown soils is the result of the development of soils in the coastal climate. The lack of silt fraction in sands and sandy loams, washing type of water regime and erosion processes lead to the formation of weak signs of podzolization in the humus horizon of some brown soils. According to the classifications of 1977, the soils under study belong to two subtypes of forest brown soils and bunch of artificially accumulated and redeposited soils. The diagnostics according to the classification of 2004 has found the groups of postlitogenic soil formation (brown soils and rzhavozyoms) and sinlitogenic soil formation (stratozyoms). A separate group consists of surface technogenic formations – quazizyoms.

forest brown soils, rzhavozyoms, stratozyoms, urbiquazizyoms, soil cover

ВВЕДЕНИЕ

Исследование почв в условиях урбанизации актуально во всем мире ввиду осознания важности их экосистемных услуг, влияния техногенеза, проблемы эмиссии парниковых газов [1-5]. Морфологическое описание почв является начальным и важным этапом ее исследования. Почвенный покров старых парков Калининградской области обычно включает ареалы как природных, так и антропогенно-преобразованных почв [6]. Актуальность исследования почв приморских зеленых зон состоит в раскрытии особенностей их формирования, выявлении путей эволюции и оценке современного состояния для решения фундаментальных и прикладных вопросов урбопедогенеза.

Цель исследования: изучить строение и классификационную принадлежность почв на участке морского побережья в окрестностях пгт. Янтарного в зоне потенциального воздействия абразии.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектом исследования явилась зеленая зона, расположенная вдоль абразионно-аккумулятивного побережья Балтийского моря в пгт. Янтарном Калининградской области (парк им. М. Беккера и березовая роща южнее).

Работа является продолжением научных исследований почвенного покрова морского побережья [7]. Строение почв изучали в разрезах глубиной 160 - 250 см. Морфологическое описание проводили согласно принятой в отечественном почвоведении системе [8]. Для сравнения приведены индексы горизонтов по классификации 1977 [9] и 2004 гг. [10]. При названии антропогенно преобразованных почв использовалась система разделения переотложенных и искусственно аккумулятивных почвогрунтов [9, с. 214], систематика отдела стратоземов [10, с. 250] и техногенных поверхностных образований (ТПО).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Согласно физико-географическому районированию территория исследования относится к Самбийской возвышенности. Дочетвертичные отложения представлены в основном неогеновыми песками [11, с. 34-35; 54]. Глубже залегают палеогеновые породы с включением янтаря (Приморское месторождение). Почвообразующими породами в парковой зоне явились верхневалдайские водноледниковые отложения (пески и супеси, местами с подстилянием глинами) [11, с. 42, 54].

Нами было изучено восемь разрезов в 2008 – 2009 гг. (рисунок). При описании сохранена авторская нумерация О. А. Анциферовой.

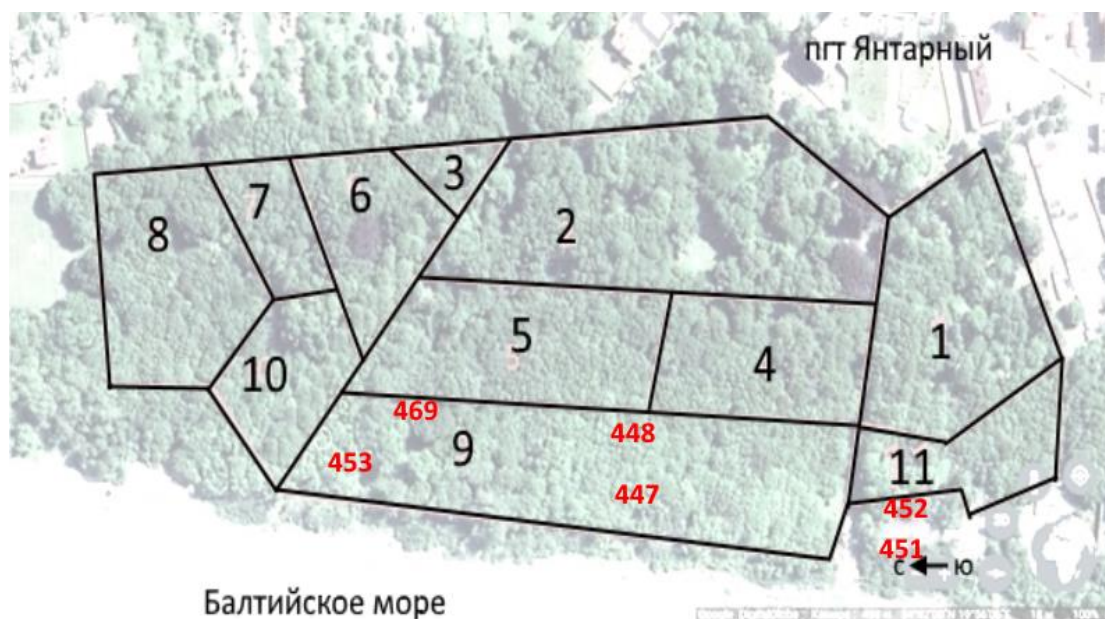


Рис. Современная схема зон и расположение разрезов в парке им. М. Беккера
 Fig. Modern scheme of zones and location of sections in the M. Becker park

2008 год. Парк им. М. Беккера. Разрез 447. Заложен в пяти метрах от абразионного берега. Растительность: клен остролистный с редкой примесью березы, сосны обыкновенной. Травянистый ярус из райграса высокого и полевицы с примесью герани Роберта, сныти, ежи сборной, гравилата городского, купыря лесного, общее проективное покрытие (ОПП) 100%.

Горизонт		Глубина, см	Морфологические признаки
1977	2004		
A ₀	O	0 - 1	Маломощная подстилка, почти полностью разложившаяся, местами фрагментарная.
A ₁	A _Y ur	1 – 15	Темно-буровато-серый, супесчаный, влажный, бесструктурный, рыхлый, корни, артефакты (округлые фрагменты железных оплавленных осколков), мелкие рассеянные камни, переход заметный.
A ₁ B	R _Y tur	15 - 50 (60)	Антропогенный горизонт, буровато-серый, супесчаный, свежий, от уплотненного до сильно уплотненного, бесструктурный, весь горизонт пронизан антропогенными включениями: осколки кирпича, фрагменты округлых железных корродирующих (окисленных) огарков, шлака, фрагменты желтого песка из нижележащего горизонта, горизонт является перемешанным (турбированным), корневины, живые корни, камни, переход ясный, граница сильно волнистая.
B	R(B) tur	50(60)-100	Неоднородной окраски: по светло-желтому песчаному фону гумусированные фрагменты из верхних горизонтов, корневины, охристые пятна и прожилки, светло-серые фрагменты слабо цементированной супеси и пылеватого суглинка из нижележащего горизонта, корни, камни, уплотнен, бесструктурный, влажный, переход по цвету и гранулометрическому составу ясный, местами резкий.
D ₁ гк	D ₁ гса	100 -145(147)	Горизонт контактно-оглеенный, окраска неоднородная: по сизовато-светло-серому фону ржавые пятна, пылеватый средний суглинок, влажный, сильно уплотненный и плотный, ржавые прожилки по ходам корней, корни, корневины, линзы песчаного материала, горизонт распадается на ореховатые и глыбистые отдельности, мелкопористый, книзу белые осколки карбонатов.
D ₂ к	D ₂ са	145(147) -190	Слоистые водно-ледниковые отложения.
		147 - 160	Прослойка песка светло-желтого цвета; песок слоистый с микрослоями супеси серой и светло-ржавой окраски (по границе со следующей прослойкой), плоские осколки песчаника, слой влажный, уплотнен по границе с сильно уплотненным, вскипает от HCl.
		160 - 180	Светлый желтовато-сероватый мелкий песок, влажный, сильно уплотнен, косослоистый, рассеянные ржавые пятна, светло-желтые прослойки песка, вскипает от HCl, редкие корни и корневины, переход четкий.
		180 - 190	Серовато-белесый мелкий песок, слоистый, влажный, уплотнен, бесструктурный, вскипает от HCl, редкие корни и корневины.

Почва: 1) по 1977 г.: искусственно аккумулятивная гумусированная среднemocная супесчаная на слоистых карбонатных водно-ледниковых отложениях; 2) по 2004 г.: техногенное поверхностное образование - урбиквализем серогумусовый супесчаный на слоистых карбонатных водно-ледниковых отложениях.

2008 год. Парк им. М. Беккера. Разрез 448. Заложено в понижении в 27 м к востоку от разреза 447. Растительность: клен остролистный, единично сосна, молодой подрост клена остролистного (20-40 см), единично бузина черная. Травянистый ярус: снить с примесью гравилата городского, ОПП 90-96%, местами 70%.

Горизонт		Глубина, см	Морфологические признаки
1977	2004		
A ₀	O	0 - 1	Маломощная лесная подстилка.
A ₁	A _{Yur}	1 - 80	Бурый гумусовый горизонт, супесчаный, влажный, бесструктурный, сверху до 15 см рыхлый, книзу уплотнен, пронизан корнями, черви, редкие осколки кирпича, черные древесные угольки до глубины 50 см, мелкие камни, книзу горизонта встречаются мелкие фрагменты желтого песка, корневины, червороины, переход заметный по цвету, граница волнистая.
[A]	[A]	80-100 (95)	Темнее предыдущего, темно-серо-бурый, гумусовый горизонт погребенной почвы, влажный, супесчаный, связная супесь, уплотнен, структура не выражена, местами непрочные глыбки, горизонт хорошо выделяется не по всем стенкам, редкие черви, древние кротовины, заполненные желто-буроватым материалом, форма округлая; фрагменты желтого песка из нижележащего горизонта, корни, корневины, нематоды, переход ясный, граница волнистая, включения камней.
[B ₁]	[B ₁]	100 (95)- 116(112)	Окраска неоднородная, коричневато-желтая, гумусированные участки и вертикальные буроватые корневины, горизонт супесчаный, охристые пятна, округлые кротовины, заполненные серовато-буроватым материалом, камни, корни, переход постепенный.
[B ₂]	[B ₂]	116(112) - 130	Неоднородной окраски: темно-желтоватый с охристыми пятнами, песчаный и супесчаный, слабо уплотнен, бесструктурный, корни, камни (в основном окатанные), переход заметный.
[BC]	[BC]	130 - 150	Желтый с темно-желтыми и охристыми пятнами, среднезернистый рыхлый песок, влажный, редкие корни и корневины, включения камней (песчаники окатанные и неокатанные), переход ясный.
Ск	Сса	150 - 170	Белесоватый песок, влажный, рыхлый, местами уплотнен, вертикальные охристые прожилки от корневин, вскипает от НС1.

Почва: 1) по 1977 г.: искусственно аккумулятивная среднечеткая гумусированная супесчаная на погребенном буроземе супесчаном; 2) по 2004 г.: поверхностное техногенное образование - урбиквазим серогумусовый супесчаный на погребенной почве (буроземе супесчаном).

2008 год. Парк им. М. Беккера. Разрез 451. Заложено на повышении в 20 м от края абразионного берега. Растительность: клен остролистный (в том числе старые посадки и молодой самосев), береза. В подлеске снежноягодник, лещина, крушина. Травянистый ярус: гравилат, реже будра плющелистная, сныть обыкновенная, герань Роберта, ОПП 60-80%.

Горизонт		Глубина, см	Морфологические признаки
1977	2004		
A ₀	O	0 - 1	Маломощная лесная подстилка.
A ₁ (A ₁ A ₂)	A _Y	1-10(12)	Темно-буро-серый со слабо выраженной присыпкой кремнезема, супесчаный, пронизан корнями, рыхлый, бесструктурный, переход ясный, граница волнистая.
B ₁	B _{FM1}	10(12) - 40	Серовато-светло-коричневый, связнопесчаный, пронизан корнями трав и деревьев, корневины, горизонт бесструктурный, влажный, слабо уплотнен, переход ясный.
B ₂	B _{FM1}	40 - 60	Светло-коричневый, песчаный, бесструктурный, влажный, слабо уплотнен, корни, бурые корневины, переход постепенный.
C	C	60 - 180	Коричневато-желтый, песчаный, бесструктурный, влажный, слабо уплотнен, тонкие рассеянные корни, бурые корневины, горизонт имеет слоистое сложение, на глубине 110 см слабо выражена светло-коричневая прослойка толщиной 1 см, глубже заметны более светлые слои, переход четкий, граница слабоволнистая.

[A]	[A]	180 - 210	Погребенный гумусовый горизонт коричневый (бурый), связно-песчаный, влажный, уплотнен, бесструктурный, мелкие камни, единично встречаются артефакты (осколок керамики и фрагмент кости), редкие корни, переход четкий, граница волнистая.
[B]	[B]	210 - 235	Иллювиальный горизонт погребенной почвы, темно-желтый с коричневатым оттенком, песчаный бесструктурный, влажный по границе со свежим, редкие корни, корневины, переход заметный.
C	C	235 - 250	Желтый песчаный, бесструктурный, слабо уплотнен, влажный.

Почва: 1) по 1977 г.: бурозем (бурая лесная) поверхностно-слабооподзоленный супесчаный на песках с глубоким залеганием погребенной почвы; 2) по 2004 г.: ржавозем супесчаный на песках с погребенной почвой.

2008 год. Парк им. М. Беккера. Разрез 452. Заложен в нижней части пологого склона крутизной около 2° в 15 м к северо-востоку от разреза 451. Растительность: клен остролистный, в том числе старые посадки и молодой самосев, липа; подрост клена, реже липы. В подлеске снежногодник, лещина. Травянистый ярус: сныть, герань Роберта, ежа сборная, ОПП 40%.

Горизонт		Глубина, см	Морфологические признаки
1977	2004		
A ₀	O	0 - 1	Маломощная фрагментарная лесная подстилка.
A ₁	AУ (RY)	1 - 55 (60)	Темно-бурый в слое 0-30 см, глубже немного светлее, супесчаный, рыхлый, пронизан корнями трав и деревьев, бесструктурный, свежий, включения гранитных камней (разной величины, редко окатанных), к низу фрагментны светло-желтого песка.
[B ₁] (fh)	[BFM1]	55(60)-75(70)	Светлее предыдущего, коричневатый, с участками темно-бурого цвета, слабо уплотнен, свежий, мелкие камни, гравий, горизонт связнопесчаный, свежий, корни, темно-бурые корневины, переход заметный.
B ₂ (f)	[BFM2]	75(70)-96	Связнопесчаный, коричневато-желтый, местами слабо сцементированный, свежий, бесструктурный, темно-серые и бурые корневины, живые корни деревьев, много камней, переход ясный, граница волнистая. Слои водно-ледниковых отложений:
BCf	BCf	96 - 105	Палево-ржавая прослойка, песчаная, свежая, бесструктурная, слабо уплотнена, гравелистая, тонкие корни, корневины, переход ясный.
C ₁	C ₁	105 - 130	Песчаный, желтоватый (светло-желтый), гравелистый, уплотнен, свежий, бесструктурный, переход четкий.
Cf (C ₂)	Cf (C ₂)	130 - 143	По характеристикам аналогичен BCf, но более светлого цвета, слоистый, слои светло-ржавые, темно-желтые с ржавым оттенком, редкие живые корни, переход ясный.
C _{3к}	C _{3са}	143 - 154	Карбонатный гравийник, вскипает от HCl, уплотнен, бесструктурный, влажный, редкие корни, переход четкий.
C _{4к}	C _{4са}	154 - 160	Белесовато-желтоватый песок, вскипает от HCl, влажный, бесструктурный, включения камней и гравия, редкие корни и корневины. Горизонт глубже сменяется гравелистой карбонатной прослойкой

Почва: 1) по 1977 г.: намытая супесчаная на буроземе иллювиально-железистом на слоистых водно-ледниковых отложениях; 2) по 2004 г.: стратозем серогумусовый супесчаный на погребенном ржавоземе.

На участке закладки разрезов 451 и 452 в 2009 г. построили кафе Беккер. Поэтому в настоящее время описанные почвы полностью разрушены.

2008 год. Парк им. М. Беккера. Разрез 453. Описание обнажения вертикальной стенки оврага. Растительность: а) древесный ярус - разреженно клен

остролистный; б) подлесок – боярышник; в) травянистый ярус: ежа сборная с примесью ежевики, ОПП 100%.

Горизонт		Глубина, см	Морфологические признаки
1977	2004		
A ₁	AУ	0 - 30	Гумусовый горизонт бурого цвета, сверху дернина мощностью 5-6 см, легкосуглинистый по границе с супесью, слабо уплотнен, влажный, непрочный-комковатый, пронизан корнями, корневины, черви, включения камней, переход заметный.
B	ВМ	30-55(60)	Светлее предыдущего, коричневатый (буроватый), пронизан тонкими вертикальными корнями, темно-серые корневины, мелкие ржавые пятнышки, горизонт супесчаный, структура не выражена, уплотнен, включения камней, валунов, переход постепенный.
BC	BC	55(60)-80	Светлее предыдущего, коричневатый с ржавыми пятнами, супесчаный, влажный, бесструктурный, тонкие корни, корневины, переход ясный по цвету и гранулометрическому составу.
D _{1гк}	D _{1гса}	80 - 90 (100)	Сизовато-серый, контактно-глееватый, суглинистый, призматическая структура в подсохшем состоянии на стенке обнажения, вскипает от HCl, уплотнен, ржавые прожилки и участки, тонкие корни, редко включения камней, переход ясный по гранулометрическому составу.
D _{2к}	D _{2са}	90(100)-250	Светло-серый пылеватый суглинок, местами глина, по большей части плотный (твердый), местами сильно уплотнен, светло-ржавые прожилки, суглинок разбит вертикальными трещинами, в том числе по корневинам (ходам корней), структура листоватослоистая, отдельные на стенке оврага имеют плоскую форму, в горизонте видны тонкие корневины, редкие тонкие корни, редкие включения мелких камешков, горизонт вскипает от HCl (карбонатный), на стенке обнажения заметны выцветы солей, местами линзы белесого песка. Глубже 250 см вскрывается сизо-серый суглинок или глина.

Почва: 1) по 1977 г.: бурозем легкосуглинистый (глубоко контактно-глееватый) с подстилкой карбонатными водно-ледниковыми суглинками и глинами; 2) по 2004 г.: бурозем легкосуглинистый (глубоко контактно-глееватый) с подстилкой карбонатными водно-ледниковыми суглинками и глинами.

2009 год. Разрез 462. Заложен в березовой роще южнее парка им. М. Беккера. Микрорельеф неоднородный, антропогенный (чередование насыпей и ям). Разрез заложен на ровном участке. Растительность: а) древесный ярус: береза, единично дуб; б) подрост: береза, бук, осина, клен остролистный (подрост молодой за исключением березы); в) подлесок: рябина, малина, ежевика, единично молодая поросль боярышника; г) травянистый ярус: фон - злаки (мятлик с примесью душистого колоска, норичника шишковатого, одуванчика, мышиного горошка, купыря лесного, чины, тысячелистника, на более уплотненных местах – куртинки клевера ползучего), ОПП 90%.

Горизонт		Глубина, см	Морфологические признаки
1977	2004		
Ad	AУ	0 – 4	Дернина серая, супесчаная, влажная, рыхлая.
A ₁ A ₂	AУ	4 - 22(25)	Серый с бурым оттенком, слабо уплотнен до рыхлого по кротовинам, пронизан корнями древесными и травянистыми, горизонт супесчаный по границе со связным песком, бесструктурный, влажный по границе со свежим, редкие черви, местами в горизонте встречаются фрагменты горизонта B, общая кремнеземистая присыпка, включения мелких камней (единичные алевролиты), переход ясный по цвету, граница волнистая.

B ₁ (fh)	BFM1	22(25) – 56(69)	Горизонт неоднородной мощности, буровато-коричневый с кро- товинами серого цвета, связно песчаный, среднезернистый, бес- структурный, влажный, слабо уплотнен, пронизан древесными и травянистыми корнями, единичные черви, включения мелких камней и валунчиков, переход заметный по цвету, граница силь- но волнистая.
B ₂	BFM2	56(69) – 95(99)	Свежее предыдущего, светло-коричневый, слабо уплотнен, влажный, среднезернистый песок, тонкие живые корни, серые корневины, рассеянные редкие включения камней, переход за- метный, местами постепенный, граница волнистая.
BC	BC	95(99) – 128(130)	Коричневато-темно-желтый, светлее предыдущего, в верхней части слабо уплотнен по границе с уплотненным, а в нижней части на границе с горизонтом С до сильноуплотненного и цвет коричнево-желтый, влажный, песчаный, среднезернистый, в нижней части с гравием, редкие тонкие живые корни, темно- серые включения слюдистой цементированной супеси, черные корневины, на границе с горизонтом С геохимический барьер с образованием цементированных коричневых и охристых про- слоев, местами корочки, переход четкий, граница ровная.
C	C	128(130) – 183	Белесый, слоистый, мелкозернистый песок с коричневатыми прослойками (псевдофибрами) толщиной 1 см, прослойки слабо цементированы на фоне бесструктурного вмещающего песка, горизонт уплотнен, влажный, редкие корни и корневины.

Почва: 1) по 1977 г.: бурозем (бурая лесная) поверхностно-слабо-оподзо- ленный супесчаный на водно-ледниковых песках; 2) по 2004 г.: ржавозем супес- чаный.

2009 год. Разрез 463. Заложен в березовой роще южнее парка им. М. Бек- кера; расположен в 26 м к западу от разреза 462, в 10 м от обрывистого абразион- ного берега. Микрорельеф антропогенный (канавки, насыпи, поверхностные нарушения почвы). Растительность: а) древесный ярус: береза, очень разрежен- ная; б) на открытых участках местами кусты шиповника морщинистого и молодая поросль дуба; в) травянистый покров: злаки (райграс высокий, мятлик).

Горизонт		Глубина, см	Морфологические признаки
1977	2004		
Ad	AУ	0 – 4	Уплотненная дернина, густо пронизана корнями, свежая, серая, супесчаная, бесструктурная, хорошо отслаивается от нижележа- щего горизонта.
A ₁	AУ	4 - 14(18)	Супесчаный, светло-серый, с фрагментами коричневатого цвета нижнего горизонта, пронизан корнями, свежий, бесструктурный, связнопесчаный, уплотнен, книзу более уплотнен, редкие черви, переход ясный, граница волнистая.
BC	R	14(18) -106	Намытый почвогрунт, светло-коричневый, песчаный, в толще горизонта наблюдаются более темные (коричневые) горизон- тальные полосы шириной 3-4 см с размытыми краями, горизонт влажный по границе со свежим, бесструктурный, уплотненный, по кротовинам рыхлый, живые корни трав, редкие корневины, переход четкий, граница ровная.
[A]	[A]	106 - 120	Гумусовый горизонт погребенной почвы, бурый, уплотнен, влажный, супесчаный, бесструктурный, тонкие корни трав, ред- кие черные корневины, включения редких мелких камней, включения, черные древесные угольки, переход четкий, граница ровная.
[B _f]	[BF]	120 - 146	Светло-коричнево-охристый, уплотнен, песчаный, влажный, бесструктурный, включения гравия, редкие тонкие корни, мел- кие редкие камни, переход постепенный.

[BC]	[BC]	146 - 168(170)	Светлее предыдущего, светло-коричневый с ржавым оттенком, рыхлый, среднезернистый песок с крупнозернистой примесью, горизонт влажный, бесструктурный, переход ясный, граница ровная.
C	C	168(170) - 184	Светло-желтый, бесструктурный песок, влажный, редкие мелкие камни окатанные.

Почва: 1) по 1977 г.: искусственно аккумулятивная мощная супесчано-песчаная на погребенном буроземе супесчаном; 2) по 2004 г.: стратозем серогу-мусовый супесчано-песчаный на погребенной почве (ржавоземе супесчаном).

2009 год. Разрез: 469. Парк им. Беккера. Разрез заложен на ровном участке в 24 м к востоку от колодца у вершины оврага. Микрорельеф антропогенный волнистый. Растительность: а) древесный ярус: клен остролистный с примесью старых деревьев ясеня; единично береза, ель; б) подрост: обильный из клена остролистного возрастом 1 - 2 года, высотой до 60 см; в) подлесок: разреженный из бузины черной и лещины; г) травянистый ярус: сныть, плющ обыкновенный, чистяк весенний с примесью купыря лесного, гравилата городского, яснотки пурпурной, гери лесной, мятлика обыкновенного, ежи сборной, ОПП 95-100%.

Горизонт		Глубина, см	Морфологические признаки
1977	2004		
A ₀	O	0 - 1	Маломощная фрагментарная подстилка из прошлогоднего опада клена остролистного.
A ₁	A _Y	1 - 15	Темно-серый с буроватым оттенком, густо пронизан корнями, супесчаный, влажный, рыхлый, бесструктурный, с отдельными зачатками комковатой структуры, черви, мелкие камни рассеянные, переход постепенный.
A ₁	R _Y	15 - 48 (42, 53)	Характеристики сходны с предыдущим горизонтом, но цвет немного светлее, включения камней, переход ясный, граница сильно волнистая.
BC	R ₁	48 - 75 (60, 80)	Искусственно аккумулятивный горизонт неоднородной мощности, серый, влажный, супесчаный с буроватым оттенком, бесструктурный, слабо уплотнен, корни, корневины темно-коричневые, редкие черви, включения мелких рассеянных камней и гравия, переход ясный, граница сильно волнистая, местами карманная.
BC _g	R _{2g}	75 - 91	Насынный слой, светло-серый с сизоватым оттенком слабо оглеения, горизонт песчаный, влажный, слабо уплотнен, вертикальные коричневые корневины, тонкие корни (в том числе древесные), переход заметный.
CD _g	TUR _g	91 - 130	Насынный турбированный горизонт, светло-серый мелкозернистый песчаный с сизоватым оттенком оглеения (горизонт слабо глееватый), слоистый (слои не резко отличаются по цвету, косые и горизонтальные, серовато-белесые и светло-серые), многочисленные светло-сизые включения неправильных очертаний из материала среднего и тяжелого суглинка, коричневые корневины, ржавые пятна, тонкие живые корни, горизонт бесструктурный и слабоуплотненный в песчаной породе, уплотненный и ореховатый по суглинистым фрагментам, местами включения камней (алевролиты) и гравия из гранитов и полевых шпатов, переход ясный по сложению и цвету, граница волнистая.
C	C	130 - 200	Рыхлый среднезернистый серовато-белесый песок с линзами мелкозернистого песка из предыдущего горизонта, в нижней части местами каменистый и гравелистый с обилием алевролитов, единично линзы желтоватого песка, горизонт влажный, бесструктурный.

Почва: 1) по 1977 г.: искусственно аккумулятивная гумусированная мощная глубокоглееватая супесчано-песчаная (участок засыпки вершины оврага);

2) по 2004 г.: поверхностное техногенное образование – урбиквазизем серогумусовый супесчаный.

Преобладающее распространение на изученной территории имеют песчаные почвообразующие породы водно-ледникового генезиса. Поэтому почвы, образующиеся на таких породах, подвержены эрозионным процессам (развеванию, размыву). В одном разрезе обнаружены слоистые карбонатные песчано-гравийные отложения, образовавшиеся в зонах активного сброса ледниковых вод. В разрезе 447 вскрыт прослой пылеватого карбонатного суглинка толщиной 45 см. Этот пласт уже в 200 м к северу от указанного разреза имеет мощность более 150 см (разрез 453). Именно в данной карбонатной пылеватой суглинистой (местами глинистой) толще располагается старый овраг. Следовательно, все породы на территории парка потенциально эрозионно опасны.

По результатам исследования проведен анализ морфологического строения и классификационной принадлежности почв (таблица).

Таблица. Характеристики почвенных профилей

Table. Characteristics of soil profiles

Признаки	Разрезы							
	447	448	451	452	453	462	463	469
Условно естественные профили	-	-	+	-	+	+	-	-
Стратоземы и ТПО	+	+	-	+	-	-	+	+
Мощность стратифицированной толщи, см	100	80	180	55	-	-	106	130
Мощность A1*, см	15	80	10(12)	55(60)	30	22(25)	14(18)	48
Признаки	Разрезы							
	447	448	451	452	453	462	463	469
Мощность [A]**, см	-	20(15)	30	-	-	-	26	-

* – общая мощность современной гумусированной толщи (более 1% органического углерода), ** - гумусовый горизонт погребенных почв

Современные почвы по классификации 1977 г. относятся к двум группам:

1) тип бурые лесные (буроземы): а) подтип кислые оподзоленные, род обычные (разрезы 451, 462); б) подтип слабонасыщенные, род остаточно-карбонатные (разрез 453);

2) группа искусственно аккумулятивных и переотложенных почвогрунтов с подразделениями в зависимости от гумусированности, мощности, степени оглеения (разрезы 447, 448, 452, 463, 469).

По классификации 2004 г. выделяются четыре классификационные группы:

1) тип буроземы в отделе структурно-метаморфических, стволе постлитогенных почв (разрез 453);

2) тип ржавоземы в отделе железисто-метаморфических, стволе постлито-генных почв (разрезы 451, 462);

3) тип стратоземы серогумусовые в отделе стратоземы, стволе синлитогенных почв (разрезы 452, 463);

4) группа квазиземы (подгруппа урбиквазиземы) в поверхностных техногенных образованиях (разрезы 447, 448, 469).

Почвенный покров изученной территории является антропогенно-преобразованным. Только три из восьми профилей можно считать условно естественно-сформировавшимися почвами (отсутствуют насыпные и намывные слои, признаки техногенной турбации, массовые включения артефактов).

Пять профилей (63% от общего количества разрезов) имеют стратифицированные слои, связанные как с водной эрозией, так и с антропогенным перемещением грунта в ходе засыпки различных ям, окопов, канав, верховья оврага. При этом в обследование не вошли участки прокладки линейных коммуникаций и дорожки аллей, а также газоны и цветники парка им. М. Беккера.

Мощность стратифицированной (насыпной или намывной) толщи варьирует от 55 до 130 см и в среднем составляет 94 см. Фактически и в разрезе 451 песчаный слой мощностью 180 см над погребенной почвой тоже является стратифицированной толщиной, на которой развивается современная почва. Исходя из этого следует заключить, что на урбанизированных территориях и в лесопарках, примыкающих к ним, глубина заложения разрезов при почвенном обследовании должна быть не менее 2 м. При определении систематического положения почв по классификации 2004 г. возникают некоторые трудности. Так, в отделе стратозем имеется подтип урбистратифицированных без разъяснения правил его диагностики. В то же время в группе квазизем выделяется подгруппа урбиквазизем, которая почти соответствует урбаноземам по систематике городских почв М. И. Герасимовой и М. Н. Строгановой [5]. В связи с этим при диагностике мы руководствовались морфологией: при наличии большого количества артефактов и/или турбированного (перемешанного разнокачественного) материала в стратифицированных горизонтах мощностью свыше 40 см относили такие почвы к поверхностным техногенным образованиям – урбиквазиземам (разрезы 447, 448, 469). Отсутствие артефактов и слоистая (преимущественно горизонтальная) толщина указывают на водную аккумуляцию наносов. Такие образования мы характеризовали как стратоземы (разрезы 452, 463). Очень большая мощность песчаного наноса в разрезе 451 и хорошо выраженный профиль молодого бурозема в верхней части дали основание для диагностики этого разреза как самостоятельно развивающейся почвы в последние столетия без постоянного привноса материала (что характерно для стратозем).

Современное почвообразование развивается преимущественно под лиственной древесной растительностью [7] с подлеском и травянистым ярусом. В таких условиях ведущим направлением является буроземообразование в гумидных условиях изученной части региона (приморский климат).

Гумусовый горизонт почв сильно различается по мощности: от 10 – 14 см в молодых почвах (буроземах) на водно- и эолово-аккумулятивных песках до 48 – 80 см на участках гумусированных засыпок или намывания материала при водной эрозии.

В почвах отсутствует элювиальный (подзолистый) горизонт. Признаки оподзоливания в форме белесой кремнеземистой присыпки обнаруживаются в гумусовом горизонте буроземов на рыхлых супесчаных породах.

Железисто-метаморфический горизонт в буроземах (ржавоземах) развит слабо, также как и иллювиально-гумусовые процессы.

Ввиду преимущественного распространения песчаных и супесчаных рыхлых пород почвы имеют хорошие фильтрационные свойства. Исключение составляют участки с подстиланием плотными пылеватыми карбонатными суглинками и глинами. Здесь возникает застой гравитационной влаги на более тяжелой породе и развивается контактное оглеение (разрезы 447, 453). В разрезе 469 имеется оглеенный материал, перемещенный при засыпке в верховье оврага.

Погребенные почвы обнаружены в трех разрезах. Давность их перекрытия осадочными породами, по-видимому, различна. Исходя из реконструкции эволюции почв и судя по растительности на территории парка им. М. Беккера [7] можно предположить, что причиной раннего цикла развития эрозионных процессов (развевание, смыв, размыв) на побережье явилось уничтожение лесной растительности еще в I-III вв. нашей эры в связи с разработкой янтарных месторождений и образованием поселений. В последующем при формировании парковой зоны также имели место нарушения почвенного покрова. Военные действия в период 1945 г. сопровождалась образованием воронок, окопов, уничтожением древесной растительности, активизацией эрозионных процессов. Впоследствии проводились работы по выравниванию микрорельефа. Поэтому возраст погребенных почв без специальных анализов трудно установить. Можно предположить, что перекрытие исходных почв в разрезах 452 и 463 происходило при участии эрозионных процессов в последнее столетие.

В разрезе 451 на мощной аккумулятивной толще песков сформировался бурозем с общей мощностью профиля 60 см, а в разрезе 463 - только 14 см. Поэтому мы предполагаем, что погребение почвы в разрезе 451 произошло в более раннее время, а во втором случае - относительно недавно (в послевоенный период).

Во всех погребенных почвах профиль имеет облик буроземов без выраженных признаков оподзоливания. Это подтверждает формирование исходных почв под смешанными лесами с большой долей лиственных и травянистым ярусом. Мощность погребенных гумусовых горизонтов 20 – 30 см.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате обследования впервые установлено, что почвенный покров зеленой зоны вдоль морского побережья в окрестностях пгт. Янтарного неоднородный и разновозрастной. Причинами почвенной неоднородности являются: 1) литологический фактор (пласты пылеватых суглинков в толще супесчано-песчаных водно-ледниковых пород); 2) эрозионный фактор – переотложение пород в процессе водной и ветровой эрозии; 3) антропогенный фактор – техногенная деятельность по перемещению почвогрунтов. Влияние второго и третьего факторов приводит к разрушению и омолаживанию почв в результате формирования аккумулятивных (стратифицированных) слоев, под которыми иногда сохраняются исходные почвы. Так сформировались стратоземы и урбиквазиземы (по терминологии классификации 2004 г.). Толщина стратифицированных слоев составляет 55 – 130 см, максимально 180. Мощные гумусовые горизонты (55 – 80 см)

обнаружены именно в насыпных или намывных почвах. Естественно развивающиеся почвы имеют гумусовые горизонты мощностью 10 – 30 см.

Современные природные и погребенные почвы являются буроземами (с подразделениями на собственно буроземы и ржавоземы по классификации 2004 г.). Буроземообразование - это результат развития почв в приморском климате. Бедность супесей и песков илистой фракцией, промывной тип водного режима и эрозионные процессы приводят к формированию слабых признаков оподзоливания в гумусовом горизонте некоторых буроземов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Soils in the Urban Environment. Edited by P. Bullock and P.J. Gregory. Blackwell Scientific Publications. 1991. 174 p.
2. Fu W., Dao L. Heavy Metals Pollution in Urban Soils. Scholars' Press. 2017. 228 p.
3. Urban Soils. Edited by Rattan Lal, B. A. Stewart. CRC Press Published. 2017. 55 p.
4. Ibes D. C. Sustainable Urban Park Systems / D. C Ibes // Cities and the Environment, 2014, Vol. 7: Iss. 2, Article 8. Available at: <http://digitalcommons.lmu.edu/cate/vol7/iss2/8>.
5. Антропогенные почвы: генезис, география, рекультивация / М. И. Герасимова [и др.] ; под ред. Г. В. Добровольского. – Смоленск: Ойкумена, 2003. – 268 с.
6. Анциферова, О. А. К характеристике почв городских парков Калининграда / О. А. Анциферова, Л. С. Мурачева // Вестник Российского государственного университета им. И. Канта. – 2009. – Вып. 7. Серия: Естественные науки. – С. 83-90.
7. Анциферова, О. А. Антропогенная эволюция почв и растительности парка им. М. Беккера (пгт. Янтарный, Калининградская область) / О. А. Анциферова, О. Ю. Чиянова // Известия Калининградского государственного технического университета. – 2019. – № 53. – С. 25-39.
8. Розанов, Б. Г. Морфология почв / Б. Г. Розанов. – Москва, 2004. – 432 с.
9. Классификация и диагностика почв СССР / сост. В. В. Егоров [и др.]. – Москва: Колос, 1977. – 224 с.
10. Классификация и диагностика почв России / сост. Л. Л. Шишов, В. Д. Тонконогов, И. И. Лебедева, М. И. Герасимова. – Смоленск: Ойкумена, 2004. - 342 с.
11. Географический атлас Калининградской области / гл. ред. В. В. Орленок. – Калининград: Изд-во КГУ; ЦНИТ, 2002. – 276 с.

REFERENCES

1. Soils in the Urban Environment. Edited by P. Bullock and P. J. Gregory. Blackwell Scientific Publications, 1991, 174 p.
2. Fu W., Dao L. Heavy Metals Pollution in Urban Soils. Scholars' Press, 2017, 228 p.

3. Urban Soils. Edited by Rattan Lal, B. A. Stewart. CRC Press Published. 2017, 55 p.
4. Ibes D. C. Sustainable Urban Park Systems. Cities and the Environment, 2014, vol. 7, iss. 2, article 8. Available at: <http://digitalcommons.lmu.edu/cate/vol7/iss2/8> (Accessed 23 November 2018).
5. Gerasimova M. I., Stroganova M. N., Mozharova N. V. and at. *Antropogennyye pochvy: genezis, geografiya, rekul'tivatsiya* [Anthropogenic soils: genesis, geography, reclamation]. Under the editorship of Dobrovolsky G. V. Smolensk, Oykumena, 2003, 268 p.
6. Antsiferova O. A., Muracheva L. S. K kharakteristike pochv gorodskikh parkov Kaliningrada [On the characteristics of soils of Kaliningrad city parks]. *Vestnik Rossiyskogo gosudarstvennogo universiteta im. I. Kanta*, 2009, iss. 7, ser. Natural sciences, pp. 83-90.
7. Antsiferova O. A., Chiyanova O. Yu. Antropogennaya evolyutsiya pochv i rastitel'nosti parka im. M. Bekkera (pgt. Yantarnyy, Kaliningradskaya oblast') [Anthropogenic evolution of soils and vegetation of the M. Becker park (smt Yantarny, Kaliningrad Region)]. *Izvestiya KGTU*, 2019, no. 53, pp. 25-39.
8. Rozanov B. G. *Morfologiya pochv* [Morphology of soils]. Moscow, 2004, 432 p.
9. *Klassifikatsiya i diagnostika pochv SSSR* [Classification and diagnostics of soils of the USSR]. Sost. Egorov V. V. i dr. Moscow, Kolos, 1977, 224 p.
10. *Klassifikatsiya i diagnostika pochv Rossii* [Classification and diagnostics of Russian soils]. Sost. Shishov L. L., Tonkonogov V. D., Lebedeva I. I. and at. Smolensk, Oykumena, 2004, 342 p.
11. *Geograficheskiy atlas Kaliningradskoy oblasti* [Geographical atlas of the Kaliningrad region]. Gl. red. Orlenok V. V. Kaliningrad. Publishing house of KSU. CNIT, 2002, 276 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

Чиянова Ольга Юрьевна – Калининградский государственный технический университет; аспирант факультета биоресурсов и природопользования

Chiyanova Olga Yurievna – Kaliningrad State Technical University; postgraduate student of Faculty of Bioresources and Environmental Management

УДК 633.282:631.559

БИОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И ФОРМИРОВАНИЕ
ВЫСОКОПРОДУКТИВНЫХ АГРОЦЕНОЗОВ ТРИБЫ ПРОСОВИДНЫХ
В УСЛОВИЯХ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

О. М. Бедарева, Л. С. Мурачева, Т. Н. Троян, И. А. Волкова

BIOECOLOGICAL PECULIARITIES AND FORMATION OF HIGH-PRODUCTIVE
AGROCENOSSES OF THE TRIBE OF MILLET IN CONDITIONS
OF THE KALININGRAD REGION

O. M. Bedareva, L. S. Murachyova, T. N. Troyan, I. A. Volkova

Отрасль животноводства в Калининградской области в настоящее время динамично развивается. Расширить ассортимент кормовых культур можно за счёт использования перспективных видов многолетних и однолетних растений.

В связи с этим интродукция и внедрение в производство кормов из нетрадиционных культур трибы просовидных на территории области имеют особое значение. В этом плане акцент сделан на однолетние просовидные культуры: просо обыкновенное (посевное) (*Panicum miliaceum* L.), могоар (*Moharicum*) (щетинник итальянский) (*Setaria italica* L.), чумиза (*Setaria italica* subsp. *maxima* L.), сорго зерновое (*Sorghumbicolor* L.), суданская трава (суданка) (*Sorghum drummondii* Steud.), пайза (ежовник хлебный) (*Echinochloa frumentacea* Link.) и африканское просо (*Pennisetum glaucum* L.). Высокая урожайность, исключительная засухоустойчивость, нетребовательность к почвенному плодородию и кормовые достоинства просовидных ставят их в ряд наиболее перспективных культур. Хорошая облиственность, не желтеющая до конца вегетации надземная фитомасса позволяют использовать эти культуры в зеленом конвейере в осенний период, когда продуктивность лугов и пастбищ очень низкая. По содержанию сухого вещества суданская трава относится ко II классу, а сырого протеина (7,8-9,8 %) – к I классу.

В статье рассмотрены результаты агроэкологического испытания сортов просовидных культур; изучения соответствия эдафотопических условий их потребностям; оценки кормового потенциала растений на основании зоотехнического анализа; оптимального срока посева. На территории Калининградской области впервые заложен опыт по испытанию однолетних культур трибы просовидных. Выявлена их семенная и кормовая продуктивность, построен иерархический ряд по значимости создания культурных агрофитоценозов трав.

Цель статьи – изучить биоэкологические особенности и урожайность просовидных в соответствии с эдафотопическими условиями региона.

однолетние культуры, просовидные, продуктивность, биоэкологические особенности

The livestock industry in the Kaliningrad region is currently on the rise. It is possible to expand the range of forage crops through the use of promising species of perennial and annual plants.

In this regard, the development and introduction into the production of feed from non-traditional cultures of the tribe of the millet in the territory of the region is of particular importance. In this context, an emphasis is made on annual millet crops: standard or sowing millet (*Panicum miliaceum* L.), mogar (*Moharicum*) or Italian bristle (*Setaria italica* L.), Chumis (*Setaria italica subsp. maxima* L.), sorghum grain (*Sorghumbicolor* L.), Sudanese grass, (Sudanese) (*Sorghum drummondii* Steud.), Payza, or Bread Cornberry (*Echinochloa frumentacea* Link.) and African millet (*Pennisetum glaucum* L.). Their high productivity, exceptional drought resistance, undemanding to soil fertility and fodder merits rank the millet among the most promising forage crops. Good foliage, not yellowing until the end of the growing season, allows you to use these crops in a green conveyor in the autumn, when the productivity of meadows and pastures is very low. In terms of dry matter content, Sudanese grass belongs to class II, and in terms of crude protein content, it belongs to class I. The content of crude protein in the feed of Sudanese grass was 7,8–9,8 %.

The article discusses a number of issues: the results of agroecological testing of varieties of millet crops; studying the compliance of edaphotopic conditions with their needs; assessment of plant feed value based on zootechnical analysis; optimal sowing time. For the first time in the territory of the Kaliningrad region, background has been laid for testing annual crops of the tribe of millet. Their seed and fodder productivity has been evaluated, the most valuable feed species have been identified.

The purpose of the article is to explore the biological and ecological features of the millet and evaluate their efficiency in accordance of the edaphotopic conditions of the Kaliningrad region.

annual crops, millet, productivity, bioecological features

ВВЕДЕНИЕ

Успех современного животноводства напрямую зависит от качества кормовой базы. Увеличение производства кормов, их энергонасыщенности – важнейшая проблема сельского хозяйства многих регионов. В связи с этим возникает необходимость совершенствования структур посевных площадей, интродукции новых видов кормовых культур, разработки адаптивных ресурсосберегающих технологий их возделывания [1]. Увеличение видового состава адаптированных к биоклиматическим ресурсам зоны сортов, в том числе внедрение в кормовой клин просовидных, является резервом для получения энергонасыщенных кормов [2, 3]. Высокая урожайность, хорошее качество зелёной массы и сена, способность быстро отрастать после скашивания или стравливания – всё это характеризует просовидные как весьма ценные кормовые культуры. Недостаточная изученность биологических особенностей и технологии возделывания явились причинами недооценённости просовидных, в частности суданской травы как кормовой культуры в Калининградской области.

Сорговые, в том числе суданская трава, предъявляют высокие требования к термическому режиму в период посевов и всходов. При температуре воздуха минус 1°С наступает гибель растения. Поэтому данную культуру и сорго-суданковые

гибриды относят к поздним яровым, минимальная температура для прорастания которых составила 10–12, оптимальная – 20–25 °С [4]. Важнейшим условием ускорения начального роста, получения высокой урожайности и реализации генетического потенциала растений является оптимальная глубина посева семян [5]. Так, для проса на дерново-подзолистых среднесуглинистых почвах она составляет 3–6 см [6]. Укрепления кормовой базы можно добиться возделыванием просовидных.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследование проводилось в 2015–2016 гг. на опытных полях ФГБНУ «Калининградский научно-исследовательский институт сельского хозяйства» на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве со средними показателями гумуса, слабокислой и близкой к нейтральной реакцией среды, повышенным содержанием подвижного фосфора, очень высоким – обменного калия.

Высев производили во второй декаде мая рядовым способом с шириной междурядий 28 и 56 см без послепосевного прикатывания почвы. Общая посевная площадь 7 га. Предшественник – люпин на семена.

Уход за посевами осуществляли по общепринятым методикам, рекомендованным для зоны исследования. При проведении наблюдений и учетов пользовались «Методическими указаниями по изучению коллекционных образцов кукурузы, сорго и крупяных культур ВНИИР», «Методическими указаниями по проведению полевых опытов с кормовыми культурами». Объекты исследования – однолетние злаковые культуры селекции Ставропольского НИИСХ: просо кормовое сорта Быстрое, могар и сорго зерновое Стамога, суданская трава Землячка, пайза Красава. В работе использован комплекс методов: полевые, лабораторные, сравнительно-аналитические, биометрические, агрохимические. Зафиксированы даты наступления фенологических фаз: всходов, кущения, начала и массового цветения с целью определения оптимальных сроков проведения укосов.

Урожай зеленой массы определен в фазу выхода растений в трубку – единичное выметывание, укосным методом пробных площадок 1 м² в четырехкратном повторении и взвешиванием в поле по каждой культуре. Параллельно отбирались растительные пробы для пересчета урожайности зеленой массы на выход сухого вещества с единицы площади [5, 6].

По отношению к факторам среды преобладают следующие экологические группы объектов: свет – облигатные гелиофиты; влагообеспеченность – ксерофиты и мезоксерофиты; температурный режим – ксерофилы и мезотермы (табл.1). Систематическое положение и ботаническая характеристика (морфология) приведены в табл. 2.

Таблица 1. Биоэкологические особенности просовидных культур
Table 1. Bioecological features of the millet crops

Культура	Требование к температуре	Требование к влаге	Требование к свету	Требование к почве
Просо обыкновенное (посевное) (<i>Panicum miliaceum</i> L.)	Теплолюбивое (ксерофил)	Менее требовательное, чем другие злаки (мезоксерофит)	Облигатный гелиофит	Лучшие почвы – черноземы и каштановые
Могар (<i>Setaria italica</i> L.)	Менее требователен к теплу (мезотерм)	Обладает высокой засухоустойчивостью (ксерофит)	То же	Хорошо растёт на рыхлых незасоленных почвах, не выносит болотных почв
Чумиза (<i>Setaria italica</i> subsp. <i>maxima</i> L.)	Теплолюбивая (ксерофил)	Переносит непродолжительную засуху (ксерофит)	– « –	Хорошо произрастает на каштановых, подзолистых и даже бедных песчаных почвах, но лучше всего на черноземах
Сорго зерновое (<i>Sorghum biolor</i> L.)	Теплолюбивое (ксерофил)	Хорошо переносит жару, почвенную и воздушную засуху (мезоксерофит)	– « –	Хорошо растет на песчаных и глинистых почвах, может расти на засоленных, но не переносит кислые и заболоченные места
Суданская трава (суданка) (<i>Sorghum drummondii</i> Steud.)	Теплолюбивая (ксерофил)	Засухоустойчивая (ксерофит)	– « –	Лучше всего растет на черноземах и темно-каштановых почвах, хуже – на светло-каштановых и песчаных, переносит небольшую кислотность и не растет на засоленных почвах
Пайза (<i>Echinochloa frumentacea</i> Link.)	То же	Влаголюбивая (гигрофит)	– « –	Может расти на любых почвах при своевременной прополке и подкорме
Африканское просо (<i>Pennisetum glaucum</i> L.)	Теплолюбивое (ксерофил)	Нетребовательно к влаге (ксеромезофит)	– « –	Можно возделывать на бедных и истощенных почвах в условиях, совершенно непригодных для других зерновых культур

Таблица 2. Систематическое положение и ботаническая характеристика однолетних злаковых культур трибы просовидных
 Table 2. Systematic position and botanical characteristics of annual cereal crops of the tribe of the millet

Семейство	Род	Вид	Соцветие	Корневая система	Глубина проникновения корней	Листья	Плод
1	2	3	4	5	6	7	8
Злаки (<i>Gramineae</i>), или Мятликовые (<i>Poaceae</i>)	Просо (<i>Panicum</i> L.)	Просо обыкновенное (посевное) (<i>Panicum miliaceum</i> L.)	Метелка 15-25 см	Мочковатая	На глубину 40 см проникает 80 % корней	Ланцетовидные, до 65 см длиной, 1,5-4 см шириной, опушенные, зеленого или красноватого цвета	Зерновка плёноччатая, 1-2 мм, округлая, овальная или удлиненная, белого, желтого, красного цвета
	Щетинник (<i>Setaria</i> P. Beauv.)	Могар (<i>Setaria italica</i> L.)	Колосовидная метёлка (султан) длиной 6-25 см, шириной 1-4 см	Мочковатая, есть воздушные корни	10-150 см	Ланцетовидные, длиной 45-50, шириной 1,5-3,0 см, шершавые	Зерновка удлиненной формы, желтая или красноватая
	Щетинник (<i>Setaria</i> P. Beauv.)	Чумиза (<i>Setaria italica</i> subsp. <i>maxima</i> L.)	Колосовидная метелка до 50 см	То же	8-140 см	Голые или опушенные, зеленые или фиолетовые	Зерновка шаровидная или яйцевидная, желтая, оранжево-красная

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8
	Сорго (<i>Sorghum Moench</i>)	Сорго зерновое (<i>Sorghum biolor</i> L.)	Метелка развесистая, скученная или сжатая	– « –	До 2,5 м и на 60-90 см в стороны	Длинные, широкие, ланцетовидные, располагаются поочередно	Зерно пленчатое или голое, округлое, желтое, бурое, коричневое
	Сорго (<i>Sorghum Moench</i>)	Суданская трава (<i>Sorghum drummondii Steud</i>)	Метелки раскидистые, полусжатые, компактные, пониклые и сорговидные	Мочковатая	До 2,5 м	Широколинейные, до 60 см, голые, гладкие, но края слегка шероховатые	Зерновка, плотно заключенная в колосковых чешуях
	Ежовник (<i>Echinochloa</i>)	Пайза (<i>Echinochloa frumentacea Link</i>)	Метелка с трехгранным стержнем длиной от 10 до 50 см	То же	До 1,5 м	Линейно-ланцетные, неопушенные, по краям острошершавые	Зерновка шаровидная или овальная, от белой до черной
	Перистощетинник (<i>Pennisetum</i>)	Африканское просо (<i>Pennisetum glaucum</i> L.)		Мочковатая, есть воздушные корни	До 3 м, 80 % корневой массы располагается на глубине до 10 см	Линейно-ланцетные, длина 30-100, а ширина 0,5-5 см	Мелкая, яйцевидно-заостренная зерновка, до 5 мм, белого, желтого, красного, черного цвета

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Метеорологические условия вегетационного периода 2015 г. способствовали благоприятному росту и развитию трав. Количество выпавших осадков составило за май-октябрь 278 мм. В условиях поздней и прохладной весны ранний посев, произведенный 5 мая, не дал дружных всходов на 7–10-й день. При благоприятных условиях (оптимальные температура воздуха и влажность почвы), по данным Л. В. Горковенко [4], всходы появляются на 6–8-й день после посева. Когда почва на глубине заделки семян прогрелась до 12–14 °С, была зафиксирована активная всхожесть растений. Это свидетельствует о том, что в условиях прохладной весны срок сева следует переносить с раннего (5 мая) на поздний (20–25 мая) (рис. 1).

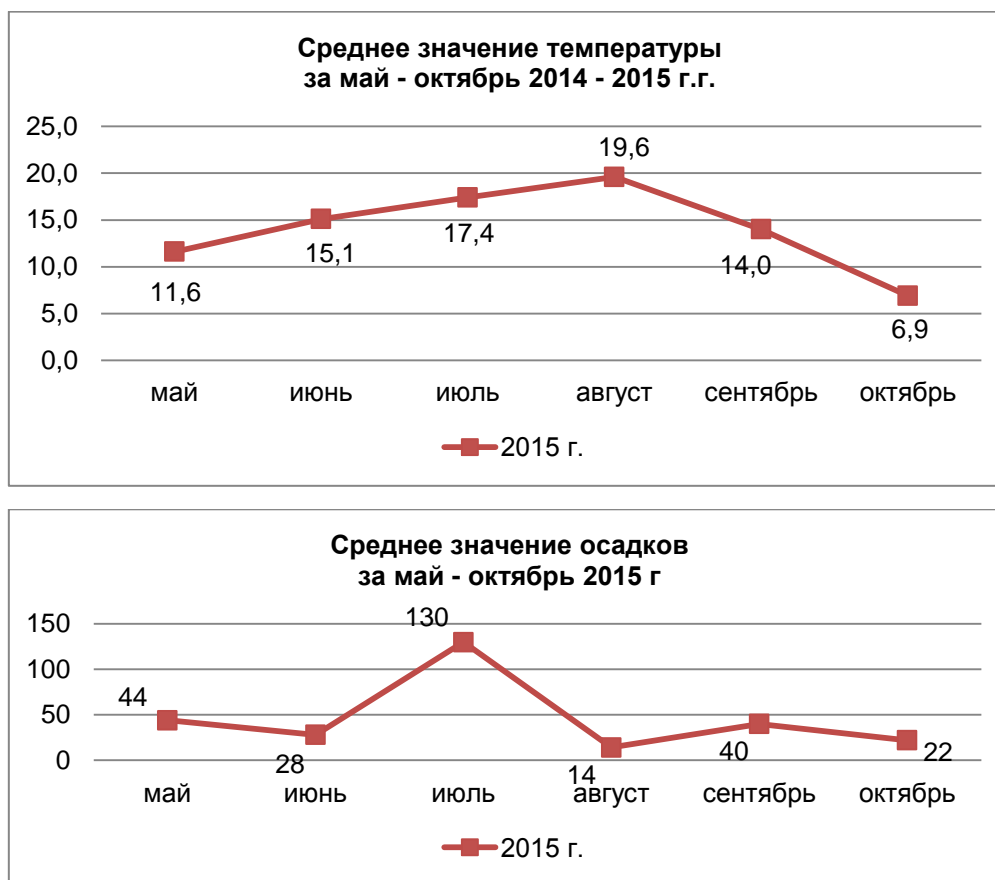


Рис. 1. Гидротермическая характеристика вегетационного периода 2015 г.

Fig. 1. Hydrothermal characteristics of the growing season of 2015

В первые три декады после всходов надземная часть растений развивается медленно. В этот период в агрофитоценозах использовали азотные удобрения, а именно аммиачную селитру до 60 кг/га, для интенсивного кущения растений.

Гидротермические условия 2015 г. дали возможность наиболее полно оценить сорта в условиях дефицита влаги, который пришелся на июнь. Этот период соответствует фазе активного кущения. Количество осадков составило 28 мм, что на 41,2 % ниже средних многолетних значений.

В июле температура воздуха колебалась в пределах 17,3-21,1 °С, а количество осадков составило 130 мм, что на 15,6 % выше нормы. В эти сроки наступает фенологическая фаза выхода в трубку. В агроэкосистемах прослеживалась четко выраженная ярусность; эдификаторы достигали высоты 86,6-90,9 см, что соответствует понятию «сильноэдификаторные растения» (проективное покрытие в пределах 80-90 %).

Наиболее показательным по формированию генеративных побегов на семенные цели был август. По температурным нормам его можно охарактеризовать как засушливый и жаркий за весь период с начала вегетации однолетних трав [7, 8]. А так как культуры изучаемого ряда следует считать ксерофитами, то осадки в количестве 14 мм не оказали негативного влияния на рост и развитие растений, несмотря на то, что их выпало на 90 % меньше нормы. В это время культуры находились в стадии цветения – начала плодообразования. В посевах пайзы плодообразование и созревание семян опережают таковые у остальных сорговых на 14-16 дней.

Учет надземной фитомассы проводили в третьей декаде июля на высоте 10-12 см укосным методом, когда все просовидные находились в фазе выхода растений в трубку – единичного выметывания (рис. 2).

Если проводить уборку в более поздней фазе, в частности при полном выметывании, то в кормовой массе снижается количество протеина до 4,0-5,2 %, а каротина до 28-38 мг/кг зелёной массы [4].

В 2015 г. урожайность зеленой массы одновидовых посевов изучаемых культур варьировала в пределах 268,1–616,0 ц/га (рис. 2).

Менее урожайным в кормовом плане оказались чумиза сорта Оля и просо африканское Согур. Урожайность зеленой массы составила 268,1 и 348,0 ц/га соответственно. Могар сорта Стамога и суданская трава Красава показали урожайность зеленой массы в пределах 528,0-560,2, что в пересчете на сухую массу соответствует 108,3-159,8 ц/га.

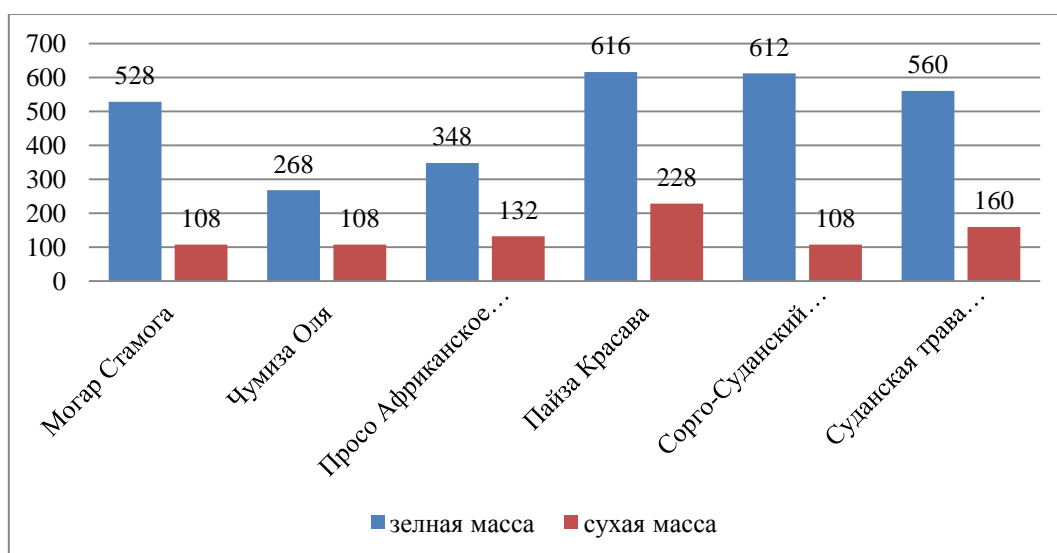


Рис. 2. Урожайность исследуемых культур в 2015 г., ц/га

Fig. 2. The yield of the studied crops in 2015, kg / ha

По результатам исследования 2015 г. наиболее перспективными культурами являются пайза Красава и сорго-суданский гибрид Стамога с выходом зеленой массы 611,8–615,9 ц/га соответственно.

После скашивания все исследуемые культуры отрастают и вегетируют до наступления первых осенних заморозков, так как, являясь ксерофитами, не имеют адаптации к низким температурам.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Впервые в Калининградской области (2015 г.) были получены экспериментальные данные по оценке кормового и семенного потенциалов однолетних злаков трибы просовидных. Выделены ведущие факторы, обеспечивающие активную всхожесть и планомерное развитие культур. С учетом биологических особенностей объектов исследования имеется необходимость тщательного подхода к определению срока сева, ориентируясь на уровень температурного режима почвы для каждого года и конкретно складывающиеся погодные условия в весенний период. За основу рекомендуется принять температуру почвы 14–17° С на глубине заделки семян. Для начального развития просовидных после ювенильного периода (всходы) требуются стартовые дозы азота – N₃₀.

Высокая урожайность надземной фитомассы обеспечивается благоприятными метеорологическими условиями в период формирования урожая и соблюдением оптимальных сроков посева и температурного режима почвы.

По результатам первого года исследований были выявлены перспективные однолетние кормовые культуры по урожайности кормовой массы: пайза сорта Красава, сорго-суданский гибрид Стамога, суданская трава Землячка и чумиза сорта Оля с выходом 611,8-615,9 ц/га. Все изученные сорта обладают высокой отавностью, что позволяет получить не менее двух-трех укосов за вегетационный период.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Володин, А. Б. Потенциальные возможности сахарного сорго / А. Б. Володин, М. П. Жуков // Кормопроизводство. – № 4. – 2002. – С.11–15.
2. Семенная продуктивность сорго сахарного на выщелоченных черноземах лесостепи Поволжья / И. Ф. Каргин [и др.] // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. – № 1. – 2003. – С. 9–11.
3. Каргин, И. Ф. Разработка и внедрение технологии возделывания сорго и эффективность его использования при кормлении животных / И. Ф. Каргин, А. И. Андреев, И. П. Таракин // Достижения зоотехнической науки и практики – основа развития производства продукции животноводства: междунар. науч.-практ. конф. / Волгоградская государственная сельскохозяйственная академия. – Волгоград, 2005. – С. 260–263.
4. Горковенко, Л. Г. Агротехника выращивания сорго на силос и зеленый корм / Л. Г. Горковенко, Н. А. Бедило, А. Н. Ригер // Кормопроизводство. – № 4. – 2012. – С. 18–19.

5. Методические указания по изучению коллекционных образцов кукурузы, сорго и крупяных культур (просо, гречиха, рис) / сост. Г. Е. Шмараев [и др.]. – Ленинград: ВИР, 1968. – 51 с.
6. Методические указания по проведению полевых опытов с кормовыми культурами / сост. Ю. К. Новоселов [и др.]. – Москва: РАСХН, 1997. – 155 с.
7. Карпу, В. В. Растениеводство: учеб. пособие / В. В. Карпу, С. Г. Сидорова. – Минск: Изд-во БГУ, 2011. – 351 с.
8. Коломейченко, В. В. Растениеводство: учебник / В. В. Коломейченко. – Москва: Агробизнесцентр, 2007. – 600 с.

REFERENCES

1. Volodin A. B., Zhukov M. P. Potentsial'nye vozmozhnosti sakharnogo sorgo [Sugar sorghum potential]. *Kormoproizvodstvo*, 2002, no. 4, pp. 11-15.
2. Kargin I. F., Tarakin I. P., Kuznetsov I. S. i dr. Semennaya produktivnost' sorgo sakharnogo na vyshchelochennykh chernozemakh lesostepi Povolzh'ya [Seed productivity of sugar sorghum on leached chernozems of forest-steppe of the Volga region]. *Doklady Rossiyskoy Akademii sel'skokhozyaystvennykh nauk*, 2003, no. 1, pp. 9-11.
3. Kargin I. F., Andreev A. I., Tarakin I. P. Razrabotka i vnedrenie tekhnologii vzdelyvaniya sorgo i effektivnost' ego ispol'zovaniya pri kormlenii zhitovnykh [Development and implementation of sorghum cultivation technology and the effectiveness of its use in feeding animals]. *Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya "Dostizheniya zootekhnicheskoy nauki i praktiki – osnova razvitiya proizvodstva produktsii zhitovnovodstva"* [International Scientific and Practical Conference "Achievements of animal science and practice – the basis for the development of livestock production"]. *Volgogradskaya gosudarstvennaya sel'skokhozyaystvennaya akademiya*, Volgograd, 2005, pp. 260-263.
4. Gorkovenko L. G., Bedilo N. A., Riger A. N. Agrotekhnika vyrashchivaniya sorgo na silos i zelenyy korm [Agricultural technology of growing sorghum for silage and green fodder]. *Kormoproizvodstvo*, 2012, no. 4, pp. 18-19.
5. *Metodicheskie ukazaniya po izucheniyu kollektсионnykh obraztsov kukuruzy, sorgo i krupyanykh kul'tur (proso, grechikha, ris)* [Guidelines for the study of collection samples of corn, sorghum and cereal crops (millet, buckwheat, rice)]. Sost. G. E. Shmaraev, T. Y. Yarchuk, E. S. Yakushevskiy i dr. Saint-Petersburg, VIR, 1968, 51 p.
6. *Metodicheskie ukazaniya po provedeniyu polevykh opytov s kormovymi kul'turami* [Guidelines for conducting field experiments with feed crops]. Sost. Y. K. Novoselov, V. N. Kireev, G. P. Kutuzov i dr. Moscow, RASKHN, 1997, 155 p.
7. Карпу В. В. *Растениеводство: учеб. пособие* [Crop production: students' book]. Минск, БГУ, 2011, 351 p.
8. Коломейченко В. В. *Растениеводство: учебник* [Crop production: students' book]. Москва, Агробизнесцентр, 2007, 600 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Бедарева Ольга Михайловна – Калининградский государственный технический университет; доктор биологических наук, профессор; заведующая кафедрой агропочвоведения и агроэкологии; E-mail: olgabedareva@mail.ru

Bedareva Olga Mikhaylovna – Kaliningrad State Technical University; Doctor of Biological Science, Professor; Head of the Department of Agropedology and Agroecology; E-mail: olgabedareva@mail.ru

Мурачёва Любовь Семёновна – Калининградский государственный технический университет; кандидат биологических наук, доцент; E-mail: muracheva.l@yandex.ru

Murachyova Lyubov Semyonovna – Kaliningrad State Technical University; PhD in Biological Sciences, Associate Professor; E-mail: muracheva.l@yandex.ru

Троян Татьяна Николаевна – Калининградский государственный технический университет; кандидат биологических наук, доцент; E-mail: p-tanik@mail.ru

Troyan Tatyana Nikolaevna – Kaliningrad State Technical University; PhD in Biological Sciences, Associate Professor; E-mail: p-tanik@mail.ru

Волкова Ирина Алексеевна – Калининградский государственный технический университет; аспирант; E-mail: irinavolk01@mail.ru

Volkova Irina Alekseevna – Kaliningrad State Technical University; Postgraduate student; E-mail: irinavolk01@mail.ru

УДК 504.423

ГИДРОЛОГО-ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ В ПРИДОННОМ СЛОЕ
ГДАНЬСКОЙ ВПАДИНЫ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ В 2003-2018 ГОДАХ

Е. С. Бубнова, М. В. Капустина

HYDROLOGICAL AND HYDROCHEMICAL CONDITIONS
IN THE BOTTOM LAYER OF THE GDANSK DEPRESSION
OF THE BALTIC SEA IN 2003-2018

E. S. Bubnova, M. V. Kapustina

Совместное использование данных CTD-зондирований (соленость, растворенный кислород, мутность), гидрохимического анализа проб воды (определение концентрации растворенного кислорода методом Винклера) и определения концентраций взвешенного осадочного вещества фильтрационным методом в Гданьской впадине Балтийского моря в пределах исключительной экономической зоны РФ за 2003–2018 гг. позволили описать современное состояние придонных вод и межгодовую изменчивость изучаемых параметров. Было выявлено, что межгодовой ход солёности и растворенного кислорода в придонном слое (глубже 100 м) Гданьской впадины зависит не только от нерегулярного поступления богатых кислородом и соленых североморских вод, но также указывает на общую для Балтики тенденцию к большей скорости ассимиляции растворенного кислорода по сравнению с солёностью. Современные исследования показывают, что частота затоков в последние десятилетия не изменялась, однако зоны гипоксии в Балтийском море растут. Подобный феномен, наблюдающийся в последние годы также и в Готландской впадине, связывают с усилением эвтрофированности Балтики и возросшим количеством органического вещества, на окисление которого расходуется кислород. Развитие зон гипоксии в придонном слое ведет к формированию слоя сероводородного заражения и слоя сосуществования кислорода и сероводорода. Наличие перехода от окислительных условий к восстановительным в придонном слое Гданьской впадины по данным электронной сканирующей микроскопии приводит к развитию слоя повышения концентрации взвешенных форм марганца, образованных в процессе бактериального окисления. Наличие слоя растворенного сероводорода обуславливает образование аутигенной взвешенной серы.

Балтийское море, растворенный кислород, взвешенное вещество, затоки североморских вод

Joint use of CTD-sounding data (salinity, dissolved oxygen, turbidity), hydrochemical analysis of water samples (determination of the dissolved oxygen concentration via the Winkler method) and determination of the suspended sediment concentration via filtration method in the Baltic Sea Gdansk Depression within the Russian Federation exclusive economic zone for 2003–2018 allowed us to describe the current state of bottom waters and the interannual variability of the studied parameters.

It was found that not only does the inter-annual variation pattern of salinity and dissolved oxygen in the Gdansk Depression bottom layer (deeper than 100 m) depend on the irregular supply of oxygen-rich and saline North Sea waters, but also on a common for the Baltic tendency, meaning greater speed of dissolved oxygen assimilation in comparison with salinity. Modern studies show that the frequency of inflows has not changed in recent decades, but hypoxia zones in the Baltic Sea are growing. A similar phenomenon, which has been also observed in recent years in the Gotland Deep, is associated with an increase in the Baltic eutrophication and an increased amount of organic matter, the oxidation of which consumes oxygen. The development of hypoxia zones in the bottom layer leads to the formation of a layer of hydrogen sulfide contamination and a layer of coexistence of oxygen and hydrogen sulfide. The presence of such a transition zone from oxidizing to reducing conditions in the bottom layer of the Gdansk Deep, according to electron scanning microscopy data, leads to the development of a layer of increasing the concentration of suspended forms of manganese that was formed in the process of bacterial oxidation. The presence of a layer of dissolved hydrogen sulfide causes the formation of authigenic suspended sulfur.

Baltic Sea, dissolved oxygen, suspended matter, Major Baltic Inflows

ВВЕДЕНИЕ

Ключевым фактором, определяющим экологическое состояние глубинных вод Балтийского моря, является водообмен с Северным морем через мелководные Датские проливы. В результате так называемых «больших затоков» — поступления значительных объемов соленой и насыщенной кислородом воды — происходит обновление вод придонного слоя впадин Балтийского моря. Более плотные воды «больших затоков» последовательно вытесняют придонную воду по системе впадин, разделенных порогами. Проходя путь от Борнхольмской впадины через Слупский порог и Слупский желоб, воды «большого затока» могут как направиться на северо-восток в Готландскую впадину, так и повернуть на юг, совершая циклоническую петлю по Гданьской впадине [1]. К примеру, по данным численного моделирования [2], после затока 2003 г. основная масса воды попала в Готландскую впадину. В Юго-Восточной Балтике трансформированные затоковые воды появляются через 2-4 мес. после прохождения Датских проливов [3-5].

Несмотря на то, что по современным данным [6] частота возникновения затоков североморских вод не изменялась за последние десятилетия, развитие условий дефицита и отсутствия кислорода усиливается с 1999 г. [7]. Причиной дефицита кислорода являются усиливающаяся эвтрофикация Балтики и большое количество органического вещества, на окисление которого расходуется кислород [6].

В 2003-2018 гг. сотрудниками Атлантического отделения Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН были проведены комплексные исследования в юго-восточной части Балтийского моря, позволившие описать современное экологическое состояние Гданьской впадины Балтийского моря в пределах исключительной экономической зоны РФ [8].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Российский сектор юго-восточной части Балтийского моря включает в себя центральную часть Гданьской впадины (с максимальной глубиной более 110 м), что делает ее удобной и репрезентативной точкой для наблюдения за кислородным режимом придонного слоя (рис. 1).

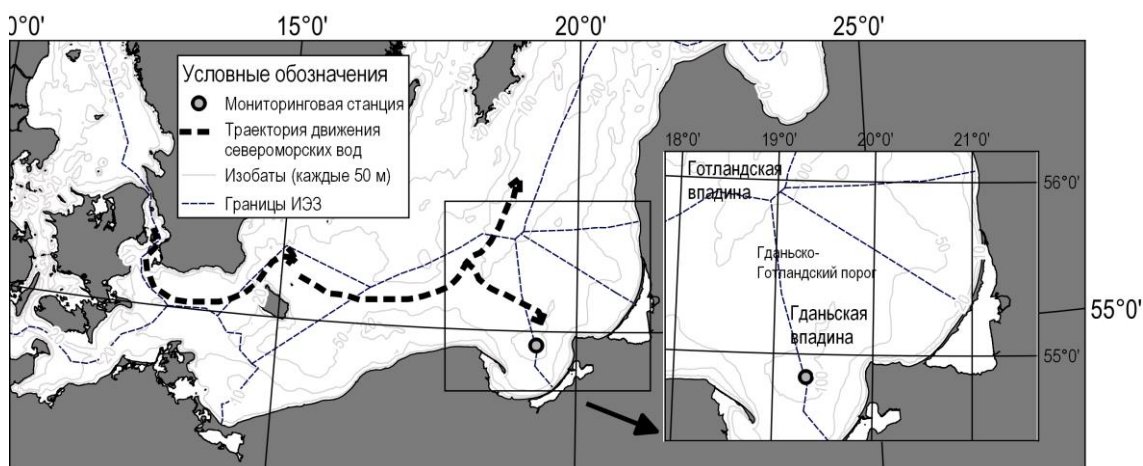


Рис. 1. Район исследований. На врезке — российский сектор Юго-Восточной Балтики

Fig. 1. Research area. Russian Sector of the South-Eastern Baltic Sea

Соленость придонного слоя (глубже 100 м) Гданьской впадины была измерена как в экспедициях АО ИО РАН (зонды Sea&Sun CTD90, Idronaut 316 Plus), так и получена из открытых источников [9]. Всего было рассмотрено около 300 значений. Кроме того, исследования АО ИО РАН включали измерения мутности воды по Формазину (FTU).

Отбор проб осуществлялся с помощью гидрологического комплекса MWS Slimline от Hydrobios. Концентрация растворенного кислорода в экспедициях АО ИО РАН определялась методом Винклера при помощи ручного титратор-дозатора Аквилон АТП-1Д с номинальной вместимостью до 30 мл по аттестованной методике ПНД Ф 14.1.2.101-97 (титриметрический метод). Концентрацию взвешенного вещества в воде определяли фильтрационным методом. Пробы воды пропускали через ядерные фильтры (диаметр 47 мм, размер пор 0,45 мкм) при давлении 0,4 бар. Дальнейший анализ взвешенного осадочного вещества осуществлялся с помощью сканирующего электронного микроскопа Quanta Fei 250.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Средняя соленость вод Гданьской впадины глубже 100-метровой изобаты в период с 2003 по 2018 гг. по 300 значениям составила около 12,4 PSU (рис. 2). По данным [10], с 1998 по 2010 гг. для польской части Гданьской впадины этот параметр в придонном слое мощностью 10 м составил 11,91 PSU.

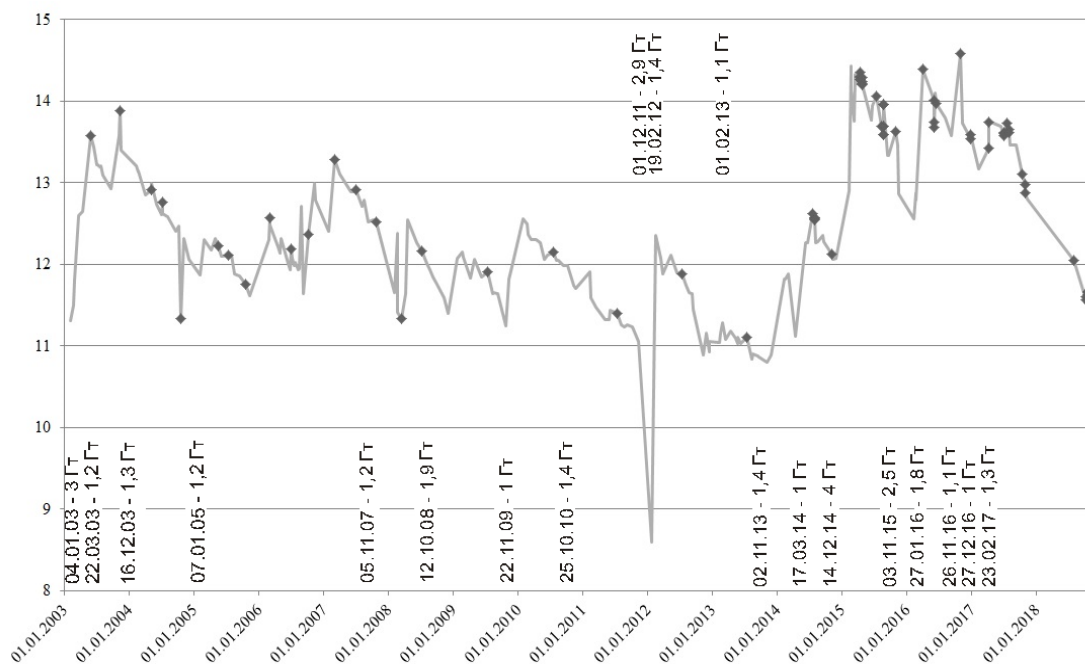


Рис. 2. Ход солености (PSU) в придонном слое Гданьской впадины за период с 2003 по 2018 гг. по данным ICES. Квадратами отмечены данные, полученные в экспедициях АО ИО РАН. На графике подписаны даты затоков и объемы поступившей в Балтийское море соли

Fig. 2. Salinity (PSU) in the near-bottom layer of the Gdansk Depression at 2003-2018 yy. based on ICES Database. Squares marks data collected in ABIORAS expeditions. Major Baltic inflows (more than 1 Gt salt) dates are marked

Временное распределение растворенного кислорода позволяет отметить несколько наиболее заметных пиковых значений, которые приходятся на периоды, следовавшие за крупными затоковыми явлениями (рис. 3). В промежуток с 2003 по 2018 гг. в придонном слое Гданьской впадины были отмечены несколько периодов гипоксии (содержание кислорода составляло менее 2 мл/л): март - октябрь 2004, май 2005 - июль 2006, июль 2015, июль - октябрь 2018, в последний период растворенный кислород в пробах обнаружен не был. В период с июля 2007 по июль 2013 гг. было проведено восемь измерений содержания растворенного кислорода в следующие даты: 03.03.2007, 02.07.2007, 21.10.2007, 13.03.2008, 07.07.2008, 14.07.2010, 13.07.2011, 12.07.2012, 10.07.2013. Полученные значения находились в пределах 0-2,03 мл/л, что соответствует гипоксидным условиям.

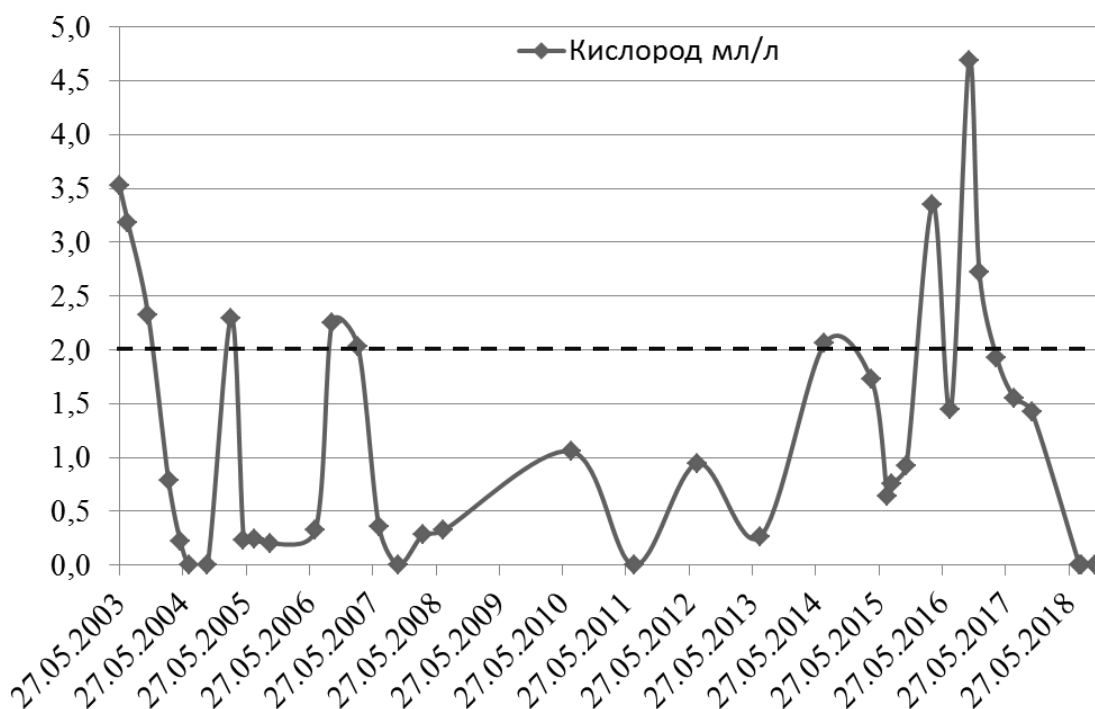


Рис. 3. Ход растворенного кислорода (мл/л) в придонном слое Гданьской впадины за период с 2003 по 2018 гг., полученный в экспедициях АО ИО РАН.

Штриховая линия отмечает границу гипоксидных условий

Fig. 3. Dissolved oxygen (ml/l) in the near-bottom layer of the Gdansk Depression at 2003-2018 yy. Data collected in ABIORAS expeditions. The conditions below the dashed line are hypoxic

Один из самых мощных за всю историю наблюдений заток декабря 2014 г. привел к повышению солёности придонных вод Гданьской впадины до самых высоких с 2003 г. значений – 14,4 PSU на глубине 105 м (19 февраля 2015 г.). В ноябре 2015 г. с североморскими водами было привнесено около 2,5 Гт соли [6], и в середине февраля 2016 г. солёность в Гданьской впадине составила 12,9 PSU. В конце января 2016 г. произошло следующее затокоевое событие (1,8 Гт) [6], и в конце марта 2016 г. солёность вновь возросла до 14,4 PSU. До сентября этот параметр снизился до 13,6 PSU. Серия заток октября-декабря 2016 г., привнесших от 0,6 до 1,1 Гт соли [6], и заток, произошедший в конце февраля 2017 г. (1,3 Гт [6]), также повысили придонную солёность до значений более 13,2 PSU.

Серия заток в 2014-2016 гг. сыграла роль в улучшении экологических условий в придонном слое глубоководных впадин Балтийского моря. Процесс ассимиляции затокоевых вод в Гданьской впадине стал одной из задач комплексных экспедиций в Юго-Восточной Балтике. В апреле 2015 г. в Гданьской впадине заток проявился высокими значениями солёности (> 13 PSU) и растворенного кислорода (1,7 мл/л) на глубинах более 80 м. Максимальные значения придонной солёности (14,2 PSU) были заметно выше средних многолетних — 11,43 PSU, по [11] и максимальных среднегодовых значений за период 1947–2005 гг. 13,8 PSU, по [12]. В августе 2015 г. в придонном слое

Гданьской впадины появились признаки ассимиляции вод, поступивших в результате «рождественского затока». Понизились соленость и концентрация кислорода (0,8 мл/л) [13].

В марте 2016 г. в придонном слое Гданьской впадины вновь появилась вода с соленостью более 14 PSU и концентрацией растворенного кислорода до 3,35 мл/л. К июлю 2016 г. концентрация уменьшилась до 1,44 мл/л, однако уже в октябре вновь выросла до 4,7 мл/л с последующим понижением до 2,7 мл/л к концу декабря. Необходимо отметить, что крупный «рождественский заток» декабря 2015 г. слабее отразился на гидрохимическом состоянии Гданьской впадины, чем серия меньших по объему заток в 2016 г. Это может быть вызвано тем, что после выхода из Слупского желоба заточная вода имеет несколько возможных путей распространения: не только в Гданьскую впадину, но и в Готландскую.

В апреле 2017 г. соленость придонного слоя Гданьской впадины достигла 13,74 PSU, а содержание растворенного кислорода составило 1,93 мл/л, что ниже значений, отмеченных в октябре–декабре 2016 г. В июле 2017 г. соленость придонного слоя составила 13,6 PSU. В придонном слое отмечался рост значений мутности, при этом область роста значений мутности совпадала с областями повышенных значений солености и распространялась повсеместно, включая Гданьско-Готландский порог. Однако в придонном слое Гданьской впадины и на ее склоне было отмечено низкое содержание растворенного кислорода — 1,0 и 1,1 мл/л, соответственно. В октябре 2017 г. в придонном горизонте Гданьской впадины концентрация растворенного кислорода составляла 1,42 мл/л, соленость — около 13 PSU.

В октябре 2017 г. произошел следующий заток (0,8 Гт) [6], однако его влияние на гидрологические параметры Гданьской впадины отследить не удалось — следующее измерение было проведено лишь в июле 2018 г., когда соленость составляла 12 PSU, концентрации растворенного кислорода были снижены вплоть до нулевых значений. Верхняя граница слоя с содержанием кислорода менее 1 мл/л совпадала с нижней границей галоклина на глубине 78–85 м. В пробах воды, отобранных ниже галоклина (75 м), органолептическим способом было зафиксировано наличие сероводорода. Известно [14], что при наличии в воде сероводорода определение концентрации растворенного кислорода в пробе методом Винклера подвержено сильным искажениям вплоть до нулевых значений концентрации кислорода при его наличии в пробе. Содержание растворенного кислорода в придонном слое, измеренное с помощью зонда, составляло менее одной части на миллион.

На границе кислородной и бескислородной зон был обнаружен слой повышенной мутности (вплоть до 1 FTU). Известно, что на границе кислородных и бескислородных условий может образовываться слой хемогенной взвеси из солей железа и марганца [15]. Фильтрация проб для выделения взвешенного осадочного вещества осуществлялась непосредственно из батометров, чтобы избежать аэрации проб морской воды и возможного растворения частиц взвеси, поскольку возрастание концентраций в кислородной зоне происходит резко, а убывание в сероводородной — более плавно [16].

Анализ образцов взвеси методом сканирующей электронной микроскопии показал, что основной минеральной компонентой взвешенного вещества являются

агрегаты с высоким содержанием Mn (от 40 до 75%) (рис. 4). В Черном море взвешенный марганец представлен гидратированной двуокисью марганца [16] и идентифицируется как вернадит, что подтверждают проведенные нами исследования с помощью сканирующей электронной микроскопии. Согласно [17] образование взвешенных форм марганца происходит с участием бактерий.

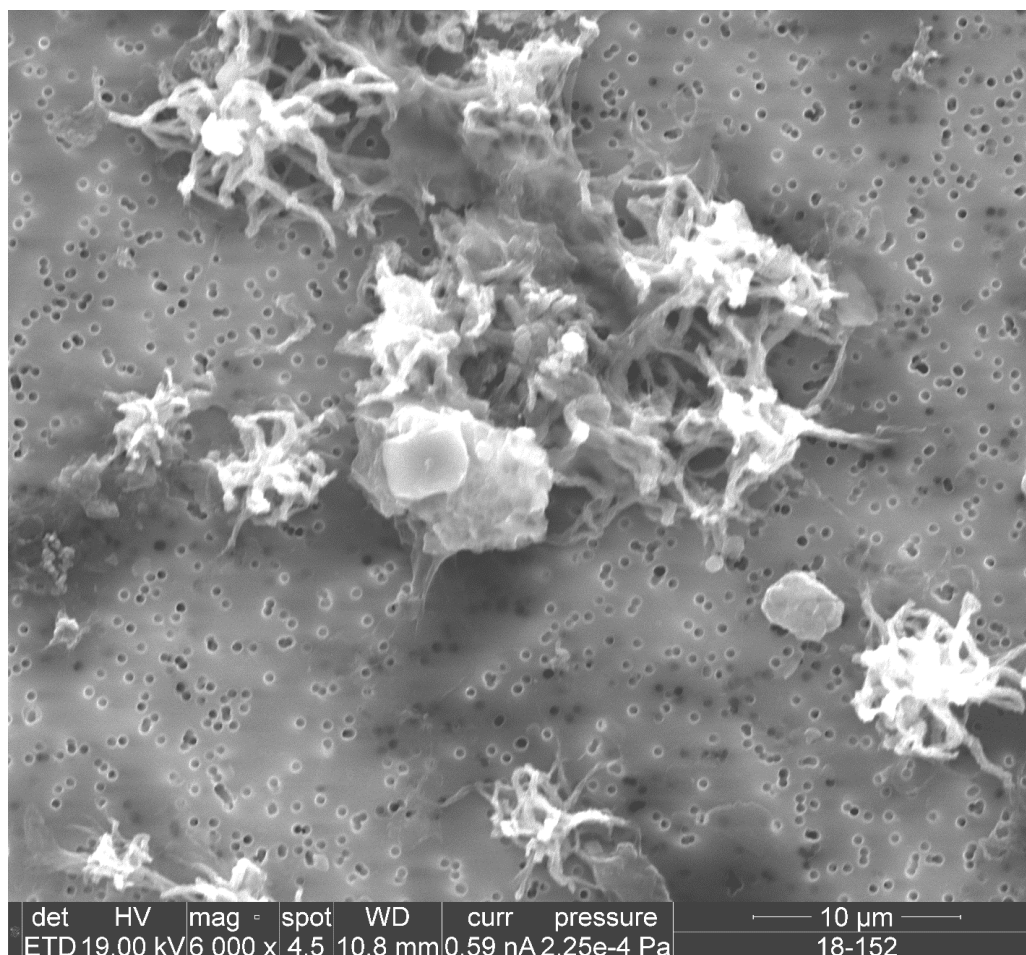


Рис. 4. Пример снимка электронным сканирующим микроскопом скоплений вернадита вокруг частицы кварца во взвешенном веществе, полученном при фильтрации воды с горизонта 80,2 м в Гданьской впадине 03.08.2018.

Глубина точки — 104 м

Fig. 4. An electron scanning microscope image of vernadite clusters around a quartz particle in the suspended matter sample obtained by filtering water from the 80.2 m horizon in the Gdansk Depression on 03.08.2018. The depth of the point is 104 m

Концентрация взвешенного вещества непосредственно в придонном слое составила 0,16 мг/л; качественный состав взвеси – редкие частицы детрита и инородных включений (в том числе золото и технеций).

В октябре 2018 г. в Гданьской впадине отсутствовали признаки вентиляции придонного слоя, там была обширная зона гипоксии с содержанием кислорода на уровне 1,40 % насыщения. Отсутствие аэрированных интрузий и пониженная соленость (11,6 PSU) свидетельствуют о преобладающей ассимиляции плотных

соленых вод предыдущих больших затоков. Однако учитывая, что осенний заток 2018 г. заметно приподнял уровень пикноклина в Борнхольмском бассейне, можно прогнозировать частичное обновление вод в Гданьской впадине.

Концентрация взвешенного вещества в придонном слое Гданьской впадины повысилась до 0,21 мг/л. В пробах взвеси, отобранных непосредственно в придонном слое, была обнаружена кристаллическая сера (рис. 5), по всей видимости, выпавшая в осадок.

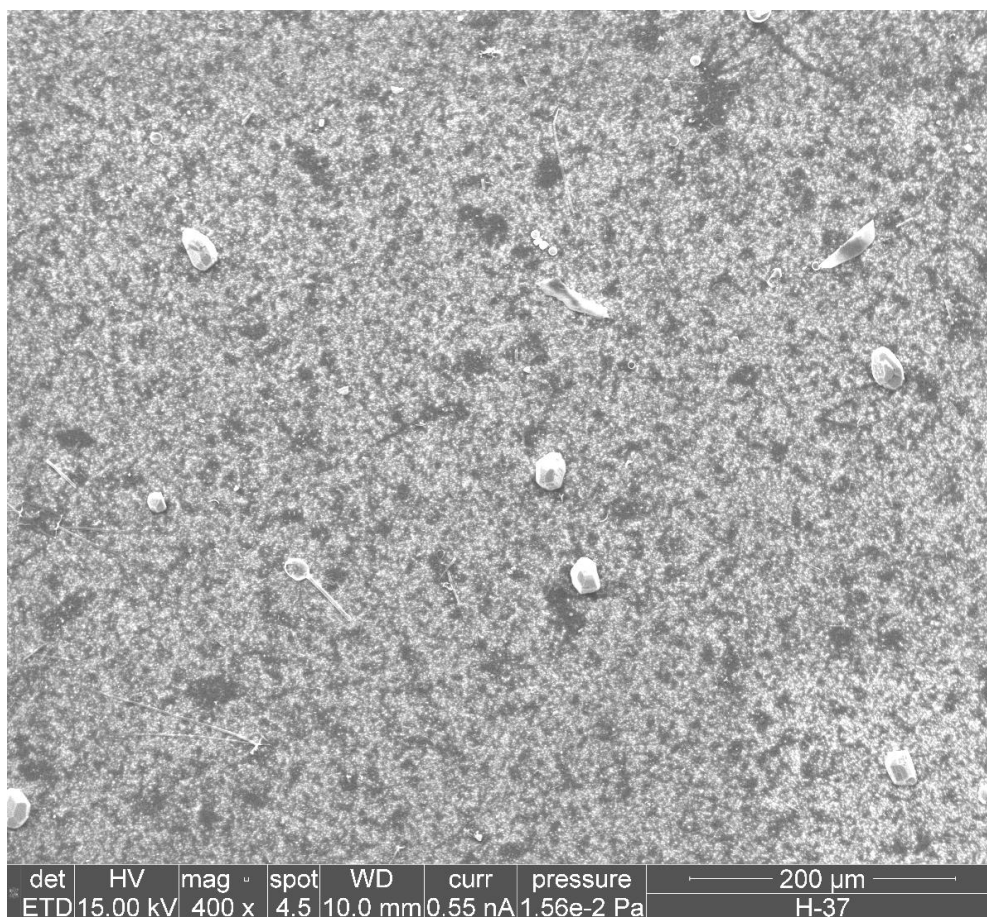


Рис. 5. Пример снимка электронным сканирующим микроскопом кристаллической серы во взвешенном веществе, полученном при фильтрации воды из придонного горизонта (104 м) в Гданьской впадине 03.08.2018

Fig. 5. An electron scanning microscope image of crystalline sulfur in the suspended matter sample obtained by filtering water from the bottom layer (104 m) in the Gdansk Depression on 03.08.2018

Стоит отметить, что весь период с марта 2016 по ноябрь 2017 гг. соленость придонных вод Гданьской впадины имела стабильно высокие значения – более 13 PSU, но кислородные условия были неблагоприятными. Эта ситуация повторяется и в Готландской впадине [18]: затоки ноября 2015 и января-февраля 2016 гг. незначительно повысили содержание растворенного кислорода (в мае 2016 и мае 2017 гг. оно составило 0,08 мл/л), хотя соленость придонного слоя в 2017 г. несколько выросла.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Межгодовой ход солёности и растворенного кислорода в придонном слое Гданьской впадины указывает не только на нерегулярное поступление затоковых североморских вод, но также и на общую для Балтийского моря тенденцию к большей скорости ассимиляции показателя растворенного кислорода по сравнению с солёностью. Подобный феномен связывают с усилением эвтрофированности Балтики и высоким потреблением кислорода на окисление органики.

Развитие зон гипоксии в придонном слое ведет к формированию слоя сероводородного заражения и слоя сосуществования кислорода и сероводорода. Наличие перехода от окислительных условий к восстановительным в придонном слое Гданьской впадины вызывает развитие слоя повышения концентрации взвешенных форм марганца, образованных в процессе бактериального окисления. Наличие слоя сероводорода обуславливает образование аутигенной взвешенной серы.

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

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Elken, J. Deep water overflow, circulation and vertical exchange in the Baltic Proper / J. Elken. – Tallinn: Estonian Mar. Inst., 1996. – 91 pp.
2. Meier, H. E. M. Modeling the pathways and ages of inflowing salt-and freshwater in the Baltic Sea / H. E. M. Meier // *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. – 2007. – V. 74. – №. 4. – P. 610-627.
3. Piechura, J. Inflow waters in the deep regions of the southern Baltic Sea-transport and transformations / J. Piechura, A. Beszczynska-Moller // *Oceanologia*. – 2004. – V. 46. – №. 1.
4. Rak, D. The inflow in the Baltic Proper as recorded in January–February 2015 / D. Rak // *Oceanologia*. – 2016. – V. 58. – №. 3. – P. 241-247.
5. Кречик, В. А. Абиотические условия придонных вод Гданьской впадины Балтийского моря в 2016 году / В. А. Кречик, М. В. Капустина, Е. С. Бубнова, В. А. Гриценко // *Ученые записки РГГМУ*. – 2017. – № 48. – С. 186-194.
6. Mohrholz, V. Major Baltic inflow statistics – Revised / V. Mohrholz // *Front. Mar. Sci*. – 2018. – №. 5. – P. 384. doi: 10.3389/fmars.2018.00384
7. Hansson, M. Oxygen Survey in the Baltic Sea 2018-Extent of Anoxia and Hypoxia, 1960-2018 / M. Hansson, L. Viktorsson, L. Andersson // *Report Oceanography*. – 2018. – №. 65.
8. Krek, A. V. Geocological conditions in the Baltic sea in 2017 / A. V. Krek, M. O. Ulyanova, E. S. Bubnova, V. A. Krechik, D. V. Ryabchuk, A. R. Danchenkov, D. A. Churin, M. V. Kapustina, E. S. Tkacheva, L. I. Khatmullina // *Oceanology*. – 2019. – V. 59. – №. 1. – P. 167–169.
9. ICES Oceanographic database / International Council for the Exploration of the Sea (ICES). – 2019 [Электронный ресурс]. URL: <https://ocean.ices.dk/HydChem/HydChem.aspx> (дата обращения: 04.04.2019)

10. Rak, D. Variability of temperature and salinity over the last decade in selected regions of the southern Baltic Sea / D. Rak, P. Wieczorek // *Oceanologia*. – 2012. – V. 54. – №. 3. – P. 339-354.
11. State and Evolution of the Baltic Sea, 1952–2005. A Detailed 50-Year Survey of Meteorology and Climate, Physics, Chemistry, Biology, and Marine Environment / Editors: R. Feistel, G. Nausch, N. Wasmund. 2008. [Электронный ресурс] URL: <http://www.io-warnemuende.de/projects/baltic/index.html> (дата обращения – 15.04.2019).
12. Дроздов, В. В. Колебания климата и донные рыбы Балтийского моря / В. В. Дроздов, Н. П. Смирнов. – Санкт-Петербург: Изд-во РГГМУ, 2008. – 249 с.
13. Krechik, V. A. Variability of hydrological and hydrochemical conditions of Gotland and Gdansk Basins' bottom waters (Baltic Sea) in 2015–2016 / V. A. Krechik, M. V. Kapustina, V. N. Lukashin, E. E. Ezhova // *Russ. J. Earth Sci.* – 2019. – V. 19.
14. Современные методы гидрохимических исследований океана / под ред. О. К. Бордовского, А. М. Черняковой. – Москва: ИОРАН, 1992. – 253 с.
15. Емельянов, Е. М. Распределение взвеси в Гданьском бассейне / Е. М. Емельянов, В. Л. Стрюк, Э. С. Тримонис // *Геохимия осадочного процесса в Балтийском море*. – Москва: Наука. – 1986. – С. 45-57.
16. Пахомова, С. В. Растворенные и взвешенные формы железа и марганца в редокс-зоне Черного моря / С. В. Пахомова, А. Г. Розанов, Е. В. Якушев // *Океанология*. – 2009. – Т. 49, №. 6. – С. 835-850.
17. Tebo, V. M. Geomicrobiology of manganese (II) oxidation / V. M. Tebo, H. A. Johnson, J. K. McCarthy, A. S. Templeton // *Trends in Microbiology*. – 2005. – V. 13. – №. 9. – P. 421-428.
18. Naumann, M. Water Exchange Between The Baltic Sea And The North Sea, And Conditions In The Deep Basins / M. Naumann, V. Mohrholz, J. J. Waniek // *HELCOM Baltic Sea Environment Fact Sheets*. – 2018 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.helcom.fi/baltic-sea-trends/environment-fact-sheets/hydrography/water-exchange-between-the-baltic-sea-and-the-north-sea-and-conditions-in-the-deep-basins> (дата обращения: 05.05.2019).

REFERENCES

1. Elken J. Deep water overflow, circulation and vertical exchange in the Baltic Proper. Tallinn, Estonian Mar. Inst., 1996, 91 p.
2. Meier H. E. M. Modeling the pathways and ages of inflowing salt-and freshwater in the Baltic Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2007, vol. 74, no. 4, pp. 610-627.
3. Piechura J., Beszczynska-Moller A. Inflow waters in the deep regions of the southern Baltic Sea-transport and transformations. *Oceanologia*, 2004, vol. 46, no. 1, pp. 593-621.
4. Rak D. The inflow in the Baltic Proper as recorded in January–February 2015. *Oceanologia*, 2016, vol. 58, no. 3, pp. 241-247.
5. Krechik V. A., Kapustina M. V., Bubnova E. S., Gritsenko V. A. Abioticheskie usloviya pridonnykh vod Gdan'skoy vpadiny Baltiyskogo morya v 2016

godu [Abiotic Conditions Of Bottom Waters In The Gdansk Depression Of The Baltic Sea In 2016]. *Uchenye zapiski RGGMU*, 2017, no. 48, pp. 186-194.

6. Mohrholz V. Major Baltic inflow statistics – Revised. *Front. Mar. Sci*, 2018, no. 5, p. 384. doi: 10.3389/fmars.2018.00384.

7. Hansson M., Viktorsson L., Andersson L. Oxygen Survey in the Baltic Sea 2018-Extent of Anoxia and Hypoxia, 1960-2018. *Report Oceanography*, 2018, no. 65.

8. Krek A. V., Ulyanova M. O., Bubnova E. S., Krechik V. A., Ryabchuk D. V., Danchenkov A. R., Churin D. A., Kapustina M. V., Tkacheva E. S., Khatmullina L. I. Geocological conditions in the Baltic Sea in 2017. *Oceanology*, 2019, vol. 59, no. 1, pp. 167-169.

9. ICES Oceanographic database. International Council for the Exploration of the Sea (ICES), 2019, available at: <https://ocean.ices.dk/HydChem/HydChem.aspx> (Accessed 4 April 2019).

10. Rak D., Wiczorek P. Variability of temperature and salinity over the last decade in selected regions of the southern Baltic Sea. *Oceanologia*, 2012, vol. 54, no. 3, pp. 339-354.

11. State and Evolution of the Baltic Sea, 1952–2005. A Detailed 50-Year Survey of Meteorology and Climate, Physics, Chemistry, Biology, and Marine Environment. Eds.: R. Feistel, G. Nausch, N. Wasmund, 2008, available at: <http://www.io-warnemuende.de/projects/baltic/index.html> (Accessed 15 April 2019).

12. Drozdov V. V., Smirnov N. P. Kolebaniya klimata i donnye ryby Baltiyskogo morya [Climate Fluctuations and Bottom Fish of the Baltic Sea]. Saint-Petersburg, Izd. RGGMU, 2008, 249 p.

13. Krechik V. A., Kapustina M. V., Lukashin V. N., Ezhova E. E. Variability of hydrological and hydrochemical conditions of Gotland and Gdansk Basins' bottom waters (Baltic Sea) in 2015-2016. *Russ. J. Earth Sci*, 2019, vol. 19, pp. 1-8.

14. Sovremennyye metody gidrokhimicheskikh issledovaniy okeana [Modern Methods of Hydrochemical Studies of the Ocean], pod red. O. K. Bordovskogo, A. M. Chernyakovoy. Moscow, IORAN, 1992, 253 p.

15. Emel'yanov E. M., Stryuk V. L., Trimonis E. S. Raspreделение vzvesi v Gdan'skom bassejne [Distribution of Suspended Matter in the Gdansk Basin]. Geokhimiya osadochnogo protsessa v Baltiyskom more [Geochemistry of Baltic Sea surface sediments]. Moscow, Nauka, 1986, pp. 45-57.

16. Pakhomova S. V., Rozanov A. G., YAKushev E. V. Rastvorennyye i vzveshennyye formy zheleza i margantsa v redoks-zone Chernogo morya [Dissolved and suspended forms of iron and manganese in the redox zone of the Black Sea]. *Okeanologiya*, 2009, vol. 49, no. 6, pp. 835-850.

17. Tebo B. M., Johnson H. A., McCarthy J. K., Templeton A. S. Geomicrobiology of manganese (II) oxidation. *Trends in Microbiology*, 2005, vol. 13, no. 9, pp. 421-428.

18. Naumann M., Mohrholz V., Waniek J. J. Water Exchange Between The Baltic Sea And The North Sea, And Conditions In The Deep Basins. *HELCOM Baltic Sea Environment Fact Sheets*, 2018, available at: <http://www.helcom.fi/baltic-sea-trends/environment-fact-sheets/hydrography/water-exchange-between-the-baltic-sea-and-the-north-sea-and-conditions-in-the-deep-basins> (Accessed 5 May 2019).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Бубнова Екатерина Сергеевна – Институт океанологии имени П. П. Ширшова
Российской академии наук; младший научный сотрудник;
E-mail: bubnova.kat@gmail.com

Bubnova Ekaterina Sergeevna – Shirshov Institute of Oceanology of the Russian
Academy of Sciences; Junior Researcher; E-mail: bubnova.kat@gmail.com

Капустина Мария Владимировна – Институт океанологии имени П. П. Ширшова
Российской академии наук; младший научный сотрудник;
E-mail: kapustina.mariya@yandex.ru

Kapustina Mariia Vladimirovna – Shirshov Institute of Oceanology of the Russian
Academy of Sciences; Junior Researcher; E-mail: kapustina.mariya@yandex.ru

УДК 581.52:574.52:504.453

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РЕКИ ГУРЬЕВКИ
НА ОСНОВЕ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ДАННЫХ И ПОКАЗАТЕЛЕЙ
ФИТОПЛАНКТОНА

О. С. Бугранова, П. П. Буйняченко, Т. А. Берникова, С. А. Уманский

EVALUATION OF THE ECOLOGICAL STATUS OF THE GURIEVKA RIVER
BASED ON HYDROCHEMICAL DATA AND PHYTOPLANKTON
INDICATORS

O. S. Bugranova, P. P. Buiniachenko, T. A. Bernikova, S. A. Umanskiy

В 2016 г. выполнены гидрологические наблюдения и впервые получены подробные сведения о развитии фитопланктона от истока до устья р. Гурьевки – притока первого порядка р. Преголи Калининградской области. Наибольший объем сброса загрязненных вод (более 80 %) приходится на среднее течение Гурьевки, где находятся шесть выпусков предприятий жилищно-коммунального хозяйства, в том числе г. Гурьевска и расположенной в его окрестностях птицефабрики (один выпуск). Ниже происходило самоочищение, и в приустьевом участке воды реки оказывались более чистыми, но все еще достаточно загрязненными.

Уровень количественного развития фитопланктона в целом высокий, чему способствуют хорошо прогреваемые воды реки с медленным течением и малыми глубинами. Результаты анализа пространственной структуры количественного развития альгофлоры свидетельствуют о ее неоднородности на различных участках водотока. Показатели численности и биомассы повышаются от истока к устью реки, что согласуется с положениями концепции речного континуума.

Проведена комплексная оценка качества воды по гидрохимическим параметрам и биоиндикационным свойствам водорослей планктона. Произведен расчёт индекса сапробности, индекса загрязнения воды (ИЗВ), интегральных индексов загрязнения реки WESI и RPI. На основании полученных значений сделан вывод об общем экологическом состоянии Гурьевки, а также выделены участки, подверженные наибольшему загрязнению – максимальная нагрузка приходится на створ после г. Гурьевска и на приустьевую часть реки. Полученные данные о структуре фитопланктона и физико-химических параметрах вод этого водотока могут служить основой биомониторинга речной экосистемы.

река Гурьевка, электропроводность, растворенный кислород, водородный показатель, БПК₅, биогенные элементы, фитопланктон, биоиндикация, сапробность, интегральные индексы загрязнения реки (WESI, RPI), качество воды

In 2016, hydrochemical studies were carried out, and detailed information was first obtained on the development of phytoplankton from the source to the estuary of the Gurievka River in the Kaliningrad Region. The most quantity of the waste water (more than 80%) accounts for the middle river flow, where 6 points of municipal waste water

discharge, including Gurievsk city sewage and poultry farm waste water, are located. In the lower river flow the self-treatment is occurred and as a result in the estuary the river water is cleaner but still not enough.

The level of quantitative development of phytoplankton is generally high, which is facilitated by well-heated river waters with a slow course and shallow depths. The analysis results of the spatial structure of the quantitative development of algoflora indicate its heterogeneity in different parts of the river. Abundance and biomass indicators increase at stations from the source to the mouth of the river, which is consistent with the provisions of the concept of the river continuum.

A comprehensive assessment of the river water quality by hydrochemical parameters and bioindication properties of plankton algae has been carried out. The indices of trophicity, saprobity, WPI, WESI and RPI have been calculated. Based on the values obtained, a conclusion about the general ecological condition of the river has drawn, and sections of the river that are most polluted have been identified. The river site by the Gurievsk city and the estuary are suffered by the maximum load. The obtained data on the structure of phytoplankton and physicochemical parameters of the Gurievka river waters can serve as the basis for biomonitoring of the river eco-system.

Gurievka river, electrical conductivity, dissolved oxygen, hydrogen index, BOD₅, nutrients, phytoplankton, bioindication, saprobity, integrated river impact index (WESI, RPI), water quality

ВВЕДЕНИЕ

Малые реки, составляющие основу гидрографической сети Калининградской области, могут вносить существенный вклад в формирование качественных показателей рек более крупного порядка. Однако подробные сведения об их гидрологических и гидробиологических условиях крайне малы или вообще отсутствуют. Недостаточность информации в этой области затрудняет разработку мер по охране и защите водных объектов от деградации. Комплексная оценка экологического состояния малых водотоков представляет особый научный интерес.

В условиях Калининградской области проблема загрязнения малых водотоков стоит достаточно остро, что подтверждается рядом исследований [1-3]. Эту проблему в полной мере можно отнести и к Гурьевке – притоку первого порядка р. Преголи, воды которой используются для водоснабжения г. Калининграда.

Основу трофической цепи водной экосистемы составляют водоросли. Биоиндикация на основе видового состава сообщества и обилия отдельных таксонов фитопланктона может представлять интегральную оценку результатов всех природных и антропогенных процессов, протекающих в водном объекте.

Цель данной работы – определение экологического состояния вод р. Гурьевки в период исследования на основе гидрохимических показателей, интегрального расчета по данным биоиндикации и рассчитанных индексов состояния экосистемы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА

Исследования р. Гурьевки выполнены 8 июня, 6 сентября и 22 ноября 2016 г. на пяти гидрологических станциях (рис. 1).

На каждой станции в момент отбора проб воды измерялись скорость течения (гидрометрической вертушкой), глубина (водомерной рейкой), ширина русла

(лазерным дальномером), температура и электропроводность воды, величина рН и содержание растворенного кислорода (оксиметром и рН-метром). Определялись преобладающие виды высшей водной растительности.

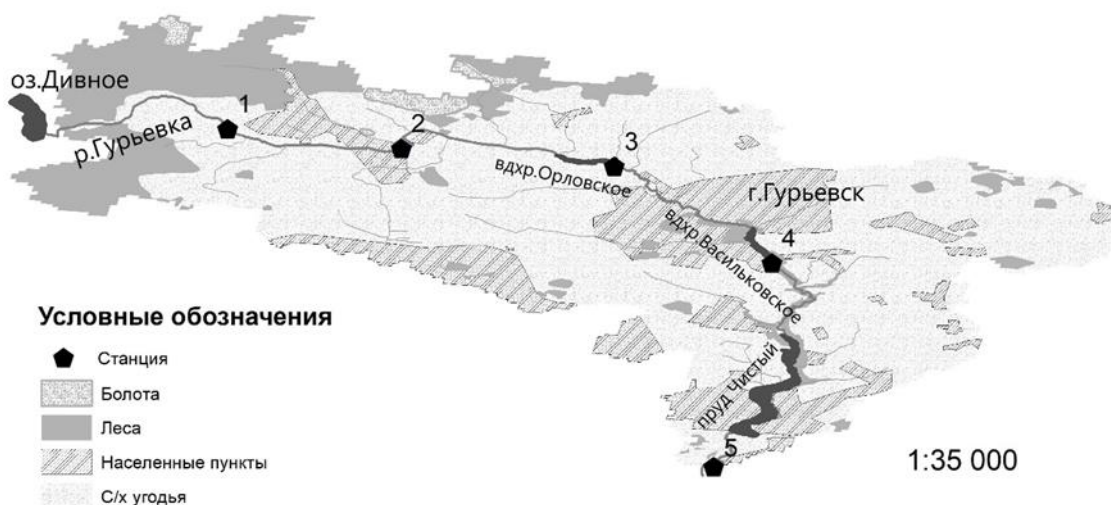


Рис. 1. Схема расположения гидрологических станций
Fig. 1. Location map of sampling stations

Пробы воды для химического и альгологического анализов отбирали 10-литровым ведром на некотором удалении от берега на глубине около 0,2 м. Гидрохимический анализ осуществлялся Центром лабораторного анализа и технических измерений по Калининградской области, имеющим соответствующую аккредитацию. Определены БПК₅, нитриты, нитраты, фосфаты, аммоний-ион.

Пробы фитопланктона объемом 0,5 л фиксировали раствором Люголя с добавлением ледяной уксусной кислоты. Концентрирование проб фитопланктона проводили методом мембранной фильтрации на мембранных фильтрах (с диаметром пор 1,2 мкм) через воронку под давлением с помощью насоса Комовского. Таксономическую идентификацию вели по ряду определителей водорослей, указанных ранее [4]. Подсчет численности и биомассы проводили по стандартным гидробиологическим методикам [5].

Гидрохимический индекс загрязненности воды (ИЗВ) [6] вычислялся по формуле (1):

$$\text{ИЗВ} = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{\text{ПДК}_i}, \quad (1)$$

где C_i – концентрация гидрохимического параметра; n – число показателей, используемых для расчета индекса, $n = 6$; ПДК_{*i*} – установленная величина норматива для соответствующего типа водного объекта [7]. ИЗВ определен по концентрации нитратов, аммоний-иона, фосфатов, растворенного кислорода, величине БПК₅ и рН.

Индекс сапробности по методу Пантле-Бука в модификации Сладечека [8] по сообществу водорослей рассчитывали по формуле (2):

$$S = \frac{\sum s \times h}{\sum h}, \quad (2)$$

где S – степень сапробности сообщества водорослей; s – сапробное значение организма-сапробионта; h – частота встречаемости сапробионта в пробе.

Интегральный индекс состояния экосистемы (WESI) [9] вычислялся по следующей формуле:

$$WESI = RankS / RankNNO_3, \quad (3)$$

где $Rank S$ – номер разряда качества воды согласно уровням индикатора сапробности (табл. 1) [10]; $Rank N-NO_3$ – номер разряда качества воды согласно уровням концентрации азота нитратов (табл. 1).

Таблица 1. Классификация экологического качества вод для вычисления WESI
Table 1. Classification of environmental water quality for WESI calculation

Класс качества воды	I «Очень чистая»	II «Чистая»		III «Удовлетворительной чистоты»		IV «Загрязненная»		V «Грязная»	
		2 а «Очень чистая»	2 б «Вполне чистая»	3 а «Достаточно чистая»	3 б «Слабозагрязненная»	4 а «Умеренно загрязненная»	4 б «Сильно загрязненная»	5 а «Весьма грязная»	5 б «Пределно грязная»
Разряд качества воды	1 «Пределно чистая»	2 а	2 б	3 а	3 б	4 а	4 б	5 а	5 б
Номер разряда	1	2	3	4	5	6	7	8	9
N-NO ₃ , мг/л	<0,05	0,05-0,20	0,21-0,50	0,51-1,00	1,01-1,50	1,51-2,00	2,01-2,50	2,51-4,00	>4,00
Индекс сапробности S	<0,5	0,5-1,0	1,0-1,5	1,5-2,0	2,0-2,5	2,5-3,0	3,0-3,5	3,5-4,0	>4,0

Если индекс WESI изменяется от 0 до 5. Если $WESI < 1$, то экосистема подвергается токсическому воздействию, если $WESI \geq 1$ – самоочищение не подавляется.

Интегральный индекс загрязнения реки (RPI) рассчитан для индексов сапробности и всех собранных гидрохимических данных на основе интегрального метода [9, 10] согласно формуле

$$RPI = \sum(D_i + D_j) \times l / 2L, \quad (4)$$

где D_i, D_j – индексы сапробности ближайших станций i, j ; l – расстояние между двумя соседними станциями, км; L – общая длина реки, км.

Процесс расчета количественных показателей фитопланктона, стандартно-отклонения δ (STDEV) и индексов производился с помощью программы Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Общая характеристика

Гурьевка относится к рекам равнинного типа, характеризуется незначительной глубиной эрозионного вреза. Берет начало из заболоченного леса в районе оз. Дивного и впадает в р. Преголю. Протяженность реки 27,7 км, уклоны уменьшаются от 1,36 в верховье до 0,98 ‰ в устье [11]. Коэффициент извилистости русла 1.1. Река зарегулирована плотинами трех прудов (водохранилищ): Орловского, Васильковского и Чистого. На ее водосборе расположены четыре зарегистрированных водопользователя. Сбрасываемые в речную систему сточные воды относятся к категориям коммунально-бытовых, животноводческих и ливневых. Наибольший объем сброса (более 80 %) приходится на среднее течение, где находятся шесть выпусков предприятий жилищно-коммунального хозяйства, в том числе г. Гурьевска и расположенной в его окрестностях птицефабрики (один выпуск) [12].

Некоторые морфометрические и гидрологические характеристики станций в период исследования представлены в табл. 2.

Таблица 2. Гидрологические и морфометрические особенности станций
Table 2. Hydrological and morphometric features of the sampling stations

Дата	Станции	Расстояние от истока, км	Ширина русла, м	Глубина вертикали, м	Скорость течения на вертикали, м/с	Расход воды, м ³ /с	Температура воды, °С	pH
08.06.2016 г.	1	4,2	1,24	0,29	0,06	0,02	10,6	7,72
	2	6,6	2,70	0,42	0,42	0,37	13,0	7,58
	3	12,0	4,67	0,10	0,43	0,20	20,9	7,93
	4	17,1	3,20	0,29	0,32	0,22	20,9	8,2
	5: труба 1	26,9	1,55	1,41	0,14	0,30	20,4	7,94
	труба 2	-	1,55	1,29	0,12	0,32	20,4	7,94
06.09.2016 г.	1	4,2	3,10	0,48	0,09	0,12	13,1	8,6
	2	6,6	3,38	0,31	0,06	0,05	13,6	8
	3	12,0	4,67	0,10	0,34	0,16	19	8,1
	4	17,1	6,80	0,58	0,06	0,18	18,5	8,3
	5: труба 1	26,9	1,55	1,39	0,04	0,08	18,8	8,4
	труба 2	-	1,55	1,39	0,06	0,08	18,8	8,4
22.11.2016 г.	1	4,2	2,80	0,58	0,21	0,26	5,7	8,13
	2	6,6	3,90	0,69	0,15	0,3	6	8
	3	12,0	4,67	0,23	0,32	0,34	6,2	8,12
	4	17,1	6,80	0,58	0,26	0,79	5,8	8
	5: труба 1	26,9	1,55	1,45	0,28	0,50	6,5	7,95
	труба 2	-	1,55	0,96	0,32	0,52	6,5	7,95

Станция 1 расположена в районе пос. Дорожного. Дно илистое, берега пологие. В теплое время года на расстоянии 1-2 м от берега река была покрыта надводной растительностью, преимущественно рогозом широколистным.

Станция 2 находится в пос. Медведевка, в 0,5 км от трассы А191. Дно илистое с вкраплениями валунов, берега пологие. В летне-осенний период русло заросло высшей водной растительностью. Придорожное расположение пункта отбора проб определяло наличие пятен нефтепродуктов, а также большого количества бытового мусора в воде реки и на её пойме.

Станция 3 расположена в нижнем бьефе вдхр. Орловского. Гидрологические работы проводились с плотины. Дно покрыто валунами, часть берега, формирующая плотину, забетонирована. Берега водохранилища у плотины покрыты густыми зарослями камыша озерного, рогоза широколистного, тростника южного. На поверхности водохранилища вблизи берега наблюдались плавающие высшие водные растения – кувшинка чисто-белая, кубышка желтая, ряска малая.

Станция 4 находится в Васильковском водохранилище, накапливающем загрязнения, приносимые рекой и поступающие со сточными водами г. Гурьевска и расположенной в его окрестностях птицефабрики, в 70 м за плотиной. Дно сильно заилено, берег крутой, в вегетационный период заросший кустарником. Высшая водная растительность представлена рогозом широколистным и стрелой обыкновенным. На поверхности воды в сентябре наблюдалась белая пена, стоял резкий запах канализации. В районе станции был зафиксирован несанкционированный сброс сточных вод, предположительно от частного дома.

Станция 5, замыкающая, расположена в 0,8 км от устья Гурьевки, ниже рыбоводного хозяйства КГТУ. Река здесь на протяжении пяти метров заключена в две бетонные трубы диаметром 1,55 м. В теплое время года берега зарастают, по-

верхность воды покрывается ряской малой. Отбор проб осуществлялся на выпуске.

Гидрологическая характеристика

Работы на реке велись при температуре воды 10,6-20,4 в июне, 13,1-19,0 - в сентябре и 5,7-6,5 °С - в ноябре.

Расходы воды в июне и особенно в сентябре были низкими (0,02-0,37; 0,05-0,18 м³/с соответственно), в ноябре они увеличились до 0,26-0,79 м³/с с максимумами на станции 4. Исключением оказался июнь с аномально большим расходом на станции 2, расположенной в пос. Медведевка (табл. 2).

Резкое увеличение расходов на отдельных станциях свидетельствует о существовании дополнительного источника воды, каковым может быть сброс сточных вод, в том числе залповый (станция 3). На замыкающей станции, расположенной ниже пруда Чистого на выпуске из труб, расходы уменьшались, в июне-сентябре – в 2 раза.

Гидрохимическая характеристика

Кислородные условия в рассматриваемые сроки были благоприятными. В июне концентрация кислорода повсюду удовлетворяла требованиям ПДК [7]. На большей части реки она изменялась в пределах 7,00-7,65, возрастая до 8,66 мг/л на замыкающей станции. В сентябре вследствие снижения температуры воды и замедления в связи с этим окислительных процессов содержание кислорода увеличилось до 10,30-11,50 мг/л с максимумами на станциях 2 и 5 (рис. 2а).

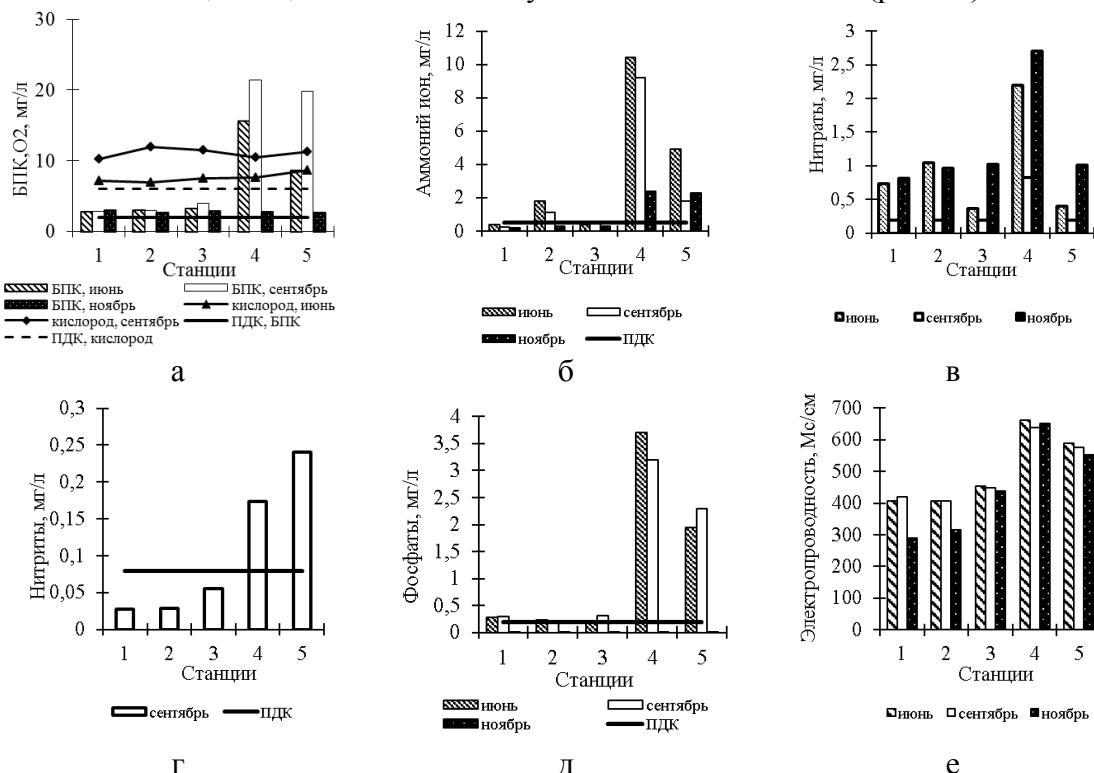


Рис. 2. Распределение концентрации гидрохимических элементов по станциям в р. Гурьевке

Fig. 2. Distribution of the concentration of hydrochemical elements at stations in the Gurievka river

Значения БПК₅ вышли за рамки ПДК на всех станциях (рис. 2а). Максимальные превышения наблюдались на станции 4: в июне – 8, в сентябре 11 ПДК. Такие высокие значения БПК₅ свидетельствуют о большом содержании в воде органических веществ, что может быть объяснено диффузным (с сельскохозяйственных полей) и точечным (хозяйственно-бытовые воды г. Гурьевска и сточные от птицефабрики и т. п.) загрязнениями. Поступающие органические вещества накапливались в воде Васильковского водохранилища вследствие замедленного течения и малых расходов. На станции 5 величина БПК₅ снижалась, что указывает на самоочищение воды. В ноябре вследствие увеличения количества кислорода и возрастания расходов ситуация была более благоприятной: величина БПК₅ не превышала 3,1 мгО₂/л, равномерно распределяясь по всей реке.

Концентрация аммоний-иона в большинстве проб превышала ПДК (рис. 2б). Резкий скачок концентрации аммоний-иона, как и БПК₅, происходил на станции 4, особенно в июне (10,4 мг/л, 21 ПДК), что связано с интенсивным развитием водной растительности и регенерацией азота при ее отмирании. На станции 5 содержание аммоний-иона заметно снижалось, хотя и оставалось высоким (10 ПДК).

Содержание нитратов было значительно ниже ПДК (40 мг/л). Максимальные концентрации отмечались все на той же станции 4 (рис. 2в), что отражает общую пространственную закономерность в распределении загрязняющих веществ по длине реки.

Для установления свежего загрязнения реки в сентябре определено количество нитритов. Превышение ПДК обнаружено только на станциях 4 и 5 – 0,174 мг/л, 2 ПДК и 0,24 мг/л, 3 ПДК соответственно (рис. 2г).

Общая закономерность в изменении загрязнения по длине реки проявилась и в распределении фосфатов (рис. 2д). Максимальное содержание (3,7 мг/л, 18 ПДК) было на станции 4 в июне, на станции 5 их количество заметно снижалось. В ноябре фосфатов было менее 0,01 мг/л.

Электропроводность воды позволяет оценить ее минерализацию и может служить суммарным показателем антропогенного загрязнения. На рис. 2е хорошо просматривается все та же закономерность: резкое увеличение электропроводности на станции 4 и ее снижение на станции 5.

Фитопланктон

По результатам обработки проб фитопланктона р. Гурьевки выявлено 159 таксонов водорослей, относящихся к восьми отделам (рис. 3).

Основу таксономического спектра составлял отдел зеленых водорослей (71 %), диатомовых (34 %) и цианопрокариот (16 %), что характерно для рек Калининградской области [4, 13]. Чуть менее разнообразно представлены водоросли отдела Euglenophyta (14 %). Динофитовые и стрептофитовые составляют по 4 % каждый, криптофитовые – 3 и золотистые – 2 % от общего таксономического состава.

Уровень количественного развития фитопланктона в целом высокий, чему способствуют хорошо прогреваемые воды с медленным течением и мелкими глубинами, и повышается по станциям от верховья к устью реки.

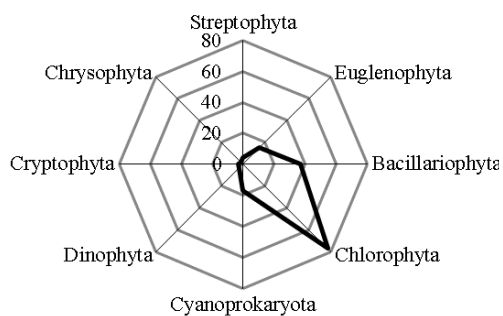


Рис. 3. Звездчатая диаграмма альгофлоры р. Гурьевки
Fig. 3. Diagram of the Algoflora of the Gurievka River

В районе истока реки численность и биомасса фитопланктона относительно невелики: в июне – около 2 млн кл./л и 0,380 мг/л, в сентябре – примерно 1 млн кл./л и 0,650 мг/л, в ноябре – менее 1 млн кл./л и 0,166 мг/л (рис. 4).

В июне основу альгофлоры реки формировали зеленые водоросли (89 % по численности с доминирующим видом *Ankistrodesmus bernardii* Komárek и 50 % по биомассе), в сентябре и ноябре фитопланктон по численности был представлен в основном цианопрокариотами (65 и 72 % с доминирующими видами родов *Oscillatoria* и *Microcystis*); по биомассе -

диатомовыми (79 % с *Melosira granulata* (Ehrenberg) Ralfs и 30 % соответственно), а также криптофитовыми в ноябре (41 % с *Cryptomonas ovata* Ehrenberg).

Количественное развитие фитопланктона на станции 2 по сравнению с участком станции 1 увеличилось до более 4 млн кл./л численности и 1,643 мг/л биомассы в июне, в ноябре – более 11 млн кл./л и 0,380 мг/л, что повлияло на повышение концентрации аммоний-иона. В июне доминировали по численности зеленые, диатомовые и цианопрокариоты, в ноябре – цианопрокариоты (род *Oscillatoria*), составившие 99 % численности и 96 % биомассы. В сентябре вегетация на станции 2 по сравнению со станцией 1 снизилась до 125 тыс. кл./л численности и 0,042 мг/л биомассы, в этот период наблюдались повышенное содержание кислорода, пониженное содержание нитратов и низкий расход воды.

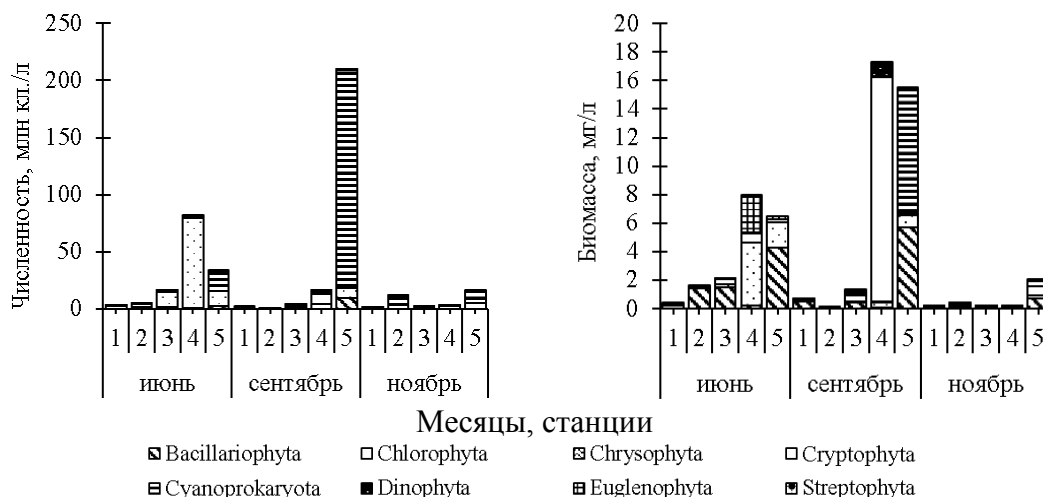


Рис. 4. Распределение численности и биомассы по станциям р. Гурьевки
Fig. 4. Distribution of abundance and biomass at Gurievka river stations

Далее вниз по течению реки на станциях 3 и 4 шло общее повышение вегетации водорослей, где фитопланктон стал испытывать сильное влияние вышерасположенных водохранилищ Орловского и Васильковского, уровень вегетации

был очень высокий: в июне численность достигала 80 млн кл./л, биомасса – 7,960 мг/л; в сентябре – более 15 млн кл./л и более 17 мг/л; в ноябре вегетация была менее интенсивной – более 2 млн кл./л и 0,158 мг/л. В июне и ноябре доминировали зеленые водоросли, в сентябре – криптофитовые (59 % численности и 91 % биомассы).

В устье реки на станции 5 в июне наблюдалось снижение и численности (до 33 млн кл./л) и биомассы (до 6,460 мг/л). В сентябре была отмечена максимальная численность за все время наблюдения – более 200 млн кл./л., в этот период преобладали цианопрокариоты как по численности (91 %) с *Microcystis aeruginosa* (Kützing) Kützing, так и по биомассе (56 %). В ноябре по сравнению с предыдущими станциями наблюдалась высокая вегетация водорослей – 16 млн кл./л численности и 2,030 мг/л биомассы. В этот период отмечено повышение содержания нитритов и температуры воды по сравнению с другими участками. Преобладали по численности цианопрокариоты (62 %); по биомассе – диатомовые (35 %), криптофитовые (30 %) и цианопрокариоты (23 %).

Среди выявленного списка водорослей 42 вида, что составляло 26 % от общего числа таксонов, были видами-показателями сапробности (рис. 5).

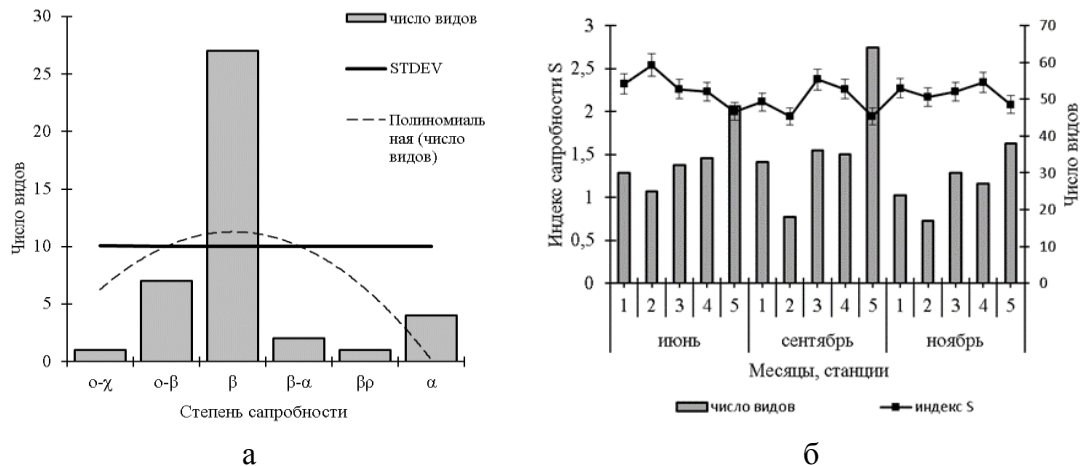


Рис. 5. Биоиндикация р. Гурьевки: а – выделение значимых групп водорослей по степени сапробности; б – динамика числа видов и сапробного индекса по станциям

Fig. 5. Bioindication of the Gurievka River: a - allocation of significant groups of algae according to the degree of saprobity; b - dynamics of the number of species and saprobic index at stations

Виды-индикаторы были распределены следующим образом: 64 % составляли β-мезосапробные формы, 17 % – формы, развивающиеся в переходной зоне между олигосапробной и β-мезосапробной (o-β-мезосапробы), 10 % – α-мезосапробные; 5 % – β-α-мезосапробные формы и по 2 % – o-γ- и β-ρ-мезосапробы. На рис. 5а показано упорядочение групп видов-индикаторов сапробности по градиенту значимости. Линиями стандартного отклонения и полиномиального тренда выделены наиболее представительные группы водорослей по этому показателю, а именно: β-мезосапробы.

Динамика сообщества водорослей на контролируемых станциях в р. Гурьевке показывала колебания видового богатства от станции 1 у истока реки до за-

грязненной станции 2 в районе пос. Медведевка, где наблюдалось самое низкое видовое разнообразие. Далее вниз по течению оно увеличивалось на станциях 3-5 (рис. 5б).

Индексы загрязнения реки

Индекс сапробности по методу Пантле-Бука в модификации Сладечека летом варьировал от 2,32 у истока реки до 2,54 на станции 2 в районе пос. Медведевка, а далее снижался до 2,00 в устье реки (рис. 5б, табл. 3). В сентябре индекс варьировал от 2,11 у истока до 1,94 у пос. Медведевка и далее увеличивался до 2,37 в районе Орловского водохранилища и опять снижался до 1,94 в устье реки. В ноябре значения индекса колебались от 2,27 у истока реки до 2,08 в устье. Средние индексы сапробности соответствовали водам β -мезосапробной зоны, и согласно классификации Сладечека воды р. Гурьевки относились к умеренно загрязненным.

Результаты расчетов гидрохимического индекса загрязненности воды показали, что река наиболее загрязнена в нижнем течении на станции 4. Воды этой станции оцениваются как «грязные», значение ИЗВ - 4,04. На станции 5 ИЗВ был более низким (табл. 3).

Таблица 3. Индекс ИЗВ
Table 3. Water pollution index

Параметры	Станции отбора проб				
	1	2	3	4	5
Июнь	0,82	1,36	0,87	9,46	4,27
Сентябрь	0,77	1,04	1,05	9,57	6,08
Ноябрь	0,72	0,65	0,80	1,67	1,77
Сред. значение	0,77	1,02	0,91	6,09	4,04
Класс качества воды	«Чистая»	«Умеренно загрязненная»	«Чистая»	«Очень грязная»	«Грязная»

Интегральный индекс состояния экосистемы (WESI), позволяя определить уровень стрессового воздействия на водную экосистему путем сравнения индексов сапробности и количества азота нитратов, показал: экосистема реки в июне и ноябре на станции 4 испытывала наибольшее воздействие токсикантов, что подтверждает данные о сильном загрязнении этого участка по индексам ИЗВ, описанным выше. Однако на всем протяжении реки индекс $WESI \geq 1$ (рис. 6), следовательно, самоочищение не подавлялось.

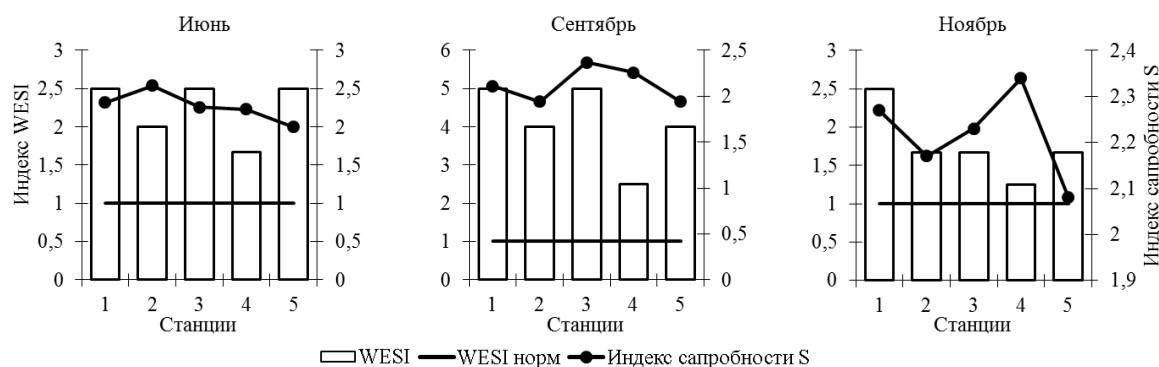


Рис. 6. Сезонные изменения индекса состояния экосистемы (WESI) р. Гурьевки

Fig. 6. Seasonal changes of the Water Ecosystem State Indices (WESI) of the Gurievka River

Интегральную оценку водного объекта в целом по различным показателям дают индексы RPI. Кроме того, они позволяют сравнивать загрязнение реки в разные периоды. Индекс RPI рассчитан по химическим переменным и показателям сапробности S (табл. 4).

Таблица 4. Интегральный индекс загрязнения реки (RPI)
Table 4. The integral River Pollution Index (RPI)

Месяцы	RPI, ед.измерения							
	RPI _T , °C	RPI _{эл.} , μS/cm	RPI _{PO4} , мг/л	RPI _{NO3} , мг/л	RPI _{NO2} , мг/л	RPI _{N-NH4} , мг/л	RPI _{БПК5} , мг/л	RPIs
Июнь	15,48	443,39	1,42	0,91	-	4,01	6,94	1,84
Сентябрь	14,38	434,03	1,37	0,33	-	3,07	10,56	1,76
Ноябрь	4,98	412,93	0,01	1,27	0,11	1,15	2,37	1,82

По интегральным показателям воды р. Гурьевки имели умеренную температуру (RPI_T = 4,98 – 15,48) и значительное количество питательных веществ в июне и сентябре (RPI_{N-NH4} = 3,07-4,01; RPI_{PO4} = 1,37-1,42; RPI_{NO3} = 0,33-0,91). Большинство значений интегральных индексов снижалось с июня по ноябрь, за исключением высокого значения RPI_{БПК5} в сентябре (в этот период наблюдалась самая высокая вегетация водорослей) и существенного повышения значения RPI_{NO3} в ноябре (RPI_{NO3} = 1,27) в сезон дождей, что может свидетельствовать об увеличении притока органических нагрузок с сельскохозяйственных полей бассейна р. Гурьевки. Переменность интегрального индекса RPI показывает растущую нестабильность в речной экосистеме (табл. 4).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования р. Гурьевки позволили выявить пространственную закономерность в распределении загрязняющих веществ – увеличение содержания поллютантов на станции 4, створ которой замыкает участок реки, принимающий диффузные и точечные загрязнения, включая сточные воды г. Гурьевска и расположенной в его окрестностях птицефабрики. На приустьевой станции 5 в результате самоочищения происходило существенное снижение загрязнения, однако воды реки оставались все еще достаточно загрязненными, внося определенный вклад в загрязнение р. Преголи. Концентрация биогенных элементов обычно превышала ПДК, в некоторых случаях - в десятки раз. Избыток биогенных элементов может приводить к эвтрофированию водных объектов и изменению их трофического статуса.

Разнообразие водорослей в речном сообществе Гурьевки также отражало качество воды. Результаты таксономического и количественного анализа развития фитопланктона реки свидетельствовали о его неоднородности на различных участках, что согласуется с положениями концепции речного континуума. Уровень количественного развития фитопланктона Гурьевки повышался от верховья к устью.

Мы использовали несколько методов для оценки качества воды и способности реки к самоочищению. Расчет индексов сапробности S, широко используемых в системах мониторинга стран ЕС, отражает также пространственную динамику и сезонные колебания загрязнения на станциях. Воды реки по средним показателям сапробности характеризовались средним уровнем органического загряз-

нения и квалифицировались как β -мезосапробные. Классы качества воды по ИЗВ в период исследования менялись от «чистой» в истоке до «очень грязной» на станции 4 и «грязной» - на замыкающей станции 5.

Новый индекс WESI позволил нам оценить токсическое воздействие на фотосинтез. Экосистема реки в июне и ноябре на станции 4 испытывала наибольшее воздействие токсикантов, но самоочищение не подавлялось.

Интегральный индекс загрязнения реки (RPI) помог выявлять нестабильность экосистемных процессов. Значения концентраций аммоний-иона и фосфатов соответствовали III-IV классам качества воды и бета-альфамезосапробной зоне самоочищения.

Таким образом, комплексное исследование сообществ водорослей и гидрохимических показателей, включая новые интегральные индексы, дали важную информацию о загрязнении реки и ее способности к самоочищению, которую можно использовать в качестве основы для дальнейшего мониторинга реки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Берникова, Т. А. Нагрузка на Калининградский залив со стороны малых рек / Т. А. Берникова, М. Н. Шибеева, В. А. Шкицкий // Экологические и рыбохозяйственные аспекты изучения прибрежных зон морей и внутренних водоемов: сб. науч. трудов. - Калининград: Изд-во КГТУ, 2002. - С. 63-69.
2. Нелюбина, Е. А. Особенности комплексного использования и охраны малых рек / Е. А. Нелюбина // Гидромеханика и водные ресурсы: сб. науч. тр. - Калининград: Изд-во КГТУ, 2006. - С. 112-115.
3. Ведяшкин, А. С. К вопросу о загрязнении малых водотоков / А. С. Ведяшкин, О. О. Тимохова // Проблемы использования водных объектов региона : сб. науч. тр. - Калининград: Изд-во КГТУ, 2009. - С. 15-17.
4. Бугранова, О. С. Первые результаты исследования фитопланктона нижнего участка реки Неман / О. С. Бугранова // Известия Калининградского государственного технического университета. – 2014. – № 34. – С. 61-68.
5. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений / под ред. В. А. Абакумова. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1983. – 318 с.
6. Шитиков, В. К. Количественная гидроэкология: методы системной идентификации / В. К. Шитиков, Г. С. Розенберг, Т. Д. Зинченко. – Тольятти: ИЭВБ РАН, 2003. – 463 с.
7. Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения: Приказ Министерства сельского хозяйства РФ от 13 декабря 2016 г. № 552 (с изм. от 12 октября 2018 года) [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/420389120> (дата обращения: 05.06.2019).
8. Sládeček, V. System of water quality from the biological point of view / V. Sládeček // Ergebnisse der Limnol, 1973. – №Н. 7. – 218 p.

9. Barinova, S. Algal Diversity and Bio-indication of Water Resources in Israel / S. Barinova, V. Krassilov // International Journal of Environment and Resource. – 2012. – Vol. 1. – Iss. 2, November 2012. – P. 62-72.
10. Barinova, S. S. Diversity of algal indicators in the environmental assessment. / S. S. Barinova, L. A. Medvedeva, O .V. Anisimova. – Tel Aviv: Pilies Studio Israel, 2006. – 498 p.
11. Великанов, Н. Л. Мероприятия по комплексному использованию и охране водных ресурсов малой реки / Н. Л. Великанов, Е. А. Нелюбина // Водохозяйственные проблемы региона: сб. тр. / КГТУ. – 2008. – С. 42-50.
12. Буйняченко, П. П. Анализ антропогенной нагрузки на гидрографическую сеть бассейна реки Гурьевки / П. П. Буйняченко // IV Балтийский морской форум // Водные биоресурсы, аквакультура и экология водоемов: Междунар. науч. конф.: тр. - Калининград: Изд-во КГТУ, 2016. – С .168-171.
13. Дмитриева, О. Л. Видовой состав и количественные характеристики развития фитопланктона рек Дейма и Преголя Калининградской области / О. Л. Дмитриева // Экологические проблемы Калининградской области и Балтийского региона: сб. науч. тр. – Калининград: Изд-во КГУ, 2005.– 205 с.

REFERENCES

1. Bernikova T. A., Shibaeva M. N., Shkitskiy V. A. Nagruzka na Kaliningradskiy zaliv so storony malykh rek [The load on the Kaliningrad Bay from the side of small rivers]. *Trudy KGTU "Ekologicheskie i rybokhozyaystvennyye aspekty izucheniya pribrezhnykh zon morey i vnutrennikh vodoemov"* [Proceedings of KSTU "Ecological and fisheries aspects of the study of coastal zones of the seas and inland waters"]. Kaliningrad, 2002, pp. 63-69.
2. Nelyubina E. A. Osobennosti kompleksnogo ispol'zovaniya i okhran malykh rek [Features of the integrated use and protection of small rivers]. *Trudy KGTU "Gidromekhanika i vodnye resursy"* [Proceedings of KSTU "Hydromechanics and water resources"]. Kaliningrad, 2006, pp. 112-115.
3. Vedyashkin A. S., Timokhova O. O K voprosu o zagryaznenii malykh vodotokov [On the issue of pollution of small streams]. *Trudy KGTU "Problemy ispol'zovaniya vodnykh ob'ektov regiona"* [Proceedings of KSTU "Problems of using water bodies in the region"]. Kaliningrad, 2009, pp. 15-17.
4. Bugranova O. S. Pervye rezul'taty issledovaniya fitoplanktona nizhnego uchastka reki Neman [First results of the study of phytoplankton in the lower part of the Neman River]. *Izvestiya KGTU*, 2014, no. 34, pp. 61-68.
5. *Rukovodstvo po metodam gidrobiologicheskogo analiza poverkhnostnykh vod i donnykh otlozheniy* [Guidance on methods for hydrobiological analysis of surface water and bottom sediments]. Pod red. Abakumova V. A. L., Gidrometeoizdat, 1983, 318 p.
6. Shitikov V. K., Rozenberg V. K., Zinchenko T. D. *Kolichestvennaya gidroekologiya: metody sistemnoy identifikatsii* [Quantitative hydroecology: systems identification methods]. Tolyatti, IEVB RAN Publ., 2003, 463 p.
7. Ob utverzhdenii normativov kachestva vody vodnykh ob'ektov rybokhozyaystvennogo znacheniya, v tom chisle normativov predel'no dopustimyykh kontsenratsiy vrednykh veshchhestv v vodakh vodnykh ob'ektov rybokhozyaystvennogo

znacheniya [On the approval of water quality standards for water bodies of fishery importance, including standards of maximum permissible concentrations of harmful substances in fishery water bodies]. *Prikaz Ministerstva sel'skogo khozyaystva RF ot 13 dekabrya 2016 g. no 552* [Order of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation of December 13, 2016, no. 552], available at: <http://docs.cntd.ru/document/420389120> (Accessed 5 June 2019).

8. Sládeček V. *System of water quality from the biological point of view*. Ergebnisse der Limnol, 1973, no. H. 7, 218 p.

9. Barinova S., Krassilov V. *Algal Diversity and Bio-indication of Water Resources in Israel*. International Journal of Environment and Resource. 2012, vol. 1, iss. 2, pp. 62-72.

10. Barinova S. S., Medvedeva L. A., Anisimova O. V. *Diversity of algal indicators in the environmental assessment*. Tel Aviv, Pilies Studio Israel, 2006, 498 p.

11. Velikanov N. L., Nelyubina E. A. Meropriyatiya po kompleksnomu ispol'zovaniyu i okhrane vodnykh resursov maloy reki [Measures for the integrated use and protection of small river water resources]. *Sbornik trudov KGTU*, Kaliningrad, 2008, pp. 42-50.

12. Buynyachenko P. P. Analiz antropogennoy nagruzki na gidrograficheskuyu set' basseyna reki Gur'evka [Analysis of the anthropogenic load on the hydrographic network of the Gurievka river basin]. *IV Baltiyskiy morskoy forum. Mezhdunarodnaya nauchnaya konferentsiya "Vodnye bioresursy, akvakul'tura i ekologiya vodoemov"* [IV Baltic Maritime Forum. International Scientific Conference "Aquatic Bioresources, Aquaculture and Ecology of Water Bodies"]. Kaliningrad, 2016, pp. 168-171.

13. Dmitrieva O. L. Vidovoy sostav i kolichestvennyye kharakteristiki razvitiya fitoplanktona rek Deyma i Pregolya Kaliningradskoy oblasti [Species composition and quantitative characteristics of the development of phytoplankton of the Deima and Pregol rivers of the Kaliningrad region]. *Ekologicheskie problemy Kaliningradskoy oblasti i Baltiyskogo regiona* [Environmental problems of the Kaliningrad region and the Baltic region]: *Sb. nauch. tr.* Kaliningrad, Izd-vo KGU, 2005, 205 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Бугранова Олеся Сергеевна – Калининградский государственный технический университет; ведущий инженер кафедры «Ихтиология и экология»; E-mail: olesya.bugranova@klgtu.ru

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

Буйняченко Полина Петровна – Калининградский государственный технический университет; аспирант кафедры «Ихтиология и экология»; E-mail: polina.buiniachenko@mail.ru

Buynyachenko Polina Petrovna – Kaliningrad State Technical University;
Post-graduate student of the Department of Ichthyology and Ecology;
E-mail: polina.buiniachenko@mail.ru

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

Bernikova Tat'yana Alexandrovna – Kaliningrad State Technical University;
PhD in Geographical Sciences, Professor of the Department of Ichthyology
and Ecology; E-mail: bernikovy@gmail.com

Уманский Сергей Абрамович – Калининградский государственный
технический университет; кандидат биологических наук, доцент кафедры
«Ихтиология и экология»

Umanskiy Sergey Abramovich – Kaliningrad State Technical University;
PhD in Biological Sciences, Assistant Professor of the Department
of Ichthyology and Ecology

УДК 551.465.71 (261.24)

ЭВОЛЮЦИИ (СЕЗОННАЯ И МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ)
СИНОПТИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ПОТОКОВ ТЕПЛА НА ГРАНИЦЕ
ВОДА-ВОЗДУХ В ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ БАЛТИКИ (2003-2016 гг.)

В. Ф. Дубравин, М. В. Капустина, Ж. И. Стонт

EVOLUTION (SEASONAL AND INTERANNUAL VARIABILITY)
OF THE SYNOPTIC COMPONENT OF HEAT FLUXES
ON THE OCEAN-ATMOSPHERE INTERFACE IN THE SOUTH-WESTERN PART
OF THE BALTIC SEA (2003-2016)

V. F. Dubravin, M. V. Kapustina, Zh. I. Stont

Выполнен анализ пространственно-временной изменчивости потоков тепла (явного Q_H , скрытого Q_E и суммарного Q) на границе вода-воздух в юго-западной части Балтийского моря. Для расчета потоков тепла использовались данные натурных наблюдений температуры воды T_w ($^{\circ}\text{C}$) и воздуха T_a ($^{\circ}\text{C}$), относительной влажности f (%), атмосферного давления на уровне моря P_0 (гПа) и скорости ветра W (м/с) с дискретностью 1 ч на станциях мониторинговой сети MARNET Немецкого Центра Океанографических Данных (BSH/DOD(M41)) за 2003-2016 гг. По авторской временной модели, состоящей из следующих компонент: нерегулярной внутрисуточной (ВСИ), регулярного суточного хода (СХ), межсуточной (синоптической) (СИ) и нерегулярной внутригодовой (ВГИ), регулярного сезонного хода (СезХ) и межгодовой (МГИ), получены оценки вкладов каждого вида колебаний в суммарную временную изменчивость. Показано, что максимальные вклады в дисперсию исходного ряда для всех потоков вносит СИ. Рассмотрены внутригодовая и межгодовая изменчивости удельного вклада синоптической составляющей потоков явного, скрытого и суммарного тепла. При этом максимум в годовом ходе для всех потоков в основном наступает в ноябре-феврале, минимум, как правило, отмечается между октябрём и апрелем, а годовой размах удельного вклада СИ – составляет 21-33 % за исключением Q_E на ст. Аркона (49 %). Показано, что структура временных рядов для потоков в юго-западной части Балтики зависит как от местоположения станции, так и от характера самого потока.

структура временного ряда, изменчивость (внутригодовая, межгодовая), потоки (явного, скрытого, суммарного) тепла, анализ (дисперсионный, гармонический, корреляционный)

The analysis of the spatial and temporal variability of heat fluxes (apparent Q_H , latent Q_E and total Q) at the water-air interface in the southwestern part of the Baltic Sea has been performed. To calculate the heat fluxes, we used the data of field observations of water temperature T_w ($^{\circ}\text{C}$) and air temperature T_a ($^{\circ}\text{C}$), relative humidity f (%), air pressure at the sea-level P_0 (hPa) and wind speed W (m/s) at the stations of the

MARNET monitoring network of the German Oceanographic Data Center (BSH/DOD (M41)) for 2003-2016 (the data discreteness is one hour). According to the authors' time model, consisting of irregular intra-day, regular daily variation, synoptic and irregular intra-annual, regular seasonal variation and inter-annual components, estimates of contributions of each type of fluctuations in the total temporal variability were obtained. It is shown that the maximum contribution to the variance of the initial series for all flows is made by the synoptic variation. Intra-annual and inter-annual variability of the specific contribution of the synoptic component of the apparent, latent and total heat fluxes are considered. At the same time, the maximum in the annual course for all fluxes mainly occurs in November-February, and the minimum, as a rule, is observed between October and April, and the annual amplitude of the specific contribution of the synoptic variation is mainly 21-33% with the exception of Q_E at st. Arkona (49%). It is shown that the structure of heat fluxes time series in the southwestern part of the Baltic Sea depends both on the location of the station and on the nature of the flux itself.

time series structure, variability (intra-annual, interannual), heat flux (apparent, latent, total), analysis (dispersive, harmonic, correlation)

ВВЕДЕНИЕ

Как известно [1], круговороты тепла (явного) Q_H и влаги (скрытого тепла) Q_E относятся к основным климатообразующим факторам, что определяет важность исследования этих параметров. При этом сложение величин потоков тепла и влаги формирует потоки суммарного (виртуального [2]) тепла Q , т. е.

$$Q = Q_H + Q_E. \quad (1)$$

Прямые измерения потоков Q_H и Q_E в океане (море) редки и трудновыполнимы. Поэтому чаще всего используется один из косвенных методов – аэродинамический, в котором турбулентные потоки тепла и влаги выражаются через средние значения характеристик на стандартном уровне измерений (как правило, сравниваются высота уровня наблюдателя $z = 10$ м и поверхность моря). Не останавливаясь на обосновании этого метода (сводки работ по физическим основам параметризации можно найти в [3, 4]), перейдем к формулам для расчета потоков:

$$\begin{aligned} Q_H &= C_p \rho C_T (T_w - T_a) W; \\ Q_E &= L \rho 0,622 / P_0 C_E (E_{0w} - e_a) W, \end{aligned} \quad (2)$$

где C_p – удельная теплоемкость воздуха при постоянном давлении – 1,009 кДж/кг $^{\circ}$ К; ρ – плотность воздуха (кг/м 3); T_w – температура воды на поверхности ($^{\circ}$ С); T_a – температура воздуха ($^{\circ}$ С); W – скорость приводного ветра (м/с); L – удельная (скрытая) теплота парообразования – 2256 кДж/кг (при $T_w = 100$ $^{\circ}$ С); P_0 – атмосферное давление на уровне моря (гПа); e_a – упругость водяного пара (гПа); E_{0w} – максимальная упругость водяного пара (гПа) при температуре воды T_w ($^{\circ}$ С), при этом потоки получим в (Вт/м 2).

В формулы (2) входят коэффициент обмена теплом (C_T) или влагой (C_E), определение которых и является задачей параметризации потоков тепла на границе океан-атмосфера [4, 5]. Известно [3, 6-11], что коэффициенты обмена теплом или влагой зависят от скорости ветра W , перепадов температуры

$\Delta T = T_w - T_a$ или влажности $\Delta e^1 = E_{0w} - e_a$ и высоты z , на которой выполнялись измерения. Многообразие подходов к параметризации процессов обмена привело к весьма широкому диапазону значений коэффициентов обмена, предлагаемых разными авторами. Обобщения, позволяющие сопоставлять различные методы расчета, можно найти в [3, 4, 10, 13]. Как правило, значения коэффициентов обмена теплом и влагой лежат в пределах $(1,0 \div 2,0) \cdot 10^{-3}$, причем у одних авторов $C_T < C_E$: $C_T = (0,8 \div 1,4) \cdot 10^{-3}$ и $C_E = (1,0 \div 1,7) \cdot 10^{-3}$ [4], у других, наоборот, $C_T > C_E$ [10], у третьих – величины коэффициентов обмена теплом и влагой равны [8, 9], при этом В.В. Ефимов и соавторы [14] предлагают $C_T = C_E = 1,3 \cdot 10^{-3}$. Однако напомним со ссылкой на [15], что использование средних значений коэффициентов обмена без учета различий в гидрометеорологических условиях приводит к погрешностям в расчетах потоков тепла и влаги на $\pm 27\%$. Кроме того, в [4, 11] показано, что зависимость C_T и C_E от гидротермодинамических условий должна дополняться зависимостью от масштабов пространственно-временного усреднения ξ_H и ξ_E , возникающей из-за нелинейности в выражении (2).

Многообразные физические процессы, протекающие в Мировом океане и в атмосфере над ним, приводят к формированию неоднородностей в распределениях свойств (параметров или характеристик). При этом изменчивость неоднородностей можно наблюдать в широких как пространственных (от мелкомасштабных до глобальных [16, 17]), так и временных (от мелкомасштабных до многовековых периодов [18-20]) диапазонах. Поскольку пространственные неоднородности имеют определенные «времена жизни» – типичные периоды производящих эти неоднородности процессов, ряд авторов предлагает соответствие пространственных масштабов временным [16, 21]. При этом следует иметь в виду, что пространственно-временные масштабы в атмосфере и океане различны [21-23], из-за чего в [4, 24] предлагаются пространственно-временные масштабы взаимодействия океана и атмосферы (от мелкомасштабного до климатического).

В регионе Балтийского моря этот вопрос изучался как в контексте процессов, имеющих короткий период, так и в контексте многолетних изменений [25-30].

Целью настоящей работы является исследование временной изменчивости синоптической компоненты потоков тепла в Юго-Западной Балтике. При этом следует помнить, что синоптическое взаимодействие – регионально и связано с конкретными типами изменчивости, характерными для различных широтных зон и районов Мирового океана [24, 31, 32]. Поэтому в зависимости от типа метеопараметра и региона масштаб изменчивости будет различным. Однако следует напомнить о существовании энергетического максимума в диапазоне периодов $10^4 - 10^6$ с (от 3 ч до 12 сут) [24, 26].

¹ В работе [12] для Δe – разности между упругостью насыщающего пара E_{0w} при температуре воды на поверхности T_w и упругостью e_a при данных температуре воздуха T_a и давлении P_0 принят термин «избыточная упругость водяного пара».

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В работе были использованы данные натуральных наблюдений поверхностной температуры воды T_w (°C), температуры воздуха T_a (°C), относительной влажности f (%), атмосферного давления на уровне моря P_0 (гПа) и скорости ветра W (м/с) на станциях Киль (2012-2014 гг.)², Дарсский порог (2004-2016 гг.) и Аркона (2003-2016 гг.) (рис. 1) мониторинговой сети MARNET (соглашение 2518/2014-002 и 2518/2016-075). Модель временного ряда в настоящей работе соответствует ранее использованной [26-28, 34]. При этом исходный ряд (ИР) суммируется из короткопериодной (КП), состоящей из ВСИ, СХ и СИ компонент, и долгопериодной (ДП) изменчивостей, складывающейся из ВГИ, СезХ и МГИ.

$$\text{ИР} = \text{КП} + \text{ДП}, \quad (3)$$

$$\text{ИР} = \text{ВСИ} + \text{СХ} + \text{СИ} + \text{ВГИ} + \text{СезХ} + \text{МГИ}. \quad (4)$$

При расчете внутригодовой изменчивости удельного вклада синоптической составляющей использовалась дисперсия за весь период наблюдений. Для получения межгодовой изменчивости удельного вклада синоптической компоненты расчет дисперсии выполнялся с нарастанием, а также пошагово:

$$\Delta\sigma^2_{\text{СИ}ni+1}(\%) = 100 * (\sigma^2_{\text{СИ}ni+1} - \sigma^2_{\text{СИ}ni}) / \sigma^2_{\text{ИР}ni+1}. \quad (5)$$

Однако следует напомнить, что существует и модель временного ряда [24], в которой короткопериодная изменчивость представлена двумя диапазонами синоптической изменчивости: «быстрые» синоптические процессы, определяемые, в основном, быстрой сменой барических образований и их отдельных фаз (от 3 ч до 3 сут), и «медленные», связанные преимущественно с океаном и групповыми свойствами атмосферных образований (от 3 до 60 сут).

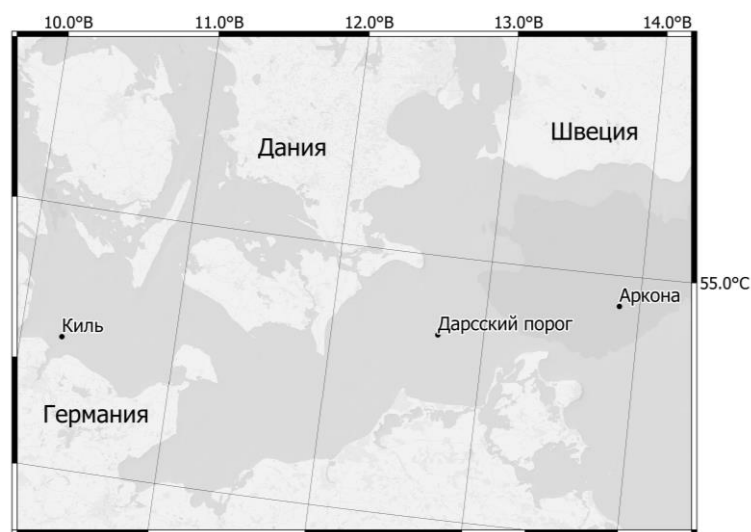


Рис. 1. Карта станций мониторинговой сети MARNET
Fig. 1. Research area and the MARNET monitoring network stations

Таким образом, суточная периодичность в модели С. К. Гулева, как и в [18, 21], относится к синоптической составляющей, а в [16, 19-20], как и в представ-

² На ст. Киль метеодатчики расположены на высоте 31 м. Для приведения данных наблюдений за W к стандартной высоте 10 м использовалась формула Хельмана [33], а для T_a и f – линейная интерполяция.

ленной модели (выражения (3) и (4)), $T = 1$ сут – граница между мезомасштабной и синоптической компонентами. Именно поэтому в нашем случае диапазон синоптической изменчивости составляет от 1 до 60 сут.

Исходные ряды обрабатывались с использованием дисперсионного, гармонического и корреляционного методов анализа [35].

РЕЗУЛЬТАТЫ

Средние за весь период наблюдений (2003-2016 гг.) с дискретностью 1 ч величины потоков Q_H , Q_E и Q в юго-западной части Балтики возрастают с запада на восток от Киля (2,8; 30,1 и 32,9 Вт/м²) до Дарсского порога (7,2; 36,9 и 44,1 Вт/м²) и до Арконы (13,1; 43,5 и 56,6 Вт/м²) соответственно. Такая тенденция соответствует нашим климатическим картам потоков тепла [26, рис. 21-23], рассчитанным для морских районов по данным гидрометеорологических элементов, осредненным за 1951-2000 гг. из [36]. Однако сами величины потоков различны. Так, в районах В11 (Западная Балтика) и В10 (Южная Балтика) потоки явного $Q_H = 10,4$ и $13,1$ Вт/м², скрытого $Q_E = 59,4$ и $62,9$ Вт/м² и суммарного $Q = 69,8$ и $76,0$ Вт/м² тепла. Различия в величинах потоков тепла в первую очередь связаны с различными методиками: в настоящей работе принимались коэффициенты обмена $C_T = C_E = 1,3 \cdot 10^{-3}$, а в [26] – методика С. К. Гулева [4, 11] – коэффициенты обмена $C_T = C_E = 1,3 \cdot 10^{-3}$ увеличены на коэффициент зависимости от масштабов пространственно-временного усреднения ξ_H и ξ_E .

Структура временных рядов. Расчеты потоков тепла на акватории исследования с дискретностью один час позволяют использовать все компоненты модели временного ряда (выражение 4), представленные в табл. 1.

Таблица 1. Дисперсия (верхняя строка) и относительная доля (нижняя) короткопериодной (регулярного суточного хода – СХ, нерегулярной внутрисуточной – ВСИ и синоптической – СИ составляющих) и долгопериодной (регулярного сезонного хода – СезХ, нерегулярной внутригодовой – ВГИ и межгодовой – МГИ) изменчивости потоков явного Q_H , скрытого Q_E и суммарного Q тепла (Вт/м²) в юго-западной части Балтики (2003-2016)

Table 1. Dispersion (upper line) and relative share (lower line) of short-time (regular daily course, irregular intra-day and synoptic components) and long-time (regular seasonal course, irregular intra-year and interannual) variabilities of apparent Q_H , latent Q_E and total Q heat fluxes (W/m²) in the southwestern part of the Baltic Sea (2003-2016)

Элемент (высота прибора)	Д и с п е р с и я						
	Общая	короткопериодная (КП)			долгопериодная (ДП)		
		СХ	ВСИ	СИ	СезХ	ВГИ	МГИ
1	2	3	4	5	6	7	8
Аркона (2003-2016)							
Q_H (10м)	1282,39	7,16	163,79	524,74	343,36	219,42	23,92
	100	0,56	12,77	40,92	26,77	17,11	1,86
Q_E (10м)	2713,95	0,78	436,98	1394,50	483,11	352,41	46,18
	100	0,03	16,10	51,38	17,80	12,99	1,70
Q (10м)	6591,68	9,58	904,62	3213,31	1350,48	1021,23	92,45
	100	0,15	13,72	48,75	20,49	15,49	1,40

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8
Дарский порог (2004-2016)							
Q_H (9M)	1094,53	11,65	154,38	529,20	209,97	164,29	25,04
	100	1,06	14,10	48,35	19,18	15,01	2,29
Q_E (9M)	2381,74	0,58	414,01	1321,82	318,19	227,05	100,09
	100	0,02	17,38	55,50	13,36	9,53	4,20
Q (9M)	5659,14	15,93	854,52	3082,86	834,98	704,54	166,31
	100	0,28	15,10	54,48	14,75	12,45	2,94
Киль (2012-2014)							
Q_H (10M)	133,32	4,22	20,28	74,31	17,16	17,08	0,26
	100	3,17	15,21	55,74	12,87	12,81	6,24
Q_E (10M)	915,00	1,53	193,27	457,42	209,39	53,20	0,18
	100	0,17	21,12	49,99	22,88	5,81	0,02
Q (10M)	1488,31	1,79	264,35	803,67	297,77	119,9	0,88
	100	0,12	17,76	54,00	20,01	8,05	0,06

На удельный вклад (относительную долю) дисперсии КП в дисперсию исходного ряда для Q_H , Q_E и Q приходится 54÷74%, а на вклад ДП в общую – соответственно 26÷46%, при этом доля КП или ДП зависит как от типа потока, так и местоположения (рис. 2).

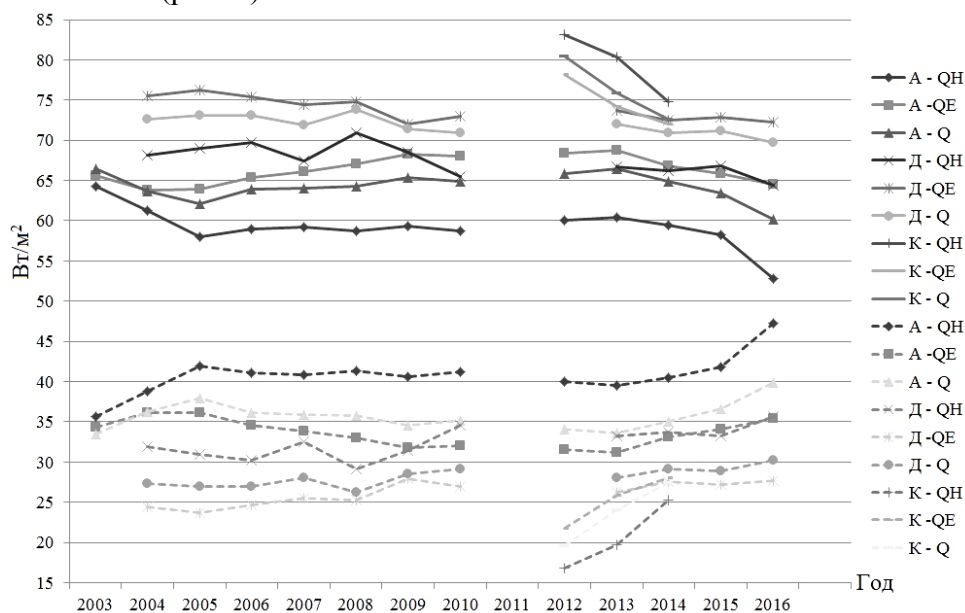


Рис. 2. Относительная доля дисперсии (с нарастанием) коротко- и долгопериодной (сплошные линии и пунктир соответственно) изменчивости потоков явного Q_H , скрытого Q_E и суммарного Q тепла ($Вт/м^2$) в юго-западной части Балтики (2003-2016 гг.) (ежечасные наблюдения)

Fig. 2. Relative proportion of dispersion (with increase) of short- and long-time (solid lines and dashed lines, respectively) variability of apparent Q_H , latent Q_E and total Q heat fluxes (W/m^2) in the southwestern part of the Baltic Sea (2003-2016) (hourly observations)

При этом максимальный вклад в дисперсию ИР для всех потоков приходится на СИ (41÷56 %). Удельные вклады СезХ (13÷27%), ВСИ (13÷21%) и ВГИ (6÷17%) существенны для всех потоков, вклад МГИ (1÷6%) заметен для всех потоков, за исключением Q_E и Q на ст. Киль, где он минимален (0,02 и 0,06% соответственно), а минимальный удельный вклад, как правило, приходится на СХ (для всех потоков тепла на ст. Аркона и Дарсский порог и для Q_H на ст. Киль ($Q_H = 0,6 \div 3,2$; $Q_E = 0,02 \div 0,03$ и $Q = 0,15 \div 0,28$ %).

Синоптическая изменчивость. Поскольку синоптическая составляющая различных гидрометеорологических параметров (в том числе потоков тепла) меняется во времени [26, 27], то рассмотрим внутригодовую и межгодовую изменчивости удельного вклада СИ – Q_H , Q_E и Q .

Внутригодовая изменчивость синоптической составляющей. Характер внутригодовой изменчивости удельного вклада СИ потоков тепла, как и других компонент, меняется не только между станциями исследуемого региона, но и между самими потоками (рис. 3). Следует отметить более высокое подобие внутригодовой изменчивости СИ между потоками в пределах станции, чем между ними. Так, на ст. Аркона теснота связи возрастает от $r = 0,50$ между Q_H и Q_E до $r = 0,94$ между Q_E и Q ; на ст. Дарсский порог – от $r = 0,56$ между Q_H и Q_E до $r = 0,88$ между Q_H и Q ; в Киле – от $r = 0,79$ между Q_H и Q_E до $r = 0,96$ между Q_E и Q . Между станциями невысокая значимая теснота связи отмечается только для Q_H между ст. Аркона и Киль – $r = 0,51$ и для Q_E между ст. Аркона и Дарсский порог – $r = 0,44$. Для остальных пар теснота связи слабоположительная или слабоотрицательная.

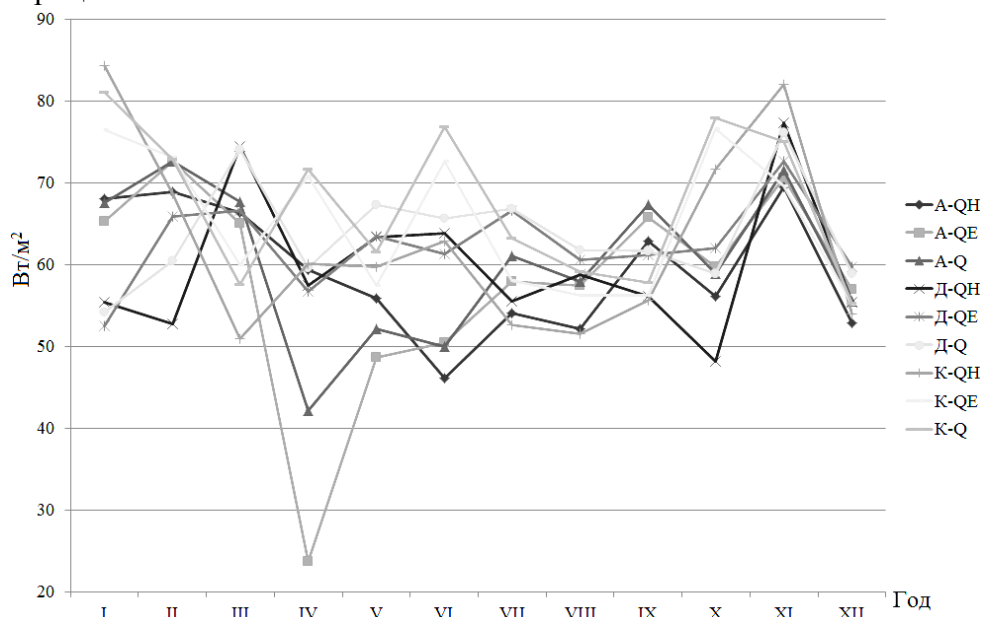


Рис. 3. Осредненная за 2003-2016 гг. внутригодовая изменчивость удельного вклада синоптической составляющей потоков явного Q_H , скрытого Q_E и суммарного Q тепла ($Вт/м^2$) в юго-западной части Балтики

Fig. 3. Intra-annual variability of the specific contribution of the synoptic component of apparent Q_H , latent Q_E and total Q heat fluxes (W/m^2) in the southwestern part of the Baltic Sea (average for 2003-2016)

Внутригодовая изменчивость удельного вклада СИ потоков Q_H , Q_E и Q на всех станциях характеризуется максимумом между октябрём и февралём (69-84 %) и минимумом на ст. Аркона, наблюдаемом в апреле или июне (24-46 %), на ст. Дарсский порог – в октябре и январе (48-54 %), в Киле – декабре и марте (51-55 %). При этом годовой размах удельного вклада СИ, в основном, составляет 21-29 % за исключением Q и Q_E на ст. Аркона (31 и 49 %) и Q_H в Киле (33 %). Соотношение между величинами максимума и минимума в сезонной изменчивости удельного вклада СИ потоков тепла в основном лежит в пределах от 1,4÷1,7 крат, а для Q_E в Арконе возрастает до 3,1 крат.

Межгодовая изменчивость синоптической составляющей. Следует помнить, что для получения корректных выводов о межгодовой изменчивости СИ, как и других компонент ИР метеопараметров на Балтике, нужна длина временного ряда порядка 8-10 лет [26-28, 34]. Из рис. 4,а, где представлена межгодовая изменчивость удельного вклада СИ потоков тепла с нарастанием, видно, что кривые дисперсии стабилизируются к 2013 г., т. е. для потоков тепла в Арконе устойчивость дисперсии наступает через 11, а в районе Дарсский порог – через 10 лет. Пошаговые разности дисперсии синоптической компоненты потоков на ст. Аркона несколько ниже, чем на ст. Дарсский порог, при этом наибольшие пошаговые разности потоков на ст. Аркона приходятся на Q_H , на ст. Дарсский порог – Q , а наименьшие – на Q_E для обеих станций (рис. 4,б).

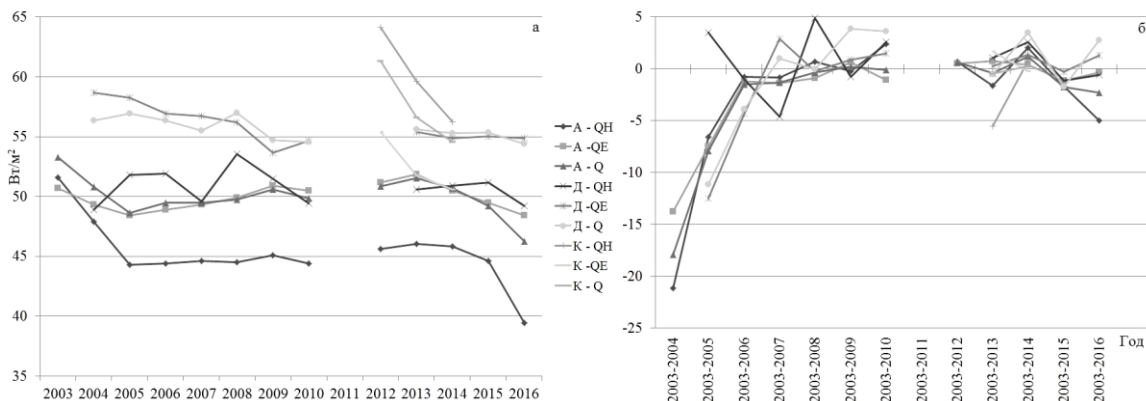


Рис. 4. Осредненная за 2003-2016 гг. межгодовая изменчивость удельного вклада с нарастанием (а) и пошаговая (б) синоптической составляющей потоков явного Q_H , скрытого Q_E и суммарного Q тепла ($Вт/м^2$) в юго-западной части Балтики

Fig. 4. Interannual variability of the specific contribution with an increase (a) and a step-by-step (b) of synoptic component of apparent Q_H , latent Q_E and total Q heat fluxes (W/m^2) in the southwestern part of the Baltic Sea (average for 2003-2016)

ВЫВОДЫ

1. Средние за весь период наблюдений (2003-2016 гг.) с дискретностью 1 ч величины потоков явного, скрытого и суммарного тепла возрастают с запада на восток от Киля до Арконы. Такая тенденция согласуется с климатическими картами потоков тепла, приведенных в [26].

2. Структура временных рядов для потоков тепла зависит как от местоположения, так и от типа потока. Наибольший вклад в дисперсию исходного ряда для всех потоков вносит СИ (41÷56 %). Удельные вклады СезХ, ВСИ и ВГИ су-

ществены для всех потоков, вклад МГИ заметен для всех потоков, за исключением Q_E и Q на ст. Киль, где он минимален. Наименьший вклад в основном приходится на СХ.

3. Внутригодовая изменчивость удельного вклада СИ для потоков тепла отличается подобием не только между станциями, но и между самими потоками. При этом более высокая теснота связи внутригодовой изменчивости СИ отмечается между потоками в пределах станции ($r = 0,50 \div 0,96$), чем между ними ($r = -0,22 \div 0,51$). Внутригодовая изменчивость удельного вклада СИ потоков Q_H , Q_E и Q на всех станциях характеризуется максимумом между октябрём и февралём (69-84 %) и минимумом на ст. Аркона, наблюдаемом в апреле или июне (24-46 %), на ст. Дарсский порог – в октябре и январе (48-54 %), в Киле – декабре и марте (51-55 %). Годовой размах удельного вклада СИ в основном составляет 21-29 % за исключением Q и Q_E на ст. Аркона (31 и 49 %) и Q_H в Киле (33 %). Соотношение между величинами максимума и минимума в сезонной изменчивости удельного вклада СИ потоков тепла в основном лежит в пределах от 1,4-1,7 крат, а для Q_E в Арконе возрастает до 3,1 крат.

4. Подтвержден вывод о затухании колебаний относительно среднего значения не только для основной составляющей, но и для всех остальных компонент потоков тепла. При этом и межгодовая изменчивость СИ в юго-западной части Балтики определяется как местоположением, так и типом потока.

Авторы благодарят Немецкий Центр Океанографических Данных (BSH/DOD(M42)) за предоставление данных мониторинговой сети MARNET за 2002-2016 гг. (соглашение 2518/2014-002 и 2518/2016-075).

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

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Хромов, С. П. Метеорология и климатология для географических факультетов / С. П. Хромов. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1968. – 491 с.
2. Строкина, Л. А. Тепловой баланс поверхности океанов / Л. А. Строкина. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1989. – 447 с.
3. Китайгородский, С. А. Физика взаимодействия атмосферы и океана / С. А. Китайгородский – Ленинград: Гидрометеиздат, 1970. – 284 с.
4. Лаппо, С. С. Крупномасштабное тепловое взаимодействие в системе океан-атмосфера и энергоактивные области Мирового океана / С. С. Лаппо, С. К. Гулев, А. Е. Рождественский. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1990. – 336 с.
5. Взаимодействие океана и атмосферы (лабораторный практикум) / А. С. Аверкиев [и др.]. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1989. – 200 с.
6. Атлас теплового баланса земного шара / ред. М. И. Будыко. – Москва, 1963. – 69 с.
7. Шулейкин, В. В. Связь между климатом Европы и переносом тепла в Атлантике / В. В. Шулейкин // Известия АН СССР. ФАО. – 1968. – Т. IV – № 3. – С. 243-261.
8. Радикевич, В. М. О расчете потоков тепла, влаги и количества движения / В. М. Радикевич // Океанология. – 1970. – Т. X. – Вып. 5. – С. 878-882.

9. Бортковский, Р. С. Расчет турбулентных потоков тепла, влаги и количества движения над морем по данным судовых измерений / Р. С. Бортковский // *Метеорология и гидрология*. – 1971. – № 3. – С. 93-98.
10. Blanc, T. V. Variation of Bulk-Derived Surface Flux, Stability, and Roughness Results Due to the Use of Different Transfer Coefficient Schemes / T. V. Blanc // *Journal of Physical Oceanography* – 1985. – Vol. 15. – No 6. – P. 650-669.
11. Гулев, С. К. Роль различных временных масштабов в процессах энергообмена океана и атмосферы / С. К. Гулев, В. В. Украинский // *Известия АН СССР. ФАО*. – 1989. – Т. 25. – № 7. – С. 675-687.
12. Абрамов, Р. В. Суточный ход метеорологических параметров приводного слоя воздуха на экваторе // *Труды межведомственной экспедиции ТРОПЭКС-74*. – Т. 1. Атмосфера. – Ленинград: Гидромеоиздат, 1976. – С. 437-448.
13. Fairall, C. W. Bulk Parameterization of Air–Sea Fluxes: Updates and Verification for the COARE Algorithm / C. W. Fairall, E. F. Bradley, J. E. Hare, A. G. Rachev, J. V. Edson // *Journal of Climate*. – 2003 – Vol. 16. – P. 571-591.
14. О расчете коэффициентов тепло- и влагообмена между океаном и атмосферой / В. В. Ефимов [и др.] // *Известия АН СССР. ФАО*. – 1985. – Т. 21. – № 7. – С. 664-667.
15. Китайгородский, С. А. О коэффициентах сопротивления, теплообмена и испарения над морской поверхностью в атмосфере / С. А. Китайгородский, О. А. Кузнецов, Г. Н. Панин // *Известия АН СССР. ФАО*. – 1973. – Т. IX. – № 11. – С. 1135-1141.
16. Каменкович, В. М. Синоптические вихри в океане./ В. М. Каменкович, М. Н. Кошляков, А. С. Монин – Ленинград: Гидрометеиздат, 1982. – 264 с.
17. Озмидов, Р. В. О некоторых особенностях энергетического спектра океанической турбулентности / Р. В. Озмидов // *Доклады АН СССР*. – 1965. – Т. 161. – № 4. – С. 828-832.
18. Груза, Г. В. Структура и изменчивость наблюдаемого климата. Температура воздуха Северного полушария / Г. В. Груза, Э. Я. Ранькова – Ленинград: Гидрометеиздат, 1980. – 72 с.
19. Монин, А. С. Прогноз погоды как задача физики / А. С. Монин. – Москва: Наука, 1969. – 184 с.
20. Монин, А. С. Изменчивость Мирового океана / А. С. Монин, В. М. Каменкович, В. Г. Корт – Ленинград: Гидрометеиздат, 1974. – 262 с.
21. Woods, J. D. Do waves limit turbulent diffusion in the ocean? / J. D. Woods // *Nature*. – 1980. – V. 288. – №. 5788. – P. 219-224.
22. Дийкстра, Х. Нелинейная физическая океанография. / Х. Дийкстра. – Москва–Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», Ин-т компьютерных исследований, 2007. – 680 с.
23. Мамаев, О. И. О пространственно-временных масштабах океанских и атмосферных процессов / О. И. Мамаев // *Океанология*. – 1995. – Т. 35. – № 6. – С. 805-808.
24. Гулев, С. К. Синоптическое взаимодействие океана и атмосферы в средних широтах / С. К. Гулев, А. В. Колинко, С. С. Лаппо. – Санкт-Петербург: Гидрометеиздат, 1994. – 320 с.

25. Динамика вод Балтийского моря в синоптическом диапазоне пространственно-временных масштабов / под ред. Е. А. Захарчука. – Санкт-Петербург: Гидрометеоиздат, 2007. – 354 с.
26. Дубравин, В. Ф. Эволюции гидрометеорологических полей в Балтийском море / В. Ф. Дубравин – Калининград: Капрос, 2014. – 438 с.
27. Дубравин, В. Ф. Эволюции термохалинной структуры вод Балтийского моря / В. Ф. Дубравин – Москва: Изд-во «Перо», 2017. – 438 с.
28. Дубравин, В. Ф. Эволюции (сезонная и межгодовая изменчивость) суточного хода гидрометеорологических полей Южной Балтики / В. Ф. Дубравин, М. В. Капустина, Ж. И. Стонт // Вестник БФУ им. И. Канта. – 2018. – № 3. – С. 35-54.
29. Hargen, E. Synoptic changes in the deep rim current during stagnant hydrographic conditions in the Eastern Gotland Basin, Baltic Sea / E. Hargen, R. Feistel // *Oceanologia*. – 2007. – V. 49. – № 2. – P. 185-208.
30. MacKenzie, B. R. Long-term sea surface temperature baselines – time series, spatial covariation and implications for biological processes / B. R. MacKenzie, D. Schiedek // *Journal of Marine Systems*. – 2007. – V. 68. – P. 405–420.
31. Абрамов, Р.В. Разномасштабные процессы и их взаимодействие в изменениях метеорологических параметров атмосферы над Атлантикой / Р. В. Абрамов, О. А. Гушин // Известия АН СССР. ФАО. – 1977. – Т. 13. – № 5. – С. 443-450.
32. Бышев, В. И. Синоптическая и крупномасштабная изменчивость океана и атмосферы / В. И. Бышев. – Москва: Наука, 2003. – 343 с.
33. Руководство по метеорологическим приборам и методам наблюдений / Секретариат ВМО. Женева, Швейцария. 1983. № 8. – Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 1988.
34. Дубравин, В. Ф. Изменчивость гидрометеорологических полей над Юго-Восточной Балтикой в 2004-2011 гг. / В. Ф. Дубравин, Ж. И. Стонт // Известия РГО. – 2012. – Т. 144. – Вып. 5. – С. 37-48.
35. Брукс, К. Применение статистических методов в метеорологии / К. Брукс, Н. Карузерс. – Ленинград: Гидрометеоиздат, 1963. – 416 с.
36. State and Evolution of the Baltic Sea, 1952–2005. A Detailed 50-Year Survey of Meteorology and Climate, Physics, Chemistry, Biology, and Marine Environment / Editors: R. Feistel, G. Nausch, N. Wasmund. 2008. [Электронный ресурс] URL: <http://www.io-warnemuende.de/projects/baltic/index.html> (дата обращения – 15.12.2018).

REFERENCES

1. Khromov S. P. *Meteorologiya i klimatologiya dlya geograficheskikh fakul'tetov* [Meteorology and climatology for geography faculties]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1968, 491 p.
2. Strokina L. A. *Teplovoy balans poverkhnosti okeanov* [Heat balance of the sea surface]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1989, 447 p.
3. Kitaygorodsky S. A. *Fizika vzaimodeystviya atmosfery i okeana* [Physics of interaction between the atmosphere and the ocean]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1970, 284 p.

4. Lappo S. S., Gulev S. K., Rozhdestvenskiy A. E. *Krupnomasshtabnoe teplovoe vzaimodeystvie v sisteme okean – atmosfera i energoaktivnye oblasti Mirovogo okeana* [Large-scale heat interaction in the ocean – atmosphere system and energy-active zones in the World Ocean]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1990, 336 p.
5. *Vzaimodeystvie okeana i atmosfery (laboratornyy praktikum)* [Ocean-atmosphere interaction (laboratory course)]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1989, 200 p.
6. *Atlas teplovogo balansa zemnogo shara* [Atlas of the Terrestrial Globe's Thermal Balance]. Moscow, 1963, 69 p.
7. Shuleykin V. V. Svyaz' mezhdu klimatom Evropy i perenosom tepla v Atlantike [A relation between the European climate and heat transfer in the Atlantic]. *Izvestiya AN SSSR. FAO*, 1968, vol. 4, iss. 3, pp. 243-261.
8. Radikevich V. M. O raschete potokov tepla, vlagi i kolichestva dvizheniya [On the calculation of heat, moisture and momentum fluxes]. *Okeanologiya*, 1970, vol. 10, iss. 5, pp. 878-882.
9. Bortkovskiy R. S. Raschet turbulentnykh potokov tepla, vlagi i kolichestva dvizheniya nad morem po dannym sudovykh izmereniy [Calculation of turbulent heat, moisture and momentum flows over the sea according to ship measurements]. *Meteorologiya i gidrologiya*, 1971, no. 3, pp. 93-98.
10. Blanc T. V. Variation of Bulk-Derived Surface Flux, Stability, and Roughness Results Due to the Use of Different Transfer Coefficient Schemes. *Journal of Physical Oceanography*, 1985, vol. 15, no 6, pp. 650-669.
11. Gulev S. K., Ukrainskiy V. V. Rol' razlichnykh vremennykh masshtabov v protsessakh energoobmena okeana i atmosfery [The role of different time-scales in ocean-atmosphere energy exchange processes]. *Izvestiya AN SSSR. FAO*, 1989, vol. 25, no. 7, pp. 675-687.
12. Abramov R. V. Sutochnyy khod meteorologicheskikh parametrov privodnogo sloya vozdukha na ekvatore [Diurnal variations of the meteorological parameters of the near-water layer at the equator]. *Trudy mezhdomestvennoy ekspeditsii TROPES-74*, vol. 1, Atmosfera, Leningrad, Gidrometeoizdat, 1976, pp. 437-448.
13. Fairall C. W., Bradley E. F., Hare J. E., Rachev A. G., Edson J. B. Bulk Parameterization of Air–Sea Fluxes: Updates and Verification for the COARE Algorithm. *Journal of Climate*, 2003, vol. 16, pp. 571-591.
14. Efimov V. V. Timofeev N. A., Sychev E. N., Kurzheevskiy I. V. O raschete koeffitsientov teplo- i vlagoobmena mezhdu okeanom i atmosferoy [Estimation of the coefficients of ocean-atmosphere heat and moisture exchange]. *Izvestiya AN SSSR. FAO*, 1985, vol. 21, no. 7, pp. 664-667.
15. Kitaygorodskiy S. A., Kuznetsov O. A., Panin G. N. O koeffitsientakh soprotivleniya, teploobmena i ispareniya nad morskoy poverkhnost'yu v atmosfere [On the coefficients of resistance, heat transfer and evaporation over the sea surface in the atmosphere]. *Izvestiya AN SSSR. FAO*, 1973, vol. 9, no. 11, pp. 1135-1141.
16. Kamenkovich V. M., Koshlyakov M. N., Monin A. S. *Sinopticheskie vikhri v okeane* [Synoptic eddies in the ocean]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1982, 264 p.
17. Ozmidov R. V. O nekotorykh osobennostyakh energeticheskogo spektra okeanicheskoy turbulentnosti [Certain features of the energy spectrum of oceanic turbulence]. *Doklady AN SSSR*, 1965, vol. 161, no. 4, pp. 828-832.
18. Gruza G. V., Ran'kova E. YA. *Struktura i izmenchivost' nablyudaemogo klimata. Temperatura vozdukha Severnogo polushariya* [Structure and variability of ob-

served climate. Air temperature over the Northern Hemisphere]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1980, 72 p.

19. Monin A. S. Kamenkovich V. M., Kort V. G. *Prognoz pogody kak zadacha fiziki* [Weather forecast as a problem of physics]. Moscow, Nauka, 1969, 184 p.

20. Monin A. S. *Izmenchivost' Mirovogo okeana* [The variability of the World Ocean]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1974, 262 p.

21. Woods J. D. Do waves limit turbulent diffusion in the ocean? *Nature*, 1980, vol. 288, no. 5788, pp. 219-224.

22. Dijkstra K. H. *Nelineynaya fizicheskaya okeanografiya* [Nonlinear physical oceanography]. Moscow–Izhevsk, NITS “Regulyarnaya i khaoticheskaya dinamika”, In-t komp'yuternykh issledovaniy, 2007, 680 p.

23. Mamaev O. I. O prostranstvenno-vremennykh masshtabakh okeanskikh i atmosferykh protsessov [On space-time scales of oceanic and atmospheric processes]. *Okeanologiya*, 1995, vol. 35, no. 6, pp. 805-808.

24. Gulev S. K., Kolinko A. V., Lappo S. S. *Sinopticheskoe vzaimodeystvie okeana i atmosfery v srednikh shirotakh* [Synoptic interaction between the ocean and atmosphere at mid-latitudes]. Saint-Petersburg, Gidrometeoizdat, 1994, 320 p.

25. *Dinamika vod Baltiyskogo morya v sinopticheskom diapazone prostranstvenno-vremennykh masshtabov* [Dynamics of the Baltic Sea waters in the synoptic space-time scales]. Saint-Petersburg, Gidrometeoizdat, 2007, 354 p.

26. Dubravin V. F. *Evolyutsii gidrometeorologicheskikh poley v Baltiyskom more* [Evolutions of hydrometeorological fields in the Baltic Sea]. Kaliningrad, Kapros, 2014, 438 p.

27. Dubravin V. F. *Evolyutsii termokhalinnoy struktury vod Baltiyskogo morya* [Evolution of the thermohaline structure of the Baltic Sea waters]. Moscow, Pero, 2017, 438 p.

28. Dubravin V. F., Kapustina M. V., Stont Zh. I. Evolyutsii (sezonnaya i mezhdogovaya izmenchivost') sutochnogo khoda gidrometeorologicheskikh poley Yuzhnoy Baltiki [Evolutions (seasonal and interannual variability) of daily course of hydrometeorological fields in the South Baltic Sea]. *Vestnik BFU im. I. Kanta. Ser. est. nauki*, Kaliningrad, Izd-vo BFU im. I. Kanta, 2018, no. 3, pp. 35-54.

29. Hargen E., Feistel R. Synoptic changes in the deep rim current during stagnant hydrographic conditions in the Eastern Gotland Basin, Baltic Sea. *Oceanologia*, 2007, vol. 49, no. 2, pp. 185-208.

30. MacKenzie B. R., Schiedek D. Long-term sea surface temperature baselines – time series, spatial covariation and implications for biological processes. *Journal of Marine Systems*, 2007, vol. 68, pp. 405-420.

31. Abramov R. V., Gushhin O. A. Raznomasshtabnye protsessy i ikh vzaimodeystvie v izmeneniyakh meteorologicheskikh parametrov atmosfery nad Atlantikoy [Multi-scale processes and their interaction in changes of the meteorological parameters of the atmosphere over the Atlantic]. *Izvestiya AN SSSR. FAO*, 1977, vol. 13, no. 5, pp. 443-450.

32. Byshev V. I. *Sinopticheskaya i krupnomasshtabnaya izmenchivost' okeana i atmosfery* [Synoptic and large-scale variability of the ocean and atmosphere]. Moscow, Nauka, 2003, 343 p.

33. *Rukovodstvo po meteorologicheskim priboram i metodam nablyudeniya* [Guide to meteorological instruments and methods of observation]. Sekretariat VMO, Zheneva, Shveysariya, 1983, no. 8, Obninsk, VNIIGMI-MTSD, 1988.

34. Dubravin V. F., Stont Zh. I. *Izmenchivost' gidrometeorologicheskikh poley nad Yugo-Vostochnoy Baltikoy v 2004-2011 gg.* [Variability of hydrometeorological fields over the South-Eastern Baltic in 2004-2011]. *Izvestiya RGO*, 2012, vol. 144, iss. 5, pp. 37-48.

35. Bruks K., Karuzers N. *Primenenie statisticheskikh metodov v meteorologii* [Application of statistic methods in meteorology]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1963, 416 p.

36. Feistel R., Nausch G., Wasmund N. *State and Evolution of the Baltic Sea, 1952–2005. A Detailed 50-Year Survey of Meteorology and Climate, Physics, Chemistry, Biology, and Marine Environment*, 2008, available at: <http://www.io-warnemuende.de/projects/baltic/index.html> (Accessed 15 December 2018).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

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

Dubravin Vladimir Filippovich – Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences; Doctor in Geographical Sciences; Leading Researcher; E-mail: v_dubravin@mail.ru

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

Kapustina Maria Vladimirovna – Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences; Junior Researcher; E-mail: kapustina.mariya@yandex.ru

Стонт Жанна Ивановна – Институт океанологии имени П. П. Ширшова Российской академии наук; кандидат географических наук; ученый секретарь, старший научный сотрудник; E-mail: ocean_stont@mail.ru

Stont Zhanna Ivanovna – Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences; PhD in Geographical Sciences; Scientific Secretary, Senior Researcher; E-mail: ocean_stont@mail.ru

УДК 597.553.2.591.53

КОРМОВАЯ БАЗА И ПИТАНИЕ МОЛОДИ МАССОВЫХ ВИДОВ
РЫБ РЕКИ НЕМАН

А. В. Мычкова, С. В. Шибает, М. Н. Шибаета, В. И. Саускан

FORAGE BASE AND FOOD INVESTIGATION OF MASS JUVENILE
FISH IN THE NEMAN RIVER

A. V. Muchkova, S. V. Shibaev, M. N. Shibaeva, V. I. Sauskan

Изучение питания молоди рыб имеет большое значение для всего комплекса исследований трофических взаимосвязей в экосистеме различных водоемов, это позволяет получить более полные данные о функциональной роли организмов разных трофических уровней, включая и рыб, в общем круговороте и трансформации энергии в экосистеме.

В р. Неман в 2018–2019 гг. встречались молодь следующих видов рыб: окунь (*Perca fluviatilis*), плотва (*Rutilus rutilus*), голавль (*Squalius cephalus*), елец (*Leuciscus leuciscus*), жерех (*Aspius aspius*), рыбец (*Vimba vimba*), укляя (*Alburnus alburnus*), густера (*Blicca bjoerkna*), щука (*Esox lucius*), лещ (*Abramis brama*). Мониторинг зообентоса является неотъемлемой частью при изучении питания рыб. Донная фауна водотока была представлена следующими таксономическими группами — личинки комаров-звонцов *Chironomidae*, пиявки *Hirudinea*, моллюски *Mollusca*, стрекозы *Odonata*, малощетинковые черви *Oligochaeta*, ручейники *Trichoptera*, поденки *Ephemeroptera*, насекомые *Insecta* и ракообразные *Crustacea*. Анализ результатов исследования показал, что состав пищевого комка молоди рыб включал и представителей донной фауны водотока, и планктонные организмы, доминирующую численность среди которых занимали ветвистоусые ракообразные (*Cladocera*), также в единичных формах встречались циклопы (*Cyclopoida*). Кроме этого, у некоторых особей наблюдался переход спектра питания от бентоса к рыбе, а именно пищевые отношения «хищник–жертва» были отмечены у молоди жереха. Установлено, что в пищевом рационе молоди насчитывается до 11 групп зообентоса. Среди кормовых объектов наиболее многочисленными были моллюски, затем пиявки, личинки комаров-звонцов и стрекозы. Вместе с тем в пищевом комке были обнаружены частички пластика, что является одним из факторов антропогенного влияния.

река Неман, молодь, состав пищи, кормовая база, бентос, пищевые отношения, элективность питания

Study of the nutrition of juvenile fish is of great importance for the entire set of studies of trophic relationships in the ecosystem of various water bodies. Research on this topic allows us to provide more complete data on the functional role of organisms of different trophic levels, including fish, in the general circulation and transformation of energy in the ecosystem.

The following juvenile fish species lived in 2018-2019 in the Neman river: perch (*Perca fluviatilis*), roach (*Rutilus rutilus*), chub (*Squalius cephalus*), dace (*Leuciscus leuciscus*), asp (*Aspius aspius*), Vimba bream (*Vimba vimba*), break (*Alburnus alburnus*), white bream (*Blicca bjoerkna*), pike (*Esox lucius*) and bream (*Abramis brama*). The study of zoobenthos is an integral part in the study of fish nutrition. The bottom fauna of the watercourse was represented by the following taxonomic groups - *Chironomidae*, *Hirudinea*, *Mollusca*, *Odonata*, *Oligochaeta*, *Ephemeroptera*, *Insecta* and *Crustacea*. An analysis of the results of the study showed that the composition of the food lump of juvenile fish included both representatives of the bottom fauna of the watercourse and planktonic organisms, with dominating *Cladocera* and single forms of *Cyclopoida*. In addition, some individuals showed the transition of the food spectrum from benthos to fish, namely, the predator – prey food relations were observed in juvenile asp. It has been established that in the diet of juveniles there are up to 11 groups of zoobenthos. Among the food objects, the most numerous were mollusks, then leeches, larvae of mosquito bells and dragonflies. Also, particles of plastic were found in the food lump, which is one of the factors of anthropogenic influence on the nutrition spectrum, presumably having a negative effect.

Neman river, juvenile fish, food composition, forage base, benthos, nutritional relationships, nutrition electivity

ВВЕДЕНИЕ

Мониторинговые исследования ихтиофауны молоди рыб р. Неман и её притоков важны для определения биоразнообразия, оценки современного состояния водоема, а также для получения фоновых параметров состояния прибрежных сообществ молоди и дальнейшего прогнозирования степени возможного влияния антропогенной деятельности на рыбное население.

Известно, что максимальная смертность рыб имеет место в первый год жизни. Факторы, влияющие на ее величину, разнообразны. Среди них очень большое значение имеет кормовой фактор. Урожайность поколения рыб формируется на ранних этапах их развития, и главное условие появления многочисленного поколения - обилие доступной пищи. Недостаток кормовых организмов чаще приводит к замедлению роста, а иногда – к массовой гибели молоди [1]. При постоянном количестве корма чем больше потенциальных потребителей одной и той же пищи, тем меньше ее приходится в расчете на одну особь. При одинаковом количестве потребителей условия нормального питания зависят от изменчивости кормовой базы. В любом из этих случаев необходимы исследования конкурентных отношений рыб.

Целью настоящей работы является мониторинг ихтиофауны и оценка состояния кормовой базы молоди массовых видов рыб, ее питания и пищевых отношений в нижнем течении р. Неман.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Исходными данными для анализа послужили ихтиологические и гидробиологические материалы, собранные сотрудниками кафедры ихтиологии и экологии ФГБОУ ВО «КГТУ» в мае 2018 – 2019 гг. на р. Неман. Сбор проб бентоса проводился на четырех участках: в приустьевой части (п. Ясное, ст. 1), в

местах наибольшего антропогенного воздействия (ниже г. Советска или п. Большое село, ст. 2) и в приграничной части (п. Неманское, ст. 3) (рис. 1). Одновременно проводился отлов рыб, по возможности, в тех же местах.

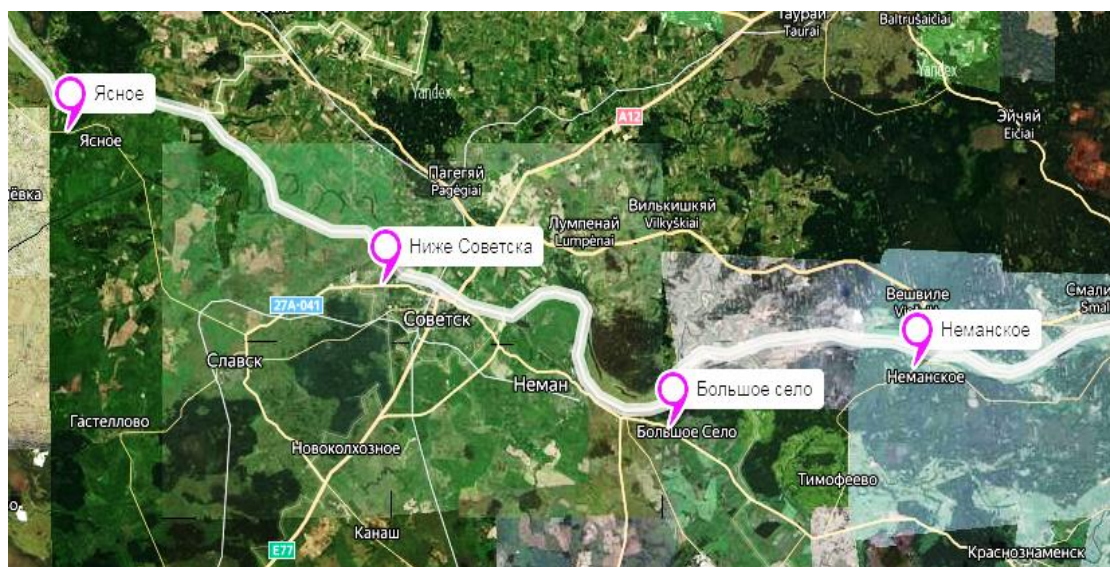


Рис. 1. Карта-схема отбора проб на р. Неман
Fig. 1. Map of sampling on the river Neman

Всего за 2018 г. было отобрано семь проб бентоса и проведено шесть мальковых обловов, из которых пять бентосных и пять мальковых - это пробы, отобранные со ст. 2, а две бентосных и одна мальковая проба – со ст. 3. За май 2019 г. собрано 12 бентосных проб и проведено четыре мальковых облова (по три бентосных и по одной мальковой пробе со ст. 1, 3, соответственно на ст. 2 было отобрано шесть бентосных и две мальковых пробы). Облов молоди рыб для установления видового состава и изучения питания осуществлялся с помощью мальковых орудий лова (мальковая волокуша с шагом ячеи 5 мм и портативная электроловильная установка для лова в прибрежной части на небольших глубинах). На исследование питания отбирались самые многочисленны виды из числа представленных в реке. Все пойманные рыбы фиксировались 4%-ным формальдегидом. После проведения полного биологического анализа желудок изымался и фиксировался отдельно. Пробы на питание этикировались по общепринятой методике. Изучение содержимого желудков проводилось в лабораторных условиях согласно руководствам по изучению питания рыб [1, 2].

Отбор проб зообентоса производился по общепринятым методикам с помощью скребка с длиной режущей стороны 0,24 м [3]. Камеральную обработку проб проводили в стационарных условиях: в лаборатории кафедры ихтиологии и экологии ФГБОУ ВО «КГТУ». Организмы зообентоса разбирались по группам под биноклем (стереомикроскоп Motic SZM 171). В каждой группе подсчитывалось общее число животных и определялась их масса. Для идентификации систематической принадлежности компонентов питания были использованы соответствующие определители [4, 5]. Общий объем материала за период исследований показан в табл. 1.

Таблица 1. Объем материала за весь период исследования
Table 1. The volume of material for the entire study period

Тип материала	Объем материала, шт. или экз.
Пробы бентоса	19
Ихтиологические пробы	10
Молодь окуня	163
Молодь плотвы	154
Молодь щуки	1
Молодь голавля	80
Молодь леща	2
Молодь густеры	24
Молодь ельца	3
Молодь жереха	5
Молодь рыбаца	121
Молодь уклей	298

1. Пищевые взаимоотношения и элективность питания рассчитывались исходя из следующих формул [1]:

Индекс избирания (Шарыгин) – выражает отношение процентного содержания организмов в пищевом комке рыбы к процентному содержанию организмов во всем водоеме:

$$ИИ = \frac{Li}{bi} . \quad (1)$$

2. Индекс пищевого сходства (Шарыгин) – сумма наименьших величин из видового состава рациона сравниваемых рыб (рационы в %). При полном совпадении индекс равен 100 %, при отсутствии совпадения – 0 %.

СОСТАВ ИХТИОФАУНЫ

Обширная акватория и географическое положение р. Неман, а также её притоков способствуют обитанию в бассейне широкого и сложного комплекса ихтиофауны. Это среда обитания ряда ценных проходных и полупроходных видов рыб, с местами их нереста, нагула и зимовки. От условий нереста ряда видов рыб в Немане во многом зависит и воспроизводство рыб Куршского залива [6]. За последние полвека [7-11] список видов рыб, отмеченных в р. Неман, включал более четырех десятков наименований. В последнее десятилетие [6, 12] список отмеченных видов рыб и круглоротых сократился до 36 видов, относящихся к 13 семействам.

В мальковых уловах настоящих исследований в мае 2018-2019 гг. встречено 18 видов, принадлежащих к шести семействам, из которых восемь видов не подвергались дальнейшему изучению в связи с тем, что они являлись взрослыми особями мелкоразмерных видов рыб: окунь *Perca fluviatilis* (Linnaeus), плотва *Rutilus rutilus* (Linnaeus), щука *Esox lucius* (Linnaeus), голавль *Squalius cephalus* (Linnaeus), лещ *Abramis brama* (Linnaeus), густера *Blicca bjoerkna* (Linnaeus), елец *Leuciscus leuciscus* (Linnaeus), жерех *Aspius aspius* (Linnaeus), рыбац *Vimba vimba* (Linnaeus), укля *Alburnus alburnus* (Linnaeus), быстрянка *Alburnoides bipunctatus* (Bloch), горчак *Rhodeus sericeus* (Pallas), ерш

Gymnocephalus cernuus (Linnaeus), колюшка трехиглая *Gasterosteus aculeatus* (Linnaeus), колюшка девятииглая *Pungitius pungitius* (Linnaeus), пескарь *Gobio gobio* (Linnaeus), щиповка *Cobitis taenia* (Linnaeus), бычок-подкаменьщик *Cottus gobio* (Linnaeus).

ХАРАКТЕРИСТИКА ЗООБЕНТОСА

В приустьевой части (ст. 1) р. Неман в мае 2018-2019 гг. зообентос состоял из семи таксонов, а в местах наибольшего антропогенного воздействия (ст. 2) и в приграничной части (ст.3) обнаружено по девять таксонов (табл. 2).

На всем протяжении исследованной акватории реки по численности и биомассе преобладали моллюски (тип *Mollusca*). Если же исключить фоновые показатели по моллюскам, то доминирующей группой в донной фауне приустьевой части р. Неман становятся пиявки (п/кл *Hirudinea*) – 56 % по численности и 58 % по биомассе соответственно (рис. 2).

На других исследуемых частях реки, а именно в зоне наибольшего антропогенного воздействия и в приграничной части, по численности доминировали личинки комаров-звонцов (сем. *Chironomidae*) – 55 и 58 % соответственно (рис. 3, 4). В зоне наибольшего антропогенного воздействия по биомассе преобладали пиявки (п/кл *Hirudinea*) - 33%, в приграничной части - стрекозы отр. *Odonata* (38%).

Таблица 2. Численность (N) и биомасса (B) организмов, встреченных в бентосных пробах на различных участках р. Неман в мае 2018-2019 гг.

Table 2. Number (N) and biomass (B) of organisms found in benthic samples in various parts of the Neman river in May 2018-2019

Таксоны	Ср. N, %			Ср. B, %		
	Ст.1	Ст.2	Ст.3	Ст.1	Ст.2	Ст.3
<i>Chironomidae</i>	11,51	11,41	15,35	0,12	0,01	0,17
<i>Hirudinea</i>	28,62	4,09	2,28	3,39	0,02	0,29
<i>Mollusca</i>	49,31	79,36	73,53	94,18	99,94	97,73
<i>Odonata</i>	0,38	0,56	1,06	0,16	0,01	0,85
<i>Oligochaeta</i>	1,03	0,40	0,69	0,03	0,00	0,01
<i>Trichoptera</i>	3,05	1,50	1,55	1,74	0,01	0,48
<i>Ephemeroptera</i>	-	0,73	1,55	-	0,00	0,05
<i>Insecta</i>	-	-	-	-	-	-
<i>Crustacea</i>	6,10	1,53	2,44	0,38	0,01	0,34
Прочие	-	0,43	1,55	-	0,01	0,09

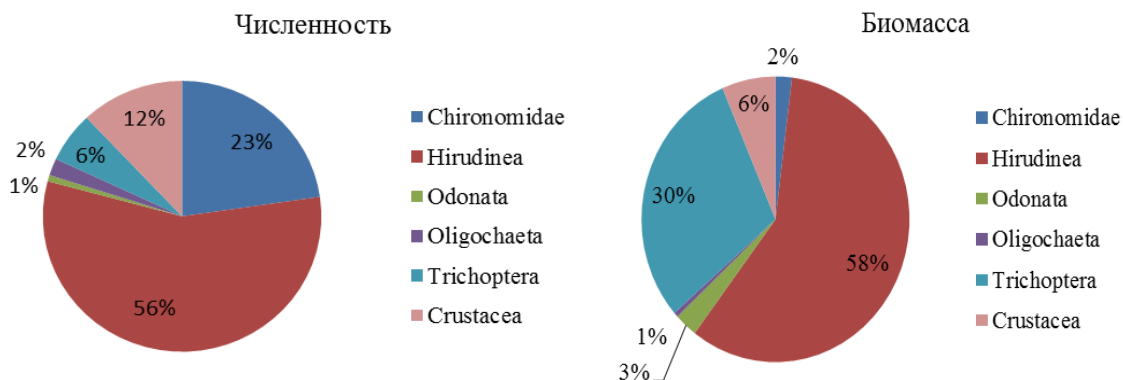


Рис. 2. Численность и биомасса зообентоса приустьевой части р. Неман (без учета моллюсков) в мае 2018-2019 гг.

Fig. 2. Abundance and biomass of zoobenthos near the mouth of the river Neman (excluding mollusks) in May 2018-2019

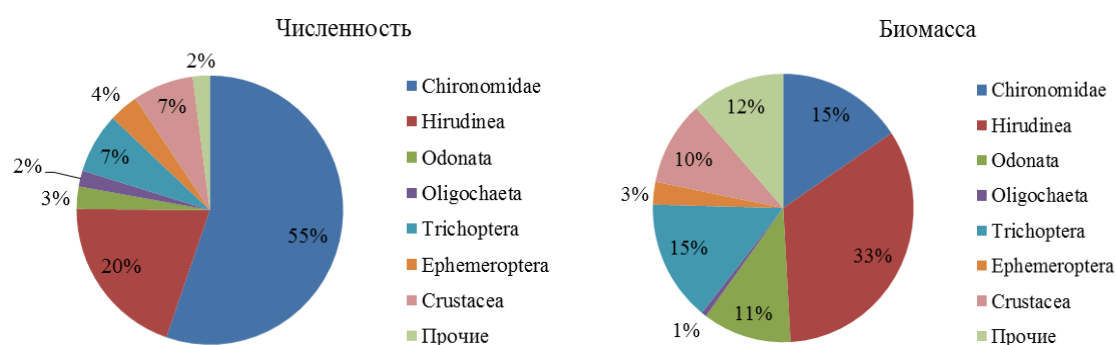


Рис. 3. Численность и биомасса зообентоса (без учета моллюсков) в местах наибольшего антропогенного воздействия р. Неман в мае 2018-2019 гг.

Fig. 3. Abundance and biomass of zoobenthos (excluding mollusks) in places of the greatest anthropogenic impact on the Neman river in May 2018-2019

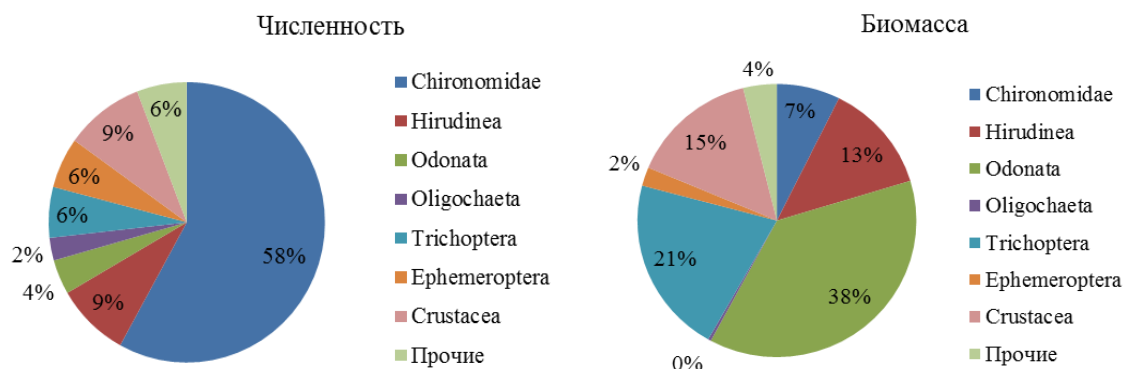


Рис. 4. Численность и биомасса зообентоса (без учета моллюсков) в приграничной части р. Неман в мае 2018-2019 гг.

Fig. 4. Abundance and biomass of zoobenthos (excluding mollusks) in the border part of the Neman river in May 2018-2019

Из всех мест отбора пробы, собранные на ст. 2 р. Неман в мае 2018-2019 гг., отличались наибольшей численностью и биомассой бентосных организмов.

ПИТАНИЕ МОЛОДИ РЫБ

В рационе молоди рыб, обитающих в р. Неман, были в наличии как зообентос и планктонные организмы, так и беспозвоночные, для которых вода не является средой обитания (наземные насекомые), а также личинки рыб. В желудках молоди отмечены непищевые компоненты как естественного происхождения — песок и мелкие камни (видимо, захваченные попутно при поедании организмов непосредственно со дна водотока), так и антропогенного — кусочки пластмассы.

У исследованных рыб в желудках было обнаружено до девяти групп организмов: планктонные, которые составили наименьший процент пищевого комка и были обнаружены лишь у некоторых видов рыб, и наиболее излюбленные бентосные, живущие на дне.

Спектр питания 41 экз. молоди окуня включал восемь компонентов (рис. 5), среди них в большей степени доминировали представители сем. *Chironomidae* (комары-звонцы) – 63 % массы пищи, из которых 45 % приходилось на долю куколок. Вторыми по значимости можно считать отр. *Trichoptera* (ручейники) – 11%.

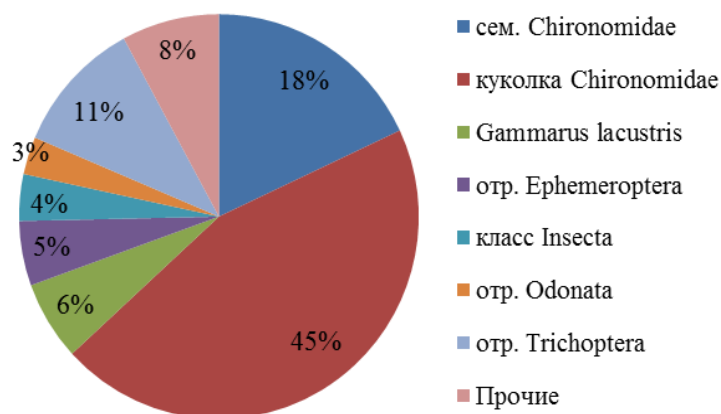


Рис. 5. Состав пищевого комка молоди окуня в р. Неман (май 2018-2019 гг.), % от массы

Fig. 5. Composition of the food lump of juvenile perch in the river Neman (May 2018-2019), % by weight

Спектр питания 68 экз. молоди плотвы включал также восемь компонентов (рис. 6). Основу составили моллюски (тип *Mollusca*) – 31 % от массы пищи (8 % из которых приходится на вид *Lithoglyphus naticoides*). Наименьший процент от массы был у ракообразных (п/тип *Crustacea*) и составил всего 4 %. На неопределенный переваренный остаток (прочие) доводилась весомая часть пищевого комка – 31 %.

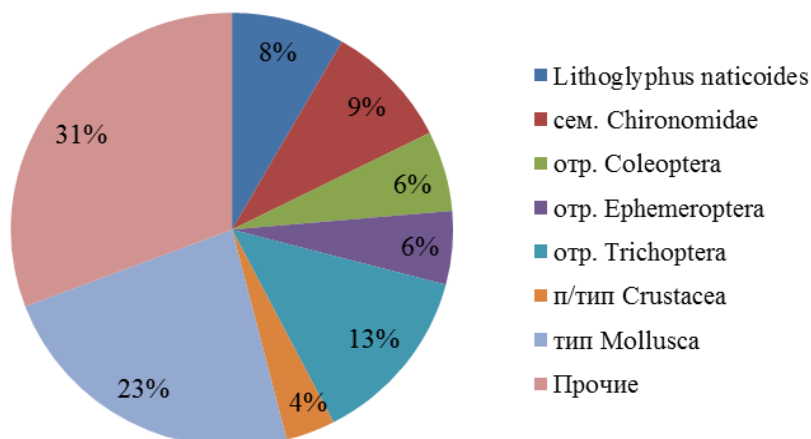


Рис. 6. Состав пищевого комка молоди плотвы в р. Неман (май 2018-2019 гг.), % от массы

Fig. 6. Composition of the food lump of juvenile roach in the river Neman (May 2018-2019), % by weight

Состав пищи молоди голавля (24 экз.) не имел столь широкого разнообразия, как у предыдущих видов рыб. Пищевые комки данного вида рыбы включали в себя всего два компонента пищи (рис. 7) – представителей класса *Insecta* (67 %) и сем. *Chironomidae* (5 %). Следует отметить, что на неопределенный перевариваемый остаток приходилось 28 %.



Рис. 7. Состав пищевого комка молоди голавля в р. Неман (май 2018-2019 гг.), % от массы

Fig. 7. Composition of the food lump of juvenile chub in the river Neman (May 2018-2019), % by weight

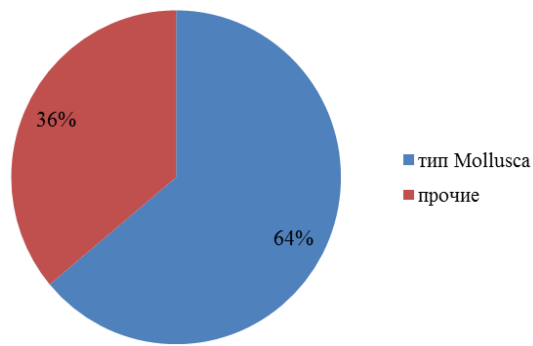


Рис. 8. Состав пищевого комка молоди густеры в р. Неман (май 2018 г.), % от массы

Fig. 8. Composition of the food lump of juvenile white bream in the river Neman (May 2018), % by weight

Спектр питания пяти экземпляров молоди густеры (рис. 8) включал всего один компонент пищи – представителей типа *Mollusca* (64 % от массы пищевого комка). Остальное содержимое выпадало на неопределенный перевариваемый остаток.

У исследованной молоди ельца (2 экз.) спектр питания включал два компонента (рис. 9). В пищевом комке доминировал класс *Insecta* (48 % массы пищи). Далее следуют комары-звонцы (сем. *Chironomidae*) – 13 %. Отметим, что 39 % приходилось на неопределенный переваренный остаток.

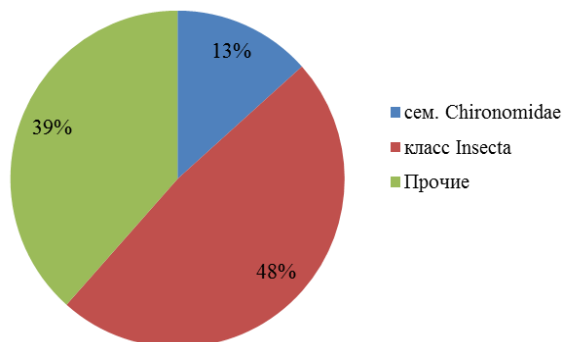


Рис. 9. Состав пищевого комка молоди ельца в р. Неман (май 2019 г.), % от массы

Fig. 9. Composition of the food lump of juvenile dace in the river Neman (May 2019), % by weight

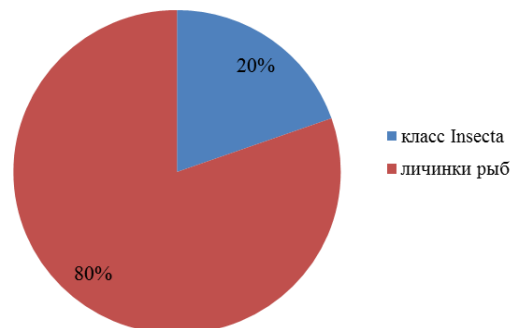


Рис. 10. Состав пищевого комка молоди жереха в р. Неман (май 2019 г.), % от массы

Fig. 10. Composition of the food lump of juvenile asp in the river Neman (May 2019), % by weight

Вся исследованная молодь жереха (5 экз.) питалась личинками рыб (рис. 10), на их долю в массе пищевого комка приходилось 80%, оставшиеся 20 % доводятся на долю насекомых (класс *Insecta*).

В желудках 62 мальков рыбаца встречено четыре пищевых компонента, среди которых доминировали моллюски (тип *Mollusca*) — 53 % массы пищи (рис. 11). Вторым по значимости пищевым компонентом были насекомые класса *Insecta* (20 % массы пищи).

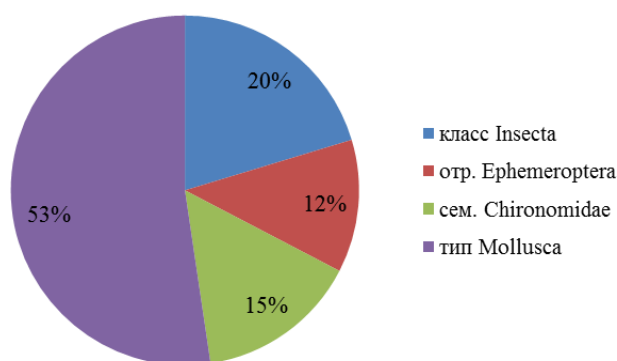


Рис. 11. Состав пищевого комка молоди рыбаца в р. Неман (май 2018-2019 гг.), % от массы

Fig. 11. Composition of the food lump of juvenile zanthe in the river Neman (May 2018-2019), % by weight

В составе пищевого комка уклей (36 экз.) было обнаружено больше всего групп организмов – 11 (рис. 12). Основу спектра питания составляли

представители таксономических групп *Chironomidae* и *Ephemeroptera* – 45 и 42 % соответственно. Из представителей комаров-звонцов наибольшую долю занимали куколки *Chironomidae* – 34 %. У отдельных рыб в желудках отмечено достаточно значительное количество зоопланктона, а именно такого вида, как *Daphnia cucullata*, однако их доля от общей массы пищевого комка составила менее 1 %.

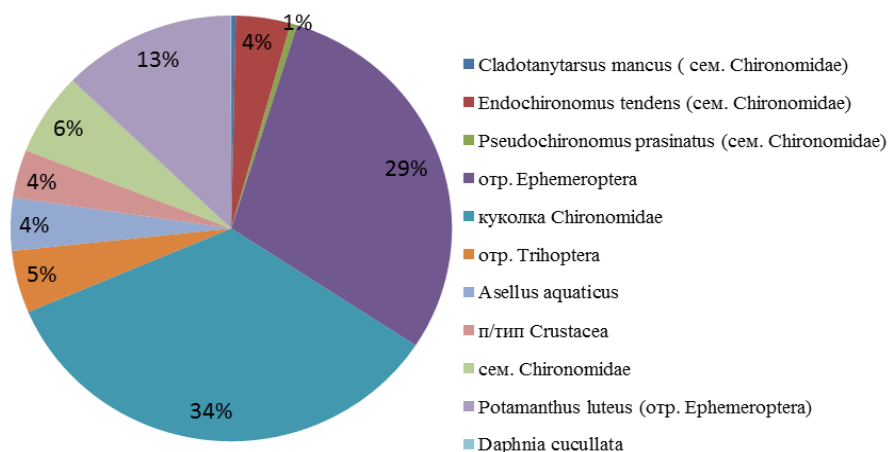


Рис. 12. Состав пищевого комка молоди уклей в р. Неман (май 2018-2019 гг.), % от массы

Fig. 12. Composition of the food lump of juvenile bleak in the Neman river (May 2018-2019), % by weight

ПИЩЕВЫЕ ОТНОШЕНИЯ И ЭЛЕКТИВНОСТЬ ПИТАНИЯ

Обеспеченность пищей разных видов имеет большое значение не только для выживания молоди рыб, но и для формирования биологических показателей. В настоящее время об этом можно в какой-то степени судить лишь по степени сходства состава пищи молоди разных видов (СП-коэффициенты). При сравнении степени сходства состава пищи молоди рыб в течение всего периода наблюдений оказалось, что самый близкий пищевой спектр имеют густера с жерехом (СП = 83,5%) (табл. 3).

Таблица 3. Степень сходства состава пищи молоди рыб в р. Неман (СП-коэффициенты, %)

Table 3. Degree of similarity in the food composition of juvenile fish in the river Neman (SP-ratios, %)

Виды	Окунь	Плотва	Голавль	Густера	Елец	Жерех	Рыбец	Уклея
Окунь	-	3,7	5,1	64,0	13,4	19,6	12,3	4,7
Плотва	3,7	-	8,6	67,5	17,0	23,2	15,9	8,3
Голавль	5,1	8,6	-	68,9	18,4	24,6	17,3	9,7
Густера	64,0	67,5	68,9	-	77,3	83,5	76,2	68,6
Елец	13,4	17,0	18,4	77,3	-	32,9	25,7	18,1
Жерех	19,6	23,2	24,6	83,5	32,9	-	31,9	24,4
Рыбец	12,3	15,9	17,3	76,2	25,7	31,9	-	17,0
Уклея	4,7	8,3	9,7	68,6	18,1	24,4	17,0	-

Однако небольшое количество исследованных рыб не позволяет сделать аргументированные выводы о характере пищевых отношений между ними. С другой стороны, у наиболее многочисленных видов плотвы и рыбца пища была сходна лишь на 15,9 %, что может свидетельствовать скорее об отсутствии напряжения между ними и частичном перекрытии пищевых ниш.

Одним из важных показателей для оценки напряженности пищевых отношений между видами является избирательность питания рыб, обитающих в конкретном водоеме. Было проведено сравнение пищевых спектров у самых многочисленных видов из числа пойманной молодежи с данными о составе бентоса в местах ее лова.

В р. Неман в мае 2018-2019 гг. практически все виды молодежи предпочитали потреблять более крупных животных — насекомых, индексы избирания которых иногда превышали 100 (табл. 4). К остальным представителям бентоса они относились индифферентно либо игнорировали, скорее всего, это связано не с обилием кормовых организмов, а с размерами рыб и потребляемых ими животных.

Таблица 4. Индексы избирания отдельных пищевых организмов молодежью рыб (по Шарыгину)

Table 4. Indices of the election of individual food organisms by juvenile fish (according to Sharygin)

Группы организмов	Окунь	Плотва	Рыбец	Уклея
<i>Chironomidae</i>	5,80	0,86	1,39	4,21
<i>Odonata</i>	0,12	-	-	-
<i>Oligochaeta</i>	-	-	-	-
<i>Trichoptera</i>	0,25	0,31	--	0,11
<i>Ephemeroptera</i>	0,93	0,94	2,09	7,19
<i>Insecta</i>	54,41	88,21	298,97	-
<i>Crustacea</i>	0,52	0,28	-	0,59

В целом, результаты исследования сходства пищевых спектров и элективности питания молодежи рыб р. Неман указывают на отсутствие напряженных пищевых отношений между видами. Хотя можно предположить, что при высокой численности молодежи отдельных видов пищевая конкуренция между ними возможна. Это требует дальнейших исследований и мониторинга, в том числе и оценки роста рыб в конкретные периоды нагула.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследования видового состава молодежи рыб р. Неман и её притоков важны для определения биоразнообразия, оценки современного состояния водоема и для получения фоновых параметров состояния прибрежных сообществ при ведении многолетнего мониторинга с учетом антропогенного воздействия.

Река Неман и её притоки - излюбленное место нереста, нагула и зимовки различных проходных и полупроходных видов рыб. В пищевом рационе молодежи рыб насчитывается до 11 групп зообентоса. Доминирующими компонентами в пищевом комке молодежи окуня и уклеи являются виды личинок семейства комаров-звонцов, на втором месте – ручейники и подёнки. У мальков рыбца,

густеры и плотвы доминируют моллюски, у голавля и ельца – насекомые. Среди молоди рыб были уже и хищники. Складывались отношения «хищник-жертва». Мальки жереха заглатывали молодь других видов рыб. Также в начале их хищнического периода жизни видное место в питании занимали насекомые.

Четких закономерностей пищевых пристрастий у различных видов молоди не наблюдалось. Полученные на данном этапе исследований результаты свидетельствуют об отсутствии напряженных пищевых отношений в ихтиоценозе р. Неман, что в нашем случае противоречит принципу Гаузе, согласно которому два вида не могут существовать в одной и той же местности, если они занимают одну и ту же экологическую нишу. Однако данное заключение необходимо подкрепить более многолетними исследованиями.

Оценка пищевых взаимоотношений всех представителей ихтиофауны, обитающих в реке, нуждается в дальнейших исследованиях и мониторинге в комплексе с кормовой базой. Исследования питания, роста, обмена у рыб (и особенно у их молоди) имеют также большое практическое значение, так как часто именно личиночный и мальковый периоды жизни определяют в дальнейшем запасы рыб. Обеспеченность мальков пищей является важным моментом экологического аспекта этого периода жизни рыб, поэтому необходимо знать характер питания мальков на ранних этапах их развития и количественную оценку питания. В свою очередь, количественные данные по питанию, росту и обмену рыб и их младшего поколения могут быть использованы при выращивании посадочного материала в нерестово-выростных хозяйствах, при прудовом и озерном разведении, решении вопросов рационального использования ресурсов рек и водохранилищ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Правдин, И. Ф. Руководство по изучению рыб / И. Ф. Правдин – Москва: Пищевая промышленность, 1966. - 375 с.
2. Руководство по изучению питания рыб в естественных условиях. Москва: Изд-во Академии наук СССР. 1961. - 264 с.
3. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений / под ред. В. А. Абакумова - Ленинград: Гидрометеиздат, 1983. - 239 с.
4. Кутикова, Л. А. Определитель пресноводных беспозвоночных Европейской части СССР / Л. А. Кутикова.– Ленинград: Гидрометеиздат, 1977. – 511 с.
5. Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России / под ред. В. Р. Алексева, С. Я. Цалолихина: в 2 т. – Москва: Товарищество научных изданий КМК, 2010. – Т. 1. Зоопланктон. - 495 с.
6. Характеристика фонового состояния биоты реки Неман в зоне возможного воздействия Балтийской АЭС (Калининградская область) / С. В. Шibaев [и др.] // Известия Калининградского государственного технического университета. – 2016. – № 42. – С. 59-86.

7. Жуков, П. И. Рыбы Белоруссии / П. И. Жуков. – Минск: Ураджай, 1965. – 416 с.
8. Кесминас, В. Река Неман. Ихтиофауна // Рыбохозяйственный кадастр трансграничных водоемов России (Калининградская область) и Литвы / В. Кесминас, Р. Репечка, К. В. Тылик. – Калининград: Изд-во «ИП Мишуткина», 2008. – С. 123-126.
9. Тылик, К. В. Рыбы трансграничных водоемов России и Литвы / К. В. Тылик. – Калининград: Изд-во ФГОУ ВПО «КГТУ», 2007. – 128 с.
10. Kesminas V., Virbickas T., Fish species diversity and productivity. Hydrobiological research in the Baltic countries (Rivers and lakes, part 1). Vilnius, 1999, p. 66-103.
11. Gaigalas K., Gerulaitis A., Krotas R., Maniukas J. Fish and fishery // Nemunas River, 2. -Vilnius, 1978. - 200 p.
12. Рыбохозяйственный кадастр трансграничных водоемов России (Калининградская область) и Литвы / С. В. Шibaев [и др.]. – Калининград: Изд-во «ИП Мишуткина», 2008. – 200 с.

REFERENCES

1. Pravdin I. F. *Rukovodstvo po izucheniyu ryb* [Fish study guide]. Moscow, Pishchevaya promyshlennost', 1966, 375 p.
2. *Rukovodstvo po izucheniyu pitaniya ryb v estestvennykh usloviyakh* [Guidelines for the study of fish feeding in the wild]. Moscow, izd-vo Akademii nauk SSSR, 1961, 264 p.
3. Abakumov V. A. *Rukovodstvo po metodam gidrobiologicheskogo analiza poverkhnostnykh vod i donnykh otlozheniy* [Guidance on methods for the hydrobiological analysis of surface waters and bottom sediments]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1983, 239 p.
4. Kutikova L. A. *Opredelitel' presnovodnykh bespozvonochnykh Evropeyskoy chasti SSSR* [Key to freshwater invertebrates of the European part of the USSR]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1977, 511 p.
5. Alekseev V. R., Calolihin S. Ja. *Opredelitel' zooplanktona i zoobentosa presnykh vod Evropeyskoy Rossii* [Determinant of zooplankton and zoobenthos of fresh water in European Russia]. Moscow, Tovarishestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2010, 495 p.
6. Shibaev S. V. Kharakteristika fonovogo sostoyaniya bioty reki Neman v zone vozmozhnogo vozdeystviya Baltiyskoy AES (Kaliningradskaya oblast') [Characteristics of the background state of the biota of the Neman River in the zone of possible impact of the Baltic NPP (Kaliningrad Region)]. *Izvestiya KGTU*, 2016, no. 42, pp. 59-86.
7. Zhukov P. I. *Ryby Belorussii* [Fish of Byelorussia]. Minsk, Uradzhay, 1965, 416 p.
8. Kesminas V., Repechka R., Tylik K. V. *Reka Neman. Ikhtiofauna. Rybokhozyaystvennyy kadastr transgranichnykh vodoemov Rossii (Kaliningradskaya oblast') i Litvy* [The river Neman. Ichthyofauna. Fishery inventory of the cross-border reservoirs of Russia (the Kaliningrad region) and Lithuania]. Kaliningrad, Izd-vo "IP Mishutkina", 2008, pp. 123-126.

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

10. Kesminas V., Virbickas T. Fish species diversity and productivity. Hydrobiological research in the Baltic countries (Rivers and lakes, part 1). Vilnius, 1999, pp. 66-103. (Russ. Ed.: Kesminas V., Virbickas T. Raznoobrazie i produktivnost' vidov ryb. Hidrobiologicheskie issledovaniya v stranah Baltii (Reki i ozera, chast' 1)). Vil'nyus, 1999, pp. 66-103.

11. Gaigalas K., Gerulaitis A., Krotas R., Maniukas J. Fish and fishery. Vilnius, no. 2, 1978, 200 p. (Russ. Ed.: Gaigalas K., Gerulaitis A., Krotas R., Maniukas J. Ryby i rybolovstvo). Vil'nyus, no. 2, 1978, 200 p.

12. Shibaev S. V. *Rybokhozyaystvennyy kadastr transgranichnykh vodoemov Rossii (Kaliningradskaya oblast') i Litvy* [Fisheries inventory of transboundary reservoirs of Russia (Kaliningrad region) and Lithuania]. Kaliningrad, izd-vo "IP Mishutkina", 2008, 200 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Мычкова Алена 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, заведующий кафедрой «Ихтиология и экология»;
E-mail: shibaev@klgtu.ru

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

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

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

Саускан Владимир Ильич – Калининградский государственный технический университет, доктор биологических наук, профессор кафедры «Ихтиология и экология»; E-mail: sauskan@klgtu.ru

Sauskan Vladimir Ilyich – Kaliningrad State Technical University; Doctor of Biology, Professor, Department of Ichthyology and Ecology; E-mail: sauskan@klgtu.ru

УДК 597:639.3

ПОКАЗАТЕЛИ КРОВИ КЛАРИЕВОГО СОМА (*CLARIAS GARIEPINUS*)
ИЗ УСТАНОВКИ ЗАМКНУТОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Л. В. Савина, Г. Г. Серпунин, Е. И. Хрусталева, В. И. Саускан

BLOOD VALUES OF SHARPTOOTH CATFISH (*CLARIAS GARIEPINUS*) FROM
A RECIRCULATING AQUACULTURE SYSTEM

L. V. Savina, G. G. Serpunin, E. I. Khrustalyov, V. I. Sauskan

Разработка научных основ эффективной технологии выращивания посадочного материала и товарного клариевого сома, являющегося перспективным объектом отечественной аквакультуры, имеет важное хозяйственное значение. При выращивании этого ценного вида рыбы в специфических условиях установок замкнутого водоснабжения (УЗВ) (искусственно созданные экосистемы, ограниченность подвижности, высокие плотности посадки, частые сортировки) необходимо изучение физиологической полноценности особей с целью оптимизации параметров среды, обеспечивающих максимальную реализацию роста сома, а также высокую степень использования потребляемой им пищи. Показатели крови определяли у сеголетков и годовиков клариевого сома, выращенных в промышленных УЗВ при высоких плотностях посадки. Кровь у рыб брали прижизненно из хвостового гемального канала. Концентрацию гемоглобина определяли гемиглобинцианидным методом, концентрацию эритроцитов и лейкоцитов - пробирочным методом, общий белок в сыворотке крови – рефрактометрически. Клетки крови идентифицировали по классификации Н. Т. Ивановой. В статье рассмотрены показатели красной и белой крови сеголетков и годовиков клариевого сома при их выращивании в УЗВ на фоне гидрохимических и биотехнических показателей. Установлены концентрация гемоглобина, эритроцитов, лейкоцитов, общего белка в сыворотке крови, лейкоцитарная формула, индексы сдвига нейтрофилов и лейкоцитов, содержание гемоглобина в эритроците, цветной показатель. Сеголетки клариевого сома имели высокий уровень гемоглобина, эритроцитов при нормальной концентрации лейкоцитов. Лейкоцитарная формула у сеголетков и годовиков клариевого сома находилась в нормальных пределах для костистых рыб. Показано достоверное изменение показателей крови при увеличении массы рыбы. Изученные показатели крови свидетельствуют о нормальном физиологическом состоянии канального сома, выращиваемого в УЗВ длительное время при высоких плотностях посадки.

клариевый сом, сеголетки, двухлетки, установка замкнутого водоснабжения, концентрация гемоглобина, эритроцитов, лейкоцитов, общего белка в сыворотке крови, лейкоцитарная формула, индексы сдвига нейтрофилов, лейкоцитов, показатели гидрохимические, биотехнические

Development of the scientific basis of an effective technology for cultivation of planting material and commercial sharptooth catfish, which is a promising object of domestic aquaculture, is of great economic importance. When growing this valuable type of fish in the specific conditions of recirculating aquaculture systems (RAS) (artificially created ecosystems, limited mobility, high stocking density, frequent sorting), it is necessary to study the physiological fullness of individuals in order to optimize the parameters of the environment that ensure maximum realization of the catfish growth, as well as the high degree of use of the food consumed by them. Blood indicators were determined in the fingerlings and yearlings of sharptooth catfish, grown in commercial RAS at high stocking density. Fish blood was taken intravital from the tail hemal canal. Concentration of hemoglobin was determined by the cyanmethemoglobin method, concentration of red blood cells and white blood cells – by the test method, total protein in blood serum – by refractometrically. Blood cells were identified by the classification of N. T. Ivanova. The article considers the indicators of red and white blood of this fingerlings and year-olds of sharptooth catfish when they are grown in RAS against the background of hydrochemical and biotechnological indicators. Concentration of hemoglobin, red blood cells, white blood cells, total protein in serum, leukogram, shear indices of neutrophils and white blood cells, hemoglobin content in red blood cells, color indicator has been established. Fingerlings of sharptooth catfish had high levels of hemoglobin and red blood cells at normal white blood cell concentrations. Leukocyte formula in fingerlings and year-olds of sharptooth catfish was within normal limits for bony fish. A significant change in blood levels is shown when fish mass increases. The studied blood values indicate the normal physiological state of the sharptooth catfish, grown in RAS for a long time at high stocking density.

sharptooth catfish, fingerlings, two-year-olds, recirculating aquaculture system, hemoglobin, red blood cells, white blood cells, total protein in blood serum, leukogram, shear indexes of neutrophil, white blood cells, hydrochemical, biotechnical indicators

ВВЕДЕНИЕ

Разработка научных основ эффективной технологии выращивания клариевого сома имеет важное хозяйственное значение, поскольку он является перспективным объектом отечественной аквакультуры. В первую очередь необходима разработка технологии выращивания посадочного материала и товарной рыбы, оптимизация параметров среды, обеспечивающих максимальную реализацию роста сома, а также высокую степень использования потребляемой им пищи и физиологическую полноценность особей.

Выращивание рыбы в установках замкнутого водоснабжения (УЗВ) отличается значительной специфичностью, что связано с действием разнообразных стрессовых факторов, существенно влияющих на ее физиологическое состояние: искусственно созданные экосистемы, ограниченность подвижности, высокие плотности посадки, частые сортировки и другие факторы, которые напрямую или косвенно влияют на рост и физиологическое состояние рыб [1]. Действие раздражителей различной природы неизменно приводит к сдвигам в физиологическом состоянии объектов выращивания, нарушая сложившееся физиологическое равновесие, и поэтому для его оценки применяют целый комплекс морфофизиологических и физиологических показателей, отражающих это состояние достаточно адекватно и информативно [2].

В настоящее время актуальным является совершенствование технологии выращивания клариевого сома в промышленных условиях с использованием УЗВ и установление в этих условиях его физиологического состояния.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Показатели крови определяли у сеголетков и годовиков клариевого сома, выращенных в промышленных УЗВ при высоких плотностях посадки (700 экз./м³). Промышленная УЗВ представляла собой модульную систему, состоящую из двух блоков (рисунок).

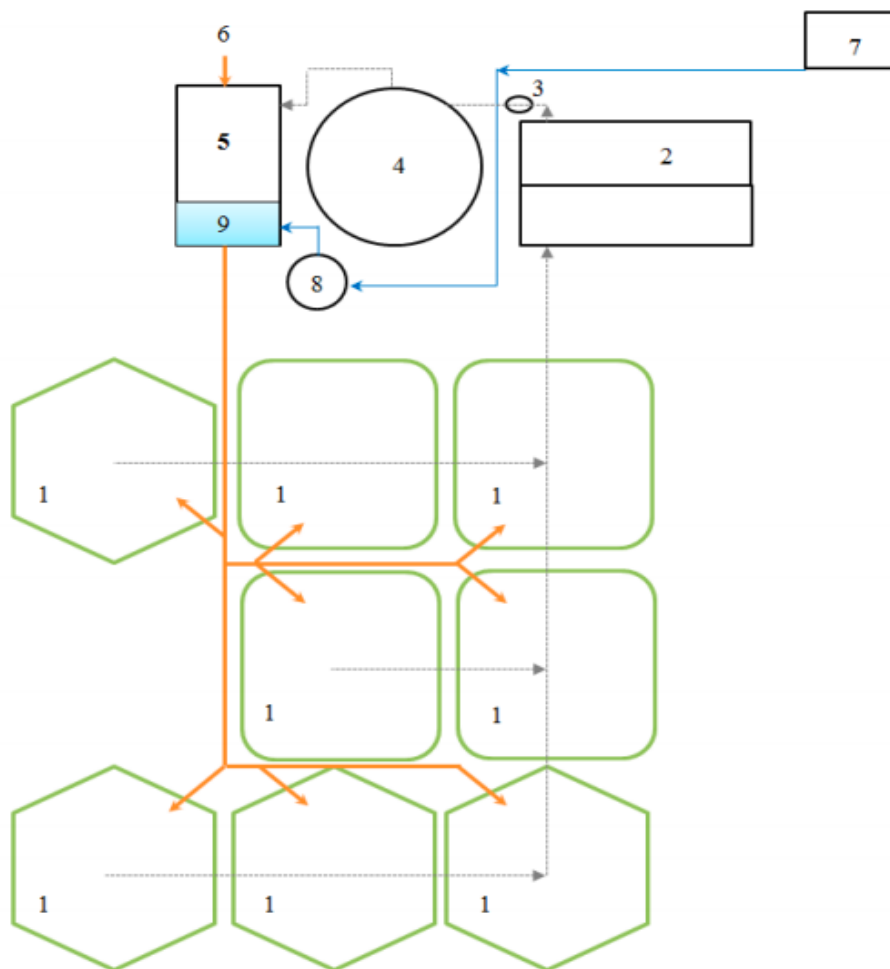


Рис. Схема промышленной УЗВ:

1 – бассейны, 2 – механический фильтр, 3 – насосы, 4 – биофильтр, 5 – дегазатор, 6 – подпитка из скважины, 7 – компрессор, 8 – оксигенатор, 9 – ультрафиолетовые лампы

Fig. Commercial RAS:

1 - pools, 2 - mechanical filter, 3 - pumps, 4 - biofilter, 5 - degasifier,
6 - recharge from the well, 7 - compressor, 8 - oxygenator, 9 - ultraviolet lamps

Каждый блок включал в себя четыре пластиковых бассейна шестиугольной формы объемом 3 м³ и четыре квадратных бассейна шведского типа объемом 1,6 м³. В состав технических узлов также входили механические фильтры со стабильным наклонным сетным полотном ячейей 0,3 мм, дегазатор, биофильтры «ки-

пящего слоя», ультрафиолетовое устройство, конусообразный оксигенатор напорного типа, компрессор.

Кровь у рыб брали прижизненно из хвостового гемального канала с помощью шприца. Концентрацию гемоглобина (Hb) определяли гемиглобинцианидным методом на спектромоме с использованием ацетонциангидрина, концентрацию эритроцитов (Эр) и лейкоцитов (Л) – пробирочным методом, общий белок в сыворотке крови (ОБС) – рефрактометрически. Среднее содержание гемоглобина в эритроците (СГЭ) и цветной показатель (ЦП) определяли расчетным методом. Клетки крови идентифицировали по классификации Н. Т. Ивановой [3]. Для определения гидрохимических показателей использовали стандартные методы. Во время выращивания проводили сортировку и взвешивание рыбы каждые 15 сут. На основании полученных данных корректировали количество задаваемого корма и плотность посадки.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

При выращивании рыбы в УЗВ одним из определяющих факторов является гидрохимический режим. В отношении внешних факторов клариевый сом – уникальный объект: он имеет высокую устойчивость к загрязнению воды органикой, недостатку кислорода в воде, переносит концентрацию аммония в воде до 5-10 и сероводорода – до 1-2 мг/л. Однако такие параметры воды могут отразиться на его физиологическом состоянии и качестве товарной продукции.

В промышленной УЗВ при выращивании товарной рыбы поддерживались гидрохимические и биотехнические параметры, представленные в табл. 1 и 2.

Таблица 1. Гидрохимические показатели в промышленной УЗВ

Table 1. Hydrochemical indicators in commercial RAS

Показатель	Значение
Водородный показатель pH	До 7,5
Аммонийный азот, мг/л	До 10
Нитриты, мг/л	До 2
Нитраты, мг/л	До 500-1000
Окисляемость перманганатная, мг О/л	10-15

Таблица 2. Некоторые биотехнические параметры выращивания клариевого сома в УЗВ

Table 2. Some biotechnical parameters for growing sharptooth catfish in RAS

Показатель	Значение
Температура воды, °С	25-27
Уровень воды в бассейнах, м	1
Водообмен в бассейнах, раз/ч	2-3
Плотность посадки рыбы для товарного выращивания, экз./м ³	500-700
Начальная масса, г	200-250
Конечная масса, г	700 - 1000
Суточная доза кормления, %	1,5-2,0
Коэффициент массонакопления	0,15-0,22
Время выращивания, сут	70

Сеголетки клариевого сома имели высокий уровень концентрационных показателей крови. Так, концентрация гемоглобина составляла $72,80 \pm 3,80$ г·л⁻¹, СГЭ – $55,28 \pm 1,85$ пг, ЦП – $1,66 \pm 0,06$, концентрация эритроцитов – $1,32 \pm 0,04$ Т·л⁻¹ при нормальном уровне концентрации лейкоцитов $34,14 \pm 1,55$ Г·л⁻¹ (табл. 3).

Значительное увеличение массы тела клариевого сома (почти в три раза) произошло при интенсивном кормлении в течение двух месяцев. Активный рост при высоких плотностях посадки привел к сдвигу в картине крови. У годовиков, которые по индивидуальной массе существенно превосходили сеголетков, концентрация эритроцитов и лейкоцитов достоверно увеличилась, а СГЭ и ЦП существенно снизились в сравнении с сеголетками (табл. 3). Такое изменение показателей крови свидетельствует о высоком темпе роста рыбы и характеризует высокие адаптационные возможности клариевого сома к условиям УЗВ.

Таблица 3. Показатели крови клариевого сома из УЗВ
Table 3. Hematological indicators of sharptooth catfish from RAS

Показатель	Сеголетки		Годовики	
	М±m	Cv, %	М±m	Cv, %
Концентрация гемоглобина, г·л ⁻¹	72,80±3,80	11,7	91,20±7,49	16,4
Концентрация эритроцитов (Эр), Т·л ⁻¹	1,315±0,039 ²	6,8	1,898±0,089 ²	9,4
СГЭ, пг	55,28±1,85 ¹	7,5	48,11±2,24 ¹	9,3
Концентрация лейкоцитов (Л), Г·л ⁻¹	34,14±1,55 ²	10,2	45,21±2,25 ²	10,0
ЦП	1,66±0,06 ¹	7,5	1,44±0,07 ¹	9,4
Эр/Л	38,76±1,78	10,3	43,21±3,02	14,0
Концентрация общего белка в сыворотке крови, г·л ⁻¹	37,25± 1,98	11,9	39,48± 2,89	14,6
Масса, г	229,20± 31,68 ²	30,9	677,00± 33,13 ²	9,8

^{1,2} - различия достоверны соответственно при $p < 0,05$ и $0,01$.

Анализ литературных данных по клариевому сому, выращиваемому в УЗВ, также показал, что этот вид обладает очень высокими адаптационными возможностями. Условная гематологическая норма клариевого сома при плотностях посадки до 500 экз./м³ и коэффициенте массонакопления (Км) более 0,1 составляет по концентрации гемоглобина 63-89 г·л⁻¹, эритроцитов – 0,72-1,82 Т·л⁻¹, скорости оседания эритроцитов (СОЭ) 2-10 мм/ч, концентрация общего белка в сыворотке крови (ОБС) 34-42 г·л⁻¹ [4, 5].

Лейкоцитарная формула у сеголетков и годовиков клариевого сома имела резко выраженный лимфоидный характер (о чем свидетельствует низкий индекс сдвига лейкоцитов (ИСЛ) и была представлена агранулоцитами и гранулоцитами. Из агранулоцитов идентифицировали лимфоциты и моноциты, из гранулоцитов нейтрофильные миелоциты и метамиелоциты, палочкоядерные и сегментоядерные нейтрофилы, также в незначительном количестве встречались псевдоэозинофилы и псевдобазофилы. Соотношение клеток белой крови у сома в этот период

выращивания в УЗВ представлено в табл. 4 и находилось в нормальных пределах для костистых рыб.

В лейкоцитарной формуле отмечено существенное увеличение у годовиков в сравнении с сеголетками процента метамиелоцитов нейтрофильных, а также заметное (в 2,6 раза) хотя и недостоверное увеличение доли миелоцитов нейтрофильных, что свидетельствует об активизации нейтрофилопоэза у клариевого сома по мере выращивания в УЗВ при высоких плотностях посадки (табл. 4).

Таблица 4. Показатели белой крови клариевого сома из УЗВ

Table 4. White blood indicators of sharptooth catfish from RAS

Показатель	Сеголетки	Годовики
	M±m	M±m
Лейкоцитарная формула, %		
Миелоциты нейтрофильные	1,85±0,80	4,80±1,44
Метамиелоциты нейтрофильные	2,30±0,79 ¹	6,60±1,50 ¹
Палочкоядерные нейтрофилы	1,60±1,00	2,20±0,95
Сегментоядерные нейтрофилы	1,60±0,30	1,63±0,90
Общее число нейтрофилов	7,35±2,581	15,23±2,90
Псевдозозинофилы	0,35±0,22	0,50±0,24
Псевдобазофилы	0,15±0,10	0,70±0,31
Моноциты	0,90±0,56	3,00±1,66
Малые лимфоциты	91,25±3,03	80,60±4,05
Индексы сдвига:		
- нейтрофилов (ИСН)	4,61±0,98	15,27±11,27
- лейкоцитов (ИСЛ)	0,09±0,03	0,20±0,05

Проведенный нами корреляционный анализ показал сильную взаимосвязь концентрации гемоглобина с массой тела клариевого сома ($r = 0,75 \pm 0,33$). Положительная связь этого показателя крови с массой тела установлена для карпа и других видов рыб [3].

Необходимо отметить, что при напряженных условиях выращивания клариевого сома в УЗВ авторы ожидали появления в его периферической крови патологически измененных клеток красной крови. По современным представлениям возникновение таких клеток является одной из форм ауторегуляции при различных стрессах и анемиях [6]. Однако никаких деградационных процессов, проявляющихся в агглютинации клеток, увеличении доли пойкилоцитов и гемолизированных клеток, нами не обнаружено. Эритроциты были одноразмерные без патологических изменений и равномерно распределялись по мазку крови.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Наши исследования показали, что клариевый сом относится к уникальным объектам аквакультуры, имеющим высокие адаптационные возможности. При выращивании в промышленной УЗВ с высокой плотностью посадки этот вид, судя по показателям красной и белой крови, хорошо адаптировался и имел нормальное физиологическое состояние в течение всего периода выращивания.

Установленные нами концентрационные показатели крови клариевого сома находились в пределах условной гематологической нормы для этого вида, что

также подтверждает его высокие адаптационные возможности даже при выращивании длительное время в условиях высокой плотности посадки, и свидетельствуют о его нормальном физиологическом состоянии при выращивании в промышленной УЗВ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Кузнецова, Н. Н. Результаты ихтиопатологических исследований рыбы, содержащейся в искусственных установках с замкнутым водоснабжением / Н. Н. Кузнецова // Биологические основы индустриальной аквакультуры: сб. науч. тр. – Калининград, 1984. – С. 35-40.
2. Технология выращивания и кормления объектов аквакультуры юга России / С. В. Пономарев [и др.]. – Астрахань: «Нова плюс», 2002. – 264 с.
3. Серпунин, Г. Г. Гематологические показатели адаптаций рыб / Г. Г. Серпунин. – Калининград: Изд-во ФГОУ ВПО «КГТУ», 2010. – 460 с.
4. Ковалев, К. В. Технологические аспекты выращивания клариевого сома (*Clarias gariepinus*) в рыбоводных установках с замкнутым циклом водоснабжения (УЗВ): автореф. дис. ... канд. сельхоз. наук: 06.02.04; 06.02.01 / Ковалев Константин Викторович. – Москва, 2006. – 21 с.
5. Артеменков, Д. В. Выращивание клариевого сома (*Clarias gariepinus*) на комбикормах с добавками пробиотика *Субтилис* в условиях УЗВ: дис. ... канд. сельхоз. наук: 06.04.01 / Артеменков Дмитрий Владимирович. – Москва, 2013. – 139 с.
6. Житенева, Л. Д. Экологические закономерности ихтиогематологии / Л. Д. Житенева. – Ростов-на-Дону: АзНИИРХ, 1999. – 56 с.

REFERENCES

1. Kuznetsova N. N. Rezul'taty ikhtiopatologicheskikh issledovaniy ryby, sodержavsheysya v iskusstvennykh ustanovkakh s zamknutym vodosnabzheniem [Results of ichthyopathological studies of fish contained in recirculating aquaculture systems]. *Sbornik nauchnykh trudov "Biologicheskije osnovy industrial'noy akvakul'tury"*, Kaliningrad, 1984, pp. 35-40.
2. Ponomarev S. V., Gamygin E. A., Nikonorov S. I. *Tekhnologiya vyrashchivaniya i kormleniya ob'ektov akvakul'tury yuga Rossii* [Technology of growing and feeding aquaculture objects in southern Russia]. Astrakhan', Nova Plus, 2002, 264 p.
3. Serpunin G. G. *Gematologicheskije pokazateli adaptatsiy ryb* [Hematological indicators of fish adaptations]. Kaliningrad, KGTU, 2010, 460 p.
4. Kovalev K. V. *Tekhnologicheskije aspekty vyrashchivaniya klarievogo soma (Clarias gariepinus) v rybovodnykh ustanovkakh s zamknutym tsiklom vodosnabzheniya (UZV). Avtoreferat diss. kand. sel'khoz. nauk* [Technological aspects of sharptooth catfish (*Clarias gariepinus*) cultivation in RAS. Abstract of dis. kand. agricul't. sci.]. Moscow, 2006, 21 p.
5. Artemenkov D. V. *Vyrashchivaniya klarievogo soma (Clarias gariepinus) na kombikormakh s dobavkami probiotika "Subtilis" v usloviyakh UZV. Diss. kand. sel'khoz. nauk* [Growing sharptooth catfish (*Clarias gariepinus*) on feed with Subtilis

probiotic supplements in conditions of RAS. Dis. kand. agricul't. sci]. Moscow, 2013, 139 p.

6. Zhiteneva L. D. *Ekologicheskie zakonomernosti ikhtiogematologii* [Ecological regularities of ichthyohematology]. Rostov-na-Donu, AzNIIRH, 1999, 56 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Савина Лиана Валерьевна – Калининградский государственный технический университет; кандидат биологических наук, доцент; E-mail: savina_liana@mail.ru

Savina Liana Valeryevna – Kaliningrad State Technical University;
PhD in Biological Sciences, Associate Professor; E-mail: savina_liana@mail.ru

Серпунин Геннадий Георгиевич – Калининградский государственный технический университет; доктор биологических наук, профессор; заведующий кафедрой аквакультуры; E-mail: serpunin@klgtu.ru

Serpunin Gennadiy Georgievich – Kaliningrad State Technical University;
Doctor of Biological Sciences, Professor; Head of the Department of Aquaculture;
E-mail: serpunin@klgtu.ru

Хрусталева Евгений Иванович – Калининградский государственный технический университет; кандидат биологических наук, доцент;
E-mail: chrustaqua@rambler.ru

Khrustalyov Evgeniy Ivanovich – Kaliningrad State Technical University;
PhD in Biological Sciences, Associate Professor; E-mail: chrustaqua@rambler.ru

Саускан Владимир Ильич – Калининградский государственный технический университет; доктор биологических наук, профессор;
E-mail: sauskan@klgtu.ru

Sauskan Vladimir Ilych – Kaliningrad State Technical University;
Doctor of Biological Sciences, Professor; E-mail: sauskan@klgtu.ru

УДК 551.462.32

СОДЕРЖАНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ ФОРМ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
В КУРШСКОМ ЗАЛИВЕ В 2018 ГОДУ

А. В. Сташко, В. В. Шендерюк, А. В. Касьян, С. В. Александров,
Л. Л. Виноградова

MINERAL NUTRIENTS CONTENT IN THE CURONIAN LAGOON IN 2018

A. V. Stashko, V. V. Shenderyuk, A. V. Kasian, S. V. Aleksandrov,
L. L. Vinogradova

В рамках комплексного изучения водных биологических ресурсов и среды их обитания, проводимого АтлантНИРО, было выполнено исследование содержания минеральных форм биогенных элементов (аммонийного азота, азота нитритов, азота нитратов, фосфора фосфатов) в российской части Куршского залива в 2018 г. На основании данных, полученных в период с весны по осень с 7-12 станций, равномерно распределенных по акватории, были рассчитаны средние для акватории величины содержания биогенных элементов, исследована их сезонная динамика и соотношение между минеральными формами азота и фосфора. В 2018 г. сезонная динамика аммонийного азота, азота нитритов характеризовалась повышенными концентрациями в летний период с максимумом в августе, а азота нитратов – в конце вегетационного периода (в ноябре). Для минерального фосфора максимальная концентрация была характерна в ноябре, одновременно с высоким содержанием в июне-июле. В августе содержание аммонийного азота превысило предельно-допустимую концентрацию для рыбохозяйственных водоемов ($0,4 \text{ мгN/дм}^3$) и составило $0,47 \text{ мгN/дм}^3$. Превышение было также зафиксировано для азота нитритов: при ПДК $0,020 \text{ мгN/дм}^3$ в августе и ноябре концентрации показателя составили $0,058$ и $0,025 \text{ мгN/дм}^3$ соответственно. Наибольшее значение коэффициента Редфилда в исследуемый период было отмечено в августе: соотношение N:P составило 83,2. Для аммонийного азота, азота нитритов и азота нитратов в августе 2018 г. отмечалась большая в сравнении с другими месяцами пространственная неоднородность. В период наблюдений с мая по ноябрь 2018 г. экосистема Куршского залива была лимитирована минеральным фосфором, за исключением отдельных участков в июне.

биогенные элементы, минеральный фосфор, минеральный азот, Куршский залив, соотношение Редфилда

Research of the nutrients (ammonium nitrogen, nitrite nitrogen, nitrate nitrogen, phosphorus of phosphates) was carried out in the Russian part of the Curonian Lagoon in 2018 as a part of comprehensive study of aquatic biological resources and their habitat conducted by AtlantNIRO. Based on the data collected from 7-12 stations evenly distributed over the investigated water area from spring to autumn, the average

for the water area values of the content of nutrients were calculated, the seasonal changes and the ratio between the mineral forms of nitrogen and phosphorus were studied. In 2018, the seasonal dynamics of ammonium nitrogen and nitrite nitrogen was characterized by a gradual increase in summer with maximum values in August. The maximum concentration of nitrate nitrogen was at the end of the vegetation period (in November). The maximum concentration of mineral phosphorus was characteristic in November, and the high content was also in June-July. In August, the content of ammonium nitrogen exceeded the maximum permissible concentration (MPC) for fishery water bodies (0.4 mgN/dm^3) and amounted to 0.47 mgN/dm^3 . The excess MPC (0.020 mgN/dm^3) was also noted for nitrite nitrogen: in August and November concentrations of nitrites were 0.058 and 0.025 mgN/dm^3 , respectively. The highest value of the Redfield ratio during the study period was obtained in August ($\text{N:P} = 83.2$). Compared to other months, larger spatial heterogeneity in water area was noted for ammonium nitrogen, nitrites, and nitrates in August 2018. During the study period of observations from May to November 2018, the Curonian Lagoon ecosystem was limited by mineral phosphorus, except for local areas in June.

nutrients, mineral phosphorus, mineral nitrogen, Curonian Lagoon, Redfield ratio

ВВЕДЕНИЕ

Куршский залив – крупная, площадью 1584 км^2 , лагуна, находящаяся в юго-восточной части Балтийского моря и соединяющаяся с ним узким проливом в районе литовского г. Клайпеда. Залив мелководен, средняя глубина составляет $3,8 \text{ м}$ [1].

К наиболее важным экологическим проблемам Куршского залива относится продолжающееся эвтрофирование вод и ежегодное «цветение» воды в период массового развития потенциально токсичных синезеленых водорослей, которые могут оказывать токсичный эффект на рыб и других гидробионтов [2].

Наибольший вклад в процесс поступления биогенных элементов, способствующих эвтрофированию вод, вносит речной сток (р. Неман, Дейма и др.): большие объемы фосфора и азота ежегодно поступают в залив с минеральными удобрениями, отходами животноводческих ферм и коммунально-бытовыми стоками [3, 4]. Значительную роль играет также внутриводоемная нагрузка, связанная с разложением органических соединений внутри залива.

Отношение содержания различных форм биогенных элементов позволяет характеризовать направленность протекающих в водоеме биохимических процессов, возможность лимитирования первичной продукции тем или иным элементом, делать вывод о трофическом статусе водоема. В свою очередь, первичная продукция органического вещества составляет основу последующих этапов продукционного процесса в водных экосистемах, включая лагунную экосистему Куршского залива [3].

Цель работы: обобщить данные о содержании и соотношении минеральных форм фосфора и азота в Куршском заливе в 2018 г., сделать вывод о динамике содержания элементов в течение исследуемого периода, а также сравнить полученные значения со значениями ПДК для рыбохозяйственных водоемов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В 2018 г. отбор проб воды в Куршском заливе проводился в весенний, летний и осенний периоды на станциях, равномерно распределенных по акватории российской части. Мониторинг осуществлялся в рамках комплексного исследования водных биологических ресурсов и среды их обитания, выполняемого АтлантНИРО. В летний период, характеризующийся наибольшей интенсивностью экологических процессов, отбор проводился ежемесячно. Исследования выполнялись в разные месяцы на 7-12 станциях. Пробы отбирались в подповерхностном слое. Всего за 2018 г. было отобрано 52 пробы воды, количество определений минеральных форм азота и фосфора составило свыше 200. Содержание аммонийного азота, азота нитритов, азота нитратов, фосфора фосфатов определялось стандартными методами (табл. 1) [5, 6].

Таблица 1. Методы количественного анализа, используемые при определении содержания биогенных элементов

Table 1. Methods of quantitative analysis used for determination of nutrients content

Исследуемый показатель	Метод измерения, методика	Прибор для измерения	Диапазон определяемых концентраций, мг/дм ³	Неопределенность, %
Аммонийный азот	Фотометрический метод с реактивом Несслера	Спектрофотометр двухлучевой модель 220	0,05-0,10	39
			0,10-1,0	35
			1,0-150	21
Азот нитратов	Фотометрический метод с салициловой кислотой	То же	0,1-3,0	18
			3,0-100	12
Азот нитритов	Фотометрический метод с реактивом Грисса	- -	0,02-0,1	20
			0,1-3,0	14
Фосфор фосфатов	Фотометрический метод с молибдатом аммония	- -	0,05-0,5	16
			0,5-5,0	14
			5,0-80	12

Оценка степени химического загрязнения вод Куршского залива проводилась относительно значений предельно допустимых концентраций, указанных в приказе Росрыболовства [7].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Современное состояние Куршского залива по гидрохимическим и гидробиологическим показателям характеризует его как гиперэвтрофный водоем. Экосистема залива вследствие мелководности, водообмена с морем и проточности обладает способностью к самоочищению [8]. Для залива отмечается сезонная динамика изменения содержания биогенных элементов.

Соединения азота

По многолетним данным, поступление минеральных форм азота в Куршский залив в весенний период значительным образом связано со стоком минеральных удобрений р. Неман. Весной происходит интенсивное поглощение биогенных элементов вследствие начала активной вегетации фитопланктона. Поздней осенью, по окончании периода вегетации, содержание минеральных форм вновь возрастает [3].

В 2018 г. в вегетационный период с мая по ноябрь содержание аммонийного азота в заливе изменялось в диапазоне 0,16-0,47 мгN/дм³ (табл. 2). Летний период характеризовался увеличением показателя, максимум был отмечен в августе - 0,47 мгN/дм³; в ноябре значения практически сравнялись с майскими (рис. 1). Таким образом, в августе в Куршском заливе наблюдалось превышение ПДК аммоний-иона (0,4 мгN/дм³) для рыбохозяйственных водоемов [7]. Следует также отметить, что август характеризовался значительной неоднородностью распределения аммонийного азота в различных частях Куршского залива; диапазон концентраций составил 0,15-0,91 мгN/дм³ (табл. 2). Наиболее высокие значения концентраций параметра отмечались в прибрежных зонах восточной части залива. Максимальное (0,91 мгN/дм³) было получено на станции, расположенной рядом с пос. Мысовка, и более чем двукратно превышало ПДК.

Нитриты, являясь промежуточным продуктом окислительно-восстановительных процессов, протекающих в природных водоемах, присутствуют в них в небольших количествах. Одним из главных факторов снижения концентрации нитратов в течение года в природных водоемах является их потребление фитопланктоном. Содержание нитритов в 2018 г. в период с мая по июль находилось на низком уровне – 0,002-0,011 мгN/дм³ (табл. 2). В августе было отмечено пятикратное (по сравнению с июлем) увеличение концентрации азота нитритов – 0,058 мгN/дм³, что в несколько раз превысило предельно допустимую концентрацию для рыбохозяйственных водоемов (0,02 мгN/дм³) [7]. В ноябре содержание азота нитритов составило 0,025 мгN/дм³, что также было выше ПДК (рис. 1).

В период с мая по август содержание азота нитратов в водах Куршского залива изменялось незначительно и составляло 0,08-0,12 мгN/дм³ (табл. 2). В ноябре, в период похолодания, характеризующийся окончанием «цветения» и началом зимней аккумуляции минеральных форм биогенных элементов, содержание азота достигло 0,42 мгN/дм³. Получаемые на протяжении 2018 г. концентрации были значительно ниже ПДК для рыбохозяйственных водоемов, которая составляет 9,0 мгN/дм³ (рис. 1).

В отдельные периоды исследования в 2018 г. для азота нитритов и нитратов распределение по акватории Куршского залива было более неоднородным. Период с мая по июль, а также ноябрь характеризовались

относительно близкими значениями содержания нитритного и нитратного азота на различных станциях (табл. 2). В августе диапазон концентраций азота нитритов по акватории составил 0,011-0,110 мгN/дм³, т.е. на отдельных станциях разница в содержании была десятикратной. Диапазон концентраций азота нитратов в упомянутом месяце составил 0,030-0,160 мгN/дм³, что также свидетельствует о значительной пространственной неоднородности данных минеральных форм азота.

Таблица 2. Содержание аммонийного азота, азота нитритов, азота нитратов, фосфора фосфатов в российской части Куршского залива

Table 1. Ammonium nitrogen, nitrogen of nitrates, nitrogen on nitrites and phosphorus of phosphates content in the Russian part of the Curonian lagoon in 2018

Месяц	N аммонийный, мгN/дм ³	N нитритов, мгN/дм ³	N нитратов, мгN/дм ³	P фосфатов, мгP/дм ³
Май	<u>0,100-0,280</u> 0,160±0,016	<u>0,002-0,003</u> 0,002±0,0	<u>0,070-0,110</u> 0,082±0,004	<u>0,008-0,011</u> 0,009±0,0
Июнь	<u>0,070-0,290</u> 0,163±0,023	<u>0,007-0,013</u> 0,009±0,001	<u>0,060-0,100</u> 0,078±0,004	<u>0,019-0,025</u> 0,021±0,001
Июль	<u>0,120-0,390</u> 0,265±0,028	<u>0,006-0,023</u> 0,011±0,002	<u>0,110-0,140</u> 0,121±0,004	<u>0,017-0,031</u> 0,023±0,001
Август	<u>0,150-0,910</u> 0,474±0,083	<u>0,011-0,110</u> 0,058±0,011	<u>0,030-0,160</u> 0,096±0,017	<u>0,006-0,014</u> 0,008±0,001
Ноябрь	<u>0,110-0,220</u> 0,169±0,017	<u>0,017-0,038</u> 0,025±0,003	<u>0,400-0,430</u> 0,416±0,007	<u>0,021-0,035</u> 0,027±0,002

Примечание. Над чертой приведены пределы колебания содержания показателя в соответствующий месяц, под чертой – среднее по акватории значение с ошибкой.

Фосфор фосфатов

Изменение содержания минерального фосфора в водах Куршского залива в течение года демонстрирует сложную сезонную динамику для данного биогенного элемента (рис. 1). В мае, в период активно начавшейся вегетации фитопланктона, среднее для акватории содержание фосфора фосфатов составило 0,009 мгP/дм³. В июне и июле средние концентрация минерального фосфора достигли 0,021 и 0,023 мгP/дм³ (табл. 2). Наблюдаемая в летний период динамика является следствием активной минерализации органического вещества в теплой воде и регенерации фосфатов из донных отложений [3, 9]. При этом в августе, несмотря на вышеотмеченные процессы, содержание фосфора фосфатов снизилось до 0,008 мгP/дм³ (рис. 1). В период поздней осени наблюдалось увеличение концентрации фосфора до 0,027 мгP/дм³ вследствие окончания цветения фитопланктона, т. е. значительного сокращения поглощения фосфатов фитопланктоном, и начала зимней аккумуляции биогенных элементов.

Поскольку современные исследования свидетельствуют о гиперэвтрофном состоянии Куршского залива, предельно допустимая концентрация фосфора фосфатов для рыбохозяйственного водоема данного типа составляет $0,2 \text{ мгР/дм}^3$ [7, 8]. В весенний, летний и осенний периоды содержание фосфора фосфатов было существенно ниже установленного для эвтрофированных водоемов уровня ПДК.

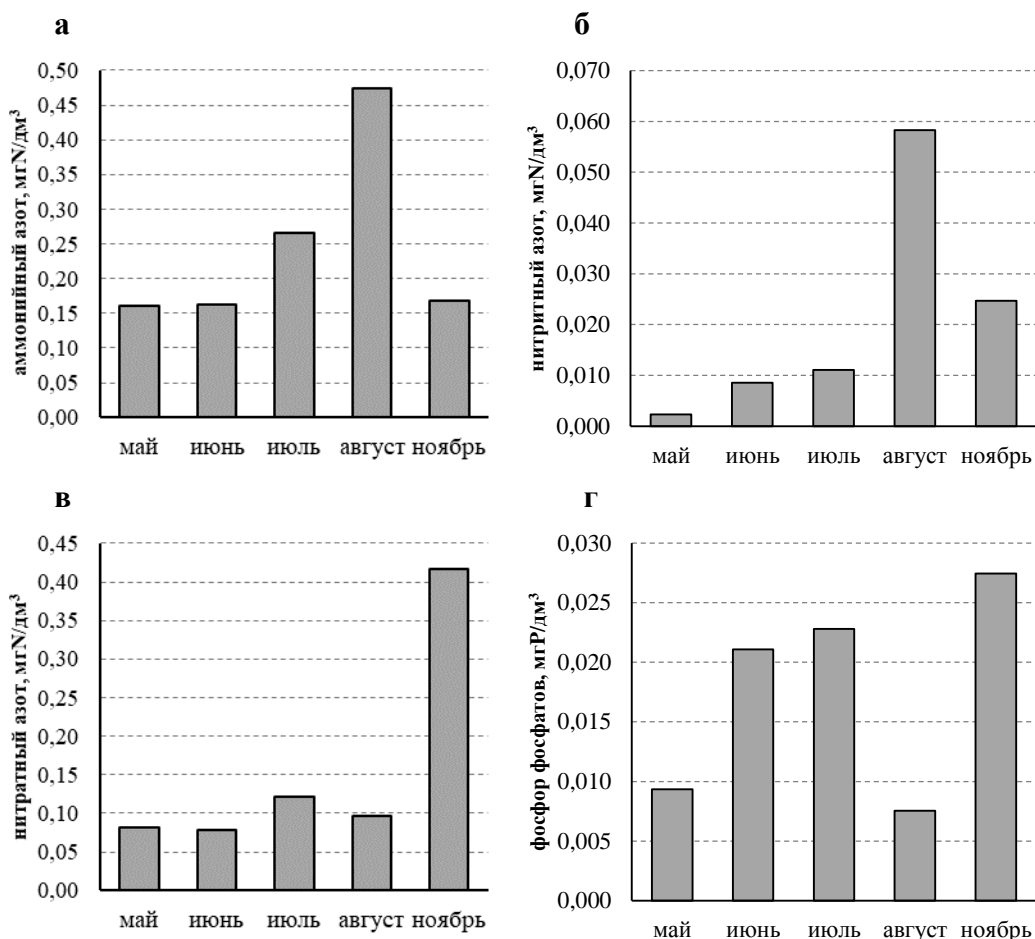


Рис. 1. Динамика содержания аммонийного азота (а), нитритного азота (б), нитратного азота (в), фосфора фосфатов (г) в Куршском заливе в 2018 г.

Fig. 1. Dynamics of ammonium nitrogen (a), nitrogen of nitrites (б), nitrogen of nitrates (в) and phosphorus of phosphates (г) content in the Curonian lagoon in 2018

Соотношение минеральных форм N и P

Согласно соотношению Редфилда, азот и фосфор присутствуют в организмах фитопланктона в массовом соотношении 7:1, недостаток тех или иных биогенных элементов способен лимитировать рост новых микроорганизмов. Соотношение Редфилда является приблизительным [10].

В мае соотношение N:P изменялось от 18,2 до 44,0, составив в среднем по акватории Куршского залива 26,1, что свидетельствует о лимитирующем действии фосфора в период начала активной вегетации фитопланктона (рис. 2).

В летний период регенерация фосфатов из донных отложений, которой способствовали мелководность Куршского залива, и сильный прогрев воды водной толщи привели к снижению величины соотношения N:P. В июне среднее по акватории соотношение снизилось до 11,8, а в июле увеличилось до 17,4 (пространственное изменение составило 6,0-18,5 и 9,6-26,7 соответственно). В августе, в период «гиперцветения» Куршского залива, интенсивность поглощения минерального фосфора резко возросла, что привело к трехкратному снижению концентрации минерального фосфора и значительному увеличению соотношения N:P – 83,2 (при диапазоне 50-158) (табл. 2, рис. 2). В ноябре, по окончании вегетации и начавшейся аккумуляции минеральных форм биогенных элементов, было получено соотношение, близкое к наблюдаемому в весенний период - 22,2 (при диапазоне 15,5-32,4).

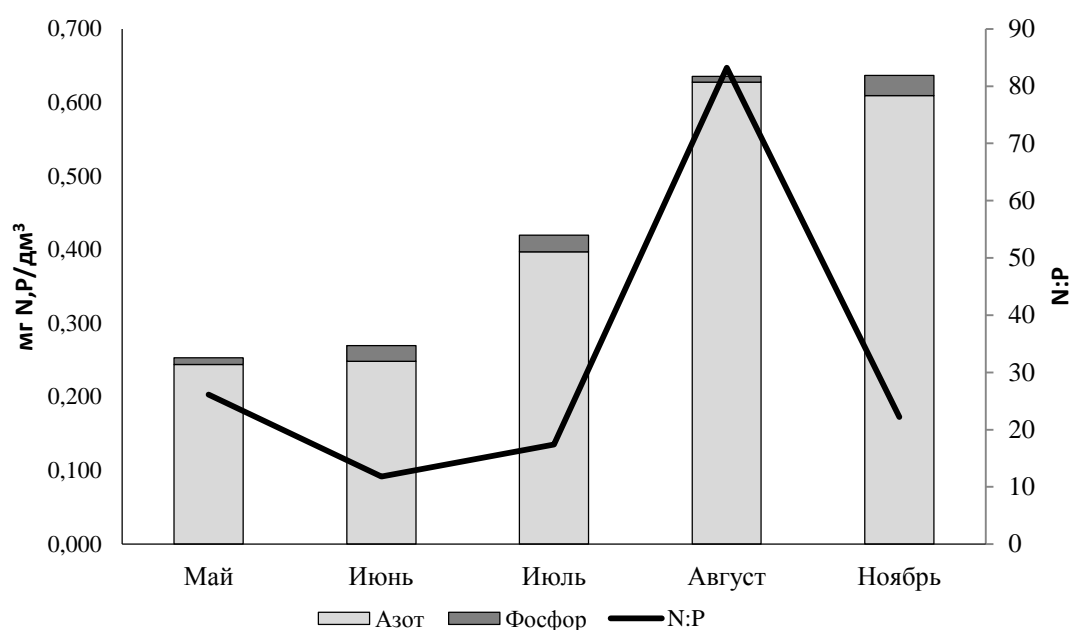


Рис. 2. Динамика массового соотношения минерального азота и минерального фосфора и их суммарное содержание в Куршском заливе в 2018 г.
 Fig. 2. Dynamics of mineral nitrogen and phosphorus mass ratio and their total content in the Curonian lagoon in 2018

В природных водоемах уровень развития и продуктивности фитопланктона зависит в первую очередь от поступления фосфора [11]. Поступление азота играет меньшую роль и не оказывает лимитирующего действия на азотфиксирующие бактерии. Вследствие этого в условиях лимитирования экосистемы азотом микроорганизмы, способные потреблять атмосферный азот, получают конкурентное преимущество.

В 2018 г. в Куршском заливе отношение средних по акватории значений содержания минеральных форм азота и фосфора в период с весны по осень было больше 7, что, согласно соотношению Редфилда, свидетельствует о лимитировании экосистемы залива фосфором (рис. 2). При этом в июне регенерация фосфатов из донных отложений при наблюдавшейся

пространственной неоднородности распределения минеральных форм биогенных элементов привела к тому, что на отдельных станциях залива соотношение N:P было меньше 7, что является индикатором лимитирования азотом, т. е. фактором, способствующим интенсивному развитию синезеленых водорослей. Как следствие, в этот период может формироваться «цветение» воды, оказывающее неблагоприятное воздействие на экологическое состояние Куршского залива [2].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Куршский залив – крупная мелководная лагуна, гидрологический и гидрохимический режимы которой отличаются от Балтийского моря. Содержание биогенных элементов в водах залива подвержено сезонным изменениям.

В ходе исследования было проведено определение содержания минеральных форм азота и фосфора в весенне-зимний период в Куршском заливе в 2018 г., исследовано изменение содержания элементов в течение года. Полученные значения сравнивались с предельно допустимыми концентрациями, установленными для рыбохозяйственных водоемов.

Содержание аммонийного азота в 2018 г. варьировалось от 0,16 до 0,47 мгN/дм³. Максимум концентраций был отмечен в августе, полученное среднее значение превысило ПДК аммонийного азота (0,4 мгN/дм³). Азот нитритов с мая по июль был в небольших количествах, 0,002-0,011 мгN/дм³, в августе содержание значительно превысило предельно допустимую концентрацию (0,058 при ПДК 0,020 мгN/дм³); кроме того, незначительное превышение было зафиксировано в ноябре. Нитраты составили 0,08-0,42 мгN/дм³, что значительно ниже ПДК, которая для азота нитратной группы равна 9,0 мгN/дм³.

Минеральный фосфор в Куршском заливе в период с весны по осень присутствовал в концентрациях 0,008-0,023 мгP/дм³. Минимум содержания был отмечен в августе, в ноябре содержание фосфора фосфатов вследствие начала аккумуляции минеральных биогенных элементов было наибольшим. В течение года не было зафиксировано превышений ПДК фосфора фосфатов (0,2 мгP/дм³ для эвтрофированных водоемов)

Для исследуемых минеральных форм азота в августе наблюдалось значительное пространственное варьирование концентраций: 0,15-0,91 мгN/дм³ для аммонийного азота, 0,011-0,110 мгN/дм³ - азота нитритов, 0,03-0,16 мгN/дм³ - азота нитратов. Наибольшие концентрации аммонийного азота в августе наблюдались в восточной части Куршского залива на станциях, расположенных возле берега.

Соотношение между минеральными формами азота и фосфора свидетельствуют о лимитировании экосистемы залива фосфором в весенний и осенний периоды (26,1 – в мае, 22,2 – в ноябре), а также в августе (83,2). В первые два летних месяца средняя по акватории величина N:P также превышала 7, но была ниже вышеотмеченных периодов. Кроме того, на отдельных станциях Куршского залива в июне соотношение Редфилда (N:P) было меньше 7.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гуделис, В. Геологические и физико-географические условия залива Куршю-Марес и территории, окаймляющей залив / В. Гуделис // Куршю Марес; под ред. К. Янкевичюса. – Вильнюс. Изд-во АН ССР. – 1959. – С. 7-41.
2. Александров, С. В. Влияние «цветения» синезеленых водорослей на экологическое состояние Куршского залива / С. В. Александров // Вода: химия и экология. – 2009. – № 4 (10). – С. 2-6.
3. Александров, С. В. Первичная продукция планктона в лагунах Балтийского моря (Вислинский и Куршский заливы) / С. В. Александров. – Калининград: АтлантНИРО, 2010. – 228 с.
4. Горбунова, Ю. А. Методика выделения приоритетных источников биогенной нагрузки с водосборного бассейна реки Преголи / О. В. Горбунова, Б. В. Чубаренко, Д. А. Домнин // Известия Калининградского государственного технического университета. – 2018. – № 50. – С. 13-25.
5. Руководство по химическому анализу морских и пресных вод при экологическом мониторинге рыбохозяйственных водоёмов и перспективных для промысла районов Мирового океана / В. В. Сапожников [и др.]. – Москва: ВНИРО, 2003. – 202 с.
6. Методы гидрохимических исследований океана / О. К. Бордовский [и др.]. – Москва: Наука, 1978. – 272 с.
7. Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения (с изменениями на 12 октября 2018 года)» от 13 декабря 2016 г. №552, г. Москва.
8. Aleksandrov, S.V. Long-Term Variability of the Trophic Status of the Curonian and Vistula Lagoons of the Baltic Sea / Aleksandrov S.V. // Inland Water Biology. - 2009. - Vol. 2, № 4. - P. 319–326.
9. Moss, B. Consequences of reduced nutrient loading on a lake system in a lowland catchment: deviations from the norm? / B. Moss, T. O. M. Barker, D. Stephen, A. E. Williams, D. J. Balaya, M. Beklioglu, L. Carvalho // Freshwater Biology. Vol. 50. №10. 2005. P. 1687-1705.
10. Tett, P. The Redfield ratio and phytoplankton growth rate / P. Tett, M. R. Droop, S. I. Heaney // Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom. Vol. 65. № 2. 1985. P. 487-504.
11. Schindler, D. W. The dilemma of controlling cultural eutrophication of lakes / D. W. Schindler // Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences. Vol. 279. № 1746. 2012. P. 4322-4333.

REFERENCES

1. Gudelis V. *Geologicheskie i fiziko-geograficheskie usloviya zaliva Kurshyu-Mares i territorii, okaymlyayushchey zaliv* [Geological and physical-geographic conditions of the Curs-Mares lagoon and the territory bordering the lagoon]. Vilnius, USSR Academy of Sciences Publ., 1959, 549 p.
2. Aleksandrov S. V. Vliyanie “tsveteniya” sine-zelenykh vodorosley na ekologicheskoe sostoyanie Kurshskogo zaliva [The influence of blue-green algae

blooming on the ecological conditions of the Curonian Lagoon]. *Voda: khimiya i ekologiya*, 2009, no. 4 (10), pp. 2-6.

3. Aleksandrov S. V. *Pervichnaya produktsiya planktona v lagunakh Baltiyskogo morya (Vislinskiy i Kurshskiy zalivy)* [Primary plankton production in the Baltic Sea lagoons (the Vistula and Curonian lagoons)]. Kaliningrad, AtlantNIRO, 2010, 228 p.

4. Gorbunova O. V., Chubarenko B. V., Domnin D. A. Metodika vydeleniya prioritetnykh istochnikov biogennoy nagruzki s vodosbornogo basseyna reki Pregoli [Methodology of prioritization of the nutrient load sources from the Pregolya river catchment area]. *Izvestiya Kaliningradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2017, no. 50, pp. 13-25.

5. Sapozhnikov V. V. *Rukovodstvo po khimicheskomu analizu morskikh i presnykh vod pri ekologicheskom monitoringe rybokhozyaystvennykh vodoyomov i perspektivnykh dlya promysla rayonov Mirovogo okeana* [Guidelines for the chemical analysis of marine and freshwater in the environmental monitoring of fishery bodies of water and areas of the World Ocean promising for fishing]. Moscow, VNIRO, 2003, 202 p.

6. Bordovskiy O. K. *Metody gidrokhimicheskikh issledovaniy okeana* [Methods of hydrochemical studies of the ocean]. Moscow, Nauka Publ., 1978, 272 p.

7. Prikaz ministerstva sel'skogo khozyaystva Rossiyskoy Federatsii "Ob utverzhdenii normativov kachestva vody vodnykh ob'ektov rybokhozyaystvennogo znacheniya, v tom chisle normativov predel'no dopustimyykh kontsentratsiy vrednykh veshchestv v vodakh vodnykh ob'ektov rybokhozyaystvennogo znacheniya (s izmeneniyami na 12 oktyabrya 2018 goda)". Moscow, 2016, no. 552.

8. Aleksandrov S. V. Long-Term Variability of the Trophic Status of the Curonian and Vistula Lagoons of the Baltic Sea. *Inland Water Biology*, 2009, vol. 2, no. 4, pp. 319-326.

9. Moss B., Barker T. O. M., Stephen D., Williams A. E., Balayla D. J., Beklioglu M., & Carvalho L. Consequences of reduced nutrient loading on a lake system in a lowland catchment: deviations from the norm? *Freshwater Biology*, 2005, vol. 50, no. 10, pp. 1687-1705.

10. Tett P., Droop M. R., Heaney S. I. The Redfield ratio and phytoplankton growth rate. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 1985, vol. 65, no. 2, pp. 487-504

11. Schindler D. W. The dilemma of controlling cultural eutrophication of lakes. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2012, vol. 279, no. 1746, pp. 4322-4333.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Сташко Андрей Владимирович – Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта; аспирант направления «Наука о земле»;
E-mail: hidanstashko@gmail.com

Stashko Andrey Vladimirovich – Immanuel Kant Baltic Federal University;
Postgraduate Student of Geosciences; E-mail: hidanstashko@gmail.com

Шендерюк Владимир Владимирович – Атлантический филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (АтлантНИРО); кандидат химических наук; руководитель испытательного центра; E-mail: Vvs@ae03.ru

Shenderyuk Vladimir Vladimirovich – Atlantic branch of All-Russian Research Institute of Fishery and Oceanography (AtlantNIRO); PhD in Chemical Sciences, Head of the Test Center; E-mail: Vvs@ae03.ru

Александров Сергей Валерьевич – Атлантический филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (АтлантНИРО); кандидат биологических наук, доцент; заведующий лабораторией гидробиологии; E-mail: hydrobio@mail.ru

Aleksandrov Sergey Valerievich – Atlantic branch of All-Russian Research Institute of Fishery and Oceanography (AtlantNIRO); PhD in Biological Sciences, Associate Professor; Head of the Laboratory of Hydrobiology; E-mail: hydrobio@mail.ru

Касьян Артем Владимирович – Атлантический филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (АтлантНИРО); инженер; E-mail: artema06@mail.ru

Kasian Artyom Vladimirovich – Atlantic branch of All-Russian Research Institute of Fishery and Oceanography (AtlantNIRO); Engineer; E-mail: artema06@mail.ru

Виноградова Людмила Леонидовна – Атлантический филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (АтлантНИРО); ведущий инженер; E-mail: vinogradova.lu@mail.ru

Vinogradova Lyudmila Leonidovna – Atlantic branch of All-Russian Research Institute of Fishery and Oceanography (AtlantNIRO); Lead Engineer; E-mail: vinogradova.lu@mail.ru

УДК 551.46:639.24

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОМЫСЛОВЫХ СКОПЛЕНИЙ СТАВРИДЫ В ЮЖНОЙ
ЧАСТИ ТИХОГО ОКЕАНА В СВЯЗИ С ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИМИ
УСЛОВИЯМИ

М. С. Федотов, П. П. Чернышков

DISTRIBUTION OF EXPLOITABLE CONCENTRATIONS OF HORSE MACKREL
IN THE SOUTH PACIFIC IN CONNECTION WITH OCEANOLOGICAL
CONDITIONS

M. S. Fedotov, P. P. Chernyshkov

Исследованы возможности использования спутниковых альтиметрических измерений уровня океана для прогнозирования акваторий со скоплениями ставриды промыслового характера в южной части Тихого океана. Выполнен совместный анализ данных по распределению промысловых скоплений ставриды и параметров океанологических процессов, влияющих на формирование этих скоплений. Для характеристики их географического распределения использованы результаты работы крупнотоннажных траулеров и научно-поисковых судов бывшего СССР, которые вели круглогодичный широкомасштабный промысел ставриды в этом районе с 1979 по 1991 гг. После предварительной обработки и анализа данные промысла представлялись в виде обобщенных за месяц промысловых планшетов – карт. Географическое положение групп успешно работающих траулеров интерпретировалось как положение наиболее плотных скоплений ставриды. Параметры океанологических условий определялись по результатам спутниковых альтиметрических измерений высоты уровенной поверхности океана, реконструированных для периода ведения промысла. Реконструкция выполнялась с использованием циклостационарированных главных компонент фактических полей уровенной поверхности океана за 1993-2010 гг. и мареографных измерений уровня океана на прибрежных рейдовых станциях. Качество реконструкции оценивалось путем сравнения ее результатов с глобальным индексом состояния системы «океан-атмосфера», который вычислялся на основе параметров другой физической природы. Сопоставление показало вполне удовлетворительное совпадение фактических и реконструированных параметров. Установлены закономерности влияния мезомасштабной динамики вод на основные параметры промысла ставриды: распределение промысловых скоплений и уловы на промысловое усилие. Методом множественной линейной регрессии получены статистические модели, позволяющие разрабатывать рекомендации по оптимальной расстановке промыслового флота и прогнозировать ожидаемые уловы ставриды с заблаговременностью 1-3 мес. Кроме того, эти модели позволяют планировать работу транспортного флота по вывозу рыбопродукции.

южная часть Тихого океана, ставрида, океанологические условия, альтиметрические измерения, мезомасштабная динамика вод, распределение промысловых скоплений

The possibilities of using satellite altimetric measurements of the ocean level to predict water areas with accumulations of commercial horse mackerel in the South Pacific are investigated. A joint analysis of data on the distribution of exploitable concentrations of horse mackerel and parameters of oceanological processes that influence the formation of these concentrations has been performed. To characterize the concentrations of horse mackerel and their geographical distribution, the results of the large-tonnage trawlers and research vessels of the former USSR, which conducted year-round large-scale fishing of horse mackerel in this area from 1979 to 1991, have been used. After preliminary processing and analysis, the fishing results have been presented in the form of monthly fishing tablets - cards. The geographical position of the groups of successfully operating trawlers has been interpreted as the position of the densest concentrations of horse mackerel. The parameters of oceanological conditions have been determined by the results of satellite altimetric measurements of the height of the level surface of the ocean, reconstructed for the period of fishing. Reconstruction has been carried out using cyclostationary main components of the actual fields of the ocean level surface for 1993-2010 and mareography measurements of the ocean level at coastal raid stations. The quality of reconstruction has been evaluated by comparing its results with the global index of the state of the ocean-atmosphere system, which was calculated on the basis of parameters of a different physical nature. Comparison has showed a completely satisfactory agreement between the actual and reconstructed parameters. The following regularities of the influence of mesoscale water dynamics on the main parameters of horse mackerel fishing have been discovered: distribution of exploitable concentrations and catches on fishing effort. Using the method of multiple linear regression, statistical models have been obtained that allow developing recommendations on the optimal placement of the fishing fleet and predicting the expected catches of horse mackerel with a lead time of 1-3 months. In addition, these models allow you to plan the work of the transport fleet for the export of fish products.

South Pacific, horse mackerel, oceanological conditions. altimetric measurements, mesoscale water dynamics, distribution of exploitable concentrations

ВВЕДЕНИЕ

Стратегией развития рыбохозяйственного комплекса Российской Федерации до 2030 г. предусматривается увеличение годового вылова до 5.5 млн т [1]. Такое увеличение может быть достигнуто за счет использования биологических ресурсов в океанических районах промысла за пределами собственной ИЭЗ, одним из которых является южная часть Тихого океана [2].

Район промысла ставриды *Trachurus murphyi* в южной части Тихого океана (ЮТО) был открыт в 1978 г. отечественными учеными и рыбаками [3]. В период с 1979 по 1991 гг. рыбодобывающим флотом СССР в восточной части ЮТО (87-й район по классификации ФАО) велся круглогодичный промысел с выловом около 1 млн т в год. Одновременно выполнялись интенсивные экспедиционные

исследования биологии, распределения и условий обитания главного объекта промысла – ставриды. Только калининградскими организациями Управлением «Запрыбпромразведка» и Атлантическим научно-исследовательским институтом рыбного хозяйства и океанографии (АтлантНИРО) были выполнены 134 научно-поисковых и 40 научно-исследовательских экспедиций. В 1992 г. отечественный промысел ставриды в ЮТО был прекращен по причинам, не связанным с состоянием промысловой базы. В 2002-2003 и 2009-2010 гг. в восточную часть ЮТО проведены две экспедиции АтлантНИРО, результаты которых в основном подтвердили существование промысловых запасов ставриды [4].

В результате всех экспедиционных работ отечественными учеными было сделано крупное открытие в области биологии океана – существование метапопуляции ставриды, располагающейся в южной части Тихого океана от берегов Южной Америки до Новой Зеландии. В 2014-2015 гг. это открытие было теоретически подтверждено работами зарубежных ученых [5-6]. Кроме того, создана не имеющая аналогов в истории мирового океанического промысла массовых пелагических рыб база знаний по распределению промысловых скоплений и биологическим характеристикам ставриды с месячной дискретностью с 1979 по 1991 г. [7]. Результаты промыслово-океанологических исследований обобщены в соответствующем разделе двухтомной монографии [8]. Таким образом, в настоящее время запасы ставриды ЮТО могут рассматриваться как реальный резерв увеличения российского вылова за пределами собственной исключительной экономической зоны.

Расстановка добывающего флота и организация его эффективной работы в обширном по площади районе ЮТО невозможны без своевременного обнаружения наиболее плотных скоплений ставриды. В настоящее время, в отсутствие судов оперативной промысловой разведки, для этого необходимо использовать какие-либо ориентиры в условиях среды обитания промысловых гидробионтов, т.е. параметры океанологических условий.

Предыдущими исследованиями [8] установлено, что наиболее плотные скопления ставриды приурочены к неоднородностям в слое ее обитания: локальным океаническим фронтам и генерируемым этими фронтами мезомасштабным вихрям. Эти неоднородности в структуре вод существенно зависят от динамики атмосферы, и к настоящему времени уже предпринимались успешные попытки исследовать влияние атмосферных процессов на динамику поверхностных течений [9], а также выявить связи между обобщенными параметрами атмосферной циркуляции с распределением промысловых скоплений ставриды ЮТО [10-11].

С 1992 г. в распоряжении исследователей появились спутниковые измерения высоты уровенной поверхности океана (альтиметрические измерения), которые предоставляют возможности обнаружения и прогноза перемещения мезомасштабных вихрей [12]. Сопоставление данных с показателями среднемесячных распределений даст возможность для возобновления эффективного российского промысла этого ценного объекта в ЮТО.

Цель настоящей статьи - изучить распределения промысловых скоплений ставриды в связи с мезомасштабными океанологическими процессами и создать

на этой основе статистические модели для разработки промысловых прогнозов и рекомендаций.

ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ МАТЕРИАЛЫ И МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве эмпирической основы исследования использованы:

- данные по географическому распределению и плотности промысловых скоплений из промысловых атласов по району юго-восточной части Тихого океана за 1979-1991 гг. [7];
- среднемесячные поля высоты уровенной поверхности океана по результатам проекта AVISO [12].

Для анализа эмпирических данных применялись методы многомерного статистического анализа [13].

На первом этапе был выполнен предварительный анализ результатов промысла с целью выбора параметров, которые наиболее полно характеризуют распределение промысловых скоплений в каждом месяце. Положение скоплений промыслового характера определялось по результатам успешной работы групп крупнотоннажных траулеров. Из всего массива данных с 1979 по 1991 гг. были сформированы ряды среднемесячных координат наиболее успешно работающих групп флота и параметров производительности промысла:

- самое северное положение успешно работающего добывающего флота;
- самое южное положение успешно работающего добывающего флота;
- самое западное положение успешно работающего добывающего флота;
- производительность промысла траулеров типа БАТМ, как наиболее многочисленного типа из числа работающих на промысле ставриды траулеров (тонны на судо-сутки лова).

Эти параметры достоверно и достаточно полно определяют особенности развития промысловой обстановки в каждом месяце года, а также особенности внутригодового и межгодового развития промысла. Совокупность этих параметров широко применялась в практике научного обеспечения оптимального маневрирования промысловым флотом на промысле ставриды в ЮТО в 1979-1991 гг. Кроме того, эти параметры использовались также в планировании расстановки транспортных судов, обеспечивающих вывоз рыбопродукции и снабжение траулеров горюче-смазочными материалами.

Для параметризации условий среды обитания, влияющих на формирование скоплений ставриды промыслового характера в конкретный месяц каждого года, были использованы поля аномалий уровенной поверхности океана по альтиметрическим измерениям в предыдущие 1-3 мес. В связи с тем, что результаты спутниковых измерений высоты уровенной поверхности океана (альтиметрические измерения) существуют, начиная с 1992 г., для получения таких рядов необходима была реконструкция полей уровня океана на репрезентативной и физически понятной основе для периода с 1970 по 1991 гг.

В последние годы зарубежными учеными были опубликованы статьи, доказывающие реальную возможность такой реконструкции. В работе [14] теоретически обоснована возможность реконструкции геофизических и климатических полей на основе анализа имеющихся данных. При этом для разложения полей по естественным ортогональным функциям использовался метод так называемых циклостационарных главных компонент изучаемых полей

(ЦГК). Суть метода анализа полей с использованием ЦГК состоит в том, что, предполагая наличие в анализируемых рядах определенных скрытых периодичностей, задается так называемый "вложенный период" d и значения нагрузок каждой главной компоненты получаются в рамках заданного периода. В нашем случае данные имеют месячную дискретность, а период d равен одному году, и для каждой главной компоненты получается двенадцать факторных нагрузок (по одной для каждого месяца). Если на выходе стандартного метода главных компонент получался двумерный массив нагрузок для каждой из них (ось X - номер ГК, ось Y - номер исходного временного ряда), то на выходе метода циклостационарных главных компонент (ЦГК) получаем трехмерный массив нагрузок главных компонент: ось X - номер месяца, ось Y - номер исходного временного ряда, ось Z - номер главной компоненты. Использование вместо обычных ГК ЦГК позволяет более надежно оценивать внутреннюю структуру изменчивости исходных рядов. Хорошей аналогией этого подхода служит использование при анализе одномерных рядов вместо анализа Фурье вейвлет-анализа.

В работе [15] приводятся конкретные результаты реконструкции полей уровня поверхности океана с использованием ЦГК в районе юго-восточной части Тихого океана.

Для реконструкции использовались данные спутниковой альтиметрии за 18 лет с 1993 по 2010 гг. и данные мареографных измерений уровня за 60 лет, начиная с 1950 года. В результате достаточной сложной вычислительной процедуры был получен массив реконструированных полей уровня поверхности океана с января 1950 по июнь 2009 гг. Эти результаты вполне удовлетворительно совпадают с результатами реальных альтиметрических измерений, которые не использовались в процессе реконструкции.

Созданный в результате этой процедуры массив полей данных аномалий уровня океана позволяет формировать ряды аномалий уровня с месячной дискретностью во времени и пространственным разрешением 30 морских миль (около 50 км). Данные размещены в свободном доступе на международном информационном портале по физической океанографии <https://podaac.jpl.nasa.gov>

Для оценки точности реконструкции уровня поверхности океана было выполнено сопоставление ее результатов с индексом MEI (Multivariate ENSO index). MEI имеет другую физическую природу и определяется как первая главная компонента разложения по естественным ортогональным функциям матрицы из шести различных параметров: атмосферного давления на уровне моря, зональных и меридиональных компонентов приводного ветра, температуры поверхности моря, приземного воздуха и облачности (рис. 1).

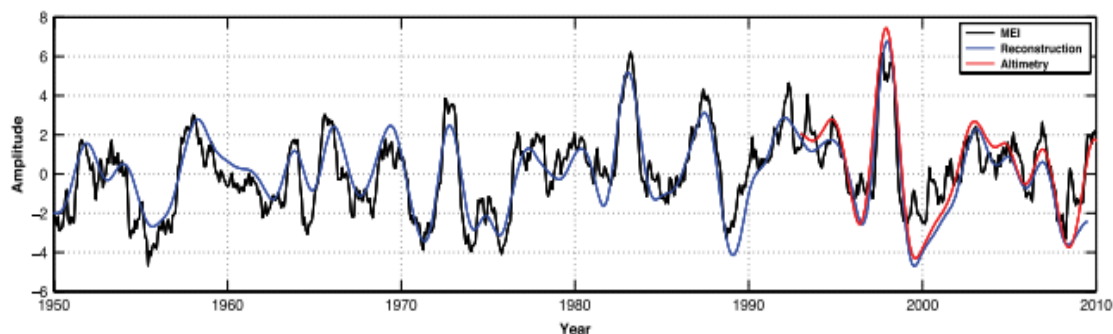


Рис. 1. Сравнение временной изменчивости индекса MEI (черная кривая) с изменчивостью временных рядов двух первых циклостационарированных главных компонент
 Красная кривая - ЦГК, рассчитанная по фактическим альтиметрическим данным, ЦГК, Синяя кривая - ЦГК, полученная на основе реконструированных полей [15]
 Fig. 1. Comparison of the temporal variability of the MEI index (black curve) with the variability of the time series of the first two cyclically stationary principal components.
 The red curve is the CGC calculated from the actual altimetry data, CGC. The blue curve is the CGC obtained from the reconstructed fields [15]

По результатам сравнения можно заключить, что первая главная компонента реконструированного массива полей уровня океана (синяя кривая), полученная на основе объективно существующих природных процессов, достоверно отражает наблюдавшиеся изменения процессов другой физической природы, которые использовались для вычисления индекса MEI. С учетом пространственно-временных масштабов изменений плотности и распределения промысловых скоплений ставриды в ЮТО использование массива реконструированных полей уровня поверхности для периода с 1979 по 1991 гг. представляется обоснованным для исследования влияния мезомасштабной динамики волн на распределение промысловых скоплений.

Ряды среднемесячных значений аномалий уровня океана для совместного с параметрами распределения и плотности скоплений ставриды статистического анализа формировались для 24 точек восточной части ЮТО (рис. 2). Далее реализовывалась процедура множественной линейной регрессии (МЛР). В качестве независимой переменной (предиктанта) применялись основные параметры, характеризующие промысловую обстановку в исследуемом районе.

Анализ ретроспективных материалов по динамике промысла ставриды в ЮТО в 1979-1991 гг. показал, что существенные изменения в промысловой обстановке происходили с периодами, близкие к трем месяцам, после этого был необходим маневр промысловым флотом для определения оптимальной расстановки добывающих и транспортных судов.

Поэтому в качестве предикторов использовались аномалии реконструированного уровня океана в узлах регулярной сетки со сдвигом во времени на 1-3 мес., предполагая, что изменения высоты уровня поверхности

океана не сразу, а лишь через некоторое время повлияют на распределение ставриды.

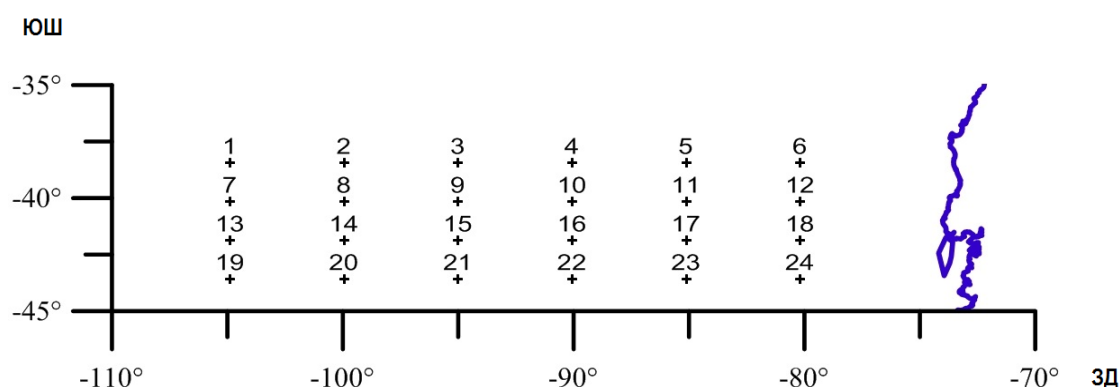


Рис. 2. Расположение 24 точек, значения аномалий высоты уровенной поверхности океана, в которых были использованы для расчетов

Fig. 2. Location of 24 points, the values of the anomalies of the height of the level surface of the ocean at which have been used for calculations

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Совместный анализ реконструированной альтиметрии и распределения промысловых скоплений позволил получить следующие результаты обобщающего плана. В акваториях квазистационарных отрицательных аномалий уровня океана промысловых скоплений не отмечалось. Только с появлением в поле уровня океана локальных фронтальных зон, ориентированных с запада на восток, начиналось формирование скоплений ставриды промыслового характера. Если наблюдалась тенденция к увеличению площади зоны отрицательной аномалии в акватории от центра района до границы исключительной экономической зоны (ИЭЗ) Чили, флот начинал сдвигаться на запад, в основном находясь на небольших участках с положительной аномалией.

В большинстве рассматриваемых промысловых ситуаций в распределении промысловых скоплений отмечается их приуроченность к экстремумам в полях аномалий уровня, ассоциируемым с вихрями и локальными фронтальными зонами.

Использование спутниковых альтиметрических измерений высоты уровенной поверхности океана для диагноза и прогноза особенностей распределения ставриды в ЮТО представляется весьма перспективным. Более того, по результатам дальнейшего, более детального исследования наблюдавшихся в ретроспективе промысловых ситуаций возможно понимание механизмов происходящих изменений, включая избыточное количество судов, промысляющих на одном скоплении.

Были получены четыре уравнения МЛР для четырех наиболее важных параметров промысловой обстановки. В качестве показателей достоверности и практической значимости моделей МЛР для каждого уравнения использовались: коэффициент множественной корреляции (R), коэффициент детерминации (скорректированный коэффициент корреляции R^2_{adj}) и критерий Фишера (F) на уровне значимости $\alpha=0.05$.

Элемент $sshaN_x$ в полученных уравнениях означает значение аномалии уровенной поверхности океана в точке с номером N и со сдвигом по времени на x месяцев назад. Сдвиг по времени обусловлен тем, что изменения в динамике поверхностных вод проявляются в распределении промысловых скоплений через некоторое время. Расчеты производились со сдвигом до трех месяцев для выявления наиболее выраженной зависимости.

1. Модель для минимальной широты промысла (самая северная граница распределения промысловых скоплений) зависит от аномалий уровенной поверхности океана в семи точках с заблаговременностью до трех месяцев.

Итоговое уравнение регрессии имеет семь элементов.

$$Y = 35,96 + 0,6 * ssh4_2 + 0,68 * ssh6_1 + 0,71 * ssh9_3 - 1,31 * ssh10_2 - 0,71 * ssh14_1 - 0,41 * ssh15_3 + 1,4 * ssh17_2$$

В точках 6 и 14 аномалии уровня океана берутся со сдвигом один месяц назад, 4, 10, 17 значения берутся со сдвигом два месяца назад, в точках 9 и 15 со сдвигом три месяца назад. Коэффициент множественной регрессии составляет 0,87. $R^2_{adj} = 0.76$.

Критерий Фишера $F = 20.76$ значительно превышает табличное значение ($F_{табл} \approx 3.92$), что говорит о статистической значимости полученного уравнения.

2. Модель для максимальной широты промысла (самая южная граница распределения промысловых скоплений).

Итоговое уравнение регрессии имеет шесть элементов.

$$Y = 42,175 - 0,13 * ssh4_1 - 0,65 * ssh9_3 - 0,8 * ssh10_2 + 0,04 * ssh15_2 + 1,07 * ssh18_2 - 1,17 * ssh24_2,$$

где: ssh – значение аномалии высоты уровенной поверхности океана в заданной точке промысла со сдвигом от одного до трех месяцев. $Ssh4_1$ означает аномалию высоты в точке 4 со сдвигом один месяц. Коэффициент множественной регрессии для данного уравнения составляет 0,74. При этом модель характеризуется более низким по сравнению с предыдущим уравнением $R^2_{adj} = 0.55$. Анализ остатков показал нормальное распределение, некоррелированность с регрессорами и рассчитанными значениями Y , а также равенство нулю их среднего.

Рассчитанный для данной модели $F = 19.84$ значительно превышает табличное значение $F_{табл}$ ($F_{табл} \approx 3.92$), что говорит о статистической значимости полученного уравнения.

3. Модель для максимальной долготы распределения промысловых скоплений (самое западное расположение промыслового флота).

Было получено уравнение регрессии с семью элементами:

$$Y = 88,897 + 0,74 * ssh4_0 - 2,4 * ssh6_2 - 0,48 * ssh10_2 + 0,69 * ssh15_2 + 2,94 * ssh18_2 - 1,53 * ssh22_2 - 4,04 * ssh24_2;$$

$R = 0.86$, $R^2_{adj} = 0.74$. Рассчитанный для данной модели $F = 19.35$ значительно превышает табличное значение $F_{табл}$ ($F_{табл} \approx 3.92$), что говорит о статистической значимости полученного уравнения. При этом модель характеризуется относительно высоким коэффициентом корреляции.

4. Модель прогноза вылова на промысловое усилие. Предполагается прямая зависимость между выловом на судо-сутки лова и плотностью облавливаемого скопления, которая, в свою очередь, зависит от градиентов в

поле уровня Мирового океана и интенсивности развития мезомасштабных вихрей и локальных фронтальных зон.

Уравнение регрессии для вылова на промысловое усилие имеет пять элементов.

$$Y=55,65+1,96*ssha3_1+3,25*ssha5_1-1,79*ssha12_1+0,003*ssha13_3+4,36*ssha22_1.$$

Максимальный коэффициент парной корреляции имеет максимальное значение при сдвиге в один месяц в точках 3, 5, 12, и 22, при сдвиге в два месяца – в точке 13.

$R=0.7$, $R^2_{adj}= 0.49$. Критерий Фишера $F = 18.87$ значительно превышает табличное значение $F_{табл}$ ($F_{табл}\approx 3.92$), что говорит о статистической значимости полученного уравнения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Для выявления закономерностей распределения промысловых скоплений ставриды в южной части Тихого океана в период отсутствия спутниковых измерений впервые использованы поля уровня океана, реконструированные на основе метода циклостационарованных ортогональных функций и мареографных измерений.

Экспериментально подтверждена гипотеза об определяющем влиянии мезомасштабной динамики вод на сезонные измерения промысловой обстановки на промысле ставриды.

Методом множественной линейной регрессии получены четыре статистические модели для важнейших параметров состояния сырьевой базы рыболовства в обширной акватории юга Тихого океана, располагающейся в полосе южных широт от 25 до 45° ю. ш. и от исключительной экономической зоны Чили до 110° з. д.

Эти модели предоставляют возможность прогнозирования важных параметров распределения промысловых скоплений и ожидаемой производительности вылова для организации и ведения широкомасштабного круглогодичного промысла ставриды в южной части Тихого океана группой крупнотоннажных траулеров.

Показана возможность использования современной океанологической информации (альтиметрические измерения высоты уровенной поверхности Мирового океана), получаемой с использованием искусственных спутников Земли, для научного обеспечения рыболовства в обширных по площади океанических районах промысла.

Продолжение работ состоит в исследовании функциональной структуры ареала метапопуляции ставриды *Trachurus murphyi* в южной части Тихого океана с использованием реконструированных полей уровенной поверхности океана для создания научной основы возобновления российского промысла и увеличения вылова в южной части Тихого океана за пределами исключительных экономических зон прибрежных государств.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Савчук, П. С. Концепция развития рыбохозяйственного комплекса Российской Федерации до 2030 года / П. С. Савчук // Рыболовство в Арктике:

современные вызовы, международные практики, перспективы: IV междунар. конф. (22-23 марта 2017 г.): материалы. – Мурманск, 2017. – С. 1-7.

2. Елизаров, А. А. Перуанская ставрида (*Trachurus murphyi*) в открытых водах южной части Тихого океана / А. А. Елизаров, А. С. Гречина, Б. Н. Котенев, // Вопросы ихтиологии. – 1992. – Т. 32, Вып. 6. – С. 57-74.

3. Чернышков, П. П. 30 лет со времени открытия и освоения ресурсов пелагических рыб в южной части Тихого океана / П. П. Чернышков, Н. Н. Дерябин // Рыбное хозяйство. – 2008. – № 5. – С. 30-33.

4. Чухлебов, Г. Е. Научно-поисковая экспедиция НИС «Атлантида» в юго-восточной части Тихого океана / Г. Е. Чухлебов, К. В. Каширин, П. П. Чернышков // Рыбное хозяйство. – 2004. – № 2. – С. 18-21.

5. Niels T. Hintzen, Ad Corten, François Gerlotto et all. Hydrography and Jack mackerel stock in the South Pacific – Final report Studies for European Commission Directorate-General for Maritime Affairs and Fisheries/IMARES - Institute for Marine Resources & Ecosystem 2014, 68 p

6. The concept of “Pelagicmetapopulation” as exemplified by the case of Jack mackerel *Trachurus murphyi* in the South Pacific Ocean//SPRFMO, Meeting of Scientific Comitee, 2016, 10-16 October, The Hague, Kingdom of the Netherlands.

7. Промысловые атласы юго-восточной части Тихого океана за 1983-1991 гг. – Калининград: Управление «Запрыбпромразведка», 1984-1992.

8. Промыслово-океанологические исследования АтлантНИРО и «Запрыбпромразведки»: монография: в 2-х т. / под ред. д.г.н. В. Н. Яковлева. – Калининград: Изд-во АтлантНИРО, 2002. – 526 с.

9. Тимохин, Е. Н. Изменчивость атмосферной циркуляции над южной частью Тихого океана и ее связь с океанической поверхностной циркуляцией / Е. Н. Тимохин // Вопросы промысловой океанологии. – 2007. – Вып. 4, №2. – С. 192-205.

10. Федотов, М. С. Сезонные и межгодовые изменения распределения промысловых скоплений ставриды в южной части Тихого океана в связи с атмосферными процессами / М. С. Федотов // Водные биоресурсы, аквакультура и экология водоёмов: IV Балтийский морской форум: труды. – 2016. – С. 63–66.

11. Федотов, М. С. Распределение промысловых скоплений ставриды в южной части Тихого океана в связи с атмосферными процессами / М. С. Федотов, П. С. Петкилев // Вопросы промысловой океанологии. – 2017. – Т. 169. – С. 30-36.

12. Satellite Altimetry Data AVISO [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.aviso.altimetry.fr/en/my-aviso.html>

13. Малинин, В. Н. Статистические методы анализа гидрометеорологической информации / В. Н. Малинин. – Санкт-Петербург: Изд-во РГГМУ, 2008. – 406 с.

14. Kim K-Y, Hamlington B, Na H. Theoretical foundation of cyclostationary EOF analysis for geophysical and climatic variables: Concepts and examples. Earth-Science Reviews, 2015 <http://dx.doi.org/10.1016/j.earscirev.2015.06.03>

15. B. D. Hamlington, R. R. Leben, M. W. Strassburg and K.-Y. Kim Cyclostationary empirical orthogonal function sea-level reconstruction// Geoscience Data Journal, 2014, 1: p. 13-19.

REFERENCES

1. Savchuk P. S. *Konceptsiya razvitiya rybokhozyaystvennogo kompleksa Rossiyskoy Federatsii do 2030 goda* [The concept of the development of the fisheries complex of the Russian Federation until 2030]. *Materialy IV mezhdunarodnoy konferentsii "Rybolovstvo v Arktike: sovremennye vyzovy, mezhdunarodnye praktiki, perspektivy"* [Proc. IV Int. Conference "Arctic Fisheries: Modern Challenges, International Practices, Prospects"]. Murmansk, 2017, pp. 22-23.
2. Elizarov A. A., Grechina A. S., Kotenev B. N., Kuznetsov A. I. *Peruanskaya stavrida (Trachurus murphyi) v otkrytykh vodakh yuzhnoy chasti Tikhogo okeana* [Peruance scabi (Trachurus murphyi) in the open waters of the South Pacific]. *Voprosy ikhtiologii*, 1992, vol. 32, iss. 6, pp. 57-74.
3. Chernyshkov P. P., Deryabin N. N. *30 let so vremeni otkrytiya i osvoeniya resursov pelagicheskikh ryb v yuzhnoy chasti Tikhogo okeana* [30 years since the discovery and development of the resources of pelagic fish in the South Pacific]. *Rybnoe khozyaystvo*, 2008, no. 5, pp. 30-33.
4. Chukhlebov G. E., Kashirin K. V., Chernyshkov P. P. *Nauchno-poiskovaya ekspeditsiya NIS "Atlantida" v yugo-vostochnuyu chast' Tikhogo okeana* [The Scientific Search Engine expedition of the NIS "Atlantis" in the southeastern Pacific Ocean]. *Rybnoe khozyaystvo*, 2004, no. 2, pp. 18-21.
5. Niels T. Hintzen, Ad Corten, François Gerlotto et all. *Hydrography and Jack mackerel stock in the South Pacific – Final report Studies for European Commission Directorate-General for Maritime Affairs and Fisheries/IMARES - Institute for Marine Resources & Ecosystem 2014*, 68 p.
6. The concept of "Pelagicmetapopulation" as exemplified by the case of Jack mackerel *Trachurus murphyi* in the South Pacific Ocean. SPRFMO, Meeting of Scientific Comitee, 2016, 10-16 October, The Hague, Kingdom of the Netherlands.
7. *Promyslovye atlasy yugo-vostochnoy chasti Tikhogo okeana za 1983-1991 gg* [Fisheries atlases of the southeastern Pacific Ocean for 1983-1991]. Kaliningrad, Upravlenie "Zaprybpromrazvedka", 1984-1992.
8. Yakovlev V. N. *Promyslovo-okeanologicheskie issledovaniya AtlantNIRO i "Zaprybpromrazvedki"* [Fisheries and Oceanological Studies of AtlantNIRO and "Zaprybpromrazvedka"]. Kaliningrad, izd-vo AtlantNIRO, 2002, 526 p.
9. Timokhin E. N. *Izmenchivost' atmosferynoy tsirkulyatsii nad yuzhnoy chast'yu Tikhogo okeana i ee svyaz' s okeanicheskoy poverkhnostnoy tsirkulyatsiey* [Variability of the atmospheric circulation over the South Pacific and its relationship with the oceanic surface circulation]. *Voprosy promyslovyoy okeanologii*, 2007, iss. 4, no. 2, pp. 192-205 p.
10. Fedotov M. S. *Sezonnye i mezhgodovye izmeneniya raspredeleniya promyslovykh skopleniy stavridy v yuzhnoy chasti Tikhogo okeana v svyazi s atmosferynymi protsessami* [Seasonal and interannual changes in the distribution of field accumulations of horse mackerel in the South Pacific due to atmospheric processes]. *Trudy IV Baltiyskogo morskogo foruma "Vodnye bioresursy, akvakul'tura i ekologiya vodoemov"* [Proceedings of IV Baltic Maritime Forum "Aquatic bioresources, aquaculture and ecology of water reservoirs"]. Kaliningrad, 2016, pp. 63–66.
11. Fedotov M. S., Petkilev P. S. *Raspredelenie promyslovykh skopleniy stavridy v yuzhnoy chasti Tikhogo okeana v svyazi s atmosferynymi protsessami*

[Distribution of commercial concentrations of horse mackerel in the South Pacific due to atmospheric processes]. *Voprosy promyslovoy okeanologii*, 2017, vol. 169, pp. 30-36.

12. Sputnikovaya al'timetria AVISO [AVISO satellite altimetry], available at: <https://www.avisosatellite.fr/en/my-avisosatellite.html> (Accessed 20 May 2019).

13. Malinin V. N. *Statisticheskie metody analiza gidrometeorologicheskoy informatsii* [Statistical methods for analyzing hydrometeorological information]. Saint-Petersburg, izd. RGGMU, 2008, 406 p.

14. Kim K-Y, Hamlington B, Na. H. Theoretical foundation of cyclostationary EOF analysis for geophysical and climatic variables: Concepts and examples. *Earth-Science Reviews*, 2015, <http://dx.doi.org/10.1016/j.earscirev.2015.06.03>.

15. B. D. Hamlington, R. R. Leben, M. W. Strassburg and K.-Y. Kim Cyclostationary empirical orthogonal function sea-level reconstruction. *Geoscience Data Journal*, 2014, pp.13-19.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Федотов Максим Сергеевич – Калининградский государственный технический университет; заведующий лабораторией кафедры ихтиологии и экологии;
E-mail: maksim.fedotov@klgtu.ru

Fedotov Maxim Sergeevich – Kaliningrad State Technical University;
Head of the Laboratory of the Department of Ichthyology and Ecology;
E-mail: maksim.fedotov@klgtu.ru

Чернышков Павел Петрович – Калининградский государственный технический университет; доктор географических наук, профессор кафедры ихтиологии и экологии; E-mail: pavel.chernyshkov@klgtu.ru

Chernyshkov Pavel Petrovich – Kaliningrad State Technical University;
DSc in Geography, Professor of the Department of Ichthyology and Ecology;
E-mail: pavel.chernyshkov@klgtu.ru

УДК 639.3, 639.3.043

РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ НОРМИРОВАННОГО КОРМЛЕНИЯ РАДУЖНОЙ
ФОРЕЛИ НА ТРЕТЬЕМ ЭТАПЕ ФОРМИРОВАНИЯ РЕМОНТНО-МАТОЧНОГО
СТАДА В УСТАНОВКАХ ЗАМКНУТОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Е. И. Хрусталева, К. А. Молчанова, О. Е. Гончаренко, Г. Г. Серпунин, С. В. Шибяев

IMPLEMENTATION OF THE RATIONED FEEDING SYSTEM OF RAINBOW
TROUT ON THE THIRD STAGE OF FORMATION OF THE REPLACEMENT
BREEDING STOCK IN RAS

E. I. Khrustalyov, K. A. Molchanova, O. E. Goncharenok, G. G. Serpunin,
S. V. Shibaev

Данных о научных исследованиях или производственном опыте по реализации технологии разведения радужной форели в установках замкнутого водоснабжения (УЗВ) в нашей стране нет. Вместе с тем накопленный нами за длительный период времени опыт разведения и выращивания радужной форели в садках, а канального сома, тилапии, клариевого сома, судака в УЗВ позволяет разработать технологию формирования ремонтно-маточного стада радужной форели и его эксплуатации в УЗВ. Важнейшим составляющим элементом вышеуказанной технологии является система нормированного кормления. В настоящей статье рассматриваются результаты реализации этой системы на третьем этапе формирования ремонтно-маточного стада форели в установках замкнутого водоснабжения (данные о первой и второй генерациях радужной форели опубликованы ранее [1, 2]). Оценка эффективности кормления ремонтного поголовья и производителей форели подтверждает положительное влияние абиотических условий, количества и качества кормов на усвоение питательных веществ. Наименьшие значения кормового коэффициента (0,6-0,9) наблюдались в период нагула младшевозрастного ремонта. Увеличение этого показателя в возрасте сеголетков-годовиков до 1,1-1,3 может быть связано с перестройкой метаболизма и отвлечением части энергии питательных веществ кормов на развитие половых органов. На фоне снижения температуры воды от 17 до 13 °С проявилась сбалансированность с ростом и развитием половых органов. Подтверждением этому явилось созревание у всех производителей половых продуктов в декабре. Таким образом, в условиях УЗВ действие абиотических и биотических факторов, находящихся на уровне оптимальных значений, способствует эффективной реализации системы нормированного кормления ремонтного поголовья и производителей радужной форели. При этом подтверждено повышение эффективности усвоения питательных веществ искусственных кормов по мере углубления доместикации форели в условиях УЗВ.

УЗВ, радужная форель, производители, ремонтно-маточное стадо, кормление, кормовой коэффициент, коэффициент скорости массонакопления

There is no data on scientific research or production experience on rainbow trout in terms of implementation of breeding technology in RAS. Beyond that, long-term experience in breeding and raising rainbow trout in cages and channel catfish, tilapia, sharptooth catfish, pike perch in RAS allows us to develop a technology for the formation of the rainbow trout replacement breeding stock and its exploitation in RAS. The most important component of this technology is the rationed feeding system. This article discusses the results of the implementation of this system at the third stage of the formation of the replacement breeding stock of rainbow trout in RAS. Evaluation of the feeding efficiency of replacement stock and broodstock of rainbow trout confirms the positive influence of abiotic conditions, quantity and quality of feed on the absorption of nutrients. The smallest values of the feeding ratio (0.6-0.9) were during the feeding period of younger age repairs. The increase in the indicator at the age of yearlings - year-olds to 1.1-1.3 may be associated with the restructuring of the metabolism and the diversion of part of the energy of feed nutrients to the development of the genital organs. Against the background of a decrease in water temperature from 17 to 13 deg C there emerged a balance with the growth and development of the genital organs. This was confirmed by the maturation of reproductive products among all brood stock in December. Thus, under conditions of RAS, the effect of abiotic and biotic factors at the optimal level contributes to the effective implementation of the normalized feeding system for repair livestock and rainbow trout producers. At the same time, an increase in the efficiency of assimilation of nutrients of artificial feeds was confirmed as trout domestication deepened under conditions of RAS.

recirculating aquaculture system (RAS), rainbow trout, brood stock, replacement breeding stock, feeding, feeding ratio, modelling of fish growth

ВВЕДЕНИЕ

Из всех осваиваемых в нашей стране объектов аквакультуры, основанной на использовании замкнутого цикла водообеспечения, только по тилапии и клариевому сому реализованы более стабильные полноцикличные технологии выращивания товарной рыбы [3 - 6], формирования и эксплуатации ремонтно-маточных стад с последующим получением посадочного материала. Технологии разведения карпа в УЗВ доведены до уровня производственного освоения, но не реализуются, прежде всего, из-за его низкой экономической эффективности [7, 8]. Начавшееся в 80-е годы прошлого столетия освоение осетровых в УЗВ в настоящее время больше ориентировано на проточные рыбоводные системы с естественным или видоизмененным температурным режимом [9 - 12].

Наши наработки последних 12 лет дали возможность реализовать в производственных условиях полноциклическую технологию разведения и выращивания стерляди в УЗВ [13 - 15]. Благодаря исследованиям, проведенным во ВНИИПРХ, разработаны биотехнические нормативы разведения стерляди и технология разведения сибирского осетра в УЗВ [8]. Поэтому можно признать, что по осетровым рыбам создана научно-техническая база для их масштабного освоения в УЗВ. Однако по лососевым, прежде всего, радужной форели, данных о научных исследованиях или производственном опыте по реализации технологии ее разведения в УЗВ в нашей стране нет. Вместе с тем накопленный нами за длительный период времени опыт разведения и выращивания радужной форели в

садках [16, 17], а канального сома, тиляпии, клариевого сома и судака в УЗВ позволяет разработать технологию формирования ремонтно-маточного стада радужной форели и его эксплуатации в установках замкнутого водоснабжения. Важнейшим составляющим элементом вышеуказанной технологии является система нормированного кормления [18-20]. В настоящей статье рассматриваются результаты реализации этой системы на третьем этапе формирования ремонтно-маточного стада форели в УЗВ, когда в качестве исследуемого материала использовалось потомство, полученное от производителей второй генерации (поколения), доместизируемых в условиях, отличных от базовой рыбоводной системы (садковое хозяйство), в которой на протяжении более 30 лет эксплуатируются маточные стада форели гибридного происхождения [21, 22].

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Инкубацию икры, выдерживание предличинок, подращивание и выращивание личинок и мальков в КГТУ проводили на базе мобильной рыбоводной лаборатории (МРЛ) [23], а выращивание ремонтно-маточного стада в промышленной УЗВ в ООО «ТПК Балптицепром» [15]. Личинок и мальков форели кормили стартовым кормом Aller Futura, ремонтное поголовье до достижения рыбами массы 600 г - продукционным кормом Aller Trident, старшевозрастной ремонт (при достижении указанной массы самцы отличаются по фенотипическим признакам) и производителей - кормом для производителей Aller Sturgeon Rep Ex [24]. Дозирование кормления основывалась на рекомендуемых табличных нормах, но с учетом поведения рыб, скорости роста и величины кормового коэффициента. Суточную дозу корректировали на протяжении всего периода выращивания ремонтно-маточного поголовья форели. Размер крупки и гранул кормов соответствовал массе рыб [20], а суточные дозы - апробированному режиму кормления на первых двух этапах формирования ремонтно-маточного стада: личиночном 14 – 16 раз в сутки, мальковом 8 – 10 раз, на этапе выращивания ремонта до массы 100 г - 4 раза, далее 2 раза, при выращивании производителей - 1 раз в сутки. Кормление проводили вручную, имея возможность визуального контроля за рыбами.

Условия содержания форели на всех этапах выращивания, определяемые температурой воды и концентрацией растворенного кислорода, были в пределах допустимых значений (рис. 1). В период нагула младшевозрастной группы ремонта максимальная температура воды приближалась к 20°C, среднее значение было 18,5°C, что соответствовало верхней границе оптимальной температуры воды [25].

В период нагула старшевозрастного ремонта и производителей средняя температура воды оставалась близкой к 17°C. Содержание растворенного в воде кислорода было в течение всего исследования выше 100%-ного насыщения (7,3-9,5 мг/л).

Переход от режима нагула к режиму «искусственной зимовки» и в обратную сторону проходил постепенно на протяжении 1-1,5 мес. Первую «искусственную зимовку» продолжительностью около 3 мес. проводили при средней температуре воды 9,3, минимальной 7-7,5°C. При переходе к режиму второй «искусственной зимовки» зафиксировали созревание половых продуктов у всех производителей на фоне градиента температуры воды 12 - 10 °C.

Значение водородного показателя было в пределах оптимальных (6,7-7,15) [26], а концентрация нитритов - в диапазоне 0,13-0,28 мг/л.

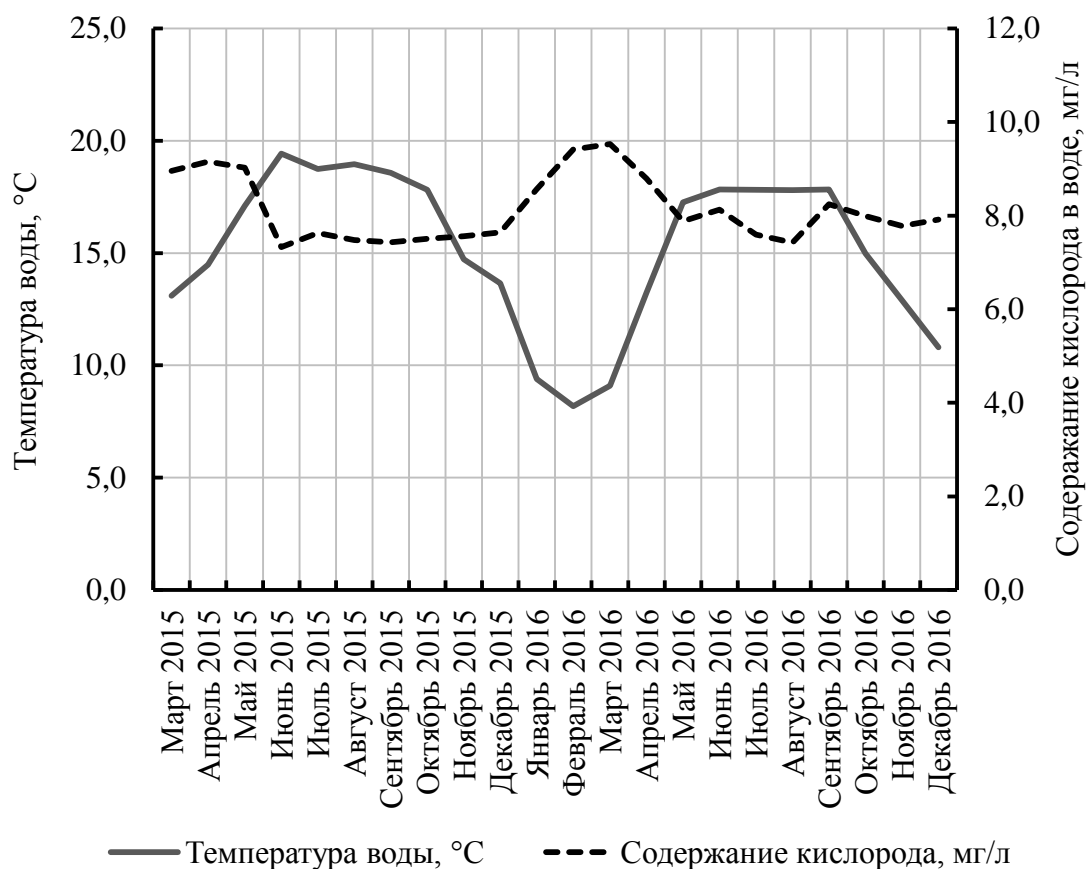


Рис. 1. Температура воды и содержание в воде кислорода

Fig. 1. Water temperature and oxygen content in water

Оценивая изменение суточных доз корма, можно отметить преобладание тенденции снижения их значений с возрастом и увеличением массы рыб (рис. 2). Однако на отдельных этапах проявлялась обратная связь, первой причиной которой может быть снижение температуры воды: в июле - сентябре 2015 г. до 17-18 °С, а в ноябре - ниже границы диапазона оптимальной. Отмеченное можно связать, с одной стороны, с возрастанием доли генеративного обмена, с другой - со срабатыванием фактора «пограничной» температуры воды, возбуждающей обмен веществ у рыб [27]. В том и другом случае наблюдалось увеличение потребления корма. Вторая причина проявления обратной связи, очевидно, в увеличении суточной дозы корма в апреле - июне 2016 г.

Оценка эффективности кормления ремонтного поголовья и производителей форели подтверждает положительное влияние абиотических условий, количества и качества кормов на усвоение питательных веществ (рис. 3).

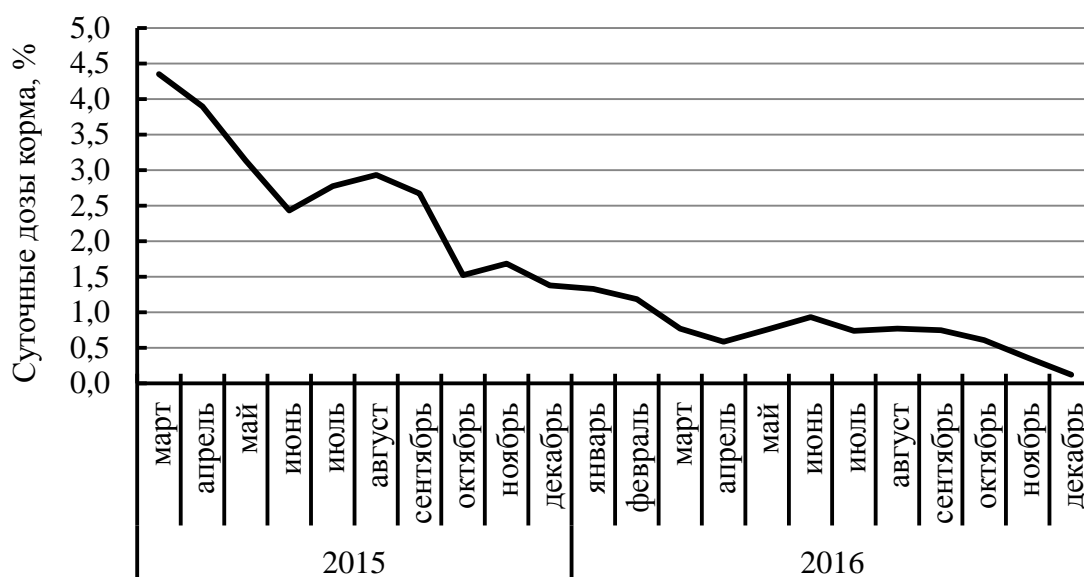


Рис. 2. Суточные дозы корма при выращивании форели

Fig. 2. Daily feed doses when growing trout

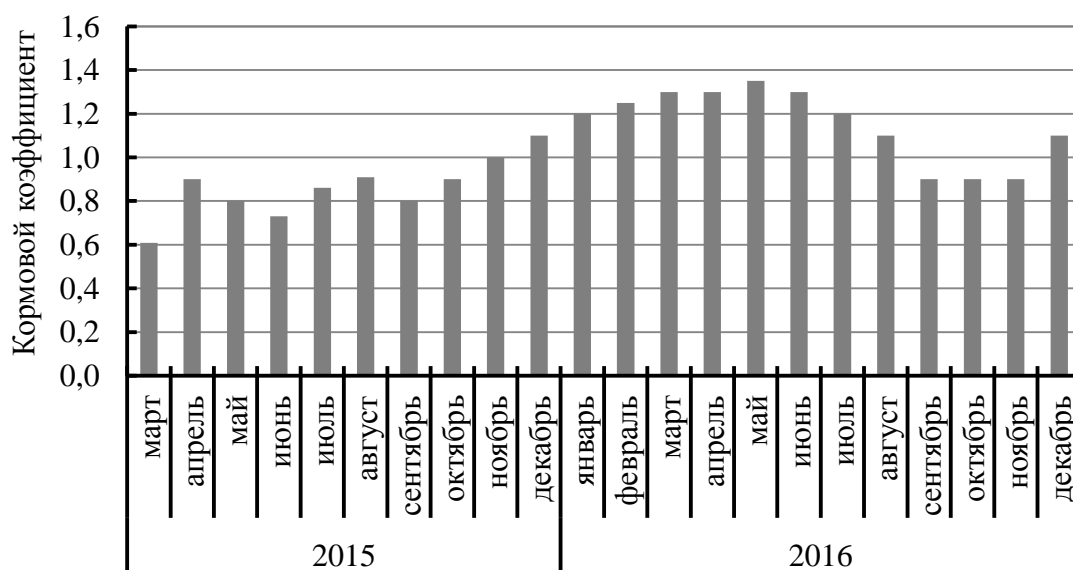


Рис. 3. Кормовой коэффициент при выращивании форели

Fig. 3. Feeding ration when growing trout

Наименьшие значения кормового коэффициента (0,6-0,9) отмечались в период нагула младшевозрастного ремонта. Увеличение показателя в декабре 2015 г. - августе 2016 г. до 1,1-1,3 может быть связано с перестройкой метаболизма и отвлечением части энергии питательных веществ кормов на развитие половых органов. Обращает внимания уменьшение величины кормового коэффициента до 0,9 на этапе перехода от режима нагула в режим «искусственной зимовки» производителей. На фоне снижения температуры воды от 17 до 13°C проявилась сбалансированность с ростом и развитием половых органов.

Подтверждением этому явилось созревание у всех производителей половых продуктов в декабре.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в условиях УЗВ действие абиотических и биотических факторов, находящихся на уровне оптимальных значений, способствует эффективной реализации системы нормированного кормления ремонтного поголовья и производителей радужной форели. При этом подтверждено повышение эффективности усвоения питательных веществ искусственных кормов по мере углубления доместикации форели в условиях УЗВ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Молчанова, К. А. Реализация системы нормированного кормления радужной форели на первом этапе формирования ремонтно-маточного стада в УЗВ / К. А. Молчанова, Е. И. Хрусталева // Рыбное хозяйство. – 2019. – № 4. – С. 79-83.
2. Молчанова, К. А. Реализация системы нормированного кормления радужной форели на втором этапе формирования ремонтно-маточного стада в УЗВ / К. А. Молчанова, Е. И. Хрусталева // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания: научно-теоретический журнал / Воронеж. – 2019. – № 2(20). – С. 34-39.
3. Микодина, Е. В. Биологические основы и биотехника аквакультуры африканского сомика *Clarias gariepinus* / Е. В. Микодина, Е. Н. Широкова // Обзорная информация. Сер. Аквакультура. – 1997. – № 2. – 45 с.
4. Хрусталева, Е. И. Оценка ростовой потенции канального и клариевого сомов, обосновывающая полицикличные технологии выращивания / Е. И. Хрусталева // Рыбное хозяйство. – 2010. – № 7. – С. 65-68.
5. Власов, В. А. Рекомендации по воспроизводству и выращиванию клариевого сома с использованием установок УЗВ / В. А. Власов, А. П. Завьялов, Ю. И. Есавкин // Инструктивно-методическое издание. – Москва: ФГНУ «Росинформагротех», 2010. – 48 с.
6. Привезенцев, Ю. А. Рыбоводно-биологическая характеристика и особенности репродуктивного цикла тилляпии / Ю. А. Привезенцев, В. Б. Соколов, В. И. Маркин // Особенности репродуктивных циклов рыб в водоемах разных широт. – Москва: Наука, 1985. – С. 157-162.
7. Филатов, В. И. Технология выращивания канального сома в установках с замкнутым циклом водоиспользования / В. И. Филатов [и др.]. // Москва: ВНИИПРХ, 1991. – 22 с.
8. Киселев, А. Ю. Биологические основы и технологические принципы разведения и выращивания объектов аквакультуры в установках с замкнутым циклом водообеспечения: автореф. дис. ... докт. биол. наук. – Москва: ВНИИПРХ, 1999. – 62 с.
9. Корнеев, А. Н. Биологические основы промышленного рыбоводства на базе теплых вод энергетических объектов: автореф. дис. ... докт. биол. наук. – Москва, 1990. – 65 с.

10. Пономарев, С. В. Индустриальное рыбоводство / С. В. Пономарев, Ю. Н. Грозесну, А. А. Бахарева. – Санкт–Петербург: Лань, 2013. – 416 с.
11. Пономарев, С. В. Осетроводство на интенсивной основе / С. В. Пономарев, Д. И. Иванов. – Москва: Колос, 2009. – 311 с.
12. Товарное осетроводство / Е. И. Хрусталева [и др.]. – Санкт–Петербург: Лань, 2016. – 297 с.
13. Полициклические технологии выращивания молоди ценных видов рыб / Е. И. Хрусталева [и др.] // Рыбное хозяйство. – 2009. – № 2. – С. 64-66.
14. Хрусталева, Е. И. Технология формирования маточного стада судака в установках с замкнутым циклом водообеспечения / Е. И. Хрусталева, А. Б. Дельмухаметов // Рыбное хозяйство. – 2012. – № 1. – С. 70-72.
15. Хрусталева, Е. И. Первый этап разработки технологии формирования маточного стада форели в установке замкнутого цикла водообеспечения (УЗВ) / Е. И. Хрусталева, К. А. Елфимова // Рыбное хозяйство. – 2014. – С. 79 – 81.
16. Особенности роста и выживаемости радужной форели в условиях аномально теплого лета / Е. И. Хрусталева [и др.] // Тепловодная аквакультура и биологическая продуктивность водоемов аридного климата: Международный симпозиум: 16-18 апреля 2007 г.: материалы докладов. – Астрахань: Изд-во АГТУ, 2007. – С. 147-149.
17. Молчанова, К. А. Выращивание маточного стада форели второй генерации на втором этапе формирования в условиях установки замкнутого цикла водообеспечения / К. А. Молчанова, Е. М. Комова // День науки: межвузовская научно-техническая конференция курсантов и студентов: материалы (Калининград, 6 – 17 апреля 2015). – Калининград: ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2015. – С. 219 – 223.
18. Комбикорма для рыб: производство и методы кормления / Е. А. Гамыгин [и др.]. – Москва: Агропромиздат, 1989. – 168 с.
19. Товарное лососеводство / Е. И. Хрусталева [и др.]. – Москва: «МОРКНИГА», 2017. – 487 с.
20. Современные проблемы и перспективы развития аквакультуры / Е. И. Хрусталева [и др.]. – Санкт–Петербург: Лань, 2017. – 416 с.
21. Молчанова, К. А. Особенности роста и выживаемости второй генерации ремонтно-маточного стада радужной форели в УЗВ / К. А. Молчанова, Е. И. Хрусталева // Материалы научных мероприятий, приуроченных к 15-летию Южного научного центра Российской академии наук: Международного научного форума «Достижения академической науки на Юге России»; Всероссийской научной конференции «Аквакультура: мировой опыт и российские разработки» (г. Ростов-на-Дону, 13–16 декабря 2017 г.) / [гл. ред. акад. Г.Г. Матишов]. – Ростов н/Дону: Изд-во ЮНЦ РАН, 2017. – С. 362-364.
22. Молчанова, К. А. Особенности выращивания ремонтного поголовья радужной форели второй генерации в установке замкнутого водоснабжения / К. А. Молчанова, Е. И. Хрусталева // Известия Калининградского государственного технического университета. – №36. – 2015. – С. 23 – 30.
23. Мобильная рыбоводная лаборатория как база научных исследований и решения технологических задач в области искусственного воспроизводства ценных видов рыб / Е. И. Хрусталева [и др.] // Рыбное хозяйство. – 2009. – № 2. – С. 67-69.

24. Aller Aqua. Denmark, 2019. URL: <http://www.aller-aqua.com/ru>
25. Основы индустриальной аквакультуры / Е. И. Хрусталеv [и др.]. – Санкт–Петербург: Лань. – 2019. – 280 с.
26. Recirculating Aquaculture. – USA, NY: LLC Ithaca, 2010. – 948 p.
27. Allen Davis. Feed and Feeding Practices in Aquaculture. Front Cover. Elsevier Science, Technology & Engineering, 2015. – 432 p.

REFERENCES

1. Molchanova K. A., Khrustalyov E. I. Realizatsiya sistemy normirovannogo kormleniya raduzhnoy foreli na pervom etape formirovaniya remontno-matochnogo stada v UZV [Implementation of the rationed feeding system of rainbow trout at the first stage of the formation of replacement breeding stock]. *Rybnoe khozyaystvo*, 2019, no. 4, pp. 79-83.
2. Molchanova K. A., Khrustalyov E. I. Realizatsiya sistemy normirovannogo kormleniya raduzhnoy foreli na vtorom etape formirovaniya remontno-matochnogo stada v UZV [Implementation of the rationed feeding system of rainbow trout at the second stage of formation of replacement breeding stock]. *Tekhnologii pishchevoy i pererabatyvayushchey promyshlennosti APK – produkty zdorovogo pitaniya: nauchno-teoreticheskiy zhurnal*, Voronezh, 2019, no. 2(20), pp. 34-39.
3. Mikodina E. V., Shirokova E. N. Biologicheskie osnovy i biotekhnika akvakul'tury afrikanskogo somika *Clarias gariepinus* [Biological basis and bioengineering of African catfish (*Clarias gariepinus*) aquaculture]. *Obzornaya informatsiya. Ser. Akvakul'tura*, 1997, no. 2, 45 p.
4. Khrustalev E. I. Otsenka rostovoy potentsii kanal'nogo i klarievogo somov, obosnovyvvayushchaya politsiklichnye tekhnologii vyrashchivaniya [Assessment of growth potential of channel and sharptooth catfish, justifying polycyclic cultivation technologies]. *Rybnoe khozyaystvo*, 2010, no. 7, pp. 65-68.
5. Vlasov V. A., Zav'yalov A. P., Esavkin YU. I. *Rekomendatsii po vosproizvodstvu i vyrashchivaniyu klarievogo soma s ispol'zovaniem ustanovok UZV* [Recommendations for the reproduction and cultivation of sharptooth catfish using RAS]. *Instruktivno-metod. izdanie*. Moscow, FGNU "Rosinformagrotekh" Publ., 2010, 48 p.
6. Privezentsev YU. A., Sokolov V. B., Markin V. I. Rybovodno-biologicheskaya kharakteristika i osobennosti reproduktivnogo tsikla tilyapii [Fish-breeding and biological characteristics and features of the reproductive cycle of tilapia]. *Osobennosti reprodukt. tsiklov ryb v vodoemakh razn. shirot*, Moscow, Nauka Publ., 1985, pp. 157-162.
7. Filatov V. I., Gepetskiy N. E., Kiselev A. YU. *Tekhnologiya vyrashchivaniya kanal'nogo soma v ustanovkakh s zamknutym tsiklom vodoispol'zovaniya* [Technology of channel catfish cultivation in installations with a closed cycle of water use]. Moscow, VNIIPRKH Publ., 1991, 22 p.
8. Kiselev A. YU. *Biologicheskie osnovy i tekhnologicheskie printsipy razvedeniya i vyrashchivaniya ob"ektov akvakul'tury v ustanovkakh s zamknutym tsiklom vodoobespecheniya. Avtoreferat diss. dokt. biol. nauk* [Biological bases and technological principles of breeding and cultivation of aquaculture objects in

installations with a closed cycle of water supply. Abstract of dis. dr. sci.]. Moscow, VNIIPRKH Publ., 1999, 62 p.

9. Korneev A. N. *Biologicheskie osnovy industrial'nogo rybovodstva na baze teplykh vod energeticheskikh ob"ektov. Avtoreferat diss. dokt. biol. nauk* [Biological bases of industrial fish farming on the basis of warm waters of power facilities. Abstract of dis. dr. sci.]. Moscow, 1990, 65 p.

10. Ponomarev S. V., Grozesnu YU. N., Bakhareva A. A. *Industrial'noe rybovodstvo* [Industrial fish farming]. Saint-Petersburg, Lan' Publ., 2013, 416 p.

11. Ponomarev S. V., Ivanov D. I. *Osetrovodstvo na intensivnoy osnove* [Sturgeon breeding on an intensive basis]. Moscow, Kolos Publ., 2009, 311 p.

12. Khrustalev E. I., Kurapova T. M., Bubunets E. V., Khrisanfov V. E., Zhigin A. V. *Tovarnoe osetrovodstvo* [Sturgeon breeding for sale]. Saint-Petersburg, Lan' Publ., 2016. 297p.

13. Khrustalev E. I., Kurapova T. M., Goncharenok O. E., Lesnikova E. G. *Politsiklichnye tekhnologii vyrashchivaniya molodi tsennykh vidov ryb* [Polycyclic technologies of growing juveniles of valuable fish species]. *Rybnoe khozyaystvo*, 2009, no. 2, pp. 64-66.

14. Khrustalev E. I., Del'mukhametov A. B. *Tekhnologiya formirovaniya matochnogo stada sudaka v ustanovkakh s zamknutym tsiklom vodoobespecheniya* [Technology of formation of breeding stock of pike perch in installations with a closed cycle of water supply]. *Rybnoe khozyaystvo*, 2012, no. 1, pp. 70-72.

15. Khrustalyov E. I., Elfimova K. A. *Pervyy etap razrabotki tekhnologii formirovaniya matochnogo stada foreli v ustanovke zamknutogo tsikla vodoobespecheniya (UZV)* [The first stage of development of broodstock formation technology of trout in recirculating aquaculture system (RAS)]. *Rybnoe khozyaystvo*, 2014, pp. 79-81.

16. Khrustalyov E. I., Batukhtina N. G., Pliev S. S., Vasilevskaya S. A. *Osobennosti rosta i vyzhivaemosti raduzhnoy foreli v usloviyakh anomal'no teplogo leta* [Features of growth and survival of rainbow trout in abnormally warm summers]. *Teplovodnaya akvakul'tura i biologicheskaya produktivnost' vodoemov aridnogo klimata: materialy dokladov Mezhdunarodnogo simpoziuma, 16-18 aprelya 2007 g.* [Warm-water aquaculture and biological productivity of arid climate reservoirs: proceedings of the international Symposium, April 16-18, 2007]. Astrakhan, AGTU Publ., 2007, pp. 147-149.

17. Molchanova K. A., Komova E. M. *Vyrashchivanie matochnogo stada foreli vtoroy generatsii na vtorom etape formirovaniya v usloviyakh ustanovki zamknutogo tsikla vodoobespecheniya* [Breeding of brood trout of the second generation at the second stage of formation in conditions of recirculating aquaculture system]. *Materialy mezhvuzovskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii kursantov i studentov "Den' nauki"* [Proceedings of inter-university scientific and technical conference of cadets and students "Science Day"]. Kaliningrad, FGBOU VPO «KGTU» Publ., 2015, pp. 219-223.

18. Gamygin E. A., Lysenko V. YA., Sklyarov V. YA., Turetskiy V. I. *Kombikorma dlya ryb: proizvodstvo i metody kormleniya* [Feed for fish: production and feeding methods]. Moscow, Agropromizdat Publ., 1989, 168 p.

19. Khrustalyov E. I., Kurapova T. M., Savina L. V., Goncharenok O. E., Molchanova K. A. *Tovarnoe lososovodstvo* [Commercial salmon farming]. Moscow, MORKNIGA Publ., 2017, 487 p.

20. Khrustalyov E. I., Kurapova T. M., Goncharenok O. E., Molchanova K. A. *Sovremennye problemy i perspektivy razvitiya akvakul'tury* [Current problems and prospects of aquaculture development]. Saint-Petersburg, Lan' Publ., 2017, 416 p.

21. Molchanova K. A., Khrustalev E. I. Osobennosti rosta i vyzhivaemosti vtoroy generatsii remontno-matochnogo stada raduzhnoy foreli v UZV [Features of growth and survival of the second generation of replacement breeding stock of rainbow trout in RAS]. *Materialy nauchnykh meropriyatiy, priurochennykh k 15-letiyu YUzhnogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk: Mezhdunarodnogo nauchnogo foruma "Dostizheniya akademicheskoy nauki na YUge Rossii"; Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii "Akvakul'tura: mirovoy opyt i rossiyskie razrabotki"* [Proceedings of scientific events dedicated to the 15th anniversary of the southern scientific center of the Russian Academy of Sciences: International scientific forum "Achievements of academic science in the South of Russia"; all-Russian scientific conference "Aquaculture: world experience and Russian developments"]. Rostov-na-Donu, YUNTS RAN Publ., 2017, pp. 362-364

22. Molchanova K. A., Khrustalev E. I. Osobennosti vyrashchivaniya remontnogo pogolov'ya raduzhnoy foreli vtoroy generatsii v ustanovke zamknutogo vodosnabzheniya [Features of cultivation of a replacement stock of the second - generation rainbow trout in installations of the closed water supply]. *Izvestiya KGTU*, 2015, no. 36, pp. 23-30.

23. Khrustalev E. I., Khaynovskiy K. B., Bryukhanov V. V., Del'mukhametov A. B. Mobil'naya rybovodnaya laboratoriya kak baza nauchnykh issledovaniy i resheniya tekhnologicheskikh zadach v oblasti iskusstvennogo vosproizvodstva tsennykh vidov ryb [Mobile fish breeding laboratory as a base for scientific research and solving technological problems in the field of artificial reproduction of valuable fish species]. *Rybnoe khozyaystvo*, 2009, no. 2, pp. 67-69

24. Aller Aqua. Denmark, 2019. URL: <http://www.aller-aqua.com/ru>

25. Khrustalev E. I., Khaynovskiy K. B., Goncharenok O. E., Molchanova K. A. *Osnovy industrial'noy akvakul'tury* [Fundamentals of industrial aquaculture]. Saint-Petersburg, Lan' Publ., 2019, 280 p.

26. Recirculating Aquaculture. USA, NY, LLC Ithaca Publ., 2010, 948 p.

27. Allen Davis. *Feed and Feeding Practices in Aquaculture*. Front Cover. Elsevier Science, Technology & Engineering, 2015, 432 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

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

Khrustalyov Evgeniy Ivanovich – Kaliningrad State Technical University; PhD in Biology; Professor of the Department of Aquaculture; E-mail: chrustaqua@rambler.ru

Молчанова Ксения Андреевна – Калининградский государственный технический университет; кандидат биологических наук; ведущий инженер кафедры аквакультуры; E-mail: kseniya.elfimova@klgtu.ru

Molchanova Kseniya Andreevna – Kaliningrad State Technical University; PhD in Biology; Leading engineer of the Department of Aquaculture; E-mail: kseniya.elfimova@klgtu.ru

Гончаренок Ольга Евгеньевна – Калининградский государственный технический университет; кандидат биологических наук; доцент кафедры аквакультуры; E-mail: olga111@yandex.ru

Goncharenok Olga Evgenievna – Kaliningrad State Technical University; PhD in Biology; Associate Professor of the Department of Aquaculture; E-mail: olga111@yandex.ru

Серпунин Геннадий Георгиевич – Калининградский государственный технический университет; доктор биологических наук, профессор; зав. кафедрой аквакультуры; E-mail: serpunin@klgtu.ru

Serpunin Gennadiy Georgievich – Kaliningrad State Technical University; Doctor of Biology, Professor; Head of the Department of Aquaculture; E-mail: serpunin@klgtu.ru

Шубаев 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 Biology, Professor; Head of the Department of Ichthyology and Ecology; E-mail: shibaev@klgtu.ru

УДК 597.626.88 (06)

ОЦЕНКА ВОСПРОИЗВОДИТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ И ВОЗМОЖНОГО
ЭФФЕКТА РЫБОХОЗЯЙСТВЕННОЙ МЕЛИОРАЦИИ НА ПРИМЕРЕ РЕКИ
ПРОМЫСЛОВОЙ БАСЕЙНА КУРШСКОГО ЗАЛИВА

С. В. Шибяев, А. В. Соколов, А. В. Алдушин, А. И. Дегтев, О. А. Новожилов,
П. Н. Барановский, Г. Г. Серпунин, В. И. Саускан

EVALUATION OF THE REPRODUCTIVE CAPACITY AND POSSIBLE EFFECT
OF SPAWNING GROUNDS RECOVERY ON THE EXAMPLE
OF PROMYSLOVAYA RIVER OF THE CURONIAN LAGOON BASIN

S. V. Shibaev, A. V. Sokokov, A. V. Aldushin, A. I. Degtev, O. A. Novozhilov,
P. N. Baranovskiy, G. G. Serpunin, V. I. Sauskan

Работа посвящена обоснованию биологического и экономического эффекта проведения рыбохозяйственной мелиорации рек с целью компенсации ущерба, наносимого водным биоресурсам. Исследовался нерестовой ход рыб в р. Промысловой бассейна Куршского залива весной 2017 г. Показано, что естественное заиливание реки приводит к образованию бара в устье с глубиной до 0,5 м, а в нижнем течении глубина снижается до 0,7-0,9 м, что, вероятно, препятствует нормальным нерестовым миграциям. Оценка численности, видовой и размерной структуры нерестового стада проведена по уловам плавных сетей вблизи устья реки, контрольным обловам набором разноячейных ставных сетей с шагом ячеи 12-70 мм непосредственно на нерестилищах и с помощью гидроакустического комплекса NetCog. Основу улова составляют лещ, более 80% биомассы, а также густера и плотва. В течение шести дней пика нерестового хода леща в реку зашли 26,4 тыс. экз. общей массой 18,4 т и скатились 1,6 тыс. экз. массой 1,1 т. Данные значения могут рассматриваться как минимальный уровень воспроизводительной способности реки. Предположив, что расчистка устья реки до глубины 1-2 м будет способствовать повышению захода производителей на нерест хотя бы на 10%, определили биологический эффект мелиорации, который составил 1,8 т, а затраты в этом случае будут равны 3,3-11,5 млн руб. в расчете на одну тонну промыслового возврата. Эта величина в 2-6 раз ниже по сравнению с издержками на искусственное воспроизводство рыбных запасов. Данный результат свидетельствует о потенциальной эффективности компенсации ущерба, наносимого водным биоресурсам, путем проведения рыбохозяйственной мелиорации.

Куршский залив, р. Промысловая, нерестовой ход, воспроизводительная способность, рыбохозяйственная мелиорация, компенсация ущерба водным биоресурсам

The aim of the study is assessment of biological and economic effect of melioration of spawning rivers of the Curonian lagoon basin. It is based on monitoring of spawning migration of fish in the Promyslovaya river in the spring of 2017. It is shown that the natural siltation of the river leads to the formation of a bar at the mouth with the

depth of 0.5 m and 0.7-0.9 m in the low part of the river, which probably prevents normal spawning migration. In the upper part of the river, in the area of spawning grounds the depth is about 4-5 m. The number of spawning migrating fish was estimated by echo-sounder and species composition -by gill-nets with mesh size 12-70 mm in the low part of the river and on the spawning ground area. The most numerous species are bream (84% of biomass), white bream and roach. During the six days of the peak of the spawning period of the bream, 26.4 thousand of fish entered the river with a total mass of 18.4 tons and rolled down 1.6 thousand of fish with a biomass of about 1.1 tons. This amount shows at least the minimum level of the river reproducibility. Having accepted an assumption that clearing of the river mouth to a depth of 1-2 m will contribute to an increase in the coming of breeding stock for spawning by at least 10%, it has been determined that in this case the biological effect of land reclamation will be 1.8 tons, and the costs will be 3.3-11 5 million rubles per ton of fishing return. This value is 2-6 times lower in comparison with the costs of artificial reproduction, which indicates the potential effectiveness of compensation for damage caused to aquatic biological resources by conducting fisheries reclamation.

Curonian lagoon, river Promyslovaya, spawning migration, reproductive capacity, fishery melioration, compensation of damage to aquatic bioresources

ВВЕДЕНИЕ

Куршский залив Балтийского моря является одним из наиболее продуктивных водоемов России, состояние рыбных запасов в котором определяется в первую очередь условием естественного воспроизводства. Нерест большинства видов фитофильных рыб приурочен к рекам, впадающим непосредственно в залив, и поэтому существенно зависит от их морфологии и гидрологических особенностей. В силу естественных процессов, связанных с переносом взвешенных веществ с площади водосборного бассейна, нерестовые реки подвержены постоянному заилению, особенно в устьях, что приводит к снижению глубины и затруднению миграции производителей рыб на нерест, а также, вероятно, влияет и на скат молоди. Ситуацию усугубляет нарушение естественного гидрологического режима, вызванного работой насосных станций мелиоративной сети польдерных земель. Именно поэтому для поддержания воспроизводительной способности рек в советский период за счет средств государственного финансирования осуществлялась регулярная расчистка устьев, что, как считалось, обеспечивало нормальное естественное воспроизводство рыб. Начиная с 1990-х годов выделение бюджетных средств для проведения рыбохозяйственной мелиорации было прекращено. В результате донные отложения в нижних участках нерестовых рек накопились до такой степени, что стали помехой для движения маломерного рыболовного флота, хотя количественных оценок по изменению воспроизводительной способности этих рек не существует.

В настоящее время появляется возможность использования для целей рыбохозяйственной мелиорации нерестовых рек так называемых «компенсационных средств». Согласно ныне действующей Методике исчисления размера вреда, причиненного водным биологическим ресурсам [1], ущерб, наносимый водным биоресурсам и среде их обитания в результате различных видов хозяйственной деятельности, должен быть нивелирован за счет средств хозяйствующих субъектов путем проведения компенсационных мероприятий. Предусмотрено, что таки-

ми мероприятиями могут быть искусственное воспроизводство водных биоресурсов, акклиматизация, создание новых или расширение существующих рыбоводных предприятий и, наконец, рыбохозяйственная мелиорация. Если по первым трем направлениям количество воспроизводимой или акклиматизируемой рыбы, а в последующем и затраты на их реализацию могут быть рассчитаны с большей или меньшей долей достоверности, то по последнему такая оценка оказывается достаточно сложной. В связи с этим, до настоящего времени компенсация ущерба путем проведения расчистки нерестовых рек практически не осуществляется, основной причиной чего является отсутствие фактических данных о воспроизводительной способности таких рек и ее зависимости от степени заиления ложа и/или его углубления.

Теоретически проблема определения биологической эффективности рыбохозяйственной мелиорации путем расчистки русел нерестовых рек может быть решена по следующему алгоритму. Необходимо на конкретной реке провести мониторинг нерестового хода производителей и рассчитать численность нерестового стада. Учитывая, что интенсивность нереста существенно изменяется в межгодовом аспекте в связи с различными погодными и гидрологическими условиями, такого рода мониторинг целесообразно выполнять в течение нескольких лет. Затем должна быть осуществлена расчистка ложа реки от донных отложений и проведен повторный мониторинг интенсивности нереста уже в новых условиях. Однако это возможно не сразу, а через некоторое время, после того как рыба адаптируется к изменившемуся рельефу дна, скорости течения и вообще к конфигурации устьевых участков реки. Например, по нашим наблюдениям, после расчистки Западного (Добринского) канала, впадающего в южную часть Куршского залива, по крайней мере в первый год, рыба в него вообще не заходила. Зато в последующем здесь стали нереститься не только мелкая плотва, что наблюдалось ранее, но и достаточно крупный лещ. Таким образом, определив интенсивность нерестового хода до и после проведения мелиоративных работ, можно оценить их эффективность, выраженную в увеличении количества заходящих производителей, их суммарной плодовитости и возможном пополнении промыслового запаса с учетом коэффициентов промыслового возврата. Имея данные о вероятном биологическом эффекте рыбохозяйственной мелиорации, можно рассчитать затраты на выполнение расчистки русла нерестовой реки и оценить экономический эффект, обосновав тем самым расходы на реализацию компенсационных мероприятий.

В Калининградской области, несмотря на важность проведения расчистки нерестовых рек, до настоящего времени отсутствуют фактические данные об их воспроизводительной способности и необходимости выполнения мелиоративных мероприятий. Настоящая работа является первой попыткой решения проблемы обоснования биологического и экономического эффекта рыбохозяйственной мелиорации на примере р. Промысловой бассейна Куршского залива. В статье использованы некоторые теоретические подходы, изложенные в наших более ранних публикациях [2, 3].

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Материалом для настоящей работы послужили результаты комплексных ихтиологических исследований, проведенных на р. Промысловой бассейна Куршского залива в период 28.04-09.05.2017 г. Работа осуществлялась по следующим направлениям:

1. Построение профиля дна реки и связанного с ней расширения, где расположены основные нерестилища, с целью определения степени заиления русла самой реки, а также устья в месте впадения в Куршский залив. В последующем эти данные будут необходимы для установления объема работ по расчистке реки в процессе рыбохозяйственной мелиорации. Использовался гидроакустический комплекс «AsCor», рассчитанный на работу на малых глубинах.

2. Гидроакустическое сканирование сечения р. Промысловой в районе пос. Причалы с помощью программно-технического комплекса «NetCor» с целью оценки численности и размерной структуры рыб, совершающих нерестовые миграции. Техническая сторона гидроакустических исследований приведена в соответствующей литературе [4, 5] и здесь не рассматривается.

3. Проведение контрольных обловов плавными одностенными сетями с шагом ячеи 40, 70 мм в зоне, непосредственно примыкающей к гидроакустическому створу, с целью определения видового и размерного состава рыб, регистрируемых комплексом «NetCor». Плавы выполнялись каждые три часа на участке ниже по течению от места расположения гидроакустического комплекса. Всего было выполнено 69 обловов.

4. Проведение контрольных обловов на нерестилищах, расположенных на расширении р. Промысловой, с целью оценки видового и размерного состава нерестящихся рыб. Использовался набор ставных одностенных сетей из мононити с шагом ячеи от 12 до 100 мм. Всего проведено 367 обловов.

Сбор и обработка материалов осуществлялись в соответствии с общепринятыми [6-9] и оригинальными методиками ихтиологических исследований, адаптированных для условий внутренних водоемов Калининградской области [10-13]. Схема расположения станций мониторинга представлена на рис. 1.

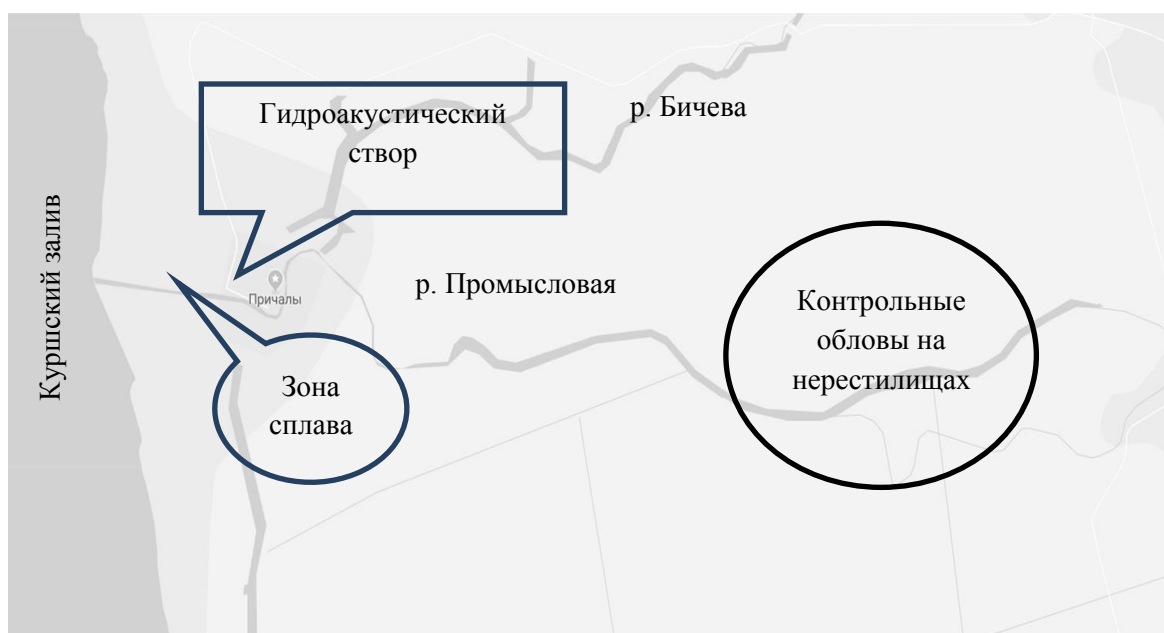


Рис. 1. Схема расположения станций мониторинга нерестового хода рыб на р. Промысловой

Fig. 1. Location diagram of monitoring stations for fish spawning migration on the Promyslovaya River

РЕЗУЛЬТАТЫ

Промысловая представляет собой типичную нерестовую реку бассейна Куршского залива. Длина ее составляет 13 км. Ширина в нижней части до пос. Причалы – 20 м, в транзитной зоне – 15, в зоне расширения, где расположены основные нерестилища фитофильных рыб, – 60-120 м. Выше пос. Причалы в Промысловую впадает р. Бичева, также имеющая значение для воспроизводства водных биоресурсов. В устьевой части реки в месте впадения ее в Куршский залив образуется песчано-илистый бар шириной 200-300 м. Минимальная глубина залива в районе бара составляет 0,5 м, а глубина устья реки может снижаться до такой же величины, что создает препятствия для захода рыб на нерест (рис. 2). Устьевой участок реки заканчивается молами длиной 150 м, выложенными камнем, но частично деформированными. Разрушение молов привело к снижению скорости движения воды на данном участке и его заилению. В то же время остатки мола не позволяют производителям попадать в реку вдоль берега залива, и они вынуждены преодолевать бар глубиной до 0,5 и шириной до 200-300 м. Глубина реки в устье может изменяться на несколько десятков сантиметров при поднятии или опускании уровня воды в связи с нагонными явлениями. Также непостоянной является и скорость течения на нижнем участке, которая варьирует от 0 до 0,2 м/с. Иногда отмечалось изменение направления течения на противоположное. В период наблюдения температура воды повышалась от 9 до 15 °С.

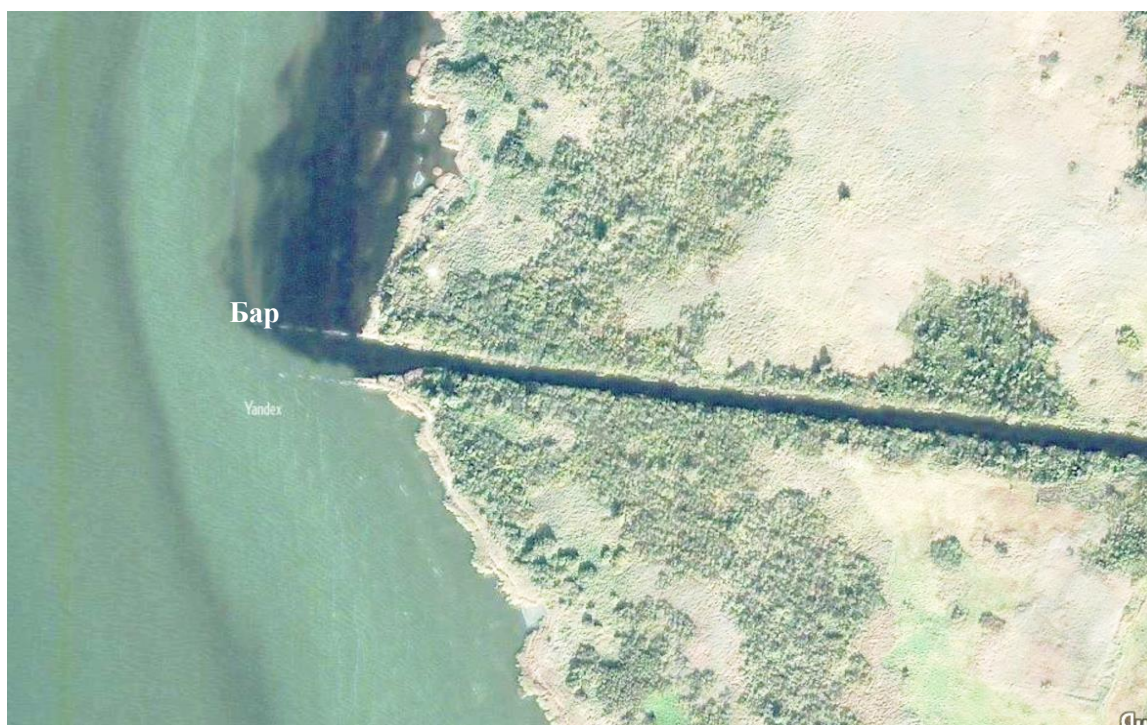


Рис. 2. Бар в устье р. Промысловой
Fig. 2. Bar in the mouth of the Promyslovaya River

Согласно данным гидроакустической съемки профиля дна (рис. 3) установлено, что река имеет три зоны, различающиеся глубиной, которая, в свою очередь, зависит от мощности донных отложений. В нижнем участке реки глубина составляет около одного метра и слой ила достигает 1,0-1,5 м. Непосредственно в

устье (в месте впадения в Куршский залив) глубина снижется до 0,5 м. В транзитной зоне, через которую рыба мигрирует вверх по течению к нерестилищам, она увеличивается до 1,5-2,0 м, хотя имеются отмели с глубиной также около 0,5 м. В верхней части реки, расширении, так называемом Грибовом пруду, расположены основные нерестилища, которые представлены высшей водной растительностью вдоль береговой полосы. Здесь глубина увеличивается до 5 м и накопление донных осадков не имеет значения для воспроизводства рыб.

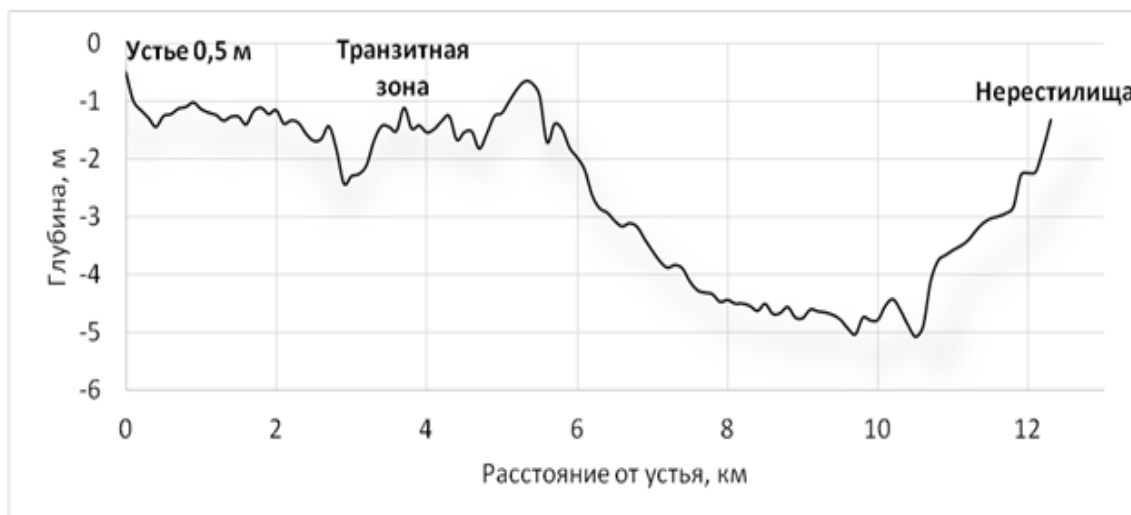


Рис. 3. Продольный профиль р. Промысловой
Fig. 3. Longitudinal profile of the Promyslovaya River

Таким образом, для обеспечения возможности нереста рыба должна преодолеть мелководное устье реки и нижнюю мелководную зону, затем пройти через транзитную зону, часть из которой расположена в центре пос. Причалы, пересячь отмель на входе в озеровидную часть на расстоянии 6,1 км от устья и только после этого достичь нерестилищ. Очевидно, что заиление русла на этом пути является достаточно мощным фактором, снижающим воспроизводственный потенциал р. Промысловой.

Рассмотрим теперь видовую структуру и интенсивность нерестового хода рыб в р. Промысловую. Наблюдения были ограничены только периодом пика нереста леща, так как этот вид является наиболее важным в промысле на Куршском заливе, однако оказалось, что река имеет особое значение для воспроизводства и других видов рыб. Установлено, что ихтиоценоз водоема был представлен пятью основными видами – лещом, густерой, плотвой, окунем, щукой и серебряным карасем. В меньшем количестве в уловах встречались ерш, укляя, голавль, красноперка.

В нижней зоне, где проводилось гидроакустическое сканирование, оценка видового состава мигрирующих рыб показала, что в мелкочейных плавных сетях с шагом ячеи 40 мм основу уловов составляли лещ, густера и в меньшей степени плотва, поднимающиеся вверх против течения на нерест. В то же время в крупноячейных сетях с шагом ячеи 70 мм всегда доминировал лещ, обеспечивающий до 84% уловов (рис. 4).

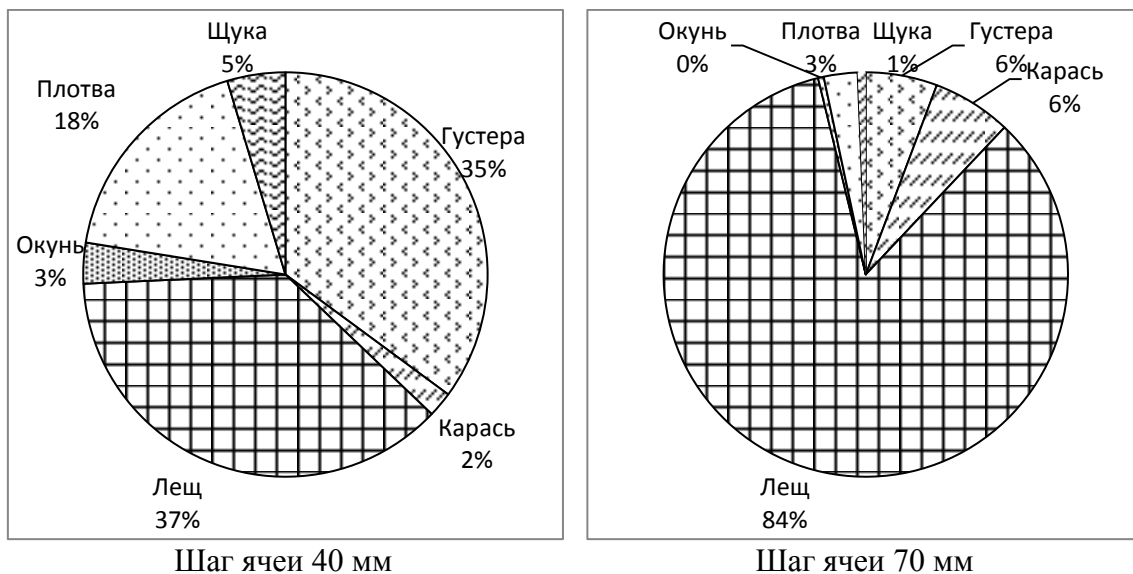


Рис. 4. Видовая структура ихтиоценоза (% по массе) в нижней зоне р. Промысловой (плавные сети)
 Fig. 4. Species structure of ichthyocenosis (% by weight) in the lower part of the Promyslovaya river (drifter net)

В зоне нерестилищ выше по течению видовая структура уловов имела сходный характер, свидетельствующий о том, что она сформирована за счет рыб, мигрирующих из Куршского залива на нерест в р. Промысловую. В частности, в мелкоячейных сетях доминировали густера и плотва, а в крупноячейных – лещ (рис. 5). Таким образом, можно заключить, что рыбы, проходящие через гидроакустический разрез и регистрируемые в нижнем участке реки, являются частью нерестового запаса соответствующих популяций рыб Куршского залива. Следовательно, изменение интенсивности миграций, например в результате проведения мелиорации нижней части русла реки, будет иметь значение для повышения объема воспроизводства.

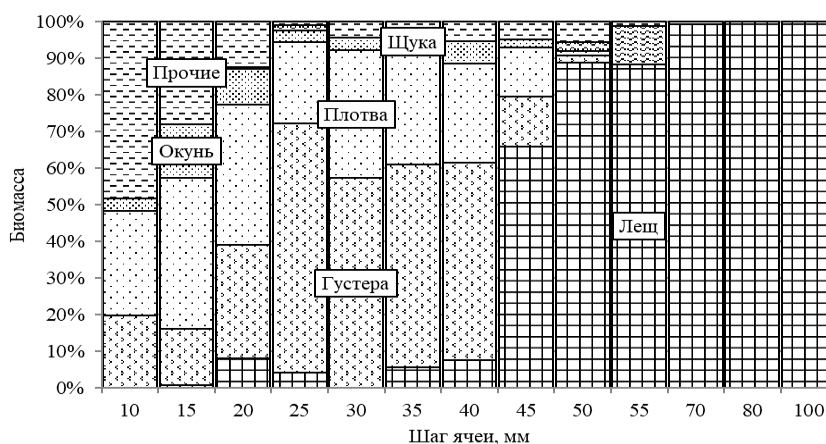


Рис. 5. Размерно-видовая структура ихтиоценоза (% по массе) на нерестилищах (ставные одностенные сети)
 Fig. 5. Size and species structure of ichthyocenosis (% by weight) on spawning areas (fixed single-walled nets)

Согласно данным гидроакустики в период наблюдения интенсивность миграции претерпевала существенные суточные колебания, вплоть до полного прекращения движения рыбы. Эти колебания зависели от множества случайных факторов – температуры воды и воздуха, направления и силы ветра, уровня воды в реке, солнечной активности (рис. 6). Кроме того, отмечено, что нерестовой ход происходит преимущественно ночью, а днем рыбы практически не перемещаются. Учитывая сказанное, в перспективе необходимо изучение влияния всех этих факторов с целью достоверной оценки воспроизводительного потенциала каждой нерестовой реки. Привлекает внимание то обстоятельство, что доминирующим направлением были миграции вверх по течению, следовательно, по типу они являются нерестовыми.

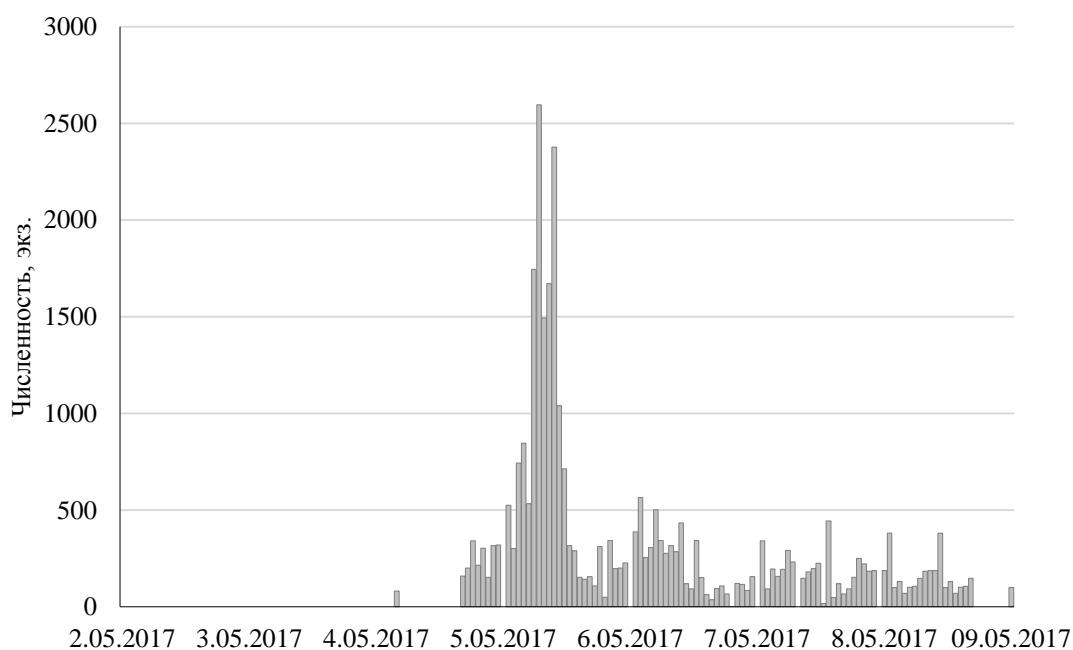


Рис. 6. Динамика интенсивности нерестового хода рыб в р. Промысловой (по часам)

Fig. 6. Intensity dynamics of fish spawning migration in the Promyslovaya river (hourly)

Оценка размерной структуры мигрирующих рыб, определенной по силе отраженного сигнала, дает ярко выраженную двухмодальность (рис. 7), которая полностью согласуется с видовой и размерной структурой контрольных обловов. Совершенно очевидно, что левая часть гистограммы характеризует размерное распределение густеры и плотвы длиной 15-25 см и средней массой 160-190 г. Правая её часть представляет размерное распределение леща длиной 26-38 см и средней массой 700 г.

Учитывая, что исследования были направлены на изучение воспроизводства наиболее ценного вида – леща, последующие расчеты численности проведены только для половозрелого леща, поднимающегося на нерест, сила цели которого превышает значение - 33,8 дБ, остальные рыбы, с меньшей отражательной способностью и другого направления движения, игнорировались. Кроме того, с учетом высокой суточной изменчивости интенсивности нерестового хода было

принято, что достоверной может быть только оценка накопленной силы цели за весь период наблюдения. Численные результаты расчетов количества рыб, прошедших через наблюдавшееся сечение р. Промысловой за период с 09:00 2 по 07:00 8 мая 2017 г. (табл. 1), позволяют констатировать, что на нерест прошли 26,4 тыс. экз. леща общей биомассой 18,4 т и значительно меньшее его количество – 1,6 тыс. экз. и 1,1 т – скатилось вниз по течению. Хотя можно предположить, что это были отнерестившиеся особи, также участвующие в процессе воспроизводства.

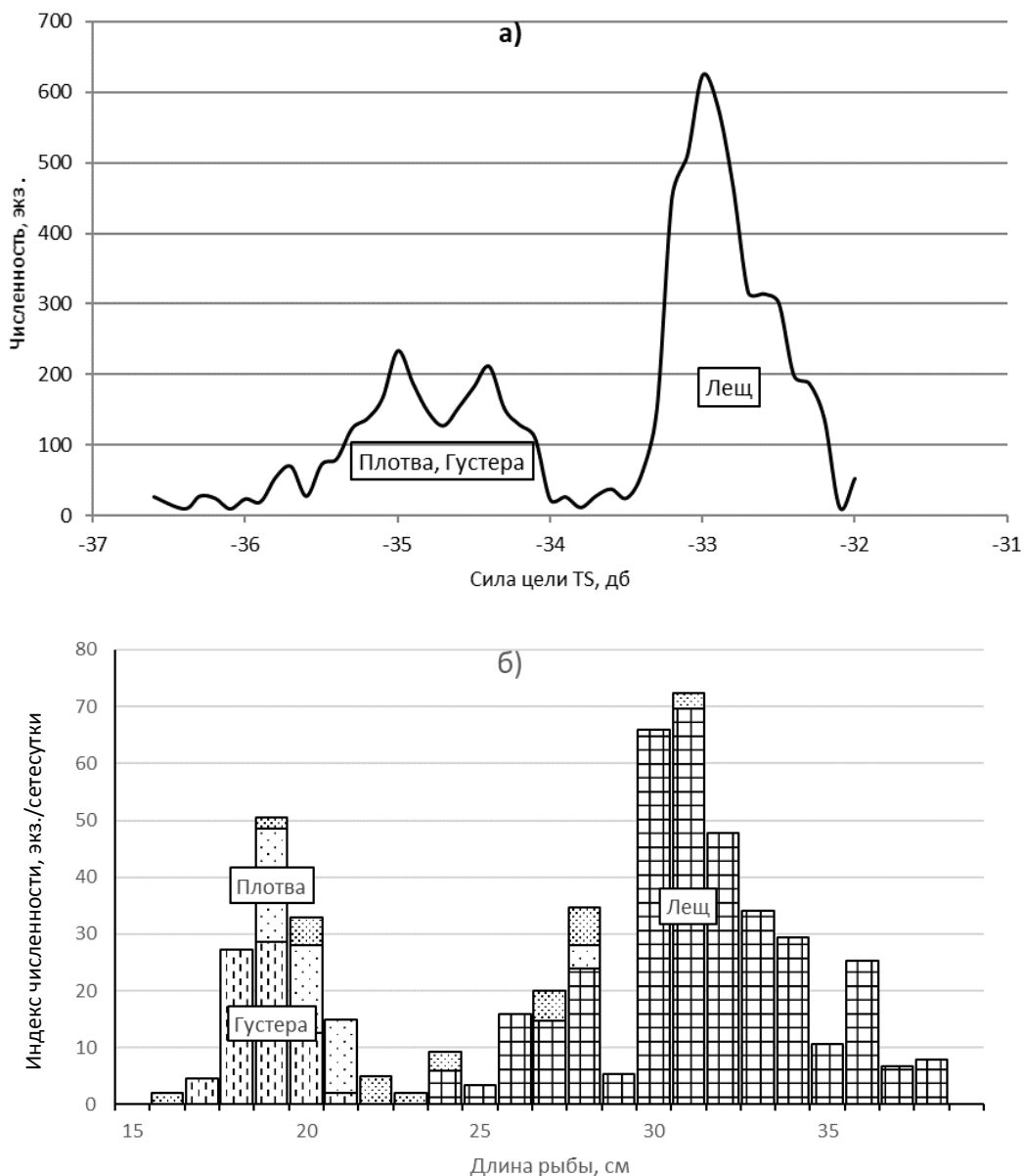


Рис. 7. Размерная структура мигрирующих рыб по данным гидроакустики (в единицах силы цели) (а) и группировки рыб на нерестилищах по данным контрольных обловов (б)

Fig. 7. Dimensional structure of migrating fish according to hydroacoustics data (in units of target strength) (a) and grouping of fish in spawning areas according to test fishings (b)

Таблица 1. Количество мигрировавших рыб в р. Промысловой за период 2-7 мая 2017 (зарегистрированных одиночных рыб с силой цели более - 33,8 дБ)
 Table 1. Number of migrated fish in the Promyslovaya river on May 2-7, 2017 (registered single fish with a target strength of more than 33.8 dB)

Направление движения	Численность, экз.	Биомасса, кг
Вверх по течению	26 252	18376
Вниз по течению	1 635	1144
Не определено	1 565	1095

Эти величины характеризуют только первые результаты исследования воспроизводительной способности реки, так как охватывают очень короткий период пика нерестового хода леща. Фактически нерестовые миграции рыб начинаются с марта (щука), продолжаются в течение апреля-мая (плотва, лещ) и заканчиваются в конце мая – начале июня (порционно-нерестящаяся густера). В связи с этим, воспроизводительный потенциал реки может быть на порядок выше.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Полученные результаты исследования воспроизводительной способности р. Промысловой позволяют провести предварительную оценку возможного биологического и экономического эффекта рыбохозяйственной мелиорации как средства улучшения условий нерестовых миграций рыб.

Примем следующие исходные положения и допущения.

1. Воспроизводительная мощность р. Промысловой составляет 18,4 т. Эта цифра получена на основании мониторинга нерестового хода в специфических гидрометеорологических условиях 2017 г. в течение всего шести дней. Она представляется явно заниженной, так как в реальности нерестовый ход происходит на протяжении гораздо более долгого периода и, кроме того, сроки нереста различных видов рыб не совпадают. Однако более надежной оценки в настоящее время не существует.

2. Предполагается, что анализируемые популяции рыб находятся в стабильном состоянии, которое определяется существующими условиями естественного воспроизводства. Следовательно, пришедшие на нерест 18,4 т производителей обеспечивают формирование через определенное время, равное возрасту созревания рыб, такого же количества производителей, которые вновь будут нереститься в реке. Данный подход позволяет избежать использования в расчетах коэффициента промыслового возврата, величина которого хотя и устанавливается нормативными документами, но является достаточно спорной.

3. Примем, что условия нагула личинок в р. Промысловой на ранних стадиях (до их ската в Куршский залив) достаточны для обеспечения пищей и несколько большего их количества в случае повышения интенсивности нерестового хода производителей.

4. Наиболее важным является допущение о кратности увеличения интенсивности нерестового хода рыб после проведения рыбохозяйственной мелиорации. По свидетельствам очевидцев в 1970-1980 гг., после расчистки русел нерестовых рек бассейна Куршского залива от иловых осадений наблюдалось резкое

увеличение численности заходящих производителей и появившейся молоди. Однако количественных оценок данного эффекта не существует. В этой связи в качестве ориентира приходится принять некоторую условную величину. Например, допустить, что в случае проведения рыбохозяйственной мелиорации воспроизводительный потенциал реки несколько увеличится, например, на 10% – 1,84 т.

5. Стоимость мелиоративных работ будет зависеть от заданной глубины реки и объема изымаемого грунта. Средняя цена изъятия одной тонны грунта принята равной 200 руб. Для сравнения использованы затраты на реализацию компенсационных мероприятий согласно утвержденным расценкам на выпуск молоди сига рыбоводным цехом Калининградского филиала ФГУП «Главрыбвод» в пос. Лесном (58,54 руб. за 1 шт. молоди навеской 1-10 г при промышленном возврате 0,2%). Данная величина соответствует издержкам на искусственное воспроизводство в объеме 20,3 млн руб. на 1 т промвозврата.

Рассмотрены следующие варианты проведения мелиоративных работ (табл. 2).

Вариант 1. Удаление бара в Куршском заливе перед входом в р. Промысловую и в самом ее устье. Ширина зоны, подлежащей очистке, составит 300 м на удалении 200 м вдоль берега, толщина слоя ила – 0,5 м. Таким образом, общий объем изымаемого грунта будет равен 30 тыс. м³, а затраты на углубление русла составят 6 млн руб.

Вариант 2. Углубление не только бара, но и всего нижнего течения реки и транзитной зоны до озеровидного расширения на расстояние 6,0 км до глубины 1 м. При средней ширине реки 20 м с учетом рельефа дна объем изъятия грунта составит 32,6 тыс. м³, а затраты – 6,5 млн руб.

Вариант 3. Углубление реки до 1,5 м на расстояние 6,0 км потребует затрат 10,8 млн руб.

Вариант 4. Углубление реки до 2,0 м на расстояние 6,0 км потребует затрат 21,6 млн руб.

Для всех рассмотренных вариантов принято, что промышленный возврат увеличится только на 10% или 1,84 т.

Таблица 2. Оценка биологической эффективности мелиоративных работ по расчистке русла р. Промысловой

Table 2. Assessment of the biological effectiveness of melioration works on clearing the channel of the Promyslovaya river

Вариант	Расчистка русла реки до глубины, м	Объем выемки грунта, тыс. м ³	Стоимость работ, млн руб.	Удельные затраты на тонну промвозврата, млн руб./т
1	0,5	30,0	6,0	3,3
2	1,0	32,6	6,5	3,5
3	1,5	54,0	10,8	5,9
4	2,0	106,0	21,2	11,5
Искусственное воспроизводство	-	-	-	20,3

Единственным препятствием реализации данного направления является необходимость проведения исследований по интенсивности нерестового хода в каждой конкретной реке и оценки обоснованной величины компенсационных мероприятий в натуральном и денежном выражении.

Работа выполнена при финансовой поддержке ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» (Приказ № 70 от 04 марта 2019 г.)

ВЫВОДЫ

Комплексный мониторинг нерестового хода с использованием комбинации классических ихтиологических исследований и гидроакустики позволяет оценить воспроизводительный потенциал р. Промысловой даже при краткосрочных исследованиях.

По минимальной оценке, р. Промысловая обеспечивает воспроизводство не менее 18,4 т леща без учета других весенне-нерестующих видов рыб. Реальный объем естественного воспроизводства, принимая во внимание длительность нерестового периода и видовой состав нерестящихся рыб, может быть на порядок выше установленного в настоящих исследованиях.

Проведение мелиоративных работ на нерестовых реках Калининградской области станет одним из важнейших методов компенсации ущерба водным биологическим ресурсам, наряду с искусственным воспроизводством, так как удельные затраты на нее не превышают расходы на выращивание молоди в искусственных условиях, а возможные объемы промыслового возврата существенно выше.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Об утверждении Методики исчисления размера вреда, причиненного водным биологическим ресурсам: Приказ Федерального агентства по рыболовству от 25 ноября 2011 г. № 1166.
2. Шибаев, С. В. Модель оценки эффективности мелиорации нерестовых рек / С. В. Шибаев // Известия Калининградского государственного технического университета. – 2017. – № 47. – С. 64–70.
3. Шибаев, С. В. К вопросу о компенсации возможного ущерба, наносимого водным биоресурсам в процессе эксплуатации балтийской АЭС / С. В. Шибаев, Е. В. Лунева, Л. В. Шибаев // VI Балтийский морской форум. Водные биоресурсы, аквакультура и экология водоемов: всеросс. науч. конф. / ФГБОУ ВО «КГТУ». – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «КГТУ», 2018. – С. 182–187.
4. Дегтев, А. И. Программно-техническая реализация гидроакустического метода количественной оценки плотности водных биомасс: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.18/ Дегтев Андрей Игоревич; ПГУ, Петрозаводск, 2004. – 168с.
5. Дегтев, А. И. Автоматизированная система количественной оценки рыбных запасов гидроакустическим методом АСКОР-2 / А. И. Дегтев, Д. Э. Ивантер // Рыбное хозяйство. – 2002. – № 4. – С. 18–21.
6. Аксютин, З. М. Элементы математической оценки результатов наблюдений в биологических и рыбохозяйственных исследованиях / З. М. Аксютин. – Москва: Пищевая промышленность, 1968. – 289 с.

7. Правдин, И. Ф. Руководство по изучению рыб (преимущественно пресноводных) / И. Ф. Правдин. – Москва: Пищевая промышленность, 1966. – 376 с.
8. Рикер, У. Е. Методы оценки и интерпретация биологических показателей популяций рыб / У. Е. Рикер. – Москва: Пищевая промышленность, 1979. – 408 с.
9. Сечин, Ю. Т. Методические указания по оценке численности рыб в пресноводных водоемах / Ю. Т. Сечин. – Москва: ВНИРО, 1990. – 50 с.
10. Шibaев, С. В. Промысловая ихтиология / С. В. Шibaев. – Калининград: ООО «Аксиос», 2014. – 535 с.
11. Шibaев, С. В. Теоретические основы применения системного подхода в рыбохозяйственных исследованиях и информационном обеспечении управления водными биоресурсами внутренних водоемов: автореф. дис. ... докт. биол. наук: 03.00.10/ Шibaев Сергей Вадимович; КГТУ. – Калининград, 2002. – 42 с.
12. Шibaев, С. В. Метод анализа ихтиоценозов малых озер Калининградской области на основе контрольных обловов сетных орудий лова / С. В. Шibaев, А. В. Соколов // Труды ВНИРО. – Москва: ВНИРО, 2013. – Т. 151. – 2013. – С. 158–164.
13. Шibaев, С. В. Структура донного ихтиоценоза озера Виштынецкого Калининградской области / С. В. Шibaев, А. В. Соколов // Известия Калининградского государственного технического университета. – 2014. – № 32. – С. 11–20.

REFERENCES

1. Ob utverzhdenii Metodiki ischisleniya razmera vreda, prichinennogo vodnym biologicheskim resursam [On approval of the Methodology for calculating the amount of harm caused to aquatic biological resources]. Prikaz Federal'nogo agentstva po rybolovstvu ot 25 noyabrya 2011 goda № 1166.
2. Shibaev S. V. Model' otsenki effektivnosti melioratsii nerestovykh rek [Model for assessing the effectiveness of land reclamation of spawning rivers]. *Izvestiya KGTU*, 2017, no. 47, pp. 64-70.
3. Shibaev S. V., Luneva E. V., Shibaev L. V. K voprosu o kompensatsii vozmozhnogo ushcherba, nanosimogo vodnym bioresursam v protsesse ekspluatatsii Baltiyskoy AES [On compensation for possible damage to aquatic biological resources during the operation of the Baltic NPP]. *VI Baltiyskiy morskoy forum. Trudy Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii "Vodnye bioresursy, akvakul'tura i ekolo-giya vodoe-mov"* [VIth Baltic maritime forum. Proceedings of All-Russian scientific conference "Aquatic bioresources, aquaculture and ecology of water bodies"]. Kaliningrad, FGBOU VO "KGTU", 2018, pp. 182-187.
4. Degtev A. I. *Programmno-tekhnicheskaya realizatsiya gidroakusticheskogo metoda kolichestvennoy otsenki plotnosti vodnykh biomass. Diss. kand. tekhn. nauk* [Software and hardware implementation of the hydroacoustic method for quantifying the density of aquatic biomass. PhD in Engineering thesis]. Petrozavodsk, 2004, 168 p.
5. Degtev A. I., Ivanter D. E. Avtomatizirovannaya sistema kolichestvennoy otsenki rybnykh zapasov gidroakusticheskim metodom ASKOR-2 [Automated system for the quantitative assessment of fish stocks using the ASKOR-2 hydro-acoustic method]. *Rybnoe khozyaystvo*, 2002, no. 4, pp. 18-21.
6. Akseyutina Z. M. *Elementy matematicheskoy otsenki rezul'tatov nablyudeniy v biologicheskikh i rybokhozyaystvennykh issledovaniyakh* [Elements of the mathematical

evaluation of the results of observations in biological and fisheries research]. Moscow, Pishchevaya promyshlennost', 1968, 289 p.

7. Pravdin I. F. *Rukovodstvo po izucheniyu ryb (preimushchestvenno presnovodnykh)* [Guidelines for fish study (mainly freshwater)]. Moscow, Pishchevaya promyshlennost', 1966, 376 p.

8. Riker U. E. *Metody otsenki i interpretatsiya biologicheskikh pokazateley populyatsiy ryb* [Assessment methods and interpretation of biological indicators of fish populations]. Moscow, Pishchevaya promyshlennost', 1979, 408 p.

9. Sechin YU. T. *Metodicheskie ukazaniya po otsenke chislennosti ryb v presnovodnykh vodoemakh* [Guidelines for assessing the number of fish in freshwater bodies]. Moscow, VNIRO, 1990, 50 p.

10. Shibaev S. V. *Promyslovaya ikhtiologiya* [Fishery ichthyology]. Kaliningrad, ООО "Aksios", 2014, 535 p.

11. Shibaev S. V. *Teoreticheskie osnovy primeneniya sistemnogo podkhoda v rybokhozyaystvennykh issledovaniyakh i informatsionnom obespechenii upravleniya vodnymi bioresursami vnutrennikh vodoemov. Avtoreferat. dis. dokt. biol. nauk* [Theoretical foundations of applying a systematic approach to fisheries research and information support for management of aquatic biological resources of inland waters. Abstract of DSc in Biology thesis.]. Kaliningrad, KGTU, 2002, 42 p.

12. Shibaev S. V., Sokolov A. V. *Metod analiza ikhtiotsenozov malyykh ozer Kaliningradskoy oblasti na osnove kontrol'nykh oblovov setnykh orudiy lova* [A method for the analysis of ichthyocenoses of small lakes in the Kaliningrad region based on gill net catches]. Moscow, tr. VNIRO, 2013, vol. 151, pp. 158-164.

13. Shibaev S. V., Sokolov A. V. *Struktura donnogo ikhtiotsenoza ozera Vishtynetskogo Kaliningradskoy oblasti* [The structure of the bottom ichthyocenosis of Lake Vishtytis in the Kaliningrad region]. *Izvestiya Kaliningradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2014, no. 32, pp. 11-20.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

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

Соколов Андрей Владимирович – Калининградский государственный технический университет; кандидат биологических наук, доцент кафедры ихтиологии и экологии; E-mail: sokolov@klgtu.ru

Sokolov Andrey Vladimirovich – Kaliningrad State Technical University; Ph.D. in Biological Sciences; Associate Professor of the Department of Ichthyology and Ecology; E-mail: sokolov@klgtu.ru

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

Aldushin Andrey Viktorovich – Kaliningrad State Technical University; senior lecturer of the Department of Ichthyology and Ecology; E-mail: aldushin@klgtu.ru

Дегтев Андрей Игоревич – ООО «ПромГидроакустика», кандидат технических наук; директор; E-mail: andrej-degtev@yandex.ru

Degtev Andrey Igorevich – Promhydroacoustics Ltd; Ph.D. in Technical Sciences; Director; E-mail: andrej-degtev@yandex.ru

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

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

Барановский Павел Николаевич – Калининградский государственный технический университет; старший преподаватель кафедры ихтиологии и экологии; E-mail: baranovskiy@klgtu.ru

Baranovskiy Pavel Nikolaevich – Kaliningrad State Technical University; senior lecturer of the Department of Ichthyology and Ecology; E-mail: baranovskiy@klgtu.ru

Серпунин Геннадий Георгиевич – Калининградский государственный технический университет; доктор биологических наук, профессор; зав. кафедрой аквакультуры; E-mail: serpunin@klgtu.ru

Serpunin Gennadiy Georgievich – Kaliningrad State Technical University; Doctor of Biological Sciences; Professor; Head of the Department of Aquaculture; E-mail: serpunin@klgtu.ru

Саускан Владимир Ильич – Калининградский государственный технический университет; доктор биологических наук, профессор кафедры ихтиологии и экологии; E-mail: sauskan@klgtu.ru

Sauskan Vladimir Ilyich – Kaliningrad State Technical University; Doctor of Biological Sciences; Professor at the Department of Ichthyology and Ecology; E-mail: sauskan@klgtu.ru

УДК 574+51.001.572

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПРАВДИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА
(ГЭС 3) ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МНОГОЛЕТНИХ ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

М. Н. Шibaева, Е. В. Кривоpuskova, Е. А. Масюткина, С. В. Шibaев

ECOLOGICAL STATE OF THE PRAVDINSK RESERVOIR ACCORDING TO THE
RESULTS OF LONG-TERM HYDROBIOLOGICAL RESEARCHES

M. N. Shibaeva, E. V. Krivopuskova, E. A. Masyutkina, S. V. Shibaev

Правдинское водохранилище является уникальной водной экосистемой на территории Калининградской области. Ввиду гидрологических и морфометрических особенностей данного водоема в пределах его акватории формируются различные абиотические условия, что создает благоприятную среду развития гидробиологических сообществ. В настоящее время водосборная площадь водохранилища находится в зоне интенсивного антропогенного воздействия. Кроме этого, водоем активно используется для любительского рыболовства. В Правдинском водохранилище имеются разнообразные условия для формирования зоопланктона, такие как речной сток, извилистость, плотина, заросли высшей водной растительности, что способствует большому экологическому разнообразию видов. За весь период исследования в нем было идентифицировано 117 видов и форм зоопланктона, относящихся к трем таксономическим группам: тип *Rotifera* (31), подкласс *Copepoda* (38) и надотряд *Cladocera* (48). По сравнению с 70-80 гг. прошлого века список организмов с учетом последних изменений в систематике был расширен на 33 вида. Величина индекса Шеннона – 2,26, она указывает на среднюю степень сложности структуры зоопланктонного сообщества, удовлетворительный уровень его развития и мезотрофное состояние Правдинского водохранилища. Общее число видов и групп видов бентосных беспозвоночных, которые были идентифицированы в водохранилище за весь период исследований, составило 120 из 9 систематических групп: моллюски, олигохеты, пиявки, ракообразные, личинки комаров-звонцов, поденки, стрекозы, ручейники и условная группа «прочие». Современные исследования позволили расширить список видов по сравнению с предыдущими исследованиями на 45 видов и групп беспозвоночных. Трофический уровень водоема по индексу Шеннона, также как и в случае зоопланктона, можно отнести к мезотрофному. Значение этого индекса указывает на удовлетворительное состояние донного сообщества водохранилища. На примере Правдинского водохранилища можно убедиться, что снижение проточности, по сравнению с речным периодом и наряду с усиливающимся влиянием антропогенных факторов, приводит к возрастанию трофности водоема.

Правдинское водохранилище, зоопланктон, зообентос, индекс Шеннона, сапробность, трофический уровень

Pravdinsk reservoir is one of the unique water ecosystems on the territory of the Kaliningrad region. Due to the hydrological and morphometric features of this water body, various abiotic conditions are formed within its water area, which creates favorable conditions for the development of hydrobiological communities. At present, the catchment area of the reservoir is in the zone of intensive anthropogenic impact. In addition, the reservoir is actively used for recreational fishing. In the Pravdinsk reservoir, there are various conditions for the formation of zooplankton, such as river runoff, sinuosity, dam, thickets of higher aquatic vegetation, which contributes to a large ecological diversity of species. Over the entire study period, 117 species and forms of zooplankton were identified in the Pravdinsk reservoir, belonging to three taxonomic groups: the Rotifera type (31), the Copepoda subclass (38), and the Cladocera hyperorder (48). Compared with the 70-80 years, the list of organisms, taking into account recent changes in taxonomy, was extended to 33 species. The value of the Shannon index is 2.26, which indicates the average degree of complexity of the structure of the zooplankton community, the satisfactory level of its development, and the mesotrophic state of the Pravdinsk reservoir. The total number of species and groups of benthic invertebrate species that were identified in the reservoir over the entire study period was 120 out of 9 systematic groups: mollusks, oligochaetes, leeches, crustaceans, larvae of mosquitoes, bells, dragonflies, caddflies, and the “other” conditional group. Modern research has allowed expanding the list of species in comparison with previous studies by 45 species and groups of invertebrates. The trophic level of the reservoir by the Shannon index, as well as in the case of zooplankton, can be attributed to mesotrophic. The value of this index indicates a satisfactory condition of the bottom community of the reservoir. Using the example of the Pravdinsk reservoir, it can be seen that a decrease in flowage, compared with the river period, along with the increasing influence of anthropogenic factors leads to an increase in the trophicity of the reservoir.

Pravdinsk reservoir, zooplankton, zoobenthos, Shannon index, saprobity, trophic level

ВВЕДЕНИЕ

Любое зарегулирование стока реки приводит к изменению структуры прежней экосистемы вследствие перемены ее гидрологического режима. Фауна гидробионтов, в том числе речные виды зоопланктона и зообентоса заменяются на озерные. Речные виды могут сохраняться или появляться в определенные промежутки времени преимущественно в верхнем бьефе водохранилищ.

Правдинское водохранилище довольно «старое». Оно было образовано на р. Лаве (польск. Лына) в 1926 г., в районе современного г. Правдинска. Площадь водного зеркала водохранилища составляет 4,18 км², средняя глубина – 4,2 м, максимальная глубина зафиксирована в приплотинной части – 12 м, объем водной массы – 21 млн м³ [1]. Коэффициент извилистости русловой части водохранилища достаточно велик. Гидрологические исследования 1980-х гг. показали наличие прямой стратификации в летний период [1, 2]. Водосборная площадь водоема находится в зоне интенсивного антропогенного воздействия. Расширилась площадь сельскохозяйственных угодий, увеличилось число отдыхающих непосредственно на водоеме, застраивается прилегающая территория.

Водохранилище относится к водоемам, используемым для любительского рекреационного рыболовства. Экологическое состояние водоема с момента его возникновения изменилось и нуждается в регулярном мониторинге, что позволит контролировать его рыбохозяйственный статус.

С этой целью кафедра «Ихтиология и экология» ФГБОУ ВО «КГТУ» на протяжении нескольких десятилетий проводит регулярные исследования гидрологического и гидробиологического режимов российской части Лавинского гидрокаскада (Правдинское водохранилище - верхнее, в районе ГЭС-3, и Правдинское водохранилище - нижнее, в районе ГЭС-4). До середины 70-х гг. эта система водохранилищ была включена в энергетическую систему Калининградской области, с 1976 г. обе гидроэлектростанции были законсервированы. В 1999 г. работа ГЭС-3 возобновилась, что сразу отразилось на состоянии экосистемы Правдинского водохранилища.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Материалом для настоящей работы послужили результаты исследований Правдинского водохранилища середины 70-80 гг. прошлого века и 2008-2018 гг. Отбор и обработка проб осуществлялись по общепринятым методикам [3, 4]. Всего было собрано и обработано более 100 зоопланктонных и столько же зообентосных проб [5-7]. Оценка экологического состояния водоема проведена с использованием индекса сапробности в модификации Сладечека, индекса видового разнообразия Шеннона, хирономидного индекса Балушкиной, олигохетного индекса Гуднайта и Уитлея [3, 4]. Видовое богатство оценивалось на основе данных о численности всех обнаруженных видов по индексам Маргалефа, Симпсона и Шеннона. Рассчитан также индекс доминирования Паляя-Ковнацки.

Водохранилище вытянуто в меридиональном направлении и расположено в нижнем течении р. Лавы (рис. 1). Донные отложения невелики. В центральной части они представлены серыми илами, на мелководных участках иловые отложения незначительны и представлены в основном заиленным песком, ракушечником и растительными остатками [1]. В последние несколько лет в русловой части нижнего участка отмечается увеличение слоя сапропели и доли черных илов на глубоководных участках.

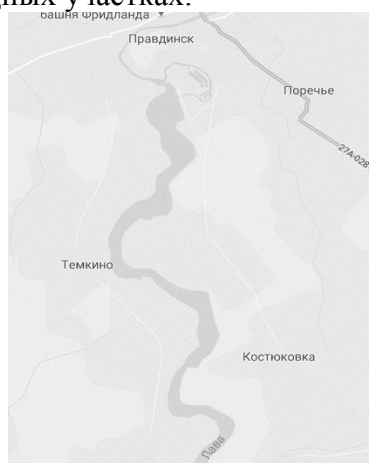


Рис. 1. Карта-схема Правдинского водохранилища
Fig. 1. Schematic map of the Pravdinsk reservoir

В прибрежных районах отмечены участки высшей водной растительности, содержащие камыш, рогоз, тростник, иногда аир, рдесты, земноводную гречиху и некоторые другие виды растений.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Зоопланктон

В Правдинском водохранилище имеются разнообразные условия для формирования зоопланктона, такие как речной сток, извилистость, плотина, заросли высшей водной растительности, что способствует большому экологическому разнообразию видов. За весь период исследования в Правдинском водохранилище было идентифицировано 117 видов и форм зоопланктона, относящихся к трем таксономическим группам: тип *Rotifera* (коловратки) (31), подкласс *Copepoda* (веслоногие рачки) (38) и надотряд *Cladocera* (ветвистоусые рачки) (48). По сравнению с исследованиями, проведенными в 70-80 гг. прошлого века, список организмов с учетом последних изменений в систематике был расширен на 33 вида. Видовой состав зоопланктона представлен в табл. 1.

Таблица 1. Видовой состав зоопланктона Правдинского водохранилища [1, 8, наст. исследования]

Table 1. Species composition of the zooplankton of the Pravdinsk reservoir [1, 8, crust. research]

№ п/п	Название вида	№ п/п	Название вида
Тип <i>Rotifera</i>			
1	<i>Asplanchna herricki</i> (Guerne, 1888)	17	<i>Filinia teminalis</i> (Plate, 1886)
2	<i>Asplanchna priodonta</i> (Gosse, 1850)	18	<i>Kellicottia longispina</i> (Kellicott, 1879)
3	<i>Asplanchna</i> sp. (Gosse, 1850)	19	<i>Keratella cochlearis</i> (Gosse, 1851)
4	<i>Brachionus angularis</i> (Gosse, 1851)	20	<i>Keratella quadrata</i> (Müller, 1786)
5	<i>Brachionus calyciflorus</i> (Pallas, 1766)	21	<i>Lecane luna</i> (Müller, 1776)
6	<i>Brachionus calyciflorus spinosus</i> (Pallas, 1766)	22	<i>Lecane lunaris</i> (Ehrenberg 1832)
7	<i>Brachionus diversicornis</i> (Daday, 1883)	23	<i>Mytilina ventralis</i> (Ehrenberg 1832)
8	<i>Brachionus quadridentatus</i> (Kertész, 1894)	24	<i>Platyias quadricornis</i> (Ehrenberg 1832)
9	<i>Brachionus rubeus</i> (Ehrenberg 1838)	25	<i>Polyarthra</i> sp. (Ehrenberg 1834)
10	<i>Brachionus</i> sp. (Pallas, 1766)	26	<i>Polyarthra dolichoptera</i> (Idelson, 1925)
11	<i>Brachionus urceus</i> (Linnaeus, 1758)	27	<i>Polyarthra luminosa</i> (Kutikova, 1962)
12	<i>Cephalodella</i> sp. (Müller, 1786)	28	<i>Proales daphnicola</i> (Thompson, 1892)
13	<i>Conochilus hippocrepis</i> (Schränk, 1803)	29	<i>Synchaeta pectinata</i> (Ehrenberg 1832)
14	<i>Euchlanis dilatata</i> (Ehrenberg 1830)	30	<i>Trichocerca longiseta</i> (Schränk, 1802)
15	<i>Filinia longiseta</i> (Ehrenberg 1834)	31	<i>Trichocerca</i> sp. (Lamarck, 1801)
16	<i>Filinia major</i> (Colditz, 1914)		
Надотряд <i>Cladocera</i>			
1	<i>Acroperus harpae</i>	25	<i>Eubosmina coregoni</i>
2	<i>Alona affinis</i>	26	<i>Eurucercus lamellus</i>
3	<i>Alona costata</i>	27	<i>Graptoleberis testudinaria</i>
4	<i>Alona guttata</i>	28	<i>Ilyocryptus agilis</i>
5	<i>Alona quadrangularis</i>	29	<i>Kurzia latissima</i>
6	<i>Alona rectangula</i>	30	<i>Leptodora kindtii</i>
7	<i>Alona</i> sp.	31	<i>Leydigia leydigi</i>
8	<i>Alona weltneri</i>	32	<i>Limnoscidea frontosa</i>
9	<i>Alonella exigua</i>	33	<i>Macrothrix hirsuticornis</i>

Окончание табл. 1

№ п/п	Название вида	№ п/п	Название вида
10	<i>Alonella nana</i>	34	<i>Macrothrix laticornis</i>
11	<i>Alonella</i> sp.	35	<i>Macrothrix</i> sp.
12	<i>Bosmina longirostris</i>	36	<i>Moina brachiata</i>
13	<i>Ceriodaphnia affinis</i>	37	<i>Oxyurella tenuicaudis</i>
14	<i>Ceriodaphnia laticoida</i>	38	<i>Peracantha truncata</i>
15	<i>Ceriodaphnia pulchella</i>	39	<i>Pleuroxus aduncus</i>
16	<i>Ceriodaphnia quadrangula</i>	40	<i>Pleuroxus</i> sp.
17	<i>Ceriodaphnia reticulata</i>	41	<i>Pleuroxus trigonellus</i>
18	<i>Ceriodaphnia setosa</i>	42	<i>Pleuroxus truncatus</i>
19	<i>Ceriodaphnia</i> sp.	43	<i>Pleuroxus uncinatus</i>
20	<i>Chydorus sphaericus</i>	44	<i>Polyphemus pediculus</i>
21	<i>Daphnia cristata</i>	45	<i>Scapholeberis mucronata</i>
22	<i>Daphnia cucullata</i>	46	<i>Sida crystallina</i>
23	<i>Diaphanosoma brachyurum</i>	47	<i>Simocephalus vetulus</i>
24	<i>Disparalona rostrata</i>	48	<i>Tretocephala ambigua</i>
Подкласс Соперода			
1	<i>Acanthocyclops languidoides</i>	20	<i>Eudiaptomus graciloides</i>
2	<i>Acanthocyclops languidus</i>	21	<i>Eudiaptomus</i> sp.
3	<i>Acanthocyclops vernalis</i>	22	<i>Harpacticoida</i> sp.
4	<i>Cyclops abyssorum</i>	23	<i>Macrocyclops albidus</i>
5	<i>Cyclops kolensis</i>	24	<i>Megacyclops gigas</i>
6	<i>Cyclops lacustris</i>	25	<i>Megacyclops</i> sp.
7	<i>Cyclops scutifer</i>	26	<i>Megacyclops viridis</i>
8	<i>Cyclops</i> sp.	27	<i>Mesocyclops leuckarti</i>
9	<i>Cyclops strenuus</i>	28	<i>Paracyclops affinis</i>
10	<i>Cyclops vicinus</i>	29	<i>Paracyclops fimbriatus</i>
11	<i>Diacyclops bicuspidatus</i>	30	<i>Paracyclops</i> sp.
12	<i>Diacyclops</i> sp.	31	<i>Thermocyclops dybowakii</i>
13	<i>Eucyclops lilljeborgi</i>	32	<i>Thermocyclops oithonoides</i>
14	<i>Eucyclops macruroides</i>	33	<i>Thermocyclops crassus</i>
15	<i>Eucyclops macrurus</i>	34	Копеподид <i>Calanoida</i>
16	<i>Eucyclops serrulatus</i>	35	Копеподид <i>Cyclopoida</i>
17	<i>Eucyclops</i> sp.	36	Науплиус <i>Calanoida</i>
18	<i>Eucyclops speratus</i>	37	Науплиус <i>Cyclopoida</i>
19	<i>Eudiaptomus gracilis</i>	38	Науплиус <i>Harpacticoida</i>

Большинство из приведенного списка - космополиты. Среди них имеются виды, характерные для пелагиали озер. Они сосредоточены в основном в приплотинной части водохранилища – 26 видов. Реофильных видов меньше – 17.

Пелагический комплекс зоопланктона водохранилища включает ветвистоусых *Daphnia cucullata*, *Leptodora kindtii*, *Eubosmina coregoni* и др.; веслоногих ракообразных *Mesocyclops leuckarti*, *Eudiaptomus graciloides* и др.

Извилистость русловой части Правдинского водохранилища способствует развитию высшей водной растительности на мелководных участках, как уже упоминалось выше, и создает условия для развития зарослевых форм ветвистоусых ракообразных. Они представлены такими, как *Acroperus harpae*, *Peracantha truncata*, *Sida crystallina*, *Polyphemus pediculus* и др. Среди придонных видов стоит отметить ветвистоусых *Graptoleberis testudinaria*, *Alona rectangula*, и веслоногих *Paracyclops fimbriatus*.

Основу зоопланктонного сообщества Правдинского водохранилища составляют виды, относящиеся к широко распространённому евроазиатскому фаунистическому комплексу, а также неревизованные широко распространённые. Кроме того, в зоопланктоне водоема присутствуют циркумарктические виды – *Kurzia latissima*, *Kellicottia longispina* и виды южного теплолюбивого комплекса – *Tretocephala ambigua*, *Brachionus diversicornis*, но их доля невелика [9].

Значение индекса видового разнообразия Маргалефа для зоопланктона Правдинского водохранилища составило 10,7, что соответствует среднему уровню видового богатства.

Значение индекса Симпсона в сезонном и межгодовом аспектах – 0,21. Оно указывает на невозможность выделения какой-либо группы видов, или нескольких видов в зоопланктоне, как доминирующих. По значению индекса доминирования Паляя-Ковнацки большинство видов являются второстепенными, в том числе и субдоминанты, поскольку их индекс также близок к второстепенным (*Bosmina longirostris*, *Daphnia cucullata*, *Asplanchna priodonta*, *Brachionus calyciflorus*, *Keratella quadrata* и некоторые другие).

Величина индекса Шеннона – 2,26, указывает на среднюю степень сложности структуры зоопланктонного сообщества, удовлетворительный уровень его развития и мезотрофное состояние Правдинского водохранилища.

Основу численности биомассы зоопланктона составляют виды надотряда *Cladocera* (62 и 71 % соответственно) (рис. 2).

Среди них по численности лидируют *Daphnia cucullata*, *Bosmina longirostris* и *Diaphanosoma brachyurum*, имея 28 и 21 % по численности и биомассе, соответственно.

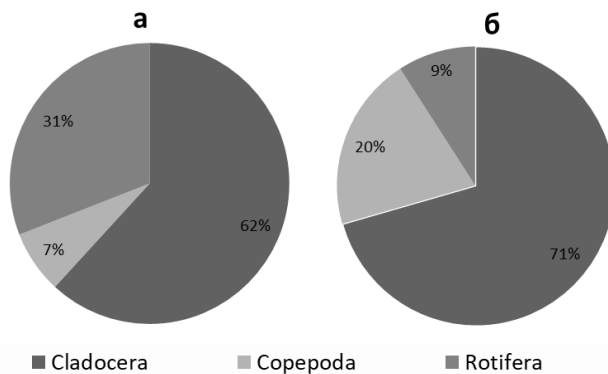


Рис. 2. Структура зоопланктонного сообщества Правдинского водохранилища:

а – по численности, %; б – по биомассе, %

Fig. 2. Structure of the zooplankton community of the Pravdinsk reservoir:

а – in numbers, %; б – by biomass, %

Второй по обилию группой являются коловратки (31 %), среди которых по численности и биомассе преобладают *Asplanchna priodonta*, *Brachionus calyciflorus* и *Keratella quadrata* (более 45%). Видовое разнообразие коловраток снижается с нарастанием глубины к центральной части водохранилища, с 31 до 17, при сохранении доминирующего комплекса. Доля коловраток возрастает в открытой зоне до 70 %.

У веслоногих ракообразных по численности и биомассе преобладают виды: *Mesocyclops leuckarti*, *Acanthocyclops vernalis*, а также науплиальные стадии развития *Cyclopoidea*.

Концентрация зоопланктона Правдинского водохранилища за время исследований изменялась в широких пределах, от нескольких экземпляров до 29100 экз./м³, диапазон изменения биомассы менее широк - от 0,001 до 214,39 мг/м³. Согласно классификации С.П. Китаева [10] по усредненным значениям биомассы зоопланктона Правдинское водохранилище можно отнести к α-мезотрофным водоемам, как и по индексу Шеннона.

Зообентос

Общее число видов и групп видов бентосных беспозвоночных, которые были идентифицированы в Правдинском водохранилище за весь период исследований, составило 120 из 9 систематических групп (табл. 2): моллюски (тип *Mollusca*), олигохеты (п/кл. *Oligochaeta*), пиявки (п/кл. *Hirudinea*), ракообразные (кл. *Crustacea*), личинки комаров-звонцов (сем. *Chironomidae*), поденки (отр. *Ephemeroptera*), стрекозы (отр. *Odonata*), ручейники (отр. *Trichoptera*) и условная группа «прочие». Современные исследования позволили расширить список видов по сравнению с предыдущими исследованиями на 45 видов и групп бентосных беспозвоночных. Видовой состав зоопланктона представлен в табл. 2.

Таблица 2. Видовой состав зообентоса Правдинского водохранилища [1, 8, наст. исследования]

Table 2. Species composition of the zoobenthos of the Pravdinsk reservoir [1, 8, crust. research]

№ п/п	Название вида	№ п/п	Название вида
Сем. <i>Chironomidae</i>			
1	<i>Ablabesmyia monilis</i>	25	<i>Polypedilum breviantennatum</i>
2	<i>Chironomus cingulatus</i>	26	<i>Polypedilum scalaenum</i>
3	<i>Chironomus plumosus</i>	27	<i>Polypedilum</i> sp.
4	<i>Chironomus dorsalis</i>	28	<i>Procladius choreus</i>
5	<i>Chironomus</i> sp.	29	<i>Procladius ferrugineus</i>
6	<i>Clinotanytus nervosus</i>	30	<i>Stenochironomus</i> sp.
7	<i>Cricotopus algarum</i>	31	<i>Tanytarsus mancus</i>
8	<i>Cryptochironomus</i> sp.	32	<i>Tanytarsus lobatifrons</i>
9	<i>Cryptochironomus</i> gr. <i>conjugens</i>	33	<i>Tanytarsus gregarius</i>
10	<i>Cryptochironomus</i> gr. <i>anomalus</i>	34	<i>Paratanytarsus lauterbornii</i>
11	<i>Cryptochironomus</i> gr. <i>pararostratus</i>	35	<i>Chironomus plumosus</i> f. <i>semireductus</i>
12	<i>Cryptochironomus defectus</i>	36	<i>Sergentia</i> gr. <i>longiventris</i>
13	<i>Dicrotendipes tritonus</i>	37	<i>Syndiamesa</i> gr. <i>nivosa</i>
14	<i>Dicrotendipes nervosus</i>	38	<i>Cricotopus biformis</i>
15	<i>Endochironomus albipennis</i>	39	<i>Cricotopus</i> gr. <i>silvestris</i>
16	<i>Endochironomus dispar</i>	40	<i>Eukiefferiella</i> sp.
17	<i>Endochironomus tendens</i>	41	<i>Micropsectra praecox</i>
18	<i>Binfeldia</i> ex gr. <i>carbonaria</i>	42	<i>Microtendipes chloris</i>
19	<i>Glyptotendipes glaucus</i>	43	<i>Tanytus vilipennis</i>
20	<i>Glyptotendipes gripekoveni</i>	44	<i>Procladius</i> sp.
21	<i>Microtendipes pedellus</i>	45	<i>Anatopynia plumipes</i>
22	<i>Paratendipes albimanus</i>	46	<i>Polypedilum exectua</i>
23	<i>Polypedilum convictum</i>	47	<i>Tanytus punctipennis</i>

Окончание табл. 2

№ п/п	Название вида	№ п/п	Название вида
24	<i>Polypedilum nubeculosum</i>		
Кл. Crustacea			
1	<i>Asellus aquaticus</i>		
Отр. Ephemeroptera			
1	<i>Caenis horaria</i>	2	<i>Caenis macrura</i>
П/кл. Hirudinea			
1	<i>Erpobdella nigricollis</i>	5	<i>Batracobdella paludosa</i>
2	<i>Erpobdella octoculata</i>	6	<i>Glossiphonia complanata</i>
3	<i>Piscicola geometra</i>	7	<i>Glossiphonia heteroclita</i>
4	<i>Erpobdella sp.</i>	8	<i>Helobdella stagnalis</i>
Тип Mollusca			
1	<i>Anisus vortex</i>	15	<i>Lymnaea intermedia</i>
2	<i>Amesoda solida</i>	16	<i>Musculium sp.</i>
3	<i>Radix ovata</i>	17	<i>Physa fontinalis</i>
4	<i>Ancylus sp.</i>	18	<i>Planorbis corneus</i>
5	<i>Pseudoanadonta sp.</i>	19	<i>Pisidium amnicum</i>
6	<i>Gyraulus crista</i>	20	<i>Pisidium sp.</i>
7	<i>Anodonta stagnalis</i>	21	<i>Sphaerium rivicola</i>
8	<i>Bithynia tentaculata</i>	22	<i>Sphaerium corneum</i>
9	<i>Borysthenia naticina</i>	23	<i>Sphaerium sp.</i>
10	<i>Dreissena polymorpha</i>	24	<i>Unio pictorum</i>
11	Euglesidae	25	<i>Valvata sp.</i>
12	<i>Lithoglyphus naticoides</i>	26	<i>Valvata depressa</i>
13	<i>Lymnaea glutinosa</i>	27	<i>Valvata piscinalis</i>
14	<i>Lymnaea glabra</i>	28	<i>Viviparus viviparus</i>
Отр. Odonata			
1	<i>Coenagrion pulchellum</i>	5	<i>Erythromma najas</i>
2	<i>Coenagrion sp.</i>	6	<i>Ischnura pumilio</i>
3	Coenagrionidae	7	<i>Orthetrum cancellatum</i>
4	<i>Enallagma cyathigerum</i>	8	<i>Platycnemis pennipes</i>
П/кл. Oligochaeta			
1	<i>Isochaetides michaelsoni</i>	7	<i>Potamothenia moldaviensis</i>
2	<i>Limnodrilus claparedeanus</i>	8	<i>Potamothenia sp.</i>
3	<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i>	9	<i>Psammoryctides albicola</i>
4	<i>Limnodrilus sp.</i>	10	<i>Stylaria lacustris</i>
5	<i>Ophidonais serpentina</i>	11	<i>Oligochaeta sp.</i>
6	<i>Potamothenia hammoniensis</i>	12	<i>Tubifex tubifex</i>
Отр. Trichoptera			
1	<i>Cynurus flavidus</i>	4	<i>Polycentropus flavomaculatus</i>
2	<i>Mystacides longicornis</i>	5	Куколка ручейника
3	<i>Phryganea bipunctata</i>		
Группа «прочие»			
1	Ceratopogonidae	6	<i>Paraponyx sp.</i>
2	Corixidae	7	<i>Sialis lutaria</i>
3	<i>Micronecta sp.</i>	8	<i>Hydracarina sp.</i>
4	<i>Microvelia pygmaea</i>	9	<i>Chaoborus sp.</i>
5	Nematoda sp.		

Наибольшим видовым разнообразием выделялись сем. *Chironomidae* (47 видов/таксонов), тип *Mollusca* (28) и п/кл. *Oligochaeta* (12).

Высокое, по сравнению с другими таксономическими группами, видовое разнообразие комаров-звонцов закономерно для многих водоемов Северо-Запада Европы и Европейской части России.

Морфометрические и гидрологические особенности водоема, а также неодинаковый уровень антропогенной нагрузки на различные части водохранилища формируют множество биотопов вдоль берега, способствуя развитию большого числа видов зообентоса, среди которых отмечаются фитофильные, псамофильные и реофильные виды.

Практически все виды зообентоса, отмеченные в водохранилище, найдены в прибрежной зоне. По численности преобладают личинки комаров-звонцов (более 60 %), как и по результатам более ранних исследований XX в. Массовое развитие получают следующие виды комаров-звонцов: *Microtendipes pedellus*, *Glyptotendipes glaucus*, *Glyptotendipes gripekoveni*, *Polypedilum convictum* и *Polypedilum nubeculosum*.

В предыдущие годы, кроме указанных видов, большой численности достигали *Dicrotendipes nervosus*, *Cryptochironomus defectus*.

Развитие малощетинковых червей в прибрежной части водоема значительно ниже, чем в центральной.

Видовой состав зообентоса русловой части водохранилища принципиально такой же, как и в прибрежной.

Основой формирующего комплекса видов русловой части на протяжении всего периода исследования были личинки хирономид и олигохеты. Изменения численности и биомассы зообентоса зависят от динамики популяций видов из этих двух групп.

Расчет индексов Маргалефа (12,0), Симпсона (0,07) и Шеннона (2,4) показал, что, как и в случае с зоопланктоном, зообентос водоема отличается средним видовым богатством. Доминирование между видами в пределах определенных таксономических группировок явно не выражено. По индексу Симпсона доля почти всех видов, за редким исключением, не превышает 1 %.

Трофический уровень водоема по индексу Шеннона, как и в случае зоопланктона, можно отнести к мезотрофному. Значение этого индекса указывает на удовлетворительное состояние донного сообщества водохранилища.

По индексу доминирования Паляя-Ковнацки большинство видов относится к второстепенным, за исключением двустворчатого моллюска *Dreissena polymorpha*, которого можно отнести к субдоминантам. Однако и его индекс немногим превышает индекс второстепенных видов.

Основу зообентоса Правдинского водохранилища по численности и биомассе составляют представители типа *Mollusca* (38 % и 97 % соответственно) (рис. 3). В видовом отношении это *Dreissena polymorpha*.

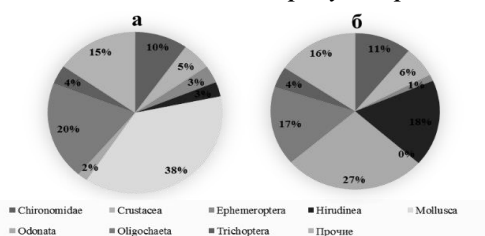


Рис. 3. Структура зообентосного сообщества Правдинского водохранилища:

а – по численности, %; б – по биомассе (без учета доли моллюсков), %

Fig. 3. Structure of the zoobenthos community of the Pravdinsk reservoir:

a – in numbers, %; b – by biomass (excluding the share of mollusks), %

Среди других бентосных организмов по численности лидировали представители п/кл. *Oligochaeta* (*Limnodrilus claparedeanus* (12%) и *Limnodrilus hoffmeisteri* (6 %)).

По биомассе более 90 % принадлежало моллюскам. Кроме вида *Dreissena polymorpha*, среди них выделялись и доминировали *Anodonta stagnalis* и *Unio pictorum*.

Без моллюсков по биомассе преобладают личинки комаров-звонцов, вислоккрылок и пиявки. Многочисленные хирономиды лишь немного уступают по биомассе редким, но более крупным пиявкам и вислоккрылкам. Относительно большую долю биомассы формировали представители отр. *Odonata* - *Libellula sp.* (19,6 %) и сем. *Chironomidae* - *Chironomus dorsalis* (17,6 %).

В центральной части водохранилища более 60% численности и биомассы зообентоса формируют олигохеты. Среди хирономид здесь преобладают представители рода *Chironomus*.

Рамки изменения численности зообентоса Правдинского водохранилища в исследуемый период находились между 0,005 и 1,5 тыс. экз./м², диапазон изменения биомассы менее широк - от 0 до 638,48 г/м².

Настоящие исследования показали, что среди организмов зоопланктона Правдинского водохранилища сапробная валентность известна для 90% видов, что позволило провести оценку экологического состояния толщи воды. По разнообразию и численности преобладают β-мезосапробы. Значение индекса сапробности в модификации Сладечека колебалось между 1,5-2,0 баллами.

Среди донных беспозвоночных виды с известной сапробной валентностью составили 76 %, что позволяет определить качество придонных слоев воды. Преобладали также виды β-мезосапробы, в центральной и приплотинной частях водохранилища выше разнообразие и численность α-мезосапробов. Показатель индекса сапробности в модификации Сладечека по донным организмам в прибрежных районах редко превышал 2,5 балла, а в центральной части изменялся от 2,5 до 3,4.

Значение индекса Пантле и Букка для зоопланктонного сообщества - 1,32 характеризует толщу воды как олигосапробную, что хорошо согласуется с данными по оценке количества органического вещества и другими гидрохимическим показателями. Придонные слои воды можно оценить как β-мезосапробные, поскольку значение индекса Пантле и Букка для зообентоса равнялось 2,13, что соответствует умеренному загрязнению.

Олигохетный индекс Гуднайта и Уитлея показывает долю олигохет по отношению к суммарной численности всего зообентоса. По олигохетному индексу – 28,5 % – Правдинское водохранилище (верхнее) в целом находится в хорошем состоянии. В то же время доля олигохет возрастает в направлении от литорали к профундали с 12 до 50 %, что позволяет говорить о сомнительном качестве придонных слоев воды на глубине.

Комбинированный хирономидный индекс Балускиной изменяется в пределах 35-67 единиц. Этот показатель также несколько ниже для прибрежной части водохранилища.

Таким образом, качество воды Правдинского водохранилища по итогам расчета приведенных значений индексов изменяется от умеренно-загрязненного до загрязненного.

ОБСУЖДЕНИЕ

Правдинское водохранилище – один из уникальных водных объектов на территории Калининградской области. Благодаря его гидрологическим и морфометрическим особенностям в пределах акватории формируются различные абиотические условия, что создает благоприятную среду для существования большого количества видов.

В то же время высокие темпы развития хозяйственной деятельности в пределах бассейна водохранилища, такие как развитие туризма, жилая застройка, увеличение сельскохозяйственных площадей влияют на состояние экосистемы. Больше всего это сказывается на состоянии гидробиологического сообщества водоема. Способность отдельных групп гидробионтов реагировать на смену экологических условий Правдинского водохранилища позволяет их использовать для экологического мониторинга.

Зоопланктон водохранилища отличается большим разнообразием видов, однако в основном он состоит из представителей евроазиатского фаунистического комплекса. В нем имеются также некоторые виды циркумарктического фаунистического комплекса, такие как *Kurzia latissima*, *Kellicottia longispina*, которые, несмотря на небольшую долю, могут быть использованы для оценки экологического состояния водоема.

Зообентос Правдинского водохранилища также отличается видовым богатством.

Анализ количественных показателей зоопланктонного и зообентосного сообществ показал отсутствие ярко выраженного доминирования какой-либо таксономической группы, за исключением двустворчатых моллюсков *Dreissena polymorpha*.

Трофический статус Правдинского водохранилища по гидробиологическим показателям 70-80 гг. прошлого века оценивается как олиготрофный [8]. В настоящее время уровень развития зоопланктона и зообентоса более соответствует α -мезотрофному трофическому уровню, что подтверждается расчетными данными по индексу Шеннона.

Следовательно, на примере Правдинского водохранилища можно убедиться, что снижение проточности, по сравнению с речным периодом, наряду с усиливающимся влиянием антропогенных факторов приводит к возрастанию трофности водоема.

На данном этапе в водохранилище наблюдается та степень эвтрофирования, при которой еще сохранено высокое видовое разнообразие зоопланктона и зообентоса, и не изменилась критически структура между отдельными видами и группами организмов. Однако несколько возросла доля малощетинковых червей на глубоководных участках, и увеличился уровень общей концентрации организмов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Рыбохозяйственные исследования Правдинских водохранилищ / рук. В. А. Шкицкий. – Калининград: КТИРПХ, 1983. – 108с.
2. Масюткина, Е. А. Оценка экологического состояния Правдинского

водохранилища по гидробиологическим показателям / Е. А. Масюткина, М. Н. Шibaева, В. Г. Загирова / Водные биоресурсы, аквакультура и экология водоемов: III Балтийский морской форум; междунар. науч. конф. – Калининград: КГТУ, 2015. – С. 172-174.

3. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах // Зообентос и его продукция. – Ленинград: АН СССР ЗИН, 1982. – 33 с.

4. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений / под ред. В. А. Абакумова – Ленинград: Гидрометеиздат, 1983. – 240 с.

5. Определитель пресноводных беспозвоночных Европейской части СССР / под ред. Л. А. Кутиковой, Я. И. Старобогатова. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1977. – 512 с.

6. Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России / под ред. В. Р. Алексеева, С. Я. Цалолихина: в 2 т. – Москва: Товарищество научных изданий КМК, 2010. – Т. 1. Зоопланктон. – 495 с.

7. Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий / под ред. С. Я. Цалолихина: в 6 т. – Санкт-Петербург: Наука, 2004. – 512 с.

8. Цыбалева, Г. А. Зоопланктон и зообентос Правдинского водохранилища (по данным 1979 г.) / Г. А. Цыбалева // Состояние кормовой базы и питание рыб во внутренних водоемах: сб. науч. тр. КТИ, 1981. – Вып. 173. – С. 56-63.

9. Котов, А. А. Фаунистические комплексы Cladocera (Crustacea, Branchiopoda) Восточной Сибири и Дальнего Востока России / А. А. Котов // Зоологический журнал. – 2016. – Т. 95, № 7. – С. 748–768.

10. Китаев, С. П. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов / С. П. Китаев; Карельский науч. центр Российской академии наук, Ин-т биологии. – Петрозаводск: Карельский науч. центр РАН, 2007. – 394 с.

REFERENCES

1. Shkicky V. A. *Rybokhozyaystvennyye issledovaniya Pravdinskikh vodokhranilishch* [Fisheries research of the Pravdinsk reservoirs]. Kaliningrad, KTIRPKH, 1983, 108 p.

2. Masyutkina E. A., Shibaeva M. N., Zagirova V. G. *Otsenka ekologicheskogo sostoyaniya Pravdinskogo vodokhranilishcha po gidrobiologicheskim pokazatelyam* [Assessment of the ecological status of the Pravdinsk reservoir based on hydrobiological indicators]. *III Baltiyskiy morskoy forum. Mezhdunarodnaya nauchnaya konferentsiya "Vodnye bioresursy, akvakultura i ekologiya vodoemov"* [III Baltic Maritime Forum. International scientific conference "Aquatic bioresources, aquaculture and ecology of reservoirs"]. Kaliningrad, 2015, pp. 172-174.

3. *Metodicheskie rekomendatsii po sboru i obrabotke materialov pri gidrobiologicheskikh issledovaniyakh na presnovodnykh vodoemakh* [Guidelines for the collection and processing of materials for hydrobiological studies in freshwater bodies]. Leningrad, AN SSSR ZIN, 1982, 33 p.

4. Abakumova V. A. *Rukovodstvo po metodam gidrobiologicheskogo analiza poverkhnostnykh vod i donnykh otlozheniy* [Guidance on methods of hydrobiological analysis of surface water and bottom sediments]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1983, 240 p.
5. *Opredelitel presnovodnykh bespozvonochnykh Evropeyskoy chasti SSSR* [Identification guide to freshwater invertebrates of the European part of the USSR]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1977, 512 p.
6. *Opredelitel zooplanktona i zoobentosa presnykh vod Evropeyskoy Rossii. Tom 1. Zooplankton* [Identification Guide to zooplankton and zoobenthos in freshwater of European Russia. Vol. 1 Zooplankton]. Moscow, Tovarishestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2010, 495 p.
7. *Opredelitel presnovodnykh bespozvonochnykh Rossii i sopredelnykh territoriy* [Identification guide to freshwater invertebrates in Russia and adjacent territories]. Saint-Petersburg, Nauka, 2004, 512 p.
8. Tsybaleva G. A. Zooplankton i zoobentos Pravdinskogo vodokhranilishcha [Zooplankton and zoobenthos of the Pravdinsk reservoir]. *Trudy KTI. "Sostoyanie kormovoy bazy i pitanie ryb vo vnutrennikh vodoemakh"* [Proceedings of KTI. "The state of food supply and nutrition of fish in inland waters"]. Kaliningrad, 1981, pp. 56-63.
9. Kotov A. A. Faunisticheskie komplekсы Cladocera (Crustacea, Branchiopoda) Vostochnoy Sibiri i Dalnego Vostoka Rossii [Faunistic complexes Cladocera (Crustacea, Branchiopoda) of Eastern Siberia and the Far East of Russia]. *Zool. zhurn.*, 2016, no. 95 (7), pp. 748-768.
10. Kitaev S. P. *Osnovy limnologii dlya gidrobiologov i ikhtiologov* [Basics of limnology for hydrobiologists and ichthyologists]. Petrozavodsk, Karelskiy nauch. tsentr RAN, 2007, 394 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

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

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

Кривоускова Екатерина Владимировна – Калининградский государственный технический университет; ведущий инженер кафедры «Ихтиология и экология»; E-mail: katekrivopuskova@gmail.com

Krivopuskova Ekaterina Vladimirovna – Kaliningrad State Technical University; Leading Engineer of the Department of Ichthyology and Ecology; E-mail: katekrivopuskova@gmail.com;

Масюткина Елена Андреевна – Калининградский государственный технический университет; кандидат биологических наук, ведущий инженер кафедры «Ихтиология и экология»

Masyutkina Elena Andreevna – Kaliningrad State Technical University; PhD in Biological Sciences, Leading Engineer of the Department of Ichthyology and Ecology

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

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

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

УДК 664.9.022

РАСЧЕТ ДЕФОРМАЦИОННОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ КОЭФФИЦИЕНТА
ТРЕНИЯ ШЕРОХОВАТОЙ ПОВЕРХНОСТИ НОЖА ПРИ РЕЗАНИИ РЫБЫ

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

ESTIMATION OF DEFORMATION COMPONENT OF FRICTION COEFFICIENT
OF ROUGH KNIFE SURFACE DURING FISH CUTTING

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

Показана актуальность разработки расчетной методики для определения деформационной составляющей коэффициента трения при резании рыбы. Мышечная ткань сырья представлена вязкоупругой реологической моделью Максвелла-Томсона. Форма шероховатой поверхности ножа описана периодической однопараметрической функцией, содержащей одну гармонику. На основе моделей для деформационной силы трения и силы нормального контактного давления на переднюю наклонную грань получено выражение для деформационной составляющей коэффициента трения, а также его приведенной величины, являющихся не-монотонными функциями безразмерной скорости резания. При скоростях резания, стремящихся к нулю или бесконечности, указанный коэффициент стремится к нулю, что соответствует решению задачи для абсолютно упругого материала. При заданной безразмерной скорости деформационная составляющая коэффициента трения монотонно возрастает с повышением меры эластичности и безразмерной половинной толщины ножа, причем при определенных величинах безразмерной скорости имеются явно выраженные максимумы. При значениях меры эластичности 5, безразмерной половинной толщины ножа 50; 100; 150; 200 максимумы деформационной составляющей коэффициента трения равны 0,00426; 0,00851; 0,01277; 0,01703. При безразмерной половинной толщине ножа 100 меры эластичности 2; 5; 8; 12 величины максимумов указанной составляющей 0,00485; 0,00851; 0,0107; 0,00125. Результаты моделирования показывают, что зависимость деформационной составляющей коэффициента трения от угла заточки ножа не-существенная. Разработка математических моделей с целью расчета деформационной составляющей коэффициента трения создает практическую основу для оптимизации геометрии ножа по критерию минимального сопротивления резанию с учетом параметров различного масштаба: макрогеометрической формы режущего органа и микрогеометрической шероховатости его поверхности.

рыба, резание, сила, трение, форма, нож, грань, реология, вязкоупругость

The paper shows the relevance of the development of a calculation method for determining the deformation component of the friction coefficient when cutting fish. The muscle tissue of the raw material has been described by the Maxwell-Thomson viscoelastic rheological model. The shape of the rough surface of the knife has been described by a periodic one-parameter function containing one harmonic component.

Based on the models for the deformation friction force and the force of normal contact pressure on the front inclined edge, an expression for the deformation component of the friction coefficient, as well as its reduced value, has been obtained. The deformation component of this coefficient and its reduced value are non-monotonic functions of the dimensionless cutting speed. At cutting speeds that tend to zero or infinity, this coefficient tends to zero, which corresponds to the solution of the problem for an absolutely elastic material. For a given dimensionless velocity, the deformation component of the friction coefficient increases monotonically with an increase in the measure of elasticity and a dimensionless half thickness of the knife, and at certain values of the dimensionless velocity there are pronounced maxima. When the elasticity measure is 5; dimensionless half the knife thickness- 50; 100; 150; 200, values of the maxima of the deformation component of the friction coefficient are 0.00426; 0.00851; 0.01277; 0.01703, respectively. When the dimensionless half thickness of the knife is 100; elasticity measures- 2; 5; 8; 12, values of the maxima of this component are 0.00485; 0.00851; 0.0107; 0.00125, respectively. The simulation results show that the dependence of the deformation component of the friction coefficient on the angle of sharpening the knife is not significant. The development of mathematical models for calculating the deformation component of the friction coefficient creates a practical basis for optimizing the knife geometry according to the criterion of minimum cutting resistance taking into account parameters of various scales: the macrogeometric shape of the cutting unit and the microgeometric roughness of its surface.

fish, cutting, force, friction, profile, knife, edge, rheology, viscoelasticity

ВВЕДЕНИЕ

Существенное влияние на процесс резания рыбы оказывает сила трения, обусловленная технологической шероховатостью граней ножа. Преодоление указанной силы приводит к затратам энергии вследствие деформационных потерь в поверхностных слоях мышечной ткани, а также адгезии поверхностей. При введении режущей кромки лезвия в мясо рыбы волокна и коллагеновые нити сарколеммы разделяются, а также нарушаются механические связи влаги. При этом происходит выделение капиллярно-удерживаемой влаги на свежесрезанную поверхность мяса. Высвободившаяся влага контактирует с шероховатой поверхностью режущего органа, частично заполняя промежутки между неровностями рельефа и образуя микроскопические мениски. Такой контакт приводит к переходу от сухого трения к режиму внешнего граничного трения, при котором поверхности в некоторых областях разделены микроскопическим жидким слоем.

Граничным является трение двух твердых тел при наличии на поверхности тонкого слоя жидкости. В данном случае имеется значительный положительный градиент механических свойств материала по глубине, а также отсутствуют схватывание (местное соединение двух тел за счет действия межмолекулярных сил) и глубинные вырывы волокон (внутреннее трение) [1]. По этой причине вклад адгезионной составляющей в суммарную силу трения малый, а преобладающей является деформационная составляющая.

Деформационной составляющей коэффициента трения является отношение деформационной силы трения к внешней силе, действующей по нормали к грани ножа. Расчет коэффициента трения пищевых материалов и шероховатой поверх-

ности рабочих органов - актуальное направление исследований в России и за рубежом. В работе [2] установлена экспериментальная зависимость между силой сопротивления волокнистого материала и скоростью движения ножа. В статье [3] проанализировано влияние угла заточки лезвия на параметры указанного процесса. В работе [4] исследовано влияние трения и глубины погружения лезвия на силы сопротивлений при резании вязкоупругих материалов. В статье [5] выполнен теоретико-экспериментальный анализ взаимодействия высокоэластичных сред в процессе деформирования и износа. В работе [6] рассмотрены закономерности трения при обработке пищевых материалов в различных диапазонах скоростей. В статьях [7, 8] описывается численное моделирование трибологических явлений на поверхности раздела эластичных и жестких тел. В работе [9] выполнено конечно-элементное моделирование процесса трения вязкоупругого продукта.

Однако, несмотря на ценность известных публикаций и обширные экспериментальные результаты, в настоящее время недостаточно полно разработан теоретический подход к расчету деформационной составляющей коэффициента трения при резании рыбы.

МАТЕРИАЛ

Выбор реологических моделей мышечной ткани рыбы выполнен по результатам работ [10, 11]. Определены дифференциальные уравнения моделей с их решениями для различных условий нагружения материала. Показано [11], что мышечная ткань рыбы до разрушения проявляет ограниченное течение под нагрузкой, релаксирует при постоянной нагрузке до равновесного состояния, полностью восстанавливается при полной разгрузке. Согласно результатам проведенных экспериментальных испытаний механическому поведению мяса рыбы приближенно соответствует трехэлементная реологическая модель Максвелла–Томсона (стандартное вязкоупругое тело).

МЕТОДЫ

При аналитическом описании регулярного микрорельефа режущего органа с учетом технологических формообразующих факторов и определении силы трения использована физико-технологическая теория неровностей поверхности. Действие указанных факторов при чистовом точении имеет периодический или практически периодический характер, что обусловлено подачей инструмента, оборотами заготовки, самозатачиванием абразивного инструмента и другими условиями. Основа микрорельефа поверхности грани приближенно описана тригонометрическим полиномом и его приведенной величиной, содержащими одну гармонику:

$$f(x) = (A/A_0) \cdot \sin^2(\pi \cdot x/S_0); \quad \bar{f}(x) = \sin^2(\pi \cdot \bar{x}), \quad (1)$$

где S_0 – шаг профиля; A – максимальная высота микровыступа шероховатой поверхности ножа; A_0 – высота приповерхностного слоя материала, деформируемого указанными микровыступами.

При определении внешней реактивной силы, действующей по нормали к наклонной грани, поверхность ножа считается абсолютно гладкой [12]. Резание осуществляется в установившемся режиме, когда горизонтальные волокна мышечной ткани разрушены режущей кромкой и контактируют с наклонными гранями ножа, а также произошло затухание переходных процессов после разруше-

ния. Выражение для вязкоупругой реактивной силы получено путем решения дифференциального уравнения состояния материала с заданными граничными условиями [13, 14].

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИОННОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ

На рис. 1 показана система сил, действующих на нож при резании рыбы в условиях стесненного сжатия со стороны материала [12]: реактивная сила полезного сопротивления при разрушении материала режущей кромкой \vec{P}_1 ; реактивная вязкоупругая сила сопротивления \vec{G}_1 , оказывающая влияние на наклонную грань ножа и разложенная на нормальную составляющую (силу нормального контактного давления на наклонную грань ножа \vec{P}_2) и касательную составляющую (силу сопротивления формы ножа \vec{F}_1); сила трения наклонной грани ножа \vec{F}_2 ; реактивная вязкоупругая сила сопротивления \vec{G}_2 , действующая на боковую грань ножа и совпадающая с силой нормального контактного давления на боковую грань \vec{P}_3 ; сила трения боковой грани ножа \vec{F}_3 ; сила инерции \vec{P}_4 , приложенная к ножу от пришедших в движение масс раздвигаемого материала. Нож преодолевает силы сопротивлений и перемещается в материале с постоянной скоростью под действием движущей силы \vec{Z} .

Математические модели для определения деформационной силы трения и максимальной силы нормального контактного давления позволяют исследовать деформационную составляющую коэффициента трения материала и передней наклонной грани ножа:

$$\mu_d = \frac{F_2}{G_1} = \frac{F_2}{P_2^m} \cdot \cos \alpha, \quad (2)$$

где F_2 – деформационная сила трения, действующая по касательной к поверхности грани; G_1 – вязкоупругая реактивная сила, действующая по нормали к поверхности грани; P_2^m – максимальная сила нормального контактного давления материала на переднюю наклонную грань ножа [12], направленная по нормали к линии движения ножа; α – половинный угол заточки ножа.

Для описания формы микровыступов шероховатой поверхности грани используем модель (1). Определим начальную длину A_0 элементарного волокна, деформируемого периодическим микрорельефом передней наклонной грани ножа. В действительности микровыступами деформируется приповерхностный слой материала, толщина которого в направлении деформации зависит от структурно-механических свойств мышечной ткани рыбы. Будем считать, что при условии стесненного сжатия весь материал находится в напряженном состоянии и слой мышечной ткани в направлении его деформации неровностями шероховатой поверхности грани имеет постоянную толщину. Максимальная толщина слоя в направлении деформации: $A_0^{\max} = l / \cos \alpha$ (в точке O), минимальная

$A_0^{\min} = (l - \delta) / \cos \alpha$ (в точке B). Среднее значение деформируемого слоя при условии стесненного сжатия материала $A_0 = (l - 0,5 \cdot \delta) / \cos \alpha$.

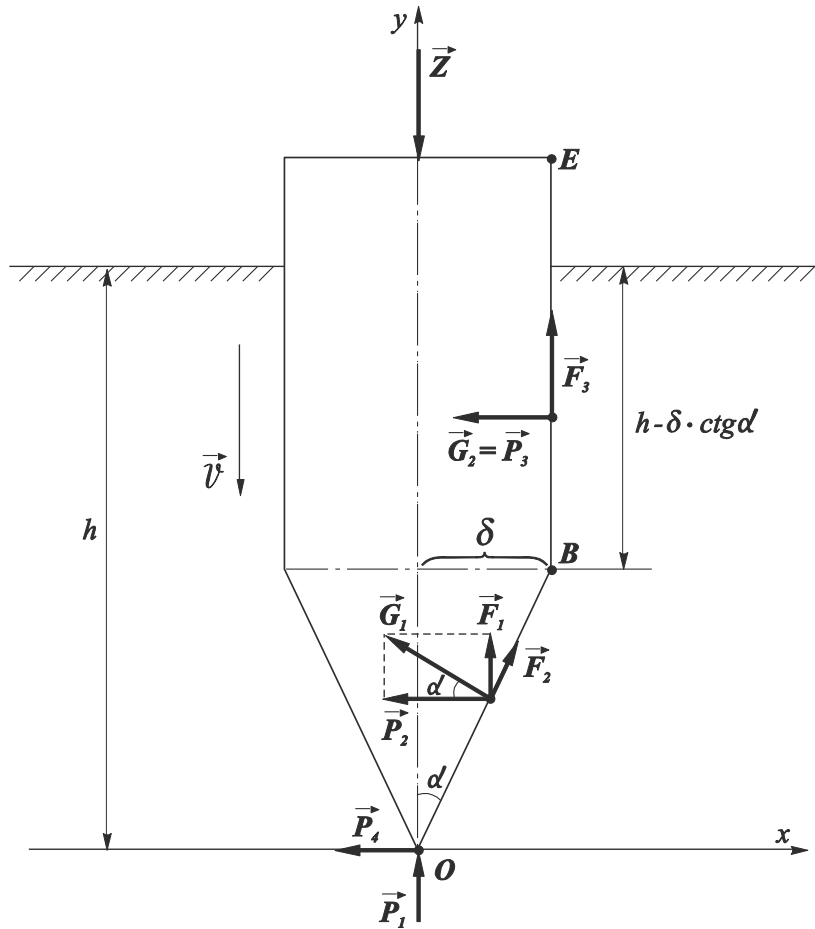


Рис. 1. Система сил, действующих на нож со стороны материала [12]
 Fig. 1. The system of forces acting on the knife from the material side [12]

Тогда выражение для деформационной составляющей коэффициента трения с учетом моделей для деформационной силы трения F_2 и силы нормального контактного давления на переднюю наклонную грань ножа P_2^m имеет вид:

$$\begin{aligned} \mu_d = & \frac{\pi \cdot A^2 \cdot k \cdot l \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha}{(l - 0,5 \cdot \delta) \cdot \delta^2 \cdot [0,5 + \bar{v} \cdot (1 + (\exp(-1/\bar{v}) - 1) \cdot \bar{v}) \cdot e_{01}]} \cdot J_1 \times \\ & \times \left\{ \frac{1}{8\pi} \cdot \left[I_1 \cdot \cos \left(\frac{4\pi \cdot \delta}{S_0 \cdot \sin \alpha} \right) + \pi \cdot e_{01} \cdot S_0 \cdot \sin \left(\frac{4\pi \cdot \delta}{S_0 \cdot \sin \alpha} \right) \right] + \right. \\ & \left. + J_1 \cdot k \cdot S_0 \cdot \left(\vartheta - \frac{2\pi^2}{k} \right) \cdot \sin \left(\frac{2\pi \cdot \delta}{S_0 \cdot \sin \alpha} \right) \cdot \exp \left(k \cdot \frac{\delta}{\sin \alpha} \right) - \right. \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned}
 & -\frac{J_1}{2\pi} \cdot \cos\left(\frac{2\pi \cdot \delta}{S_0 \cdot \sin \alpha}\right) \cdot \left[\left(0,5 \cdot k \cdot S_0^2 + \frac{2\pi^2}{k}\right) \cdot \frac{1}{J_1} + 4\pi^2 \cdot \left(\mathcal{G} - \frac{2\pi^2}{k}\right) \cdot \exp\left(k \cdot \frac{\delta}{\sin \alpha}\right) \right] + \\
 & + \frac{J_1}{2\pi} \cdot \left[\left(0,5 \cdot k \cdot S_0^2 + \frac{2\pi^2}{k}\right) \cdot \frac{1}{J_1} + 4\pi^2 \cdot \left(\mathcal{G} - \frac{2\pi^2}{k}\right) \right] - 0,5 \cdot \pi \cdot e_{01} \cdot \frac{\delta}{\sin \alpha} - \frac{I_1}{8\pi} \Bigg\}, \\
 & \text{где } k = -\frac{E_0 + E_1}{\eta \cdot u}; \quad \xi = \frac{E_0 \cdot E_1}{E_0 + E_1}; \quad \mathcal{G} = \frac{2 \cdot \pi^2 \cdot E_0}{\xi \cdot k} = \frac{2 \cdot \pi^2}{k} \cdot (e_{01} + 1);
 \end{aligned}$$

$e_{01} = E_0/E_1$ – мера эластичности материала; E_0 – мгновенный модуль упругости материала (модуль Юнга); E_1 – высокоэластичный (запаздывающий) модуль упругости; η – коэффициент динамической вязкости; u – скорость скольжения материала по наклонной грани; \bar{v} – безразмерная скорость резания; $\bar{u} = \bar{v}/\cos \alpha$; δ – половинная толщина ножа; l – половинная толщина образца материала; $J_1 = \frac{1}{(4\pi^2 + k^2 \cdot S_0^2)}$; $I_1 = \mathcal{G} + 0,5 \cdot k \cdot S_0^2$.

Из (3) видим, что деформационная составляющая коэффициента трения зависит от микро- и макрогеометрии ножа и является функцией толщины образца материала, половинного угла заточки ножа, половинной толщины ножа; меры эластичности и вязкости материала, скорости резания, формы и высоты микровыступов, а также расстояния между ними. Выразив деформационную составляющую коэффициента трения μ_d через безразмерные силы трения \bar{F}_2 и нормального контактного давления \bar{P}_2^m , получим выражение для приведенной деформационной составляющей коэффициента трения $\bar{\mu}_d$:

$$\mu_d = \frac{A^2 \cdot \xi \cdot l_k \cdot \cos \alpha}{(l - 0,5 \cdot \delta)} \cdot \frac{l \cdot \operatorname{tg} \alpha}{\delta^2 \cdot \xi \cdot l_k} \cdot \frac{\bar{F}_2}{\bar{P}_2^m} \cdot \cos \alpha = \frac{A^2 \cdot l}{(l - 0,5 \cdot \delta) \cdot \delta^2} \cdot \frac{\bar{F}_2}{\bar{P}_2^m} \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha; \quad (4)$$

$$\bar{\mu}_d = \frac{(l - 0,5 \cdot \delta) \cdot \delta^2}{A^2 \cdot l} \cdot \mu_d = \frac{\bar{F}_2}{\bar{P}_2^m} \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha. \quad (5)$$

Подставим в (5) полученные ранее выражения для \bar{F}_2 , \bar{P}_2^m [12] и с учетом обозначений

$$\begin{aligned}
 \bar{u} &= \frac{\bar{v}}{\cos \alpha}; \quad \bar{\delta} = \frac{\delta}{S_0}; \quad x_B = \frac{\delta}{\sin \alpha}; \quad \frac{x_B}{S_0} = \bar{x}_B; \quad \bar{x}_B = \frac{\delta}{S_0 \cdot \sin \alpha} = \frac{\bar{\delta}}{\sin \alpha}; \\
 -\bar{x}_B/\bar{u} &= -\frac{\bar{\delta}}{\sin \alpha} \cdot \frac{\cos \alpha}{\bar{v}} = -\frac{\bar{\delta}}{\bar{v} \cdot \operatorname{tg} \alpha}; \\
 J_1 &= \frac{1}{4\pi^2 + k^2 \cdot S_0^2} = \frac{\bar{u}^2}{4\pi^2 \cdot \bar{u}^2 + 1} = \frac{\bar{v}^2}{4\pi^2 \cdot \bar{v}^2 + \cos^2 \alpha}; \\
 \bar{I}_1 &= -\left(\frac{0,5}{\bar{u}} + 2\pi^2 \cdot \bar{u} \cdot (e_{01} + 1)\right) = -\left(\frac{\cos \alpha}{2 \cdot \bar{v}} + \frac{2\pi^2 \cdot \bar{v} \cdot (e_{01} + 1)}{\cos \alpha}\right)
 \end{aligned} \quad (6)$$

в результате имеем:

$$\begin{aligned} \bar{\mu}_d = \frac{\bar{F}_2}{\bar{P}_2^m} \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha = \frac{J_1 \cdot \sin \alpha \cdot \cos^2 \alpha}{\bar{v} \cdot (0,5 + \bar{v} \cdot e_{01} \cdot (1 + [\exp(-1/\bar{v}) - 1] \cdot \bar{v}))} \times \\ \times \left\{ -0,125 \cdot \left[\bar{I}_1 \cdot \cos \left(\frac{4\pi \cdot \bar{\delta}}{\sin \alpha} \right) + \pi \cdot e_{01} \cdot \sin \left(\frac{4\pi \cdot \bar{\delta}}{\sin \alpha} \right) \right] - \right. \\ \left. - 2\pi^3 \cdot J_1 \cdot e_{01} \cdot \sin \left(\frac{2\pi \cdot \bar{\delta}}{\sin \alpha} \right) \cdot \exp \left(-\frac{\bar{\delta}}{\bar{v} \cdot \operatorname{tg} \alpha} \right) - \right. \\ \left. - 0,5 \cdot \cos \left(\frac{2\pi \cdot \bar{\delta}}{\sin \alpha} \right) \cdot \left[\frac{\cos \alpha}{2 \cdot \bar{v}} + \frac{2\pi^2 \cdot \bar{v}}{\cos \alpha} + \frac{8\pi^4 \cdot J_1 \cdot e_{01} \cdot \bar{v}}{\cos \alpha} \cdot \exp \left(-\frac{\bar{\delta}}{\bar{v} \cdot \operatorname{tg} \alpha} \right) \right] + \right. \\ \left. + 0,5 \cdot \left[\frac{\cos \alpha}{2 \cdot \bar{v}} + \frac{2\pi^2 \cdot \bar{v}}{\cos \alpha} + \frac{8\pi^4 \cdot J_1 \cdot e_{01} \cdot \bar{v}}{\cos \alpha} \right] + 0,5 \cdot \pi^2 \cdot e_{01} \cdot \frac{\bar{\delta}}{\sin \alpha} + 0,125 \cdot \bar{I}_1 \right\}. \end{aligned} \quad (7)$$

РЕЗУЛЬТАТЫ

Разработанные математические модели (3), (7) позволяют варьировать безразмерной скоростью резания, мерой эластичности материала, безразмерной толщиной ножа для исследования зависимостей деформационных составляющих коэффициента трения μ_d , $\bar{\mu}_d$ от указанных параметров. Ниже приведены результаты математического моделирования указанных коэффициентов для модели (1) шероховатой поверхности ножа.

На рис. 2 показаны зависимости деформационной составляющей коэффициента трения и ее приведенной величины от безразмерной скорости резания при различных значениях безразмерной толщины ножа, на рис. 3 – при различных значениях меры эластичности материала. Заметим, что на рис. 2 и 3 шкала оси безразмерной скорости – логарифмическая.

На контурном графике рис. 4 изображены зависимости деформационной составляющей коэффициента трения от безразмерной скорости резания и меры эластичности, на рис. 5 – от безразмерных скорости резания и толщины ножа.

Моделирование выполнено при следующих условиях: $A = 2 \cdot 10^{-5}$ м; $\delta = 0,003 \div 0,012$ м; $l = 0,05$ м; $\alpha = 5 \div 20^\circ$; $S_0 = 6 \cdot 10^{-5}$ м; $\bar{\delta} = \delta/S_0 = 50 \div 200$.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Рисунки 2, 3 демонстрируют, что деформационная составляющая коэффициента трения и его приведенная величина являются немонотонными функциями безразмерной скорости резания. При скоростях резания, стремящихся к нулю или бесконечности, указанный коэффициент и его приведенная величина стремятся к нулю. Деформационная составляющая коэффициента трения существенно возрастает с увеличением безразмерной половинной толщины ножа (рис. 2), а также меры эластичности материала (рис. 3).

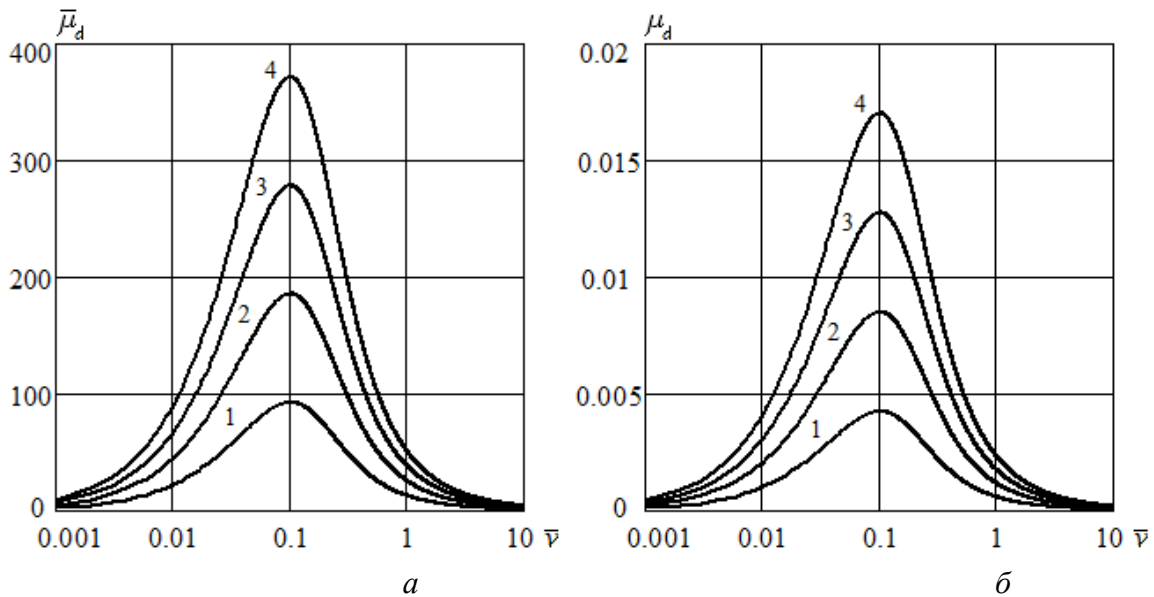


Рис. 2. Зависимости деформационной составляющей коэффициента трения от безразмерной скорости резания при различных значениях безразмерной толщины ножа ($e_{01} = 5$; шкала \bar{v} – логарифмическая):

a – приведенная деформационная составляющая коэффициента трения;

b – деформационная составляющая коэффициента трения;

1 – $\bar{\delta} = 50$; 2 – $\bar{\delta} = 100$; 3 – $\bar{\delta} = 150$; 4 – $\bar{\delta} = 200$

Fig. 2. Dependencies of the deformation friction coefficient on the dimensionless cutting speed for different values of the dimensionless knife thickness

($e_{01} = 5$; scale of \bar{v} – logarithmic):

a – reduced deformation friction coefficient;

b – deformation friction coefficient

Контурные графики на рис. 4, 5 иллюстрируют, что при заданной безразмерной скорости указанная составляющая монотонно возрастает с повышением меры эластичности и безразмерной половинной толщины ножа, причем при определенных значениях безразмерной скорости имеются явно выраженные максимумы.

При значениях меры эластичности 5, безразмерной половинной толщины ножа 50; 100; 150; 200 значения максимумов деформационной составляющей коэффициента трения равны 0,00426; 0,00851; 0,01277; 0,01703. При значениях безразмерной половинной толщины ножа 100, меры эластичности 2; 5; 8; 12 максимумы указанной составляющей: 0,00485; 0,00851; 0,0107; 0,00125. Наряду с этим результаты моделирования показывают, что зависимость деформационной составляющей коэффициента трения от угла заточки ножа несущественная.

Следует отметить, что при определенных формах шероховатой поверхности грани возникает насыщенный контакт материала с неровностями грани, при этом крайняя контактная точка отсутствует: материал контактирует с микровыступом по всей его длине. В частности, отмеченное может происходить в том случае, если микрорельеф на одном периоде состоит из нескольких неровностей. При

насыщенном контакте деформационная составляющая коэффициента трения существенно снижается.

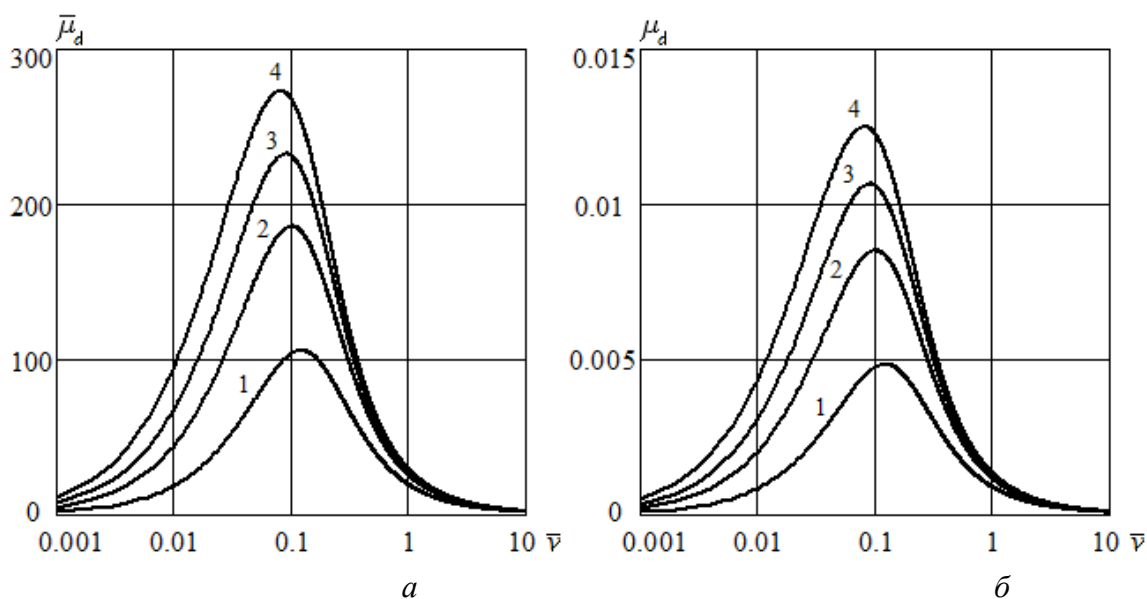


Рис. 3. Зависимости деформационной составляющей коэффициента трения от безразмерной скорости резания при различных значениях меры эластичности материала ($\bar{\delta} = 100$; шкала \bar{v} – логарифмическая):

a – деформационная составляющая коэффициента трения;

\bar{b} – приведенная деформационная составляющая коэффициента трения;

1 – $e_{01} = 2$; 2 – $e_{01} = 5$; 3 – $e_{01} = 8$; 4 – $e_{01} = 12$

Fig. 3. Dependencies of the deformation friction coefficient on the dimensionless cutting speed for different values of the elasticity measure of material

($\bar{\delta} = 100$; scale of \bar{v} – logarithmic):

a – reduced deformation friction coefficient;

\bar{b} – deformation friction coefficient

Кроме того, безразмерная деформационная сила трения является немонотонной функцией безразмерной скорости скольжения. При скоростях скольжения, стремящихся к нулю или бесконечности, деформационная сила трения стремится к нулю. Это соответствует решению задачи для вдавливания микровыступов в упругий материал, который характеризуется длительным модулем упругости ξ . Значение величины силы существенно увеличивается с ростом меры эластичности материала.

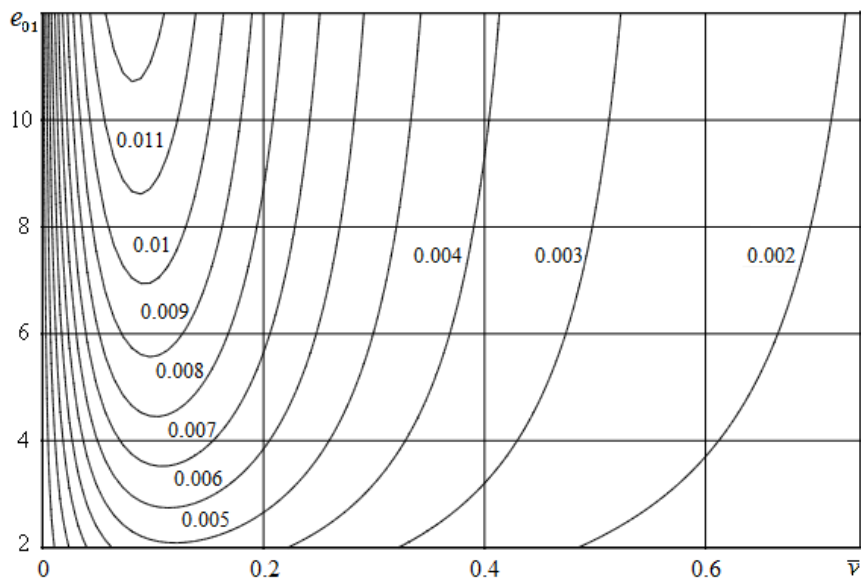


Рис. 4. Зависимости деформационной составляющей коэффициента трения от безразмерной скорости резания и меры эластичности ($\bar{\delta} = 100$)
 Fig. 4. Dependencies of the deformation friction coefficient on the dimensionless cutting speed and elasticity measure ($\bar{\delta} = 100$)

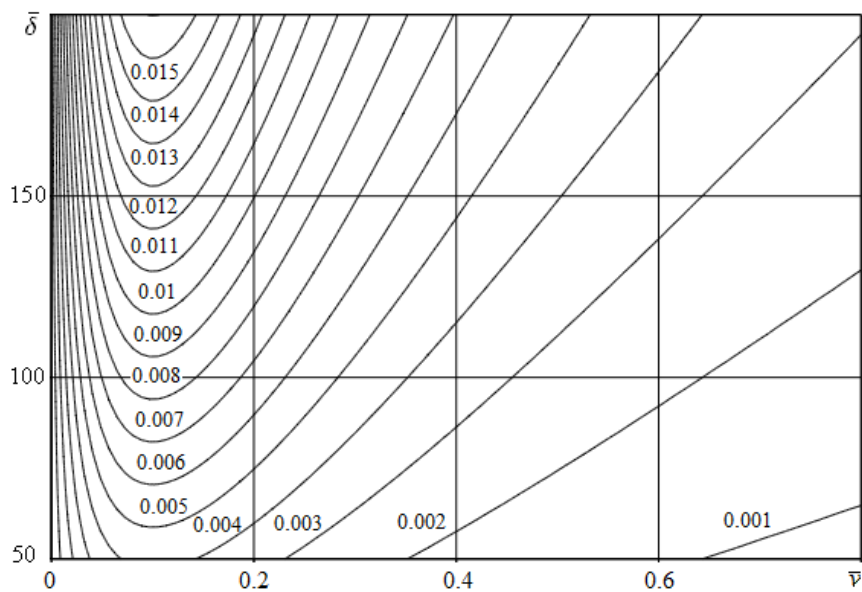


Рис. 5. Зависимости деформационной составляющей коэффициента трения от безразмерной скорости резания и безразмерной толщины ножа ($e_{01} = 5$)
 Fig. 5. Dependencies of the deformation friction coefficient on the dimensionless cutting speed and the dimensionless knife thickness ($e_{01} = 5$)

ВЫВОДЫ

Предложен метод расчета деформационной составляющей коэффициента трения скольжения мышечной ткани рыбы по шероховатой поверхности режуще-

го органа, позволяющий провести анализ влияния различных параметров геометрии ножа и реологических свойств материала на процесс трения.

Разработка математических моделей для расчета указанной составляющей создает практическую основу для оптимизации геометрии ножа по критерию минимального сопротивления резанию с учетом параметров различного масштаба: макрогеометрической формы режущего органа и микрогеометрической шероховатости его поверхности. Установленные зависимости дают возможность научно обоснованно управлять геометрической формой профиля наклонных граней и микронеровностей технологической шероховатости ножа с целью минимизации деформационной силы трения при резании рыбы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Федоров, С. В. К исследованию совместимости трущихся поверхностей / С. В. Федоров // Вестник ВНИИЖТ. – 2016. – Т. 75. – № 5. – С. 283-288.
2. Boisly M., Schuldt S., Kaestner M.G., Schneider Y., Rohm H. Experimental characterisation and numerical modelling of cutting processes in viscoelastic solids. *Journal of Food Engineering*, 2016, no. 191, pp. 1-9.
3. Schuldt S., Arnold G., Kowalewski J., Schneider Y., Rohm H. Analysis of the sharpness of blades for food cutting. *Journal of Food Engineering*, 2016, no. 188, pp. 13-20.
4. Spagnoli A., Brighenti R., Terzano M., Artoni F. Cutting resistance of soft materials: Effects of blade inclination and friction. *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, 2019, no. 101, pp. 200-206.
5. Xiao-Ping Zhou, Liang Fu, Wang Ju, Berto F. An experimental study of the mechanical and fracturing behavior in PMMA specimen containing multiple 3D embedded flaws under uniaxial compression. *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, 2019, no. 101, pp. 207-216.
6. Schuldt S., Schneider Y., Rohm H. High-speed cutting of foods: Cutting behavior and initial cutting forces. *Journal of Food Engineering*, 2018, no. 230, pp. 55-62.
7. Belaasilia Y., Braikat B., Jamal M. High order mesh-free method for frictional contact. *Engineering Analysis with Boundary Elements*, 2017, no. 82, pp. 68-78.
8. Belaasilia Y., Timesli A., Braikat B., Jamal M. A numerical mesh-free model for elasto-plastic contact problems. *Engineering Analysis with Boundary Elements*, 2018, no. 94, pp. 103-112.
9. Pagani M., Perego U. Explicit dynamics simulation of blade cutting of thin elasto-plastic shells using «directional» cohesive elements in solid-shell finite element models. *Computer methods in applied Mechanics and Engineering*, 2015, no. 285, pp. 515-541.
10. Агеев, О. В. Выбор и идентификация реологической модели структурно-механических свойств мышечной ткани рыбы / О. В. Агеев, Ю. А. Фатыхов, Н. В. Самойлова // Известия Калининградского государственного технического университета. – 2018. – № 49. – С. 75-91.
11. Анализ соответствия реологических моделей структурно-механическим свойствам рыбы / О. В. Агеев [и др.] // Научный журнал Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. – 2018. – № 2(36). – С. 34-43. – DOI 10.17586/2310-1164-2018-11-2-34-43.
12. 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.

13. 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. – DOI: 10.17586/2310-1164-2017-10-4-27-42.

14. Математическое моделирование силы сопротивления формы двухкромочного ножа без боковых граней при резании рыбы / О. В. Агеев [и др.] // Известия Калининградского государственного технического университета. – 2019. – № 53. – С. 75-88.

REFERENCES

1. Fedorov S. V. *K issledovaniyu sovmestimosti trushchikhsya poverkhnostey* [To the study of compatibility of rubbing surfaces]. *Vestnik Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta zheleznodorozhnogo transporta*, 2016, vol. 75, no. 5, pp. 283-288.

2. Gik L. A. *Rotatsionnoe rezanie metallov* [Rotary metal cutting]. Kaliningrad, Kaliningradskoe knizhnoe izdatel'stvo, 1990, 254 p.

3. Ostapchuk A. K., Kanaev A. S. *K voprosu o modelirovanii sherokhovatosti poverkhnosti* [On the issue of modeling surface roughness]. *Vestnik Kurganskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2005, no. 2, pp. 144-147.

4. Spagnoli A., Brighenti R., Terzano M., Artoni F. Cutting resistance of soft materials: Effects of blade inclination and friction. *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, 2019, no. 101, pp. 200-206.

5. Xiao-Ping Zhou, Liang Fu, Wang Ju, Berto F. An experimental study of the mechanical and fracturing behavior in PMMA specimen containing multiple 3D embedded flaws under uniaxial compression. *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, 2019, no. 101, pp. 207-216.

6. Schuldt S., Schneider Y., Rohm H. High-speed cutting of foods: Cutting behavior and initial cutting forces. *Journal of Food Engineering*, 2018, no. 230, pp. 55-62.

7. Belaasilia Y., Braikat B., Jamal M. High order mesh-free method for frictional contact. *Engineering Analysis with Boundary Elements*, 2017, no. 82, pp. 68-78.

8. Belaasilia Y., Timesli A., Braikat B., Jamal M. A numerical mesh-free model for elasto-plastic contact problems. *Engineering Analysis with Boundary Elements*, 2018, no. 94, pp. 103-112.

9. Wang P, Ni H, Wang R, Li Zh, Wang Y. Experimental investigation of the effect of in-plane vibrations on friction for different materials. *Tribology International*, 2016, no. 99, pp. 237-247.

10. Jadav P.U, Amali R, Adetoro O.B. Analytical friction model for sliding bodies with coupled longitudinal and transverse vibration. *Tribology International*, 2018, no. 126, pp. 240-248.

11. Ageev O. V., Fatykhov Yu. A., Samojlova N. V. *Vybor i identifikatsiya reologicheskoy modeli strukturno-mekhanicheskikh svoystv myshechnoy tkani ryby* [Selection and identification of rheological model of the structural-mechanical properties of muscular fish tissue]. *Izvestiya Kaliningradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2018, no. 49, pp. 75-91.

12. Ageev O. V., Naumov V. A., Fatykhov Yu. A., Samoilova N. V. *Matematicheskoe modelirovanie sil normal'nogo kontaktnogo davleniya na naklonnye grani nozha pri rezanii ryby* [Mathematical simulation of forces of normal contact pressure

of inclined knife edges during fish processing]. *Izvestija Kaliningradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2017, no. 47, pp. 80-96.

13. Ageev O. V., Naumov V. A., Fatykhov Yu. A. Matematicheskoe modelirovanie sil normal'nogo kontaktного davleniya na bokovye grani nozha pri rezanii pishchevykh materialov [Mathematical simulation of forces of normal contact pressure on side knife edges during cutting of food materials]. *Nauchnyy zhurnal Sankt-Peterburgskogo natsional'nogo issledovatel'skogo universiteta informatsionnykh tekhnologiy, mekhaniki i optiki. Seriya: Processy i apparaty pishchevykh proizvodstv*, 2017, no. 4(34), pp. 27-42.

14. Ageev O. V., Naumov V. A., Fatykhov Yu. A., Samojlova N. V. Matematicheskoe modelirovanie sily soprotivleniya formy dvukhkromochnogo nozha bez bokovykh graney pri rezanii ryby [Mathematical simulation of profile resistance force of double-edged knife without side edges during fish cutting]. *Izvestiya Kaliningradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2019, no. 53, pp. 75-88.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Ageev Oleg Vyacheslavovich – 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

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

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

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

Fatykhov Juriy Adgamovich – Kaliningrad State Technical University; Doctor of technical sciences, Chairman of Department of Food and Refrigeration Machines; E-mail: elina@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; PhD in Engineering, Postgraduate student of the Department of Food and Refrigeration Machines; E-mail: procyon@mail.ru

УДК 577.151.63

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРОТЕОЛИТИЧЕСКИХ ФЕРМЕНТНЫХ
ПРЕПАРАТОВ ИЗ ВТОРИЧНОГО РЫБНОГО СЫРЬЯ
НА МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРЕСЕРВОВ

Е. А. Баженов, Л. С. Байдалинова

STUDY OF THE EFFECTS OF PROTEOLYTIC ENZYME PREPARATIONS
FROM RECYCLED FISH RAW MATERIALS TO MICROBIOLOGICAL
INDICATORS OF PRESERVES SAFETY

E. A. Bazhenov, L. S. Baydalinova

Приведены результаты изучения микробиологической безопасности пресервов, приготовленных с использованием ферментных препаратов из пищеварительных органов судака и леща Северо-Западного региона. Исследования включали контроль динамики санитарно-показательных количеств мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ), бактерий группы кишечной палочки (БГКП), патогенных (сальмонеллы и *Listeria monocytogenes*) и условно-патогенных (*Staphylococcus aureus* и сульфитредуцирующих клостридий) микроорганизмов, дрожжей и плесневых грибов. Представлены микробиологические критерии безопасности сырья, ингредиентов и готовой продукции. Установлен положительный эффект влияния протеолитических ферментных препаратов из пищеварительных органов судака и леща на микробиологические показатели исследуемых пресервов при разном содержании в них поваренной соли и различных температурных условиях хранения. Ферментные препараты из пищеварительных органов судака и леща ускоряют накопление продуктов гидролиза белков и интенсифицируют процесс созревания пресервов.

Оценка срока годности ферментных препаратов, проведенная на основе анализа прироста микроорганизмов в процессе хранения пресервов, приготовленных с применением ферментов, показала, что при температурах 2 и 6 °С этот срок может составлять 60 сут. В ходе анализа микробиологической картины в процессе хранения чистого ферментного препарата из пищеварительных органов судака и леща при температуре минус 4±2 °С установлено, что срок годности данного продукта может быть увеличен до шести месяцев.

Исследования показали соответствие по безопасности ферментных препаратов из пищеварительных органов судака и леща требованиям нормативных документов (НД). Производство таких препаратов из вторичного рыбного сырья способствует повышению эффективности переработки рыб.

микробиологическая безопасность, протеолитические ферменты, пищеварительные органы рыб, вторичное рыбное сырьё, лещ, судак, пресервы

The paper shows the research results of microbiological safety of the preserved food made enzyme preparations from digestive organs of pike and bream of the North-

west region. Researches included control of dynamics of the quantity of sanitary and indicative mesophilic aerobic and optional- anaerobic microorganism, coliform bacteria, pathogenic (salmonellas and *Listeria monocytogenes*) and conditionally pathogenic microorganisms (*Staphylococcus aureus* and sulphite-reducing clostridia), yeast and mold mushrooms. Microbiological criteria of the safety of raw materials, ingredients and finished goods are presented. The positive effect has been found of the influence of proteolytic enzyme preparations from digestive organs of pike perch and bream on microbiological indicators of the studied preserved food at various content of sodium chloride and various temperature storage conditions. Enzyme preparations from digestive organs of pike perch and bream accelerate accumulation of protein hydrolysis products and intensify maturing process of preserved food. Assessment of the expiration date of enzyme preparations which is carried out on the basis of the analysis of gain of microorganisms in the course of storage of the preserved food made with their application showed that at temperatures of 2 and 6°C, this period can make 60 days. Researches of a microbiological content in the course of storage of a pure enzyme preparation from digestive organs of pike perch and bream at a temperature minus 4±2 °C showed that the period of its storage can be increased up to 6 months. Researches also showed compliance of enzyme preparations from digestive organs of pike perch and bream with the requirements of regulatory documents in terms of safety. Production of enzyme preparations from secondary fish raw materials promotes increase in fish processing efficiency.

microbiological safety, proteolytic enzymes, digestive organs of fish, secondary fish raw materials, bream, pike, preserves

ВВЕДЕНИЕ

Качество готового пищевого продукта в значительной степени зависит от санитарного уровня производства, микробиологической характеристики сырья и вспомогательных материалов, соблюдения четко организованного санитарного контроля.

Задачей такого контроля является быстрое обнаружение и выявление путей проникновения микроорганизмов-вредителей, очагов и степени размножения их на отдельных этапах технологического процесса, предотвращение развития посторонней микрофлоры с помощью различных профилактических мероприятий, активное уничтожение ее путем дезинфекции с целью получения доброкачественной готовой продукции [1].

Порядок проведения санитарно-микробиологического контроля качества и безопасности продуктов питания и документы, определяющие микробиологические нормативы, строго регламентируются и контролируются государством.

Цель настоящей работы – установление срока годности ферментного препарата из пищеварительных органов судака и леща, предназначенного для ускорения созревания пресервов, на основе результатов микробиологического анализа продукции.

Основой процедуры обоснования сроков годности пищевых продуктов являются проведение микробиологических, санитарно-химических исследований, оценка органолептических свойств образцов продукции в процессе хранения при температурах, предусмотренных нормативной или технической документацией.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Определение срока годности и хранения пищевых продуктов включает проведение экспериментального тестирования процесса их порчи, завершающегося нахождением момента времени, соответствующего окончанию этого срока.

Пресервы – продукт, приготавливаемый с использованием в качестве консерванта поваренной соли, а также бензойнокислого натрия или сорбиновой кислоты, герметически укупоренный и подвергающийся созреванию и хранению без термической обработки [2]. Созревание пресервов происходит под действием собственных или специально добавляемых к сырью протеолитических ферментных препаратов. Для этой цели используются ферменты различной природы – полученные из растительного или животного сырья, а также микробиологическим синтезом.

В пищеварительных органах рыб, отделяемых в составе отходов при глубокой разделке, содержится большое количество природных ферментов, обладающих протеолитической, липолитической и другой гидролитической активностью [3]. Выделенные из пищеварительных органов ферментные комплексы – ценный материал для стимулирования созревания мышечной ткани слабо созревающих рыб.

При проведении данного исследования ферментный комплекс извлекался из пищеварительных органов судака и леща, являющихся промысловыми видами рыб в Калининградском регионе, путем экстракции при соответствующих для ферментов различных групп оптимальных уровнях рН. Для пищеварительных органов судака это рН 1,8, леща – 9,0. Продолжительность процесса экстракции составляла 4 ч.

Отделенный от нерастворившегося остатка экстракт, содержащий ферменты, для стабилизации смешивался с поваренной солью в количестве 10% от массы раствора.

Для установления сроков годности данного препарата он использовался в качестве добавки к солевому раствору для посола филе сельди балтийской (салаки) при изготовлении пресервов в масле из рыбы, разделанной на филе.

В ходе экспериментов пресервы изготавливали с двумя уровнями содержания поваренной соли – 3 и 6 % к массе рыбы – для оценки влияния дозировки соли на устойчивость пресервов в процессе хранения и их микробиологическую характеристику. Посол производили в рассолах концентрацией поваренной соли 10 и 20 % при температуре 4-6 °С в течение 24 ч. Жидкий ферментный препарат вносили в рассол (10% от его массы).

Пресервы изготавливали без внесения консервантов бензойнокислого натрия или сорбиновой кислоты.

При постановке эксперимента исходили из положения, что если используемые сырье и материалы соответствуют по микробиологическим показателям нормативным значениям, рост микрофлоры в продукте в процессе хранения может вызываться внесенным ферментным препаратом. На этом основании можно судить о микробиологическом состоянии применяемого ферментного препарата и сроке его годности.

Хранение и микробиологические исследования образцов проводились на кафедре ихтиопатологии и гидробиологии Калининградского государственного технического университета.

В качестве вариативных условий хранения пресервов выбраны три температурных режима:

- оптимальные условия – 2⁰С;
- усредненные условия – 6⁰С;
- экстремальные условия – 18⁰С.

В соответствии с [4] рекомендована схема исследования рыбной продукции с консервантами, например, для предполагаемого срока годности 5 мес. предписывается проведение испытаний продукта в течение пяти месяцев при оптимальных и экстремальных условиях.

Испытания сырья (филе салаки) и пресервов выполняли по следующим показателям: количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ) [5], отсутствие бактерий группы кишечных палочек (БГКП) [6], золотистого стафилококка [7] и сульфитредуцирующих кластридий (СРК) [8], сальмонелл [9] и *L. monocytogenes* [10], количество дрожжей и плесеней [11]. Одновременно осуществляли органолептическую оценку пресервов для характеристики вкусо-ароматических показателей и консистенции мышечной ткани рыбы.

Микробиологическим исследованиям подвергались следующие образцы:

- салака охлажденная (филе);
- пресервы в масле из филе салаки без ферментного препарата (контроль);
- пресервы в масле из филе салаки, посоленного с жидким ферментным препаратом из пищеварительных органов леща;
- пресервы в масле из филе салаки, посоленного с жидким ферментным препаратом из пищеварительных органов судака.

Изучали пресервы, приготовленные с двумя различными дозировками соли в мышечной ткани – 3 и 6 %.

Данные по экспериментальным образцам пресервов сравнивали с результатами исследования контрольного образца (без ферментного препарата).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Ферментный препарат из пищеварительных органов судака и леща имел следующие характеристики (табл. 1).

Таблица 1. Характеристика ферментных препаратов из пищеварительных органов судака и леща

Table 1. Characteristics of enzyme preparations from digestive organs of pike perch and bream

Наименования показателя	Характеристика и нормы для ферментных препаратов из пищеварительных органов	
	судака	леща
1	2	3
Внешний вид	Жидкий раствор фермента	
Цвет	Светло – жёлтый	Светло - коричневый

Окончание табл. 1

1	2	3
Запах	Со слабым специфическим запахом, характерным для данного вида продукции	
Массовая доля сухих веществ, %, не менее	16,0	17,0
Массовая доля хлористого натрия, %, не менее	9,0	
Массовая доля белка, %, не менее	5,0	
Протеолитическая активность по Ансону, ед./г, не менее	1,5	2,5

Таблица 2. Требования ТР ТС 021/2011 [12] и ТР АЕЭС 040/2016 [13] для охлажденной рыбы и пресервов из разделанной рыбы
Table 2. Requirements of TR TC 021/2011 [12] and TR AEES 040/2016 [13] for chilled fish and preserves from dressed fish

Образцы	КМАФА нМ, КОЕ/г, не более	БГКП	Патогенные, в том числе		Условно - патогенные, в том числе		Дрожжи и плесени, КОЕ/г
			сальмонеллы	L. monocytogenes	S. aureus	сульфит-редуцирующие клостридии	
Филе салаки охлажденной	$1,0 \cdot 10^5$	Отсутствие в 0,001 г	Отсутствие в 25 г	Отсутствие в 25 г	Отсутствие в 0,01 г	Требования не установлены	Требования не установлены
Пресервы в масле из филе салаки	$2,0 \cdot 10^5$	Отсутствие в 0,01 г	То же	То же	Отсутствие в 1 г	Отсутствие в 0,01 г	Плесени – не более 100, дрожжи – не более 10

При проведении испытаний необходимо принять во внимание, что поступающее на переработку сырье подвергается обязательным микробиологическим исследованиям на соответствие требованиям нормативных документов [11,12]. Появление посторонней патогенной и условно-патогенной микрофлоры в условиях хранения, не допускающих открытого контакта с окружающей средой, невозможно или маловероятно.

Результаты исследования филе салаки охлажденной, пресервов в масле из филе салаки (контроль) и пресервов в масле из филе салаки, посоленного с ферментными препаратами из пищеварительных органов судака и леща, в первые сутки (фоновые данные) представлены в табл. 3.

Таблица 3. Микробиологические показатели образцов филе салаки охлажденной, пресервов в масле из филе салаки (контроль), пресервов в масле из филе салаки, посоленного с ферментными препаратами из пищеварительных органов судака и леща, в первые сутки (фоновые данные)

Table 3. Microbiological indicators of chilled herring fillet, preserves in oil of sprat fillet (control), preserves in oil of sprat fillet, salted with enzyme preparations from pike and bream digestive organs, in the first day (background data)

Образцы	КМАФАнМ, КОЕ/г	БГКП, отсутствие в г	Патогенные, в том числе		Условно-патогенные, в том числе		Дрожжи и плесени, КОЕ/г	Соответствие нормативам	
			сальмонеллы, отсутствие в 25 г	L. monocytogenes, отсутствие в 25 г	S. aureus	сульфитредуцирующие клостридии			
Филе салаки охлажденной	$1,0 \cdot 10^5$	Не обнаружено в 0,001 г	Не обнаружено в 25 г	Не обнаружено в 25 г	Не обнаружено в 0,01 г	Не обнаружено	Менее $1,0 \cdot 10^1$	Соответствует	
Пресервы в масле из филе салаки (контроль)	$1,0 \cdot 10^5$	Не обнаружено в 0,01 г	То же	То же	Не обнаружено в 1 г	Не обнаружено в 0,01 г	То же	То же	
Пресервы в масле из филе, посоленного с ферментами из пищеварительных органов	леща	$1,0 \cdot 10^5$	То же	– «–	– «–	То же	То же	– «–	– «–
	судака	$,0 \cdot 10^5$	«–	«–	«–	«–	«–	«–	«–

Отсутствие в сырье (филе салаки) и при фоновых испытаниях в приготовленных пресервах (контрольных и с ферментными препаратами) бактерий группы кишечных палочек (БГКП), патогенных и условно-патогенных микроорганизмов дало основание последующий анализ экспериментальных и контрольных образцов пресервов проводить только по показателям: КМАФАнМ, количество плесени и дрожжей.

Исследования осуществлялись через 30 сут хранения и далее через каждые 15 сут при температурных режимах:

- 2⁰С – образец № 1;
- 6⁰С – образец № 2;
- 18⁰С – образец № 3.

Первоначально рассматривали образцы из филе салаки с массовой долей поваренной соли 3%. Результаты изучения этих образцов (пресервов контрольных и с ферментными препаратами) представлены в табл. 4 и 5.

Таблица 4. Результаты исследования микробиологических показателей образцов пресервов в масле из филе салаки контрольных и с жидкими ферментными препаратами из пищеварительных органов леща и судака (массовая доля поваренной соли в филе 3,0%)

Table 4. Results of the study of microbiological indicators of control samples of preserves in oil from herring fillet and with liquid enzyme preparations from the digestive organs of bream and pike perch (mass fraction of salt in the fillet- 3.0%)

Продолжительность хранения образцов, сут	Исследуемые образцы	Микробиологические показатели для образцов, хранившихся при температурах, °С					
		2 (№ 1)	6 (№ 2)	18 (№ 3)	2 (№ 1)	6 (№ 2)	18 (№ 3)
		КМАФАнМ, КОЕ/г			Дрожжи и плесени, КОЕ/г		
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Нулевая точка – фон	1,0 · 10 ⁵			Менее 1,0 · 10 ¹		
30	Пресервы в масле из филе салаки (контроль)	3,9 · 10 ⁵			Определения не проводились		
	Пресервы из филе, посоленного с ферментами из пищеварительных органов леща	3,5 · 10 ⁵					
	Пресервы из филе салаки, посоленного с ферментами из пищеварительных органов судака	3,8 · 10 ⁵					
60	Пресервы в масле из филе салаки (контроль)	4,5 · 10 ⁵		Определения не проводились	То же		
	Пресервы из филе салаки, посоленного с ферментами из пищеварительных органов леща	4,0 · 10 ⁵					

Окончание табл. 4

1	2	3	4	5	6	7	8
	Пресервы из филе салаки, посоленного с ферментами из пищеварительных органов судака	4,5·10 ⁵					

Как видно из табл. 4, уже через 30 сут во всех образцах пресервов, даже в контрольном и в 1-м и 2-м, хранившихся при температурах 2 и 6⁰С, наблюдается увеличение количества микроорганизмов до уровня, превышающего нормативы по КМАФАнМ. Особенно интенсивный рост выявлен в образце, хранившемся при 18 °С (экстремальные условия). Проводить исследования по наличию дрожжей и плесени было нецелесообразно.

К 60 сут микробиологические показатели пресервов, хранившихся и при температурах 2 и 6 °С, также значительно превосходят нормативные показатели.

К этому времени произошёл полный гидролиз белков и распад мышечной ткани рыбы. Следовательно, при данных температурах хранить продукт с такой массовой долей (3%) поваренной соли без консерванта не представляется возможным.

Было принято решение увеличить массовую долю поваренной соли в использованном для приготовления пресервов филе до 6% и выполнить микробиологические исследования по определению срока годности продукции с ферментными препаратами при температурах 2 (образец № 1) и 6⁰С (образец № 2).

Микробиологические испытания, как и в предыдущих опытах, проводились по показателям: КМАФАнМ, количество плесени и дрожжей.

Результаты этих испытаний в процессе хранения пресервов контрольных и с ферментными препаратами представлены в табл. 5. Нормативные значения для пресервов из разделанной рыбы [11] и [12] были приведены в табл. 2.

Таблица 5. Микробиологические показатели образцов пресервов из разделанной рыбы в масле контрольных и с жидкими ферментными препаратами из пищеварительных органов леща и судака (массовая доля поваренной соли в филе 6%)
Table 5. Microbiological indicators of control samples of preserves from dressed fish in oil and with liquid enzyme preparations from the digestive organs of bream and pike perch with 6% mass fraction of common salt

Исследуемые образцы	Продолжительность хранения образцов, сут	Микробиологические показатели для образцов, хранившихся при температурах, °С			
		2 (№ 1)	6 (№ 2)	2 (№ 1)	6 (№ 2)
		КМАФАнМ, КОЕ/г		Плесени и дрожжи, КОЕ/г	
1	2	3	4	5	6
Нулевая точка – фон	1	1,0 · 10 ⁵		Менее 1,0 · 10 ¹	

Окончание табл. 5

1	2	3	4	5	6
Пресервы в масле из филе салаки (контроль)	15	1,0·10 ⁵		То же	
	30	1,0·10 ⁵		– « –	
	45	1,5·10 ⁵		Менее 1,0·10 ²	
	60	2,0·10 ⁵		Дрожжи – менее 1,0·10 ² , плесени – менее 1,0·10 ¹	
Пресервы в масле из филе салаки, посоленного с жидким ферментным препаратом из пищеварительных органов леща	15	1,0·10 ⁵		Менее 1,0·10 ¹	
	30	1,0·10 ⁵		То же	
	45	1,5·10 ⁵		– « –	
	60	2,0·10 ⁵		Дрожжи – менее 1,0·10 ² , плесени – менее 1,0·10 ¹	
Пресервы в масле из филе салаки, посоленного с жидким ферментным препаратом из пищеварительных органов судака	15	1,0·10 ⁵		Менее 1,0·10 ¹	
	30	1,0·10 ⁵		То же	
	45	1,5·10 ⁵		– « –	
	60	2,0·10 ⁵		Дрожжи – менее 1,0·10 ² , плесени – менее 1,0·10 ¹	
Пресервы в масле из филе салаки (контроль) и из филе, посоленного с жидкими ферментными препаратами из пищеварительных органов леща и судака	75 сут	Микробиологические исследования не проводились в связи с гидролизом мышечной ткани филе в пресервах			

Как видно из табл. 5, до 45 сут хранения в образцах пресервов из разделанной рыбы в масле контрольных, а также с добавлением жидких ферментных препаратов из пищеварительных органов леща и судака, хранившихся при температуре как 2, так и 6 °С, КМАФАнМ значительно ниже допустимого предела (не более 1,5·10⁵ КОЕ/г). К 60 сут хранения уровень КМАФАнМ достиг, но не превысил допустимое значение (не более 2,0·10⁵). При этом количество дрожжей было не более 1,0·10², а плесеней 1·10¹ КОЕ/г. До 60 сут хранения включительно вся продукция соответствовала требованиям [12] и [13].

В табл. 6 приведена органолептическая оценка образцов пресервов с ферментными препаратами через 45 сут хранения.

Таблица 6. Органолептическая оценка образцов пресервов через 45 сут хранения
Table 6. Organoleptic assessment of preserved food samples in 45 days of storage

Характеристика и норма по ГОСТ 7453 (для созревших пресервов с консервантом)		Характеристика экспериментальных образцов с ферментными препаратами при различных массовых долях поваренной соли (без консервантов)	
Наименование показателя	Характеристика	3 % поваренной соли в мясе рыбы при температурах 2 и 6 °С через 30 сут хранения	6 % поваренной соли в мясе рыбы при температурах 2 и 6 °С через 60 сут хранения
<i>Вкус</i>	Приятный, свойственный созревшей рыбе	Приятный, свойственный созревшей рыбе	Приятный, свойственный созревшей рыбе
<i>Запах</i>	Приятный, свойственный созревшей рыбе	Приятный, свойственный созревшей рыбе	Приятный, свойственный созревшей рыбе
<i>Консистенция мяса рыбы</i>	Нежная, сочная	Мажущаяся	Нежная, сочная
<i>Состояние рыбы</i>	Тушки, филе, филе-кусочки должны быть целыми с ровными срезами	Филе-кусочки развалились, получилась однородная масса	Кусочки филе целые, с ровными срезами

В пресервах с содержанием поваренной соли 3% (контрольных и с ферментными препаратами) после 30 сут созревания (хранения) происходит расслоение, распад мышечной ткани кусочков. Органолептическая характеристика продукции неудовлетворительная.

Пресервы с 6% поваренной соли – контрольные и посоленные с добавлением ферментных препаратов – одинаково более устойчивы, чем с 3%-ным её содержанием. Только по истечении 75 сут хранения при температурах 2 и 6 °С зафиксировано размягчение мышечной ткани вследствие перезревания и гидролиза белков.

На основании микробиологических и органолептических исследований пресервов, приготовленных с использованием ферментных препаратов из пищеварительных органов судака и леща, можно заключить, что их показатели не отличаются от таковых у образцов, полученных без применения ферментов. В связи с этим срок годности ферментного препарата можно считать аналогичным сроку годности исследованных пресервов – 60 сут при температуре 2 и 6 °С.

По микробиологическим показателям безопасности продукт соответствует требованиям нормативных документов ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» [12], ТР ЕАЭС 040/2016 «О безопасности рыбы и рыбной продукции» [13].

Исследования микробиологических характеристик непосредственно ферментного препарата в чистом виде (табл. 7), а не в составе пресервов, в процессе хранения при температуре минус 4 ± 2 °С свидетельствуют о том, что по всем нормируемым показателям у него имеется большой резерв и срок хранения при указанной температуре может быть увеличен до шести месяцев.

Таблица 7. Микробиологические характеристики ферментных препаратов из пищеварительных органов леща и судака при хранении в течение 90 сут при температуре минус 4 ± 2 °С

Table 7. Microbiological characteristics of enzyme preparations from digestive organs of bream and pike perch at 90 days of storage at a temperature minus 4 ± 2 °C

Наименование определяемого показателя	Единицы измерения	Допустимые значения	Результаты испытаний
КМАФАнМ	КОЕ/г	Не нормируется	Менее 10
БГКП		То же	В 0,1 и 1 г не обнаружено
Плесени, дрожжи	КОЕ/г	– « –	В 1 г не обнаружено
Listeria monocytogenes		– « –	В 25 г не обнаружено
Сальмонеллы		– « –	В 25 г не обнаружено

Оценка эффективности ферментных препаратов при созревании рыбы проводилась по накоплению аминоаммиачного азота в образцах пресервов контрольных и с добавлением ферментных препаратов. Результаты свидетельствуют, что уровень его к 75 сут хранения пресервов с добавлением ферментных препаратов возрос в 4,1-4,2, в то время как в контрольном образце только в 2,4 раза.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведены сравнительные исследования образцов пресервов в масле из филе салаки, посоленного без фермента и с использованием ферментных препаратов из пищеварительных органов судака и леща, при различных температурных условиях (оптимальных, усредненных и экстремальных) и содержании поваренной соли в филе салаки 3 и 6 %.

При 3%-ной концентрации поваренной соли в образцах пресервов контрольных и с ферментными препаратами наблюдается рост количества микроорганизмов до показателей, превышающих требования НД. Пресервы без консерванта с таким содержанием соли микробиологически нестабильны в усредненных и даже в оптимальных условиях в течение одного месяца. Увеличение концентрации поваренной соли до 6% позволяет повысить срок хранения продукции без консервантов до 60 сут в оптимальных и усредненных условиях.

Дальнейшее хранение при этих условиях оказывается нецелесообразным в связи с перезреванием и расслоением мышечной ткани рыбы.

Получены аналогичные результаты при микробиологических исследованиях контрольных (без ферментов) и экспериментальных образцов (с внесением на стадии посола ферментных препаратов из пищеварительных органов леща и судака), которые позволяют принять срок хранения ферментного препарата при тем-

пературах 2 и 6 °С на уровне 60 сут. Ферментный препарат из пищеварительных органов леща и судака по микробиологическим показателям соответствует требованиям нормативных документов [12] и [13]. Более длительное его хранение (до шести месяцев) обеспечивается при отрицательных температурах, например при минус $4 \pm 2^\circ\text{C}$.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Пищевая безопасность гидробионтов / Г. Н. Ким [и др.]. – Москва: МОРКНИГА, 2011. – 627 с.
2. Ha, N. Sardine (*Sardinella spp.*) protein hydrolysate as growth promoter in South American catfish (*Rhamdia quelen*) feeding: Productive performance, digestive enzymes activity, morphometry and intestinal microdiology / N. Ha, G. F.A. Jesus, A.F.N.N. Goncalves et al//Aquaculture, 500 (2019). – P. 99–106.
3. ГОСТ 7453-86 Пресервы из разделанной рыбы. Технические условия. – Москва: Изд-во стандартов, 2010. – 27 с.
4. МУК 4.2.1847-04 «Санитарно-эпидемиологическая оценка обоснования сроков годности и условий хранения пищевых продуктов»: метод. указания. – Москва: Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. – 31 с.
5. ГОСТ 10444.15-94 Продукты пищевые. Методы определения количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов. – Москва: Стандартиформ, 2010. – 13 с.
6. ГОСТ 31747-2012 Продукты пищевые. Методы выявления и определения количества бактерий группы кишечных палочек (колиформных бактерий). – Москва: Стандартиформ, 2013. – 16 с.
7. ГОСТ 31746-2012 Продукты пищевые. Методы выявления и определения количества коагулазоположительных стафилококков и *Staphylococcus aureus*. – Москва: Стандартиформ, 2013. – 23 с.
8. ГОСТ 29185-2014 (ISO 15213:2003) Микробиология пищевых продуктов и кормов для животных. Методы выявления и подсчета сульфитредуцирующих бактерий, растущих в анаэробных условиях. – Москва: Стандартиформ, 2015. – 12 с.
9. ГОСТ 31659-2012 Продукты пищевые. Метод выявления бактерий рода *Salmonella*. – Москва: Стандартиформ, 2014. – 20 с.
10. ГОСТ 32031-2012 Продукты пищевые. Методы выявления бактерий *Listeria monocytogenes*. – Москва: Стандартиформ, 2014. – 26 с.
11. ГОСТ 10444.12-2013 Микробиология пищевых продуктов и кормов для животных. Методы выявления и подсчета количества дрожжей и плесневых грибов. – Москва: Стандартиформ, 2014. – 10 с.
12. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции». – Москва: Союзснаб, 2011. – 242 с.
13. Технический регламент Евразийского экономического союза ТР АЕЭС 040/2016 «О безопасности рыбы и рыбной продукции». – Москва: Союзснаб, 2016. – 138 с.

REFERENCES

1. Kim G. N., Kim I. N., Krashchenko V. W., Kushneruk A. A. *Pishchevaya bezopasnost' gidrobiontov* [Food safety of aquatic organisms]. Moscow, MORKNIGA, 2011, 627 p.
2. Ha N., Jesus G. F. A., Goncalves A. F. N. N., Soares de Oliveira N., Sugai J. K., Pessati M. L., Mourinho J. L. P., Fabregat Th. E. H. P. Sardine (*Sardinella* spp.) protein hydrolysate as growth promoter in South American catfish (*Rhamdia quelen*) feeding: Productive performance, digestive enzymes activity, morphometry and intestinal microbiology. *Aquaculture*, 2019, no. 500, pp. 99-106.
3. GOST 7453-86 *Preservy iz razdelannoy ryby. Tekhnicheskie usloviya* [GOST 7453-86 Preserves from dressed fish. Technical specifications]. Moscow, Standartinform, 2010, 27 p.
4. MUK 4.2.1847-04 *Sanitarno-epidemiologicheskaya otsenka obosnovaniya srokov godnosti i usloviy khraneniya pishchevykh produktov* [MUK 4.2.1847-04 Sanitary-epidemiological assessment of the validity period and conditions of food storage]. Moscow, Federal'nyy centr gossanepidnadzora Minzdrava Rossii, 2016, 112 p.
5. GOST 10444.15-94 *Produkty pishchevye. Metody opredeleniya kolichestva mezofil'nykh aerobnykh i fakul'tativno-anaerobnykh mikroorganizmov* [GOST 10444.15-94 Food. Methods for determining the number of mesophilic aerobic and facultative anaerobic microorganisms]. Moscow, Standartinform, 2010, 13 p.
6. GOST 31747-2012 *Produkty pishchevye. Metody vyyavleniya i opredeleniya kolichestva bakteriy gruppy kishhechnykh paloček (koliformnykh bakteriy)* [GOST 31747-2012 Food products. Methods for detection and quantity determination of coliformes]. Moscow, Standartinform, 2013, 16 p.
7. GOST 31746-2012 *Produkty pishchevye. Metody vyyavleniya i opredeleniya kolichestva koagulazopozhitel'nykh stafilokokkov i Staphylococcus aureus* [Food products. Methods for detection and quantity determination of coagulase-positive staphylococci and *Staphylococcus aureus*]. Moscow, Standartinform, 2013, 23 p.
8. GOST 29185-2014 (ISO 15213:2003) *Mikrobiologiya pishchevykh produktov i kormov dlya zhivotnykh. Metody vyyavleniya i podscheta sul'fitreduciruyushchikh bakteriy, rastushchikh v anaerobnykh usloviyakh* [GOST 29185-2014 (ISO 15213:2003) Microbiology of food and animal feeding stuffs. Methods for detection and enumeration of sulfite-reducing bacteria growing under anaerobic conditions]. Moscow, Standartinform, 2010, 13 p.
9. GOST 31659-2012 *Produkty pishchevye. Metod vyyavleniya bakteriy roda Salmonella* [GOST 31659-2012 Food products. Method for the detection of *Salmonella* spp.]. Moscow, Standartinform, 2013, 13 p.
10. GOST 32031-2012 *Produkty pishchevye. Metody vyyavleniya bakteriy Listeria monocytogenes* [GOST 32031-2012 Food products. Methods for detection of *Listeria monocytogenes*]. Moscow, Standartinform, 2014, 26 p.
11. GOST 10444.12-2013 *Mikrobiologiya pishchevykh produktov i kormov dlya zhivotnykh. Metody vyyavleniya i podscheta kolichestva drozhzhey i plesnevykh gribov.* [GOST 10444/12 -2013. Microbiology of food and animal feed. Methods for identifying and counting the number of yeasts and fungi]. Moscow, Standartinform, 2013, 12 p.

12. TR TS 021/2011 *Tekhnicheskiy reglament Tamozhennogo soyuza. O bezopasnosti pishchevoy produktsii* [TR TS 021/2011. Technical Regulations of the Customs Union “On food safety”]. Moscow, Soyuzsnab, 2013, 242 p.

13. TR EAES 040/2016. *Tekhnicheskiy reglament Evraziyskogo ekonomicheskogo soyuza. O bezopasnosti ryb i rybnykh produktov* [040/2016. Technical Regulations of the Eurasian Economic Union “On the safety of fish and fish products”]. Moscow, Soyuzsnab, 2016, 138 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

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

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

Баженов Елисей Александрович – Калининградский государственный технический университет; магистр; E-mail: ya.elisey2013@yandex.ru

Bazhenov Elisei Alexandrovich – Kaliningrad State Technical University; holder of a Master degree; E-mail: ya.elisey2013@yandex.ru

УДК 663.8

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РЕЦЕПТУРЫ
ФУНКЦИОНАЛЬНОГО БЕЗАЛКОГОЛЬНОГО НАПИТКА
НА ОСНОВЕ КУРАГИ

Н. Ю. Ключко, И. Р. Ромазяева

IMPROVING THE RECIPE OF THE FUNCTIONAL NONALCOHOLIC DRINK ON
THE BASIS OF DRIED APRICOTS

N. Yu. Klyuchko, I. R. Romazyeva

Анализ рынка показал заинтересованность населения в приобретении безалкогольных напитков с заданной функциональной направленностью. Курага – источник биологически активных веществ для профилактики заболеваний сердечно-сосудистой системы человека, используется при приготовлении компотов в сети общественного питания. К сожалению, напиток имеет сроки хранения не более трех суток. Целью настоящих исследований является совершенствование рецептуры безалкогольного напитка из кураги путем обогащения листьями мяты перечной, витаминами С и В₁₂ для пролонгирования сроков его хранения. Обоснована степень измельчения кураги для улучшения экстракции сухих веществ и получения прозрачного напитка с насыщенным вкусом. С использованием математического планирования эксперимента установлено содержание основных вводимых компонентов. Для определения сроков годности нового продукта изучено изменение микробиологических показателей при оптимальных, нормальных и экстремальных условиях. Показано, что на четырнадцатые сутки хранения при температуре 20⁰С, на тридцатые сутки при температуре 8⁰С обнаруживаются плесневые грибы. Поэтому рекомендован срок годности функционального напитка из кураги не более 45 сут при температуре 6⁰С. Патогенная и условно-патогенная микрофлора в готовом продукте отсутствовала. Исследована биологическая ценность функционального напитка, предложены рекомендации по его применению. Показано, что употребление 200 мл, т. е. одного стакана функционального напитка из кураги, удовлетворяет суточную потребность человека в калии на 16, витамине С – на 44, витамине В₁₂ – на 48%. Это позволяет сделать вывод, что предложенный продукт – напиток из кураги – является функциональным продуктом.

анализ рынка, функциональный напиток, компот, курага, перечная мята, сердечно-сосудистые заболевания, калий

Market research has showed interest of the population in the purchase of non-alcoholic drinks with a given functional purpose. Dried apricots being a source of biologically active substances for the prevention of cardiovascular diseases is used for the preparation of compotes in public catering networks. Unfortunately, the drink has a shelf life of not more than three days. The purpose of this research is to improve the

formulation of the nonalcoholic drink from dried apricots by enriching it with peppermint leaves, vitamins C and B12, and prolonging its shelf life. The fineness degree of dried apricots in order to improve extraction of solids and obtain a transparent drink with a rich taste has been justified. Using mathematical planning of the experiment, the content of the main input components has been determined. To determine the shelf life of a new product, we studied the change in microbiological parameters under optimal, normal, and extreme conditions. It has showed that molds occur after 14 days of storage at a temperature of 200 ° C, and after 30 days- at a temperature of 80 ° C. Therefore, the recommended shelf life of the functional drink from dried apricots is not more than 45 days at a temperature of 6 ° C. Pathogenic and opportunistic microflora in the finished product was absent. The biological value of the functional drink has been investigated, recommendations for its use have been proposed. It has been shown that the consumption of 200 ml, that is, one glass of a functional drink from dried apricots, satisfies a person's daily need for potassium by 16%, vitamin C - by 44%, and vitamin B12 - by 48%. This allows us to conclude that the proposed product - a drink from dried apricots is a functional product.

market research, functional drink, compote, dried apricot, mint, cardiovascular diseases, potassium

ВВЕДЕНИЕ

Анализ потребительского рынка безалкогольных напитков в России показал, что постепенно начинает возрождаться их производство с традиционным для них составом и качеством. Именно напиток является той оптимальной формой пищевого продукта, сбалансированная структура которого может оказывать благоприятное воздействие на организм человека. Увеличение ассортимента функциональных напитков (ФН) открывает перед нами возможности оздоровления различных возрастных групп общества [1 - 3].

Сердечно-сосудистые заболевания (ССЗ) – основная причина смертности как в стране в целом, так и в Калининградской области. Заболеваемость населения региона в 2017 г. болезнями крови, кроветворных органов и системы кровообращения составила 2,9 чел. на каждую 1000 чел. населения [4]. Число умерших в том же году от болезней системы кровообращения в области – 574,7 на 100 тыс. человек населения. Эта причина смертности была на первом месте среди всех прочих. Снизить риск развития данных заболеваний можно путём употребления функциональных продуктов питания, обогащенных биологически активными веществами (БАВ), положительно влияющих на работу сердечно-сосудистой системы. К таким продуктам относят напитки.

Сушеное плодово-ягодное сырье, применяемое для изготовления компотов, является источником БАВ. Данный безалкогольный напиток широко используется организациями общественного питания, в том числе детскими учреждениями. В любое время года компот дает возможность обогащать организм необходимыми биологически активными веществами, нормализуя работу желудочно-кишечного тракта и стимулируя процессы пищеварения [5]. К сожалению, компоты имеют сроки хранения не более трех суток. По этой причине они не выпускаются промышленностью для реализации в торговых сетях.

Целью настоящей работы является совершенствование рецептуры безалкогольного напитка из кураги путем его обогащения листьями мяты перечной *Mentha piperita* для пролонгирования сроков хранения и повышения биологической ценности.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве объектов исследования использовали: сушеное сырье – курагу и листья мяты перечной (*Mentha piperita*) [6, 7]; экстрагент – водопроводную питьевую воду, соответствующую требованиям СанПиН 2.1.4.1074-01.

Социологическое исследование осуществляли методом опроса респондентов, в котором приняли участие 60 чел. в возрастной категории от 19 до 60 лет со средним ежемесячным доходом.

При проведении экспериментов использовали стандартные и общепринятые органолептические, физико-химические, биохимические методы исследований. В готовом продукте определяли: кислотность титриметрическим методом, вязкость на вискозиметре ВЗ-246 на штативе с алюминиевой чашей, плотность ареометрическим, содержание калия и пектиновых веществ гравиметрическим методом.

При определении микробиологических показателей в сырье и готовом продукте исследовали количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (МАФАНМ), бактерий группы кишечной палочки (БГКП), сальмонеллы, дрожжей и плесневых грибов. Экспериментальные образцы напитка хранились в течение 45 сут при экстремальных (при температуре 20°C (ЭУ)), нормальных (при температуре 8°C (НУ)) и оптимальных условиях (при температуре 6°C (ОУ)) [8].

Повторность этапов всех исследований трехкратная. Статистическую обработку данных проводили стандартными методами дисперсионного корреляционного и регрессионного анализов с пакетом прикладных программ OfficePro (Word, Excel).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ рынка безалкогольных напитков функциональной направленности показал, что их ассортимент в Калининградской области не отличается особым разнообразием и представлен несколькими видами отечественной и зарубежной продукции: Future Drinks ООО «Функциональные напитки» (Германия) и LET's START ООО «Вкус здоровья» (Россия). Данный факт также подтвердили при социологическом опросе респонденты – 89% опрошенных (рис. 1,а). Среди них 38% в возрастной категории от 20 до 40 лет хотели бы чаще покупать такие напитки (рис. 1,б).

Проведенные исследования также выявили довольно большую заинтересованность населения в собственном здоровье, осведомленность о связи самочувствия и питания и, как следствие, – желание приобретать безалкогольные напитки с конкретной функциональной значимостью. По вкусовым предпочтениям респонденты хотели бы увидеть больше «фруктовой и травяной» оттенки, меньше – «с горчинкой и ягодный» (рис. 2).

В качестве основы для ФН использовали курагу – традиционный объект для приготовления компотов. Курага – это сухофрукт из плодов абрикоса, произ-

веденный путем естественной сушки на солнце. Высокое содержание солей калия в нем благоприятным образом сказывается на работе сердечно-сосудистой системы, способствует регуляции кровяного давления, повышению уровня гемоглобина. Помимо этого в кураге содержатся такие минеральные вещества, как кальций, магний, фосфор, железо, медь, марганец, кобальт, а также витамины А, С, РР, группы В (В₁, В₂, В₅).

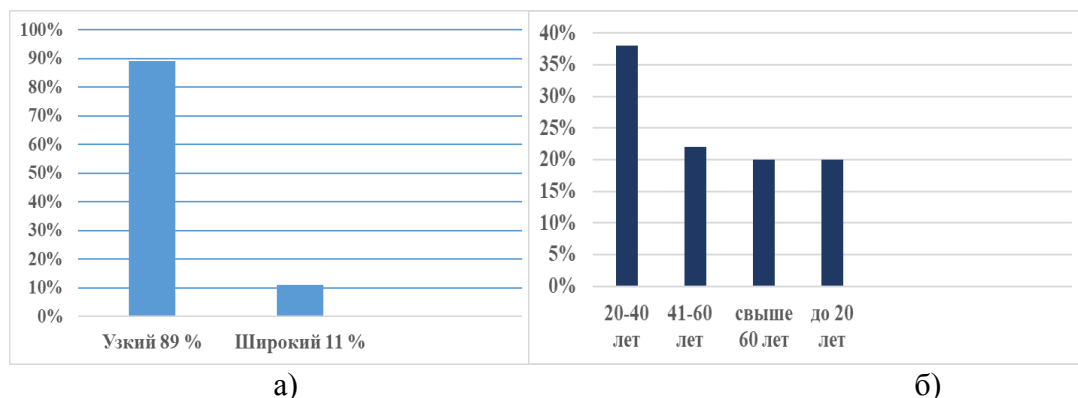


Рис. 1. Анализ рынка безалкогольных напитков функциональной направленности: а) – заинтересованность потребителей различных возрастов в новом продукте на калининградском рынке; б) – оценка широты ассортимента функциональных напитков на калининградском рынке, % от числа респондентов

Fig. 1 Analysis of the market of nonalcoholic drinks of functional purpose: a) interest of consumers of different ages in a new product in the Kaliningrad market; b) assessment of the breadth of the range of functional drinks in the Kaliningrad market, % of the number of respondents

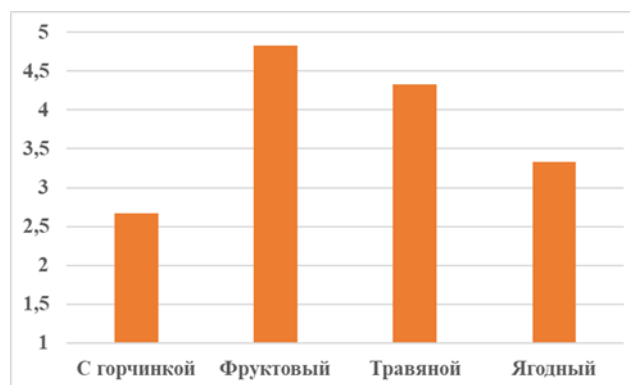


Рис. 2. Диаграмма вкусовых предпочтений предполагаемого функционального напитка, баллы

Fig. 2. Diagram of taste preferences of the proposed functional drink, points

Для повышения биологической ценности, а также сроков хранения напитка из кураги при изготовлении в него добавляли витамины С и В₁₂, листья мяты перечной *Mentha piperita*. Последнюю традиционно используют для приготовления напитков. Так, в чае из листьев перечной мяты отсутствует кофеин, поэтому его можно употреблять в любое время суток. Благодаря сосудорасширяющему действию ментола, содержащегося в листьях мяты, это растение полезно при ишемической болезни

сердца и артериальной гипертензии. Данное сырье обладает небольшой калорийностью и высокой биологической ценностью – содержит эфирные масла, витамины, органические кислоты, гликозидные соединения. Значит, разрабатываемый напиток можно будет рекомендовать для включения в питание людям с ССЗ.

Приготовление напитка осуществлялось по следующей технологической схеме: очистка, измельчение и замачивание кураги, подготовка мяты, нагревание водной суспензии, добавление кураги и перечной мяты, пастеризация, внесение сахара, витаминов С и В₁₂, розлив в бутылки из полиэтилентерефталата, упаковывание, маркирование, хранение.

При исследовании обнаружена прямая зависимость органолептических и физико-химических показателей ФН от степени измельчения кураги (табл. 1).

Таблица 1. Характеристика органолептических и физико-химических показателей качества напитка в зависимости от степени измельчения кураги

Table 1. Characteristics of organoleptic and physico-chemical parameters of the quality of the drink, depending on the fineness degree of dried apricots

Степень измельчения кураги, мм	Органолептическая характеристика	Массовая доля сухих веществ, %	Общая кислотность, град	Вязкость, Па·с·10 ⁻³
Менее 3	Мутная, вязкая жидкость, после употребления остается неприятное послевкусие	7,90	2,40	1,30
4 - 5	Прозрачная жидкость, присутствуют единичные взвеси, вкус насыщенный, приятный	6,20	1,80	1,25
6 - 8	Прозрачная жидкость, без осадка, вкус приятный	4,80	1,40	1,20
Более 8	Прозрачная жидкость, без осадка, вкус ненасыщенный	3,90	1,20	0,95

Анализ данных табл. 1 свидетельствует о том, что измельчение кураги до 3 мм и менее дает максимальный выход сухих веществ, но приводит к нежелательным органолептическим характеристикам. Поэтому рекомендовано остановиться на степени измельчения кураги 4-5 мм: напиток получается прозрачным, отличается приятным насыщенным вкусом, экстракция сухих веществ в жидкую часть высокая.

Для уточнения рецептуры проведены исследования по определению оптимальных параметров приготовления ФН из кураги и перечной мяты *Mentha piperita* методом математического планирования эксперимента с применением ортогонального центрального композиционного плана (ОЦКП) второго порядка для двух факторов. В качестве варьируемых частных факторов, подлежащих регулированию и оптимизации, использовались массовые доли кураги (M_k) и мяты ($M_{лм}$), (г/л). Параметром оптимизации был выбран обобщенный показатель y , включающий балловую оценку качества готовой продукции по консистенции (K) и вкусу (B_k). План эксперимента по оптимизации исследуемого процесса приведен в табл. 2.

Таблица 2. План эксперимента по моделированию и оптимизации рецептуры ФН из кураги и перечной мяты *Mentha piperita*

Table 2. Experimental plan for modeling and optimizing the background formulation of dried apricots and peppermint *Mentha piperita*

Номер опыта	План эксперимента		Частные отклики		Частные безразмерные отклики		Обобщённый параметр оптимизации y
	M_k , г/л	M_{nm} , г/л	K , баллы	B_k , баллы	S_k^2	$S_{B_k}^2$	
1	18,75	2,5	4,6	3,9	0,0064	0,0484	0,0548
2	25	3,75	4,3	4,2	0,0196	0,0256	0,0452
3	12,5	1,25	4,1	4,3	0,0324	0,0196	0,052
4	25	2,5	4,2	4,2	0,0256	0,0256	0,0512
5	18,75	3,75	4,4	4,0	0,0144	0,04	0,0544
6	12,5	2,5	4,5	4,1	0,01	0,0324	0,0424
7	12,5	3,75	3,7	4,6	0,0676	0,0064	0,074
8	18,75	1,25	4,8	4,7	0,0016	0,0036	0,0052
9	25	1,25	4,9	4,8	0,0004	0,0016	0,002

Реализация плана матрицы *ОЦКП*, а также обработка экспериментальных данных по заданным алгоритмам позволили получить полиномиальное уравнение второго порядка в натуральном виде, количественно связывающее процесс формирования качества готового напитка с параметрами его проведения:

$$y = -0,7 + 0,013M_{nm} + 0,03M_k + 0,000008M_kM_{nm} + 0,0002M_k^2 - 0,044M_{nm}^2.$$

Значения оптимальных факторов исследуемого процесса определялись методом дифференцирования натуральных математических моделей, в результате массовая доля мяты составила $M_{nm} = 2,70\%$; массовая доля кураги – $M_k = 18,75\%$.

Для установления срока годности ФН из кураги в качестве вариативных условий хранения были выбраны: 1) оптимальные условия (ОУ) – температура хранения 6°C ; 2) нормальные (НУ) – 8°C ; 3) экстремальные (ЭУ) – 20°C . Для получения наиболее полной информации об изменении качества ФН из кураги исследовали микробиологические показатели (количество МАФАНМ, дрожжей и плесеней, отсутствие БГКП, сальмонеллы), а также изменение органолептических характеристик. Результаты испытаний представлены в табл. 3 и 4 соответственно.

Таблица 3. Результаты исследований микробиологических показателей ФН из кураги
Table 3. Results of studies of microbiological parameters of functional drink from dried apricots

Срок хранения, сут	Количество МАФАНМ, КОЕ/100 см ³			Дрожжи/плесени, КОЕ/см ³		
	ОУ	НУ	ЭУ	ОУ	НУ	ЭУ
1	2	3	4	5	6	7
Норматив	Не более 100 КОЕ/ 100 см ³			40 КОЕ/см ³ (в сумме), не более		
Фон (контроль)	$5,4 \cdot 10^1$			$1,0 \cdot 10^1 / 1,0 \cdot 10^1$		
14	-	-	$8,0 \cdot 10^1$	-	-	$1,0 \cdot 10^1 / 1,5 \cdot 10^1$

Окончание табл. 3

1	2	3	4	5	6	7
30	$8,0 \cdot 10^1$	$8,7 \cdot 10^1$	-	$1,1 \cdot 10^1 / 1,8 \cdot 10^1$	$1,7 \cdot 10^1 / 1,9 \cdot 10^1$	-
45	$9,7 \cdot 10^1$	-	-	$2,0 \cdot 10^1 / 2,0 \cdot 10^1$	-	-

Анализ полученных данных показал, что количество МАФАНМ в ФН из кураги к 45 суткам хранения не превышает допустимый уровень. При этом в образцах, которые хранились в экстремальных условиях, на четырнадцатые сутки, а в нормальных – на тридцатые было обнаружено наличие плесневых грибов, а также неприятного запаха. В связи с этим приняли решение установить срок годности ФН из кураги на уровне 45 сут при температуре 6 ± 2 °С.

Оценка качества готового продукта на соответствие ТУ 9185-006-00471544-2019 «Функциональный напиток из кураги» показала, что по органолептическим характеристикам напиток представляет собой прозрачную жидкость, без осадка и мути, золотисто-коричневого цвета, с приятными вкусом и запахом, свойственными плодам кураги. Результаты исследований физико-химических показателей качества представлены в табл. 5, из которой следует, что продукт отвечает требованиям документации.

Таблица 4. Результаты исследований органолептических показателей ФН из кураги в результате хранения

Table 4. Results of studies of organoleptic characteristics of functional drink from dried apricots as a result of storage

Наименование показателей	Норма (ТУ 9185-006-00471544-2019)	Срок хранения, сут									
		Фон (контроль)	7			14			30		
			ЭУ	НУ	ОУ	ЭУ	НУ	ОУ	ЭУ	НУ	ОУ
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Внешний вид (консистенция)	Прозрачная жидкость без осадка и посторонних взвесей	Соответствует	Плесневые грибы (не соответствует)	Появились плесневые грибы (не соответствует)	Соответствует	-	Плесневые грибы (не соответствует)	Соответствует	-	-	Соответствует

Окончание табл. 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Цвет, вкус и запах	Цвет красивый, равномерный, светло-коричневый Вкус гармоничный, полный, приятный, с нотками кураги и перечной мяты. Запах характерный, чистый, с ведущей нотой, без посторонних оттенков, присутствует приятный аромат кураги и перечной мяты	Соответствует	Цвет – соответствует. Запах – неприятный (не соответствует)	Соответствует	Соответствует	-	Цвет – соответствует. Запах – неприятный (не соответствует)	Соответствует	-	-	Соответствует

Таблица 5. Физико-химические показатели качества ФН из кураги
Table 5. Physico-chemical quality indicators of the functional drink from dried apricots

Наименование показателя	Значение показателя по ТУ 9185-006-00471544-2019	Экспериментальное значение показателя
Кислотность, см ³ 1 моль/1000 см ³ раствора NaOH, пошедшего на титрование 100 см ³ напитка	Не более 8,0	2,40
Плотность, г/см ³	Не более 1,1	1,06
Сухие вещества, %	Не более 10,0	7,90
Вязкость (Па·с·10 ⁻³)	Не более 5,0	1,30
Содержание функционального пищевого ингредиента в 100 см ³ напитка или в разовой порции, % от уровня рекомендуемого суточного потребления:		
- витамин С	15,0-50,0	22,2
- витамин В ₁₂	15,0-50,0	24,0*
- калий	15,0-50,0	8,0

Примечание. * Данные получены расчетным путем.

Общий химический состав продукта представлен в табл. 6.

Таблица 6. Общий химический состав ФН из кураги на 100 мл
Table 6. General chemical composition of the functional drink made from dried apricots per 100 ml

Наименование показателя	Количество
Калорийность, ккал	47,2
Белки, г	0,4
Жиры, г	0,02
Углеводы, г, в том числе:	12,1
пищевые волокна	1,3

Установлено, что употребление 200 мл, т. е. одного стакана ФН из кураги, удовлетворяет суточную потребность человека в калии на 16, витамине С – на 44, витамине В₁₂ – на 48%. Это позволяет сделать вывод, что предложенный продукт – напиток из кураги – является функциональным.

Таким образом, разработанный ФН из кураги, обогащенный листьями мяты перечной, витаминами С и В₁₂, по совокупности показателей качества удовлетворяет требованиям, предъявляемым к продукции массового потребления: обладает привлекательными органолептическими характеристиками, в его приготовлении используются только натуральные ингредиенты, исключая добавление искусственных красителей, ароматизаторов и вкусовых добавок, имеет пролонгированные сроки хранения (45 сут при температуре плюс 6± 2 °С).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Боряев, В. Е. Функциональные продукты питания: учеб. пособие / В. Е. Боряев. – Белгород: Кооперативное образование, 2005. – 130 с.
2. ТР ТС 021/2011 О безопасности пищевой продукции. – Москва, 2011.
3. ГОСТ Р 56543-2015 Напитки функциональные. Общие технические условия. – Москва, 2015.
4. Социально-экономическое положение Калининградской области в 2017 году. Электронный ресурс: http://kaliningrad.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_ts/kaliningrad/ru/publications/official_publications/electronic_versions/ (Дата обращения 29.01.2018).
5. Першина, Е. Г. Разработка функциональных продуктов питания на основе методологии пищевой комбинаторики: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.18.15 – Товароведение пищевых продуктов и технология общественного питания / Першина Елена Геннадьевна. – Кемерово, 2009. – 21 с.
6. ГОСТ 32896-2014 Фрукты сушеные. Общие технические условия. – Москва, 2014.
7. ГОСТ 23768-94 Листья мяты перечной обмолоченные. Технические условия. – Москва, 1996.
8. ГОСТ 30712-2001 Продукты безалкогольной промышленности. Методы микробиологического анализа. – Москва, 2002.

REFERENCES

1. Boryaev V. E. *Funktsionalnye produkty pitaniya* [Functional food products]. Belgorod, Kooperativnoe obrazovanie, 2005, 130 p.
2. TR TS 021/2011 O bezopasnosti pishchevoy produktsii. M., 2011.
3. GOST R 56543-2015 Napitki funktsionalnye. Obshchie tekhnicheskie usloviya. M., 2015.
4. Socialno-ekonomicheskoe polozhenie Kaliningradskoy oblasti v 2017 godu [Social and economic situation of the Kaliningrad region in 2017]. Available at: http://kaliningrad.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_ts/kaliningrad/ru/publications/official_publications/electronic_versions/ (Accessed 29 January 2018).
5. Pershina E. G. *Razrabotka funktsionalnykh produktov pitaniya na osnove metodologii pishchevoy kombinatoriki. Diss. kand.tekhn. nauk* [Development of functional food products based on the methodology of food combinatorics. PhD in Engineering Dis.]. Kemerovo, 2009. 21 p.
6. GOST 32896-2014 Frukty sushenye. Obshchie tekhnicheskie usloviya. M., 2014.
7. GOST 23768-94 Listya myaty perechnoy obmolochnyye. Tekhnicheskie usloviya. M., 1996.
8. GOST 30712-2001 Produkty bezalkogolnoy promyshlennosti. Metody mikrobiologicheskogo analiza. M., 2002.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Ключко Наталья Юрьевна – Калининградский государственный технический университет; кандидат технических наук; доцент кафедры пищевой биотехнологии; E-mail: natalya.kluchko@klgtu.ru

Klyuchko Nataliya Yurievna – Kaliningrad State Technical University; Candidate of Technical Sciences; Associate Professor of the Department of Food Biotechnology; E-mail: natalya.kluchko@klgtu.ru

Ромазьева Ильмира Равильевна – Калининградский государственный технический университет; магистрант кафедры пищевой биотехнологии; E-mail: romazyayeva@mail.ru

Romazyayeva Ilmira Ravilievna – Kaliningrad State Technical University; Master student of the Department of Food Biotechnology; E-mail: romazyayeva@mail.ru

УДК 581.6

ВЫЧИСЛЕНИЕ ЭНЕРГИИ НА ИСПАРЕНИЕ СВЯЗАННОЙ ВЛАГИ
ИЗ ДЖЕКФРУТА

Нгуен Тхи Сен, А. Х.-Х. Нугманов, З. М. Арабова, А. А. Нугманова

CALCULATION OF ENERGY FOR EVAPORATION OF RELATED MOISTURE
OF JACKFRUIT

Nguyen Thi Sen, A. H.-H. Nugmanov, Z. M. Arabova, A. A. Nugmanova

Исследуемый процесс сушки в технологии переработки экзотического для России тропического фрукта (соплодие джекфрута), а именно его ломтиков, протекает, в том числе и в области гигроскопического состояния. Вследствие этого необходим термодинамический анализ статических закономерностей переноса массы и тепловой энергии для выявления влияния характера связывания влаги с сухим остатком на качество получаемого сухого продукта при снижении его влажности. Полученный результат необходимо учитывать при принятии конструкторских решений для рационального осуществления операций, связанных с консервацией овощей и фруктов обезвоживанием. Для влажных термолабильных материалов, к которым относится плод джекфрута, при статическом равновесии между продуктом и окружающей средой содержание в нем воды в гигроскопическом состоянии зависит от вида и энергии, влажности и ряда параметров, в частности, температуры и парциального давления его паров над поверхностью объекта. Опираясь на полученные математические зависимости, аппроксимирующие изотермические кривые сорбции, можно определить величины свободной, связанной и внутренней энергий процесса сорбции. При обезвоживании тепловая энергия, затрачиваемая на удаление влаги, складывается из энергии на парообразование свободной воды, тепловой энергии смачивания и энергии, учитывающей энтропийную составляющую в уравнении Гиббса-Гельмгольца. В статье представлена графическая интерпретация зависимости удельной теплоты удаления влаги из джекфрута от его влажности в состоянии равновесия. Полученные зависимости термодинамически проанализированы, при этом установлено, что их характер типичен для основных видов фруктового сырья и определяется варьированием энергетических видов связи влаги с сухим остатком. Характерные точки перегиба на представленных кривых определяют переход от превалирования удаления влаги с той или иной формой связи с сухим веществом объекта исследования.

термодинамический анализ, тепловая энергия, равновесное состояние, энтропия, энергия связи, соплодие джекфрута

The drying process under study in the processing technology of an exotic for Russia tropical fruit (jackfruit), namely its slices, proceeds in the field of hygroscopic state. As a result of this, a thermodynamic analysis of the static laws of mass transfer and thermal energy is needed to identify the effect of the nature of the binding of mois-

ture to the dry residue on the quality of the resulting dry product, with a decrease in its moisture content. The result should be taken into account when making design decisions for the rational implementation of operations related to the preservation of fruits and vegetables by dehydration. For wet thermolabile materials, which include jackfruit, with a static equilibrium between the product and the environment, the water content in it in a hygroscopic state depends on its type and energy, humidity and a number of parameters, in particular, the temperature and partial pressure of its vapor above the surface object. Based on the obtained mathematical dependences approximating the isothermal sorption curves, it is possible to determine the values of the free, bound, and internal energies of the sorption process. During dehydration, the thermal energy spent on removing moisture is the sum of the energy for vaporization of free water, the thermal energy of wetting, and the energy that takes into account the entropy component in the Gibbs-Helmholtz equation. The article presents a graphical interpretation of the dependence of the specific heat of moisture removal from jackfruit on its moisture in equilibrium. The obtained dependences are thermodynamically analyzed, and it was found that their nature is typical of the main types of fruit raw materials and is determined by the variation of the energy types of moisture connection with the dry residue. The characteristic inflection points on the presented curves determine the transition from the prevalence of moisture removal with some form of connection with the dry matter of the object of study.

thermodynamic analysis, thermal energy, equilibrium state, entropy, binding energy, jackfruit

ВВЕДЕНИЕ

Экзотический для России тропический фрукт джекфрут приобретает все большую популярность. Этот необычный плод джекфрут способен сочетать в себе разные ароматы и вкусы. Например, кожура зрелого фрукта издает отвратительный гнилой запах и имеет горьковатый привкус, а мякоть, состоящая из множества сочных волокон, напротив, пахнет очень приятно и напоминает аромат и вкус ананаса или банана. Органолептические особенности джекфрута не препятствуют его распространению в Европе, и связано это, прежде всего, с тем, что при правильном использовании в кулинарии он оказывается вполне аппетитным блюдом, которое обязательно понравится людям с европейским пищевым рационом.

Плоды (соплодия) джекфрута являются одними из крупных фруктов, употребляемых в пищу человеком и животными, растущих на деревьях, кожура которых покрыта множеством конусных выступов (рис. 1). Длина их варьирует в пределах от 20 до 110, а в диаметре достигают 20 см, при этом масса крупных экземпляров может равняться 34 кг. Незрелые плоды имеют зеленоватый оттенок на темном фоне, а при созревании кожура приобретает уже жёлтый цвет. Внутри плод разбит на крупные доли, содержащие сочную сладковатую латексно-волоконистую мякоть желтого цвета. Практически все доли имеют продолговатое коричневое семя размером около 6 см [1].

В Россию джекфрут попадает в основном в виде сухофруктов, а такой вид пищевой продукции является для россиян привычным, к тому же согласно статистике [2] процент потребления сухих фруктов, выращенных и переработанных за рубежом, растет и приближается уже к отметке 85%.



Рис. 1 Джекфрут натуральный
Fig. 1 Natural jackfruit

Вследствие того, что исследуемые процессы в технологии переработки джекфрута, в частности сушка долек этого фрукта, протекают, в том числе и в области гигроскопического состояния, необходим термодинамический анализ статических закономерностей тепло- и массообмена для выявления влияния характера связывания влаги с сухим остатком на качество получаемого сухого продукта при снижении его влажности. Результат анализа необходимо учитывать при принятии конструкторских решений для рационального осуществления исследуемых процессов [3-7].

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Термодинамический анализ статических закономерностей теплового и массового обмена с целью выявления механизма влияния того или иного вида связи влаги с сухим остатком мякоти джекфрута на качество получаемого сухого продукта при снижении его влагосодержания основан на фундаментальных исследованиях академика А. В. Лыкова [4, 8-10]. В качестве методических инструкций по вычислению тепловой энергии на испарение связанной влаги из исследуемого объекта использовались труды профессора И. Ю. Алексаняна [11, 12].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

После реализации серии экспериментов на эксикаторной опытной установке получены математически аппроксимированные изотермы сорбции влаги соплодия джекфрута при температурах воздуха 298, 308 и 318К, которые для удобства разбиты на два участка (табл. 1).

Таблица 1. Уравнения линейной и логарифмической аппроксимации (по участкам) изотерм сорбции влаги джекфрутом

Table 1. Equations of linear and logarithmic approximation (in parts) of isotherms of moisture sorption by jackfruit

Температура, К	Первый участок	Второй участок
298	$LnA_w = 68.18W_p - 4.463$	$LnA_w = 0.735Ln(W_p) + 0.715$
308	$LnA_w = 72.727W_p - 4.454$	$LnA_w = 0.669Ln(W_p) + 0.743$
318	$LnA_w = 61.727W_p - 3.64$	$LnA_w = 0.4996Ln(W_p) + 0.5635$

Для наглядности и удобства термодинамического исследования эмпирические данные целесообразно обрабатывать в виде комплексной зависимости логарифма A_w от T и W_p :

$$\text{I участок: } \ln A_w = (a_i T^2 + b_i T + c_i) W_p + (d_i T^2 + e_i T + f_i), \quad (1)$$

$$\text{II участок: } \ln A_w = (a_i T^2 + b_i T + c_i) \ln(W_p) + (d_i T^2 + e_i T + f_i), \quad (2)$$

где $a_i, b_i, c_i, d_i, e_i, f_i$ – эмпирические коэффициенты; i – порядковый номер участка изотермы.

Значения этих коэффициентов для каждого участка сведены в табл. 2.

Таблица 2. Значения коэффициентов $a_i, b_i, c_i, d_i, e_i, f_i$ для каждого участка W_p , подставляемые в уравнение 1 или 2

Table 2. The values of the coefficients $a_i, b_i, c_i, d_i, e_i, f_i$ for each plot W_p , substituted in equation 1 or 2

Эмпирические коэффициенты	$0,02 \leq W_p \leq 0,042, i = 1$	$0,042 \leq W_p \leq 0,34, i = 2$
a_i	-0,0777	-0,00052
b_i	47,56	0,3067
c_i	-7202,15	-44,75
d_i	0,004	-0,00104
e_i	-2,438	0,632
f_i	364,7	-95,35

При изучении процесса удаления влаги целесообразно использовать термодинамический параметр – потенциал массо- или в нашем случае влагопереноса Θ для выявления обоснованных механизма и закономерностей переноса тепловой энергии и вещества при сушке [12]. Такой подход опирается на классические термодинамические положения [4, 8-10], что позволяет корректно определить энергию, затраченную на изменение системного состояния, и при математической аппроксимации закономерностей переноса избежать изучения молекулярной структуры объекта исследования.

Потенциалом переноса водяных паров в паровоздушной смеси будет химический потенциал, который в гигроскопическом состоянии ориентировочно идентичен по модулю параметру влагопереноса [12]:

$$|\Theta| = |\mu| = RT \ln A_w, \quad (3)$$

где R – константа, равная работе расширения одного моля идеального газа в изобарном процессе при увеличении температуры на 1К, $R = 8,314$ Дж/(моль·К); T – температура среды, К; A_w – активность воды, кг/кг.

При перемещении влаги в жидком виде μ зависит от T и W и его величина связана с определением начала отсчета, т. е. нуля. Начальную (нулевую) величину μ влагопереноса в гигроскопическом интервале при постоянной T определяют при $\varphi = 1$, т. е. μ свободной влаги μ_0 . Следственно, в произвольной пространственной точке при том или ином φ $\Delta\mu = \mu - \mu_0$. Кроме того [12], в гигроскопическом диапазоне μ по модулю идентичен величине энергии связи влаги E или изменению значения свободной энергии Гельмгольца:

$$\Delta\mu = E = -\left(\frac{\partial\Delta F}{\partial W_p}\right) = -RT\ln A_w, \quad (4)$$

в связи с чем потенциалом влагопереноса можно принять величину E .

На основе полученного обобщенного аппроксимирующего уравнения изотерм сорбции и зная соотношение между влагосодержанием исследуемого материала W_p и известным значением A_w , можно изменение свободной энергии Гельмгольца записать следующим образом:

$$E = -\left(\frac{\partial\Delta F}{\partial W_p}\right) = -RT\ln A_w = -RT \cdot (AW_p + B) \quad (5)$$

или

$$E = -\left(\frac{\partial\Delta F}{\partial W_p}\right) = -RT\ln A_w = -RT \cdot (A \ln W_p + B), \quad (6)$$

где $A = a_i T^2 + b_i T + c_i$ и $B = d_i T^2 + e_i T + f_i$.

После процедуры дифференцирования выражения Гиббса-Гельмгольца по W_p , при $P, T = const$ имеем разность значений свободной энергии:

$$\Delta F = \Delta E - T\Delta S, \quad (7)$$

где ΔS – изменение энтропии системы, Дж/К; ΔE – изменение внутренней энергии, Дж.

Таким образом,

$$\left(\frac{\partial\Delta F}{\partial W_p}\right)_{T,P} = \left(\frac{\partial\Delta E}{\partial W_p}\right)_{T,P} - T \cdot \left(\frac{\partial\Delta S}{\partial W_p}\right)_{T,P}. \quad (8)$$

Продифференцировав выражение 8 по T , получим:

$$\frac{\partial}{\partial T} \left(\frac{\partial\Delta F}{\partial W_p}\right)_{T,P} = -\left(\frac{\partial\Delta S}{\partial W_p}\right)_{T,P}. \quad (9)$$

Учитывая (4), выражение для дифференциального изменения энтропии связанной воды будет иметь вид:

$$\left(\frac{\partial\Delta S}{\partial W_p}\right)_{T,P} = -\frac{\partial(RT \ln A_w)}{\partial T}, \quad (10)$$

или для первого участка

$$\left(\frac{\partial\Delta S}{\partial W_p}\right)_{T,P} = -R \left[(3a_i T^2 + 2b_i T + c_i) W_p + (3d_i T^2 + 2e_i T + f_i) \right] \quad (11)$$

и для второго участка

$$\left(\frac{\partial\Delta S}{\partial W_p}\right)_{T,P} = -R \left[(3a_i T^2 + 2b_i T + c_i) \ln W_p + (3d_i T^2 + 2e_i T + f_i) \right]. \quad (12)$$

Имея $\ln A_w = f(W_p; T)$, можно найти величины свободной, связанной энергии и внутренней энергии (термоэффекта) сорбционного процесса.

Зависимость дифференциального изменения свободной энергии для первого участка

$$\left(\frac{\partial \Delta F}{\partial W_p}\right)_{T,P} = RT \left[(a_i T^2 + b_i T + c_i) W_p + (d_i T^2 + e_i T + f_i) \right], \quad (13)$$

для второго участка

$$\left(\frac{\partial \Delta F}{\partial W_p}\right)_{T,P} = RT \left[(a_i T^2 + b_i T + c_i) \ln W_p + (d_i T^2 + e_i T + f_i) \right]. \quad (14)$$

Зависимость дифференциального изменения связанной энергии для первого участка

$$T \cdot \left(\frac{\partial \Delta S}{\partial W_p}\right)_{T,P} = -RT \left[(3a_i T^2 + 2b_i T + c_i) W_p + (3d_i T^2 + 2e_i T + f_i) \right], \quad (15)$$

для второго участка

$$T \cdot \left(\frac{\partial \Delta S}{\partial W_p}\right)_{T,P} = -RT \left[(3a_i T^2 + 2b_i T + c_i) \ln W_p + (3d_i T^2 + 2e_i T + f_i) \right]. \quad (16)$$

Зависимость дифференциального изменения внутренней энергии при сорбции имеет вид:

$$\left(\frac{\partial \Delta E}{\partial W_p}\right)_{T,P} = \left(\frac{\partial \Delta F}{\partial W_p}\right)_{T,P} + T \cdot \left(\frac{\partial \Delta S}{\partial W_p}\right)_{T,P}. \quad (17)$$

На рис. 2 для объекта обезвоживания показана графическая интерпретация зависимости дифференциала варьирования связанной энергии $T \cdot \left(\frac{\partial \Delta S}{\partial W_p}\right)_{T,P}$ от W_p при парсорбции для T , равных 298, 308 и 318K, так как он обуславливает механизм и его кинетические закономерности, а также энергоёмкость обезвоживания.

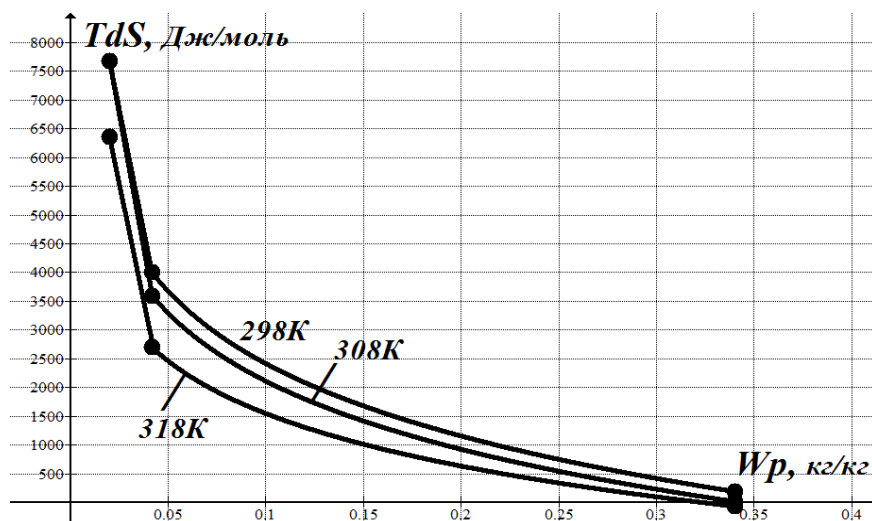


Рис. 2. Дифференциальное изменение связанной энергии от равновесной влажности в процессе сорбции влаги джекфрутом
 Fig. 2. Differential change in bound energy from equilibrium humidity during moisture sorption by jackfruit

Дифференциал варьирования внутренней энергии в гигроскопическом интервале будет иметь отрицательное значение из-за теплоэффекта паросорбции. Характер поведения $\left(\frac{\partial \Delta E}{\partial W_p}\right)_{T,P}$, $\left(\frac{\partial \Delta F}{\partial W_p}\right)_{T,P}$ и $T \cdot \left(\frac{\partial \Delta S}{\partial W_p}\right)_{T,P}$ при сорбции подобен характеру этих изменений для множества схожих с джекфрутом биосистем.

Вычисление $T \cdot \left(\frac{\partial \Delta S}{\partial W_p}\right)_{T,P}$ для варьируемых температурных условий нужно

для точного определения удельной тепловой энергии на испарение воды r (Дж/кг) при различных способах обезвоживания, и, кроме того, эта величина необходима для решения математической модели с учетом массопереноса, причем $r = f(W, T)$, т. е. дифференциального уравнения переноса тепловой энергии [12].

При влагоотнятии r [12] складывается из тепловых энергий испарения свободной воды r' , смачивания $r_{см}$ и $r_{энт}$, определяющей энтропийной составляющей в основополагающем выражении Гиббса-Гельмгольца:

$$r = r' + r_{см} + r_{энт} \quad (18)$$

r' – линейно зависит от T пара при насыщении в рабочем интервале $t = 293 \div 318$ К [12, 13]:

$$r' = 3118,458 \cdot 10^3 - 2286T; \quad (19)$$

$r_{см}$ – обусловлена дифференциалом варьирования свободной энергии влагодудаления при изотермических условиях [4]:

$$r_{см} = |55,556 \cdot RT \ln A_W|; \quad (20)$$

$r_{энт}$ [11, 12] – определяются по выражению:

$$r_{энт} = \left| -55,556 \cdot T \cdot \left(\frac{\partial \Delta S}{\partial W_p}\right)_{T,P} \right|. \quad (21)$$

Итак, при $T = 298,308,318$ К для расчета общего количества энергии, затрачиваемой на удаление 1 кг воды из джекфрута, получены зависимости $r = f(W_p)$, сведенные в табл. 3.

Таблица 3. Зависимости $r = f(W_p)$ (кДж/кг) для двух диапазонов влажности и температур

Table 3. Dependences $r = f(W_p)$ (kJ / kg) for two ranges of humidity and temperature

Температура, К	$0,002 \leq W_p \leq 0,042, i = 1$	$0,042 \leq W_p \leq 0,34, i = 2$
298	$r = 3665,13 - 18758,61W_p$	$r = 2240,51 - 202,22 \ln W_p$
308	$r = 3680,92 - 20680,08W_p$	$r = 2207,25 - 190,23 \ln W_p$
318	$r = 3460,18 - 18123,47W_p$	$r = 2226,07 - 146,63 \ln W_p$

На рис. 3 графически представлена зависимость удельной тепловой энергии испарения от равновесной влажности в процессе сорбции паров воды джекфрутом. Характер поведения r при изменении W_p при сорбции подобен характеру этого изменения для множества схожих с джекфрутом биосистем [11-16] и определяется превалированием того или иного вида энергетической связи влаги

с сухим веществом. Точки перегиба обуславливают переход от превалирования удаления одного вида влаги к другому.

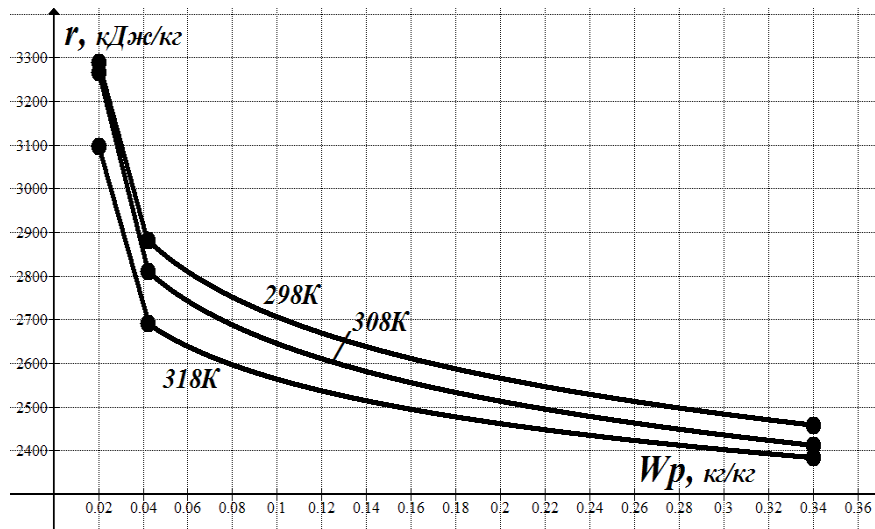


Рис. 3. Графическая зависимость удельной тепловой энергии испарения от равновесной влажности в процессе сорбции паров воды джекфрутом при температурах 298, 308 и 318K

Fig. 3. Graphic dependence of the specific thermal energy of evaporation on the equilibrium humidity during sorption of water vapor by jackfruit at temperatures of 298, 308 and 318K

Для упрощения применения зависимостей $r(T, W)$ (табл. 3) они получены отдельно для выявленных характерных участков на сорбционных изотермах:

для первого участка

$$r(T, W) = (a_i T^2 + b_i T + c_i) + (d_i T^2 + e_i T + f_i) W ; \quad (22)$$

для второго участка

$$r(T, W) = (a_i T^2 + b_i T + c_i) + (d_i T^2 + e_i T + f_i) \ln(W), \quad (23)$$

где $a_i, b_i, c_i, d_i, e_i, f_i$ – расчетные коэффициенты, представленные для каждой из зон диапазона изменения влажности в процессе влагоудаления в табл. 4.

Таблица 4. Значения коэффициентов $a_i, b_i, c_i, d_i, e_i, f_i$ для каждого участка W_p , подставляемые в уравнение (22) или (23)

Table 4. The values of the coefficients $a_i, b_i, c_i, d_i, e_i, f_i$ for each plot W_p , substituted in equation (22) or (23)

Эмпирические коэффициенты	$0,02 \leq W_p \leq 0,042, i = 1$	$0,042 \leq W \leq 0,34, i = 2$
a_i	-1,182	0,26
b_i	718,26	-161,13
c_i	-105353,76	27132,21
d_i	22,39	0,16
e_i	-13760,73	-94,58
f_i	2093581,67	13946,94

Выражения (22) и (23) дают возможность, рассчитав коэффициенты в них, получить величину r для решения математической модели переноса тепловой энергии при сушке джекфрута.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Вследствие того, что в технологии получения сухофруктов из джекфрута основным процессом является удаление влаги из плодов, протекающее также и в области гигроскопического состояния, необходим термодинамический анализ статических закономерностей тепло- и массообмена, который возможен только при наличии результатов гигроскопического исследования объекта сушки. Термодинамический анализ важен для выявления влияния характера связывания влаги с сухим остатком на качество получаемого сухого продукта при снижении его влажности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Джекфрут – хлебное дерево тропиков [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://fructberry.ru/frukty/dzhekfrut> (Дата обращения: 25.07.2019).
2. Рынок сухофруктов в России: 3 региона, контролирующих рынок сухофруктов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://marketing.rbc.ru/articles/10574/> (Дата обращения: 25.07.2019).
3. Алексанян, И. Ю. Инновационные технологии переработки сырья растительного происхождения / И. Ю. Алексанян, Ю. А. Максименко, Л. М. Титова // Инновационные технологии АПК России – 2014: материалы II конференции в рамках Международного научно-технологического форума «Биоиндустрия – основа зеленой экономики, качества жизни и активного долголетия». – Москва, 2014. – С. 12–18.
4. Лыков, А. В. Сушка в химической промышленности / А. В. Лыков. – Москва: Химия, 1970. – 499 с.
5. Kırçak A. S. Drying characteristics investigation of black mulberry dried via infrared method, *Journal of Thermal Engineering*. – 2019. P. 13-21, DOI: 10.18186/thermal.528969.
6. Lucia Brandão Franke, Miguel Ângelo Peixoto Torres, Rodrigo Ramos Lopes. Performance of different drying methods and their effects on the physiological quality of grain sorghum seeds (*S. bicolor* (L.) Moench), *Revista Brasileira de Sementes*, P. 177-184, DOI: 10.1590/S0101-31222008000300024.
7. Agnieszka Ewa Stępień, Józef Gorzelany, Natalia Matłok, Krzysztof Lech, Adam Figiel. The effect of drying methods on the energy consumption, bioactive potential and colour of dried leaves of Pink Rock Rose (*Cistus creticus*), *Journal of Food Science and Technology*, 2019, P. 1-9, DOI: 10.1007/s13197-019-03656-2.
8. Лыков, А. В. Теория сушки / А. В. Лыков. – Москва: Энергия, 1968. – 471 с.
9. Лыков, А. В. Тепломассообмен / А. В. Лыков. – Москва: Энергия, 1978. – 478 с.
10. Лыков, А. В. Тепло- и массообмен в процессах сушки / А. В. Лыков. – Москва: Гостоптехиздат, 1956. – 464 с.

11. Алексанян, И. Ю. Высокоинтенсивная сушка пищевых продуктов. Печеносушка. Теория. Практика. Моделирование: монография / И. Ю. Алексанян, А. А. Буйнов. – Астрахань: АГТУ, 2004. – 380 с.
12. Алексанян, И. Ю. Развитие научных основ процессов высокоинтенсивной сушки продуктов животного и растительного происхождения: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.18.12 / Алексанян Игорь Юрьевич. – Москва, 2001. – 52с.
13. Вукалович, М. П. Таблицы термодинамических свойств воды и водяного пара / М. П. Вукалович. – Москва; Ленинград: Госэнергоиздат, 1963. – 401 с.
14. Термодинамический анализ пшеничной клейковины на основе ее гигроскопических свойств / Е. В. Фоменко [и др.] // Современная наука и инновации Изд-во ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет». – 2019. – №1 (25). – С. 165-178.
15. Дяченко, Н. П. Исследование сорбционных характеристик крупы различных злаковых культур / Н. П. Дяченко, П. И. Григорьев, Э. П. Дяченко // Сушка, хранение и переработка продукции растениеводства: сборник научных трудов Международного научно-технического семинара, посвящённого 175-летию со дня рождения К. А.Тимирязева. – 2018. – С. 218-222.
16. Автоматизация технологических процессов при переработке сырья растительного происхождения / Ю. А. Максименко [и др.] // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2014. – № 3. – С. 21-29.

REFERENCES

1. *Dzhekfruit – khlebnoe derevo tropikov* [Jackfruit – tropic bread tree], available at: <https://fructberry.ru/frukty/dzhekfruit> (Accessed 25 July 2019).
2. *Rynok sukhofruktov v Rossii: 3 regiona, kontroliruyushchikh rynek sukhofruktov* [Dried fruit market in Russia: 3 regions that control the dried fruit market], available at: <https://marketing.rbc.ru/articles/10574/> (Accessed 25 July 2019).
3. Aleksanyan I. Yu., Maksimenko Yu. A., Titova L. M. Innovatsionnye tekhnologii pererabotki syr'ya rastitel'nogo proiskhozhdeniya [Innovative technologies for processing raw materials of plant origin]. *Innovatsionnye tekhnologii APK Rossii – 2014: materialy II konferentsii v ramkakh Mezhdunarodnogo nauchno-tekhnologicheskogo foruma «Bioindustriya – osnova zelenoy ekonomiki, kachestva zhizni i aktivnogo dolgoletiya»* [Innovative technologies of the Russian agro-industrial complex - 2014: materials of the II conference in the framework of the International Science and Technology Forum "Bioindustry – the basis of the green economy, quality of life and active longevity"]. Moscow, 2014, pp. 12-18.
4. Lykov A. V. *Sushka v khimicheskoy promyshlennosti* [Drying in the chemical industry]. Moscow, Khimiya, 1970, 499 p.
5. Kırçak A. S. Drying characteristics investigation of black mulberry dried via infrared method, *Journal of Thermal Engineering*. 2019, pp. 13-21, DOI: 10.18186/thermal.528969.
6. Lucia Brandão Franke, Miguel Ângelo Peixoto Torres, Rodrigo Ramos Lopes. Performance of different drying methods and their effects on the physiological quality of grain sorghum seeds (*S. bicolor* (L.) Moench), *Revista Brasileira de Sementes*, P. 177-184, DOI: 10.1590/S0101-31222008000300024.

7. Agnieszka Ewa Stępień, Józef Gorzelany, Natalia Matłok, Krzysztof Lech, Adam Figiel. The effect of drying methods on the energy consumption, bioactive potential and colour of dried leaves of Pink Rock Rose (*Cistus creticus*), *Journal of Food Science and Technology*, 2019, P. 1-9, DOI: 10.1007/s13197-019-03656-2.
8. Lykov A. V. *Teoriya sushki* [Theory of drying]. Moscow, Energiya, 1968, 471 p.
9. Lykov A. V. *Teplomassobmen* [Heat and mass transfer]. Moscow, Energiya, 1978, 478 p.
10. Lykov A. V. *Teplo- i massobmen v protsessakh sushki* [Heat and mass transfer in drying processes]. Moscow, Gostoptekhizdat, 1956, 464 p.
11. Aleksanyan I. Yu., Buinov A. A. *Vysokointensivnaya sushka pishchevykh produktov. Penosushka. Teoriya. Praktika. Modelirovanie* [High-intensity drying of food products. Foam dryer. Theory. Practice. Modeling]. Astrakhan', ASTU, 2004, 380 p.
12. Aleksanyan I. Yu. *Razvitie nauchnykh osnov protsessov vysokointensivnoy sushki produktov zhivotnogo i rastitel'nogo proiskhozhdeniya: avtoref. dis. ... doktora tekhn. nauk* [The development of the scientific foundations of the processes of high-intensity drying of animal and vegetable products: Abstract. of dis. dr. sci.]. Moscow, 2001, 52 p.
13. Bykalovich M. P. *Tablitsy termodinamicheskikh svoystv vody i vodyanogo para* [Tables of thermodynamic properties of water and water vapor]. Moscow; Leningrad, Gosenergoizdat, 1963, 401 p.
14. Fomenko E. V., Nugmanov A. Kh.-Kh., Aleksanyan O. A., Nguyen T. S. *Termodinamicheskiy analiz pshenichnoy kleykoviny na osnove ee gigroskopicheskikh svoystv* [Thermodynamic analysis of wheat gluten based on its hygroscopic properties]. *Sovremennaya nauka i innovatsii*. Izd-vo FGAOU VO "Severo-Kavkazskiy federal'nyy universitet", 2019, no. 1 (25), pp. 165-178.
15. Dyachenko N. P., Grigoriev P. I., Dyachenko E. P. *Issledovanie sorbtionnykh kharakteristik krupy razlichnykh zlakovykh kul'tur* [Study of sorption characteristics of cereals of various cereal crops]. *Sushka, khranenie i pererabotka produktsii rastenievodstva. Sbornik nauchnykh trudov Mezhdunarodnogo nauchno-tekhnicheskogo seminara, posvyashchyonno 175-letiyu so dnya rozhdeniya K.A.Timiryazeva*. 2018, pp. 218-222.
16. Maksimenko Yu. A., Dyachenko E. P., Feklunova Yu. S., Telichkina E. R. *Avtomatizatsiya tekhnologicheskikh protsessov pri pererabotke syr'ya rastitel'nogo proiskhozhdeniya* [Automation of technological processes in the processing of raw materials of plant origin]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika i informatika*. 2014, no. 3, pp. 21-29.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Нгуен Тху Сен – Астраханский государственный технический университет;
аспирант кафедры «Технологические машины и оборудование»;
E-mail: albert909@yandex.ru

Nguyen Thi Sen – Astrakhan state technical university; graduate student
of the Department of Technological Machines and Machinery;
E-mail: albert909@yandex.ru

Нугманов Альберт Хамед-Харисович – Астраханский государственный
технический университет; д.т.н., доцент, профессор кафедры «Технологические
машины и оборудование»; E-mail: albert909@yandex.ru

Nugmanov Albert Hamed-Harisovich – Astrakhan state technical university;
Doctor of Technical Sciences, Assistant Professor, Professor of the Department
of Technological Machines and Machinery; E-mail: albert909@yandex.ru

Арабова Зарема Михайловна – Институт геохимии и аналитической химии
им. В. И. Вернадского (г. Москва); научный сотрудник;
E-mail: zarema.polymer@gmail.com

Arabova Zarema Mikhailovna – Vernadsky Institute of Geochemistry
and Analytical Chemistry (Moscow); Researcher;
E-mail: zarema.polymer@gmail.com.

Нугманова Аделина Альбертовна – Астраханский государственный
технический университет; аспирант кафедры «Технологические машины
и оборудование»; E-mail: feovich_female_95@mail.ru

Nugmanova Adelina Albertovna – Astrakhan state technical university; graduate student
of the Department of Technological Machines and Machinery;
E-mail: feovich_female_95@mail.ru

УДК 637.33/35

ВЛИЯНИЕ СУБЛИМИРОВАННЫХ ПОРОШКОВ ЧЕРНОПЛОДНОЙ РЯБИНЫ И ЧЕРНОЙ СМОРОДИНЫ НА ХРАНИМОСПОСОБНОСТЬ МЯГКОГО СЫРА

Н. М. Рогачикова, Л. Т. Серпунина, О. В. Казимирченко

THE INFLUENCE OF SUBLIMATED POWDERS OF CHOKEBERRY AND BLACK CURRENT ON THE STORAGE STABILITY OF SOFT CHEESE

N. M. Rogachikova, L. T. Serpunina, O. V. Kazimirchenko

Обоснована возможность расширения ассортимента мягких сыров за счет продукции с ягодным компонентом. Проведена сравнительная оценка качества опытных сыров, имеющих в составе ягодные порошки от разных производителей (ООО «Ягоды Сибири», ООО «Галактика Инк»). Установлено, что общая обсемененность ягодных порошков, а также количество в них дрожжей и плесневых грибов не превышали нормативных требований. Бактерии группы кишечной палочки, патогенные микроорганизмы, в том числе сальмонеллы, не были выявлены. Представлены данные по органолептическим и физико-химическим показателям двух партий мягкого сыра, содержащего смесь сублимированных порошков черноплодной рябины и черной смородины. Подтверждена микробиологическая безопасность сырной продукции с ягодными порошками в соответствии с нормативными документами. Приведена динамика микробиологических, физико-химических и органолептических показателей контрольной и двух опытных партий сыра при холодильном хранении. Зафиксированы лучшие показатели качества образцов, содержащих порошок производителя ООО «Ягоды Сибири». Они имеют менее кислый вкус, более высокие значения активной кислотности и пониженные значения титруемой кислотности. Выявлено, что ягодное сырье не оказывает отрицательного влияния на хранимоспособность образцов мягкого сыра. Применительно к хранению комбинированного мягкого сыра в негерметичной упаковке не прослежено положительного влияния барьерных факторов порошков ягод на показатели его качества. В соответствии с действующей нормативной документацией с учетом коэффициента резерва 1,5 установлен срок хранения мягкого сыра, имеющего в составе ягодные порошки черной смородины и черноплодной рябины – 7 сут.

мягкий сыр, сублимированные порошки, черная смородина, черноплодная рябина, микробиологическая безопасность, качество, срок хранения

A possibility of expanding the range of soft cheeses through products with berry component has been substantiated. A comparative evaluation of the quality of experimental cheeses, which included berry powders from different manufacturers (Berries of Siberia LLC, Galaktika Inc. LLC) has been carried out. It has been established that the total contamination of berry powders, as well as the number of yeast and mold fungi in them, does not exceed the regulatory requirements. E. coli bacteria, pathogens, include-

ing salmonella, have not been identified. Data are presented on the organoleptic and physico-chemical characteristics of two batches of soft cheese containing a mixture of freeze-dried powders of chokeberry and black currant. The microbiological safety of cheese products with berry powders is confirmed in accordance with regulatory documents. The dynamics of microbiological, physico-chemical and organoleptic indicators of the control and two experimental batches of cheese during refrigerated storage is given. The best quality indicators were recorded in the samples containing the powder of Siberian Berry LLC. This sample had a less sour taste, higher active acidity values, and lower titrated acidity values. It has been found that berry raw materials do not adversely affect the storage stability of soft cheese samples. With regard to the storage of the combined soft cheese in unsealed packaging, the positive influence of the barrier factors of the berry powders on the quality indicators has not been traced. In accordance with the current regulatory documentation, taking into account a reserve ratio of 1.5, the shelf life of soft cheese combined with berry powders of black currant and black chokeberry is 7 days.

soft cheese, sublimated powders, black currant, chokeberry, microbiological safety, quality, shelf life

ВВЕДЕНИЕ

На отечественном рынке мягких сыров последние три года наблюдается тенденция импортозамещения. Эксперты прогнозируют, что в 2017-2021 гг. производство мягких сыров в России будет расти на 5,8-11,5 % в год и в 2021 г. составит почти 51,0 тыс. т по данным «Анализа рынка мягких сыров в России», подготовленного BusinesStat [1].

Рынок сыров как в России в целом, так и в Калининградском регионе представлен главным образом полутвердыми сырами. Среди мягких сыров в нашем регионе в большей степени получили распространение термокислотные сыры, которые в основном представлены сырами «Калининградский» (ОАО «Молоко») и «Адыгейский» (К(Ф)Х Джаттая Тасалиева).

Однако в начале июня 2018 г. стало известно решение Минсельхоза РФ, по которому производство «Адыгейского» сыра стало ограничено непосредственно самой республикой Адыгея и Краснодарским краем.

Данный факт говорит о необходимости расширения ассортимента мягких сыров за счет введения в их рецептуру ягодного сырья, в котором, с точки зрения физиологии питания, присутствуют ценные компоненты, обогащающие продукт витаминами, микро- и макроэлементами, пищевыми волокнами.

К перспективным видам ягодного сырья для производства обогащенных мягких сыров относятся ягоды черной смородины и черноплодной рябины. Поскольку некоторые из этих соединений (йод) обладают бактериостатическими и бактерицидными свойствами, то их наличие может повлиять на срок хранения сырной продукции [2].

Свежее ягодное сырье, имея широкий спектр биологически активных веществ, активно вовлекается в производство комбинированных продуктов. Разнообразный ассортимент ягод на практике достаточно ограниченно применяется из-за сезонности поставок. По этой причине в производстве йогуртов, творожных масс используются замороженные ягоды. Известны способы обогащения полу-

жирного творога свежими и замороженными ягодами [3]. Разработана технология мягкого кислотно-сычужного сыра с плодами и порошком из жомы черноплодной рябины «Рябинка» [4]. Предложены технологии производства комбинированных кисломолочных десертов на основе творога, включающие ягодный порошок черной смородины (десерт «Смородиновый») или черноплодную рябину, протертую с сахаром (десерт «Арония») [5, 6].

На сегодняшний день практически отсутствуют теоретические и экспериментальные данные в области производства мягких сыров термокислотной коагуляции с добавлением ягодного сырья в виде сухих порошков. В качестве подобных добавок рассматривались лишь порошки облепихи и малины [7].

Целью работы являлось определение сроков холодильного хранения образцов мягкого сыра, содержащего сублимированные ягодные порошки, изготовленные в производственных условиях с применением технологии низкотемпературной вакуумной сушки.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектами исследований служили образцы мягкого сыра. Контрольный и опытные сыры изготавливались по традиционной технологии «Адыгейского» сыра [8].

В рецептуру опытного сыра дополнительно включали сахар, смесь сублимированных порошков черноплодной рябины и черной смородины.

Эти образцы отличались тем, что в них использовались порошки черной смородины разных производителей.

Опытные и контрольный образцы мягкого сыра помещали в негерметичные пластиковые контейнеры и хранили при температуре 0-6°C и относительной влажности воздуха (80±2) % в течение 13 сут.

Контроль микробиологической безопасности образцов проводили в соответствии с нормативной документацией [9-16].

Органолептические и физико-химические показатели качества сыра определяли стандартными и общепринятыми методами (рис.1) [17, 18].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Микробиологические параметры используемого при производстве сырья являются наиболее значимыми факторами, влияющими на качество и хранимоспособность мягкого сыра.

Санитарная оценка вносимых ягодных порошков и сахара проводилась по двум микробиологическим показателям: общей бактериальной обсемененности (КМАФАнМ) и наличию бактерий группы кишечной палочки (БГКП).

Из группы показателей микробиологической стабильности продукта исследовали наличие и количество микроскопических грибов (плесеней) и дрожжей, которые, как известно, являются возбудителями порчи продукта.



Рис 1. Схема исследований хранимостпособности мягкого сыра
Fig 1. Soft cheese storage stability research scheme

Этот показатель нормируется во многих продуктах из растительного сырья, а также в продуктах животного происхождения с растительными добавками и имеет важное значение при установлении сроков годности и режимов хранения новых видов продуктов.

Из патогенных микроорганизмов в исследуемом сырье определяли сальмонеллы.

Результаты исследования микробиологической безопасности растительно-го сырья, используемого для обогащения мягкого сыра, представлены в табл. 1.

Проведенные исследования показывают, что ягодные порошки соответствуют нормируемым микробиологическим показателям, но в порошке черной смородины № 1 отмечается несколько повышенный уровень содержания плесеней, поэтому необходимо изучить динамику их развития в процессе хранения готового продукта и оказываемое влияние на срок хранения.

Основной особенностью технологического процесса производства термoкислотных сыров, к которым относится «Адыгейский», является использование высокотемпературной пастеризации молока (87-95°C).

Таблица 1. Микробиологические показатели ягодных порошков
Table 1. Microbiological indicators of berry powders and combined soft cheeses

Образец	КМАФАнМ, КОЕ/г	БГКП (E. Coli)	Salmonella	Дрожжи, КОЕ/г	Плесени, КОЕ/г
Порошок смородины № 1	Менее 10	Не обнаружены			$7,1 \times 10^2$
Порошок смородины № 2					Менее 10
Порошок черноплодной рябины					
ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции»	5×10^4	0,1	Не допускается в 25 г продукта	5×10^2	5×10^2

Такая тепловая операция приводит к гибели большинства видов микроорганизмов, в том числе условно-патогенных и патогенных. Однако некоторые виды бактерий способны выдерживать высокую температуру в первую очередь за счет способности образовывать споры или переходить в состояние анабиоза.

С учетом этого микробиологическая стабильность сыра при хранении – важный фактор, отражающий хранимоспособность и безопасность для здоровья потребителя.

Сравнительная оценка результатов микробиологических исследований контрольного и опытных образцов мягкого сыра на начальном этапе и на 11-е сутки хранения представлена в табл. 2.

Во всех анализируемых образцах мягких сыров нормируемых санитарно-показательных (БГКП), условно-патогенных (*S. Aureus*) и патогенных (*Salmonella*, *Listeria*) бактерий не обнаруживали.

На 11-е сутки хранения образцов микробиологические показатели безопасности также соответствовали требованиям нормативной документации.

Кроме микробиологической безопасности, пищевая продукция должна соответствовать требуемым для нее уровням физико-химических показателей.

С учетом того, что хранение сыра проводилось в негерметичной упаковке, качество сыров оценивали по таким показателям, как: массовая доля влаги, влагоудерживающая способность (ВУС), активная и титруемая кислотность.

Динамика изменения данных показателей в испытуемых образцах сыра в период холодильного хранения представлена в табл. 3.

Таблица 2. Результаты микробиологических исследований образцов мягких сыров
Table 1. The results of microbiological studies of soft cheeses

Срок хранения, сут	Продукт	Объем (масса) продукта, см ³ (г), в которой не допускаются			
		БГКП (колиформы), 0,001	Патогенные, в т. ч. сальмонеллы, 25	Стафилококки, S. aureus, 0,001	Листерии, L. monocytogenes, 125 (в пяти образцах по 25 г)
1	Контроль	Не обнаружено	Не обнаружено	Не обнаружено	Не обнаружено
	Образец 1	То же	То же	То же	То же
	Образец 2	- « -	- « -	- « -	- « -
11	Контроль	Не обнаружено	Не обнаружено	Не обнаружено	Не обнаружено
	Образец 1	То же	То же	То же	То же
	Образец 2	- « -	- « -	- « -	- « -

Таблица 3. Изменение физико-химических показателей в процессе хранения образцов мягкого сыра

Table 3. Changes in physico-chemical parameters during storage of soft cheese samples

Показатель, нормативное значение	Продукт	Продолжительность хранения, сут			
		1	5	11	13
Массовая доля влаги, % не более 60 % [19]	Контроль	57,0±1,8	57,3±1,4	55,7±2,1	55,2±1,93
	Образец 1	51,0±1,2	48,7±2,2	48,7±1,1	48,1±1,06
	Образец 2	50,0±2,0	48,8±1,9	48,3±1,2	47,0±1,76
ВУС, %	Контроль	56,5±1,3	58,0±1,3	56,0±1,2	55,5±1,4
	Образец 1	59,0±1,2	61,0±1,4	57,0±1,2	56,2±1,6
	Образец 2	62,0±1,3	63,8±1,4	63,4±1,3	62,1±1,3
рН	Контроль	6,0±0,1	5,9±0,1	5,5±0,1	5,1±0,1
	Образец 1	5,9±0,1	5,7±0,1	5,4±0,1	5,0±0,1
	Образец 2	5,8±0,1	5,6±0,1	5,3±0,1	4,8±0,1
Титруемая кислотность, °Т	Контроль	59,5±0,1	71,4±0,2	83,4±0,2	93,3±0,1
	Образец 1	63,5±0,3	73,3±0,4	87,3±0,5	95,0±0,5
	Образец 2	65,5±0,4	75,4±0,6	105,2±0,5	115,0±0,7

Учет содержания влаги во всех образцах мягкого сыра показал, что при закладке на хранение контрольные образцы имели ее меньше (50-51 %), чем в контроле (57 %).

При этом численные значения показателя не превышали нормативного значения (не более 60 %). По всей вероятности, это связано с введением сублимированных порошков ягод в количестве 2 %. В пользу этого свидетельствуют так-

же результаты определения ВУС. Для обоих вариантов сыра с порошками этот показатель был выше (59-62 %) против 56,5 %, чем в контрольном варианте.

Через 5 сут хранения наметилась тенденция уменьшения влажности обоих вариантов опытного сыра. В конце хранения (13 сут) уровень влаги в контрольных образцах снизился на 3, а опытных – на 6 %. Это связано с негерметичностью упаковки и возможным испарением влаги. Параллельное уменьшение влажности и ВУС при хранении не зафиксировано в опытном образце № 2. Для этого опытного варианта сыра установлена повышенная влагоудерживающая способность по сравнению в контролем и опытным вариантом № 1. Очевидно, это связано с тем, что ягодные порошки содержат пектин, обладающий способностью поглощать и удерживать влагу [20]. Добавление ягодных порошков в мягкий сыр, особенно порошка черной смородины, вызывает снижение pH по сравнению с контролем. Образец № 2 отличался от образца №1 повышенной кислотностью из-за более кислой среды используемого порошка черной смородины.

В процессе хранения у каждого образца сыра происходило понижение величины активной и увеличение титруемой кислотности. Повышение кислотности незначительно влияет на органолептические свойства исследуемых продуктов, не ухудшая их на протяжении всего срока хранения, однако может способствовать созданию благоприятных условий для развития плесеней и соответственно порчи.

Для оценки органолептических показателей мягкого сыра и изменения их в процессе хранения разработана 5-балльная шкала.

С учетом десертной направленности продукции максимальные значения коэффициенту значимости были присвоены для консистенции – 0,3, а для остальных он был в близких пределах: вкус – 0,2; запах – 0,2; цвет – 0,15.

На начальном этапе хранения сроком до 5 сут все образцы имели высокие органолептические характеристики (табл. 4).

Таблица 4. Динамика изменения органолептических показателей при хранении
Table 4. Dynamics of changes in organoleptic characteristics during storage

Продукт	Органолептические показатели	Продолжительность хранения, сут			
		1	5	11	13
Контроль	Вкус и запах	2	2	1,2	0,8
	Цвет	0,75	0,75	0,45	0,3
	Консистенция	1,5	1,5	1,5	0,9
	Внешний вид	0,75	0,75	0,45	0,3
Сумма баллов		5	5	3,6	2,3
Образец 1	Вкус и запах	2	2	1,2	0,8
	Цвет	0,75	0,6	0,45	0,3
	Консистенция	1,5	1,5	1,5	0,9
	Внешний вид	0,75	0,75	0,6	0,3
Сумма баллов		5	4,85	3,75	2,3
Образец 2	Вкус и запах	2	2	1,2	0,8
	Цвет	0,75	0,6	0,45	0,3
	Консистенция	1,5	1,5	1,5	0,6
	Внешний вид	0,75	0,6	0,45	0,3
Сумма баллов		5	4,7	3,6	2

Контрольный образец характеризовался чистыми кисломолочными вкусом и запахом, плотной консистенцией, белым цветом, свойственным данному виду сыра.

Образцы сыра с ягодными порошками имели чистый кисломолочный вкус с легким привкусом ягодных наполнителей, не перебивающим основной молочный запах.

Консистенция опытных сыров не различалась и была в начале хранения плотной, а к концу – слегка крошливой.

Цвет образца № 1 имел преимущественно сиреневый цвет, а для образца № 2 были характерны сиренево-розовые оттенки (рис. 2).

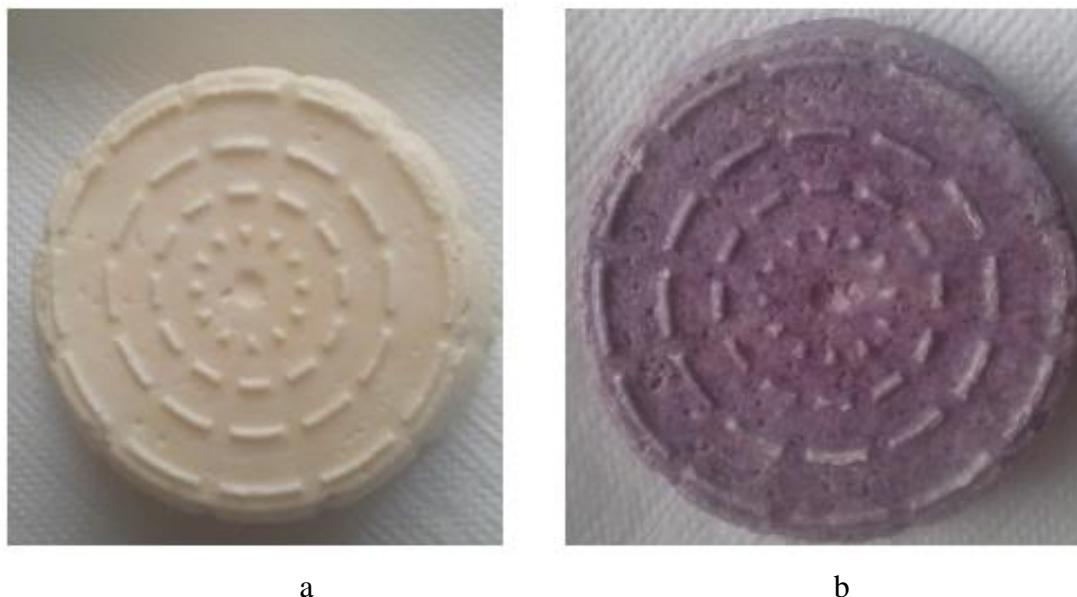


Рис. 2. Образцы мягкого сыра: а – контроль; б – с ягодными порошками
Fig. 2. Samples of soft cheese: a – control; b – with berry powders

На 5-е сутки хранения на поверхности образцов с порошками стало появляться легкое заветривание, которое сильнее проявилось в образце № 2 и повлекло за собой искажение цвета, поэтому образцы получили снижение балльной оценки до 4,85 и 4,7 баллов соответственно.

На 11-е сутки хранения снижение суммарной оценки контрольного образца до 3,6 баллов произошло из-за наличия постороннего запаха и слабой горечи во вкусе, появления на поверхности желтоватых пятен.

В образцах с ягодными порошками этого не установлено, но в них усилился кислый вкус, особенно в образце № 2, поверхность сыров слегка потемнела. Наличие данных признаков повлекло снижение балловой оценки до 3,75 в образце № 1 и до 3,55 в образце № 2.

На 13-е сутки во всех образцах, как уже было указано выше, появились признаки видимой порчи.

На поверхности контрольного образца наблюдались темные пятна, цвет сыра изменился на грязно-серый. Цвет образца сыра № 1 стал грязно-серый и появился резкий затхлый запах, образца сыра № 2 – на грязно-серый, и появился затхлый запах, наблюдалось выраженное разжижение консистенции.

Динамика изменения вкуса, запаха и цвета одинаковая по срокам хранения: снижение после 5 сут с 1 до 0,6 и до 0,4 к концу и порча (рис. 3).

Консистенция более устойчивый показатель при хранении сыра: на протяжении данного срока хранения для всех образцов оставалась удовлетворительной.

Для образца № 2 отмечено более существенное проявление крошливости по завершении хранения.

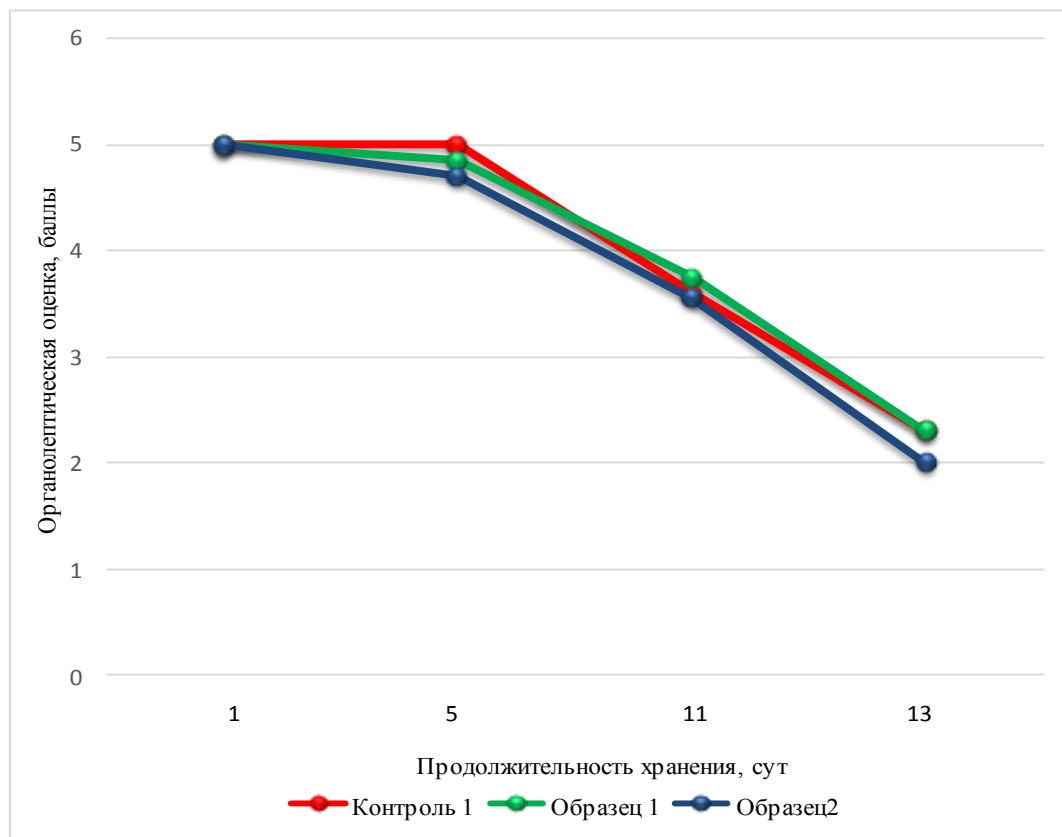


Рис. 3. Изменение органолептической оценки при хранении образцов мягкого сыра

Fig. 3. Change in organoleptic evaluation during storage of soft cheese samples

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Экспериментально подтверждена целесообразность использования сублимированных порошков ягод черной смородины и черноплодной рябины при изготовлении десертных мягких сыров.

Это позволяет организовать непрерывное производство в течение года, сократить затраты энергии на хранение ягод, увеличить ассортимент отечественных десертных мягких сыров.

Включение в рецептуру мягкого сыра порошков ягод расширяет органолептическую палитру не только вкусо-ароматических свойств, но и цветовой гаммы сыра.

Органолептические, микробиологические и физико-химические показатели мягкого сыра, комбинированного с порошками указанных ягод, соответствуют требованиям технической документации.

Установлен предельный срок безопасного холодильного хранения новой сырной продукции – 7 сут.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Анализ рынка мягких сыров в России в 2012-2016 гг., прогноз на 2017-2021 гг. [Электронный ресурс]. – URL: https://businessstat.ru/images/demo/soft_cheese_russia_2017.pdf (дата обращения 30.06.2019).
2. Химический состав российских пищевых продуктов / под ред. И. М. Скурихина, В. А. Тутельяна. – Москва: ДеЛи принт, 2002. – 236 с.
3. Серпунина, Л. Т. Ресурсосбережение при производстве творога, комбинированного с ягодами аронии / Л. Т. Серпунина // Инновационные технологии переработки сырья животного происхождения (20 февр. 2015): материалы. – Краснодар, 2015. – С. 43 – 46.
4. Дорошина, О. Н. Исследование и разработка технологии мягких сыров с черноплодной рябиной: дис. ...канд. техн. наук: 05.18.04 / Дорошина Ольга Николаевна; КТИПП. – Кемерово, 1999. – 159 с.
5. Царегородцева, С. Р. Разработка и исследование технологии производства кисломолочных десертов с продуктами переработки облепихи и черной смородины: дис. ...канд. техн. наук: 05.18.04 / Царегородцева Светлана Ростиславовна; КТИПП. – Кемерово, 1999. – 150 с.
6. Батищева, Л.В. Исследование и разработка технологии молочного десерта «Арония» с использованием нетрадиционного сырья: дис. ...канд. техн. наук: 05.18.04 / Батищева Людмила Владимировна; ВГТА. – Воронеж, 1999. – 188 с.
7. Грачева, Н. А. Разработка нового функционального обогащенного мягкого сыра / Н. А. Грачева, Д. Н. Порошина, Е. Ю. Фролова // IV Междунар. науч.-техн. конференция (заочная) (9-10 ноября 2017): материалы. – Воронеж, 2017. – С. 159 – 162.
8. Крусь, Г. Н. Технология молока и молочных продуктов / Г. Н. Крусь [и др.] – Москва: КолосС, 2008. – 455 с.
9. Технический регламент Таможенного Союза ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции»: утвержден решением комиссии Таможенного Союза от 9 декабря 2011 г. – № 880. – 2011. – 242 с.
10. ГОСТ 10444.15-94 Продукты пищевые. Методы определения количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов. – Москва: Стандартиформ, 2010. – 7 с.
11. ГОСТ 31747-2012 Продукты пищевые. Методы выявления и определения количества бактерий группы кишечных палочек (колиформных бактерий). – Москва: Стандартиформ, 2013. – 20 с.
12. ГОСТ 10444.12-2013 Микробиология пищевых продуктов и кормов для животных. Методы выявления и подсчета количества дрожжей и плесневых грибов. – Москва: Стандартиформ, 2014. – 26 с.
13. ГОСТ 31659-2012 (ISO 6579:2002) Продукты пищевые. Метод выявления бактерий рода *Salmonella*. – Москва: Стандартиформ, 2014. – 25 с.

14. Санитарно-эпидемиологическая оценка обоснования сроков годности и условий хранения пищевых продуктов. – Москва: Федеральный центр гос-санэпиднадзора Минздрава России, 2004. – 31 с.
15. ГОСТ 31746-2012 Продукты пищевые. Методы выявления и определения количества коагулазоположительных стафилококков и *Staphylococcus aureus*. – Москва: Стандартинформ, 2013. – 27 с.
16. ГОСТ Р 32031-2012 Продукты пищевые. Методы выявления и определения бактерий *Listeria monocytogene*. – Москва: Стандартинформ, 2012. – 28 с.
17. ГОСТ 33630-2015 Сыры и сыры плавленые. Методы контроля органолептических показателей. – Москва: Стандартинформ, 2016. – 54 с.
18. Порядок отбора проб и физико-химические методы испытаний: методические указания по лабораторному контролю качества продукции общественного питания. – Москва: Стандартинформ, 1991.
19. Третьякова, Е. Н. Функциональный полуфабрикат из творога с пищевыми волокнами и ягодами черной смородины и клюквы / Е. Н. Третьякова, А. Г. Нечепорук // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. – 2016. – №3. – С. 62-67.
20. ГОСТ 32263-2013 Сыры мягкие. Технические условия. – Москва: Стандартинформ, 2014. – 12 с.

REFERENCES

1. Analiz rynka myagkikh syrov v Rossii v 2012-2016 gg, prognoz na 2017-2021 gg [Analysis of the market of soft cheeses in Russia in 2012-2016, the forecast for 2017-2021]. Available at: https://businessstat.ru/images/demo/soft_cheese_russia_2017.pdf (Accessed 30 June 2019).
2. Skurikhin I. M. *Khimicheskiy sostav rossiyskikh pishchevykh produktov* [Chemical composition of Russian food]. Moscow, VO “DeLi print”, 2002, 236 p.
3. Serpunina L. T. Resursoberezhenie pri proizvodstve tvoroga, kombinirovannogo s yagodami aronii [Resource conservation in the production of cottage cheese, combined with chokeberry]. *Materialy konferentsii “Innovatsionnye tekhnologii pererabotki syr'ya zhivotnogo proiskhozhdeniya”* [Proceedings of the conference “Innovative technologies for processing raw materials of animal origin”]. Krasnodar, 2015, pp. 43 – 46.
4. Doroshina O. N. *Issledovanie i razrabotka tekhnologii myagkikh syrov s chernoplodnoy ryabinoy. Diss. kand. tekhn. nauk* [Research and development of technology of soft cheeses with chokeberry. Dis. cand. tech. sci.]. Kemerovo, 1999, 159 p.
5. Tsaregorodtseva S. R. *Razrabotka i issledovanie tekhnologii proizvodstva kisломolochnykh desertov s produktami pererabotki oblepikhi i chernoy smorodiny. Diss. kand. tekhn. nauk* [Development and research of the production technology of fermented milk desserts with products of sea buckthorn and black currant processing. Dis. cand. tech. sci.]. Kemerovo, 1999, 150 p.
6. Batishcheva L. V. *Issledovanie i razrabotka tekhnologii molochnogo deserta “Aroniya” s ispol'zovaniem netraditsionnogo syr'ya. Diss. kand. tekhn. nauk* [Research and development of the “Aroniya” dairy dessert technology using non-traditional raw materials. Dis. cand. tech. sci.]. Voronezh, 1999, 188 p.

7. Gracheva N. A., Poroshina D. N., Frolova E. YU. Razrabotka novogo funktsional'nogo obogashchennogo myagkogo syra [Development of new functional enriched soft cheese]. *Materialy IV Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii (zaочноy) "Innovatsionnye tekhnologii v pishchevoy promyshlennosti: nauka, obrazovanie i proizvodstvo"* [Proceedings of the IV International Scientific and Technical Conference (correspondence) "Innovative technologies in the food industry: science, education and production"]. Voronezh, 2017, pp. 159-162.

8. Krus' G. N., KHramtsov A. G., Volokitina Z. V., Karpychev S. V. *Tekhnologiya moloka i molochnykh produktov* [Milk and dairy technology]. Moscow, KolosS, 2008, 455 p.

9. *Tekhnicheskii reglament Tamozhennogo Soyuza TR TS 021/2011 "O bezopasnosti pishchevoy produktsii"* [Technical regulations of the Customs Union TR TS 021/2011 "On food safety"]. Utverzhden resheniem komissii Tamozhennogo Soyuza 9 dekabrya 2011, no. 880, 242 p.

10. GOST 10444.15-94 *Produkty pishchevye. Metody opredeleniya kolichestva mezofil'nykh aerobnykh i fakul'tativno-anaerobnykh mikroorganizmov* [GOST 10444.15-94 Food products. Methods for determination of quantity of mesophilic aerobes and facultative anaerobes]. Moscow, Standartinform, 2010, 7 p.

11. GOST 31747-2012 *Produkty pishchevye. Metody vyyavleniya i opredeleniya kolichestva bakteriy gruppy kishhechnykh palochek (koliformnykh bakteriy)* [GOST 31747-2012 Food products. Methods for detection and quantity determination of coliform bacteria]. Moscow, Standartinform, 2013, 20 p.

12. GOST 10444.12-2013 *Mikrobiologiya pishchevykh produktov i kormov dlya zhivotnykh. Metody vyyavleniya i podscheta kolichestva drozhzhey i tplesnevykh gribov* [GOST 10444.12-2013 Microbiology of food and animal feeding stuffs. Methods for the detection and colony count of yeasts and molds]. Moscow, Standartinform, 2014, 26 p.

13. GOST 31659-2012 (ISO 6579:2002) *Produkty pishchevye. Metod vyyavleniya bakteriy roda Salmonella* [GOST 31659-2012 (ISO 6579:2002) Food products. Method for the detection of Salmonella spp]. Moscow, Standartinform, 2014, 26 p.

14. *Sanitarno-epidemiologicheskaya otsenka obosnovaniya srokov godnosti i usloviy khraneniya pishchevykh produktov* [Sanitary-epidemiological assessment of justification of shelf life and food storage conditions]. Federal'nyy tsentr gossanepidnadzora Minzdrava Rossii, 2004, 31 p.

15. GOST 31746-2012 *Produkty pishchevye. Metody vyyavleniya i opredeleniya kolichestva koagulazopolozhitel'nykh stafilokokkov i Staphylococcus aureus* [GOST 31746-2012 Food products. Methods for detection and quantity determination of coagulase-positive staphylococci and Staphylococcus aureus]. Moscow, Standartinform, 2013, 27 p.

16. GOST R 32031-2012 *Produkty pishchevye. Metody vyyavleniya i opredeleniya bakteriy Listeria monocytogene* [GOST R 32031-2012 Food products. Methods for detection of Listeria monocytogenes]. Moscow, Standartinform, 2012, 28 p.

17. GOST 33630-2015 *Syry i syry plavlennyye. Metody kontrolya organolepticheskikh pokazateley* [GOST 33630-2015 Cheese and processed cheese. Methods for control of organoleptic properties]. Moscow, Standartinform, 2016, 54 p.

18. *Metodicheskie ukazaniya po laboratornomu kontrolyu kachestva produktsii obshchestvennogo pitaniya. Poryadok otbora prob i fiziko-khimicheskie metody is-*

pytaniy [Guidelines for laboratory quality control of catering products. Sampling procedure and physico-chemical test methods]. Moscow, Standartinform, 1991.

19. Tret'yakova E. N., Necheporuk A. G. Funktsional'nyy polufabrikat iz tvoroga s pishchevymi voloknami i yagodami chernoy smorodiny i klyukvy [Functional semi-finished product from cottage cheese with dietary fibers and berries of black currant and cranberry]. *Tekhnologii pishchevoy i pererabatyvayushchey promyshlennosti APK – produkty zdorovogo pitaniya*. 2016, no. 3, pp. 62-67.

20. GOST 32263-2013 Syry myagkie. Tekhnicheskie usloviya [GOST 32263-2013 Soft cheeses. Specifications]. Moscow, Standartinform, 2014, 12 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Рогачикова Наталья Михайловна – Калининградский государственный технический университет; аспирант кафедры технологии продуктов питания; E-mail: natalia20065@rambler.ru

Rogachikova Natalia Mikhailovna – Kaliningrad State Technical University; Post-graduate student; Department of Food Technology; E-mail: natalia20065@rambler.ru

Серпунина Любовь Тихоновна – Калининградский государственный технический университет; доктор технических наук, профессор кафедры технологии продуктов питания; E-mail: serpunina@mail.ru

Serpunina Lyubov Tikhonovna – Kaliningrad State Technical University; Doctor of Engineering, Professor of the Department of Food Technology; E-mail: serpunina@mail.ru

Казимирченко Оксана Владимировна – Калининградский государственный технический университет; кандидат биологических наук, доцент кафедры ихтиопатологии и гидробиологии; E-mail: oksana.kazimirchenko@klgtu.ru

Kazimirchenko Oksana Vladimirovna – Kaliningrad State Technical University; PhD in Biology, Associate Professor at the Department of Ichthyopathology and Hydrobiology; E-mail: oksana.kazimirchenko@klgtu.ru

СУДОСТРОЕНИЕ, МАШИНОСТРОЕНИЕ И ЭНЕРГЕТИКА

УДК 629.5.01

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ОСТОЙЧИВОСТИ МАЛОГО
РЫБОЛОВНОГО ТРАУЛЕРА ПРИ ВАРИАЦИЯХ ЕГО ОСНОВНЫХ
ЭЛЕМЕНТОВ

П. Р. Гришин, С. В. Дятченко, В. П. Иванов, А. В. Нефедов

DETERMINATION OF STABILITY CHARACTERISTICS OF A SMALL FISHING
TRAWLER DURING VARIATIONS OF ITS MAIN ELEMENTS

P. R. Grishin, S. V. Dyatchenko, V. P. Ivanov, A. V. Nefyodov

В настоящее время необходимо восстановление всего промыслового флота страны в кратчайшие сроки с возможно минимальными затратами. При этом России нет необходимости, как это было раньше, иметь многочисленные типы мало-, средне- и крупнотоннажных судов. Вариационные расчеты показывают, что отклонение основных характеристик судов на 10-15 % от оптимума по основным экономическим критериям не оказывает значительного влияния на значения основных экономических показателей судна. Опыт эксплуатации малых рыболовных судов в Калининградском регионе показал, что в качестве базовых вариантов для создания современных конкурентоспособных судов с размерным рядом 20-25,5 м можно использовать МРТК «Балтика», а для судов 25-30 м – МРТР типа «Гируляй». Имеющаяся в наличии проектно-конструкторская документация по этим проектам судов, опыт их эксплуатации, данные по гидрометеорологическим условиям в районах промысла Балтийского моря и запасам морепродуктов, инфраструктура предприятий и способы сохранения и обработки улова, а также современные тенденции в мировом судостроении обеспечивают возможность создания эффективных проектов новых отечественных судов. С учетом вышесказанного, ФГБОУ ВО «КГТУ» приступило к разработке методического обеспечения для создания современных отечественных проектов малых рыболовных траулеров. Рассмотрение промыслового судна с позиции системного подхода предусматривает создание расчетных схем и моделей для определения наилучших мореходных качеств, необходимых характеристик прочности и вибрации, а также экономических показателей. В качестве объекта исследований выбран МРТР типа «Гируляй», имеющий расчетную длину 29,6, ширину 8,8, высоту борта 5,95 м. Целями вариационных исследований являлось определение влияния изменения главных размерений судна на характеристики остойчивости.

судостроение, малое рыболовное судно, системный анализ, основные элементы судна, теоретический чертеж, нагрузка масс, остойчивость, критерий погоды

At present, it is necessary to restore the entire fishing fleet of the country as soon as possible with the lowest possible cost. Moreover, Russia does not need, as it was before, to have numerous types of small, medium and large vessels. Variational calcula-

tions show that a deviation of the main characteristics of the vessels by 10-15 % from the optimum according to the main economic criteria does not significantly affect the values of the main economic indicators of the vessel. The experience of operating small fishing vessels in the Kaliningrad region showed that MRTK Baltika can be used as a basic version for creating modern competitive vessels with a size range of 20-25.5 m, and MRTR of the Giruliai type can be used for ships 25-30m long. Available design documentation for these projects, operating experience of these vessels, data on hydro-meteorological conditions of their operation in the Baltic Sea fishing areas and seafood stocks, enterprise infrastructure and methods for catch preserving and processing, as well as current trends in world shipbuilding provide an opportunity for creating effective projects for new domestic vessels. In view of the foregoing, FSEI HE "KSTU" has begun to develop methodological support for the creation of modern domestic projects of small fishing trawlers. Consideration of a fishing vessel from the position of a systematic approach involves creation of design schemes and models to determine their best seaworthiness, necessary characteristics of strength and vibration, as well as economic indicators. The Giruliai type MPTR, with an estimated length of 29.6, a width of 8.8 m, a side height of 5.95 m was chosen as the object of research. The purpose of the variational studies was to determine the effect of changes in the main dimensions of the vessel on the stability characteristics.

shipbuilding, small fishing vessel, system analysis, main elements of the vessel, lines, mass load, stability, weather criterion

ВВЕДЕНИЕ

Требования рыночной экономики к техническим и экономическим характеристикам промысловых судов обуславливают необходимость применения системного подхода на стадиях их проектирования. Анализ литературных источников показал, что гидрометеорологические условия эксплуатации изложены в работе [1], методология проектирования водоизмещающих судов – [2, 3], методика проектирования рыболовных судов – [4-6]. Методические положения для определения формы корпуса и обеспечения мореходных качеств судов, в том числе остойчивости, представлены в работах [5-9], методика определения нагрузки масс для судов различного назначения – [10, 11]. Анализ технической литературы показал, что имеются необходимые теоретические и методические основы, позволяющие перейти к системным исследованиям элементов и характеристик промыслового судна с целью улучшения его технико-экономических характеристик. Результатом системных исследований мореходных, прочностных, вибрационных, технологических и экономических качеств судна должен стать новый объект морской техники, полученный по результатам оптимизационных расчетов. Структурная схема исследований остойчивости малого рыболовного траулера представлена на рис. 1.

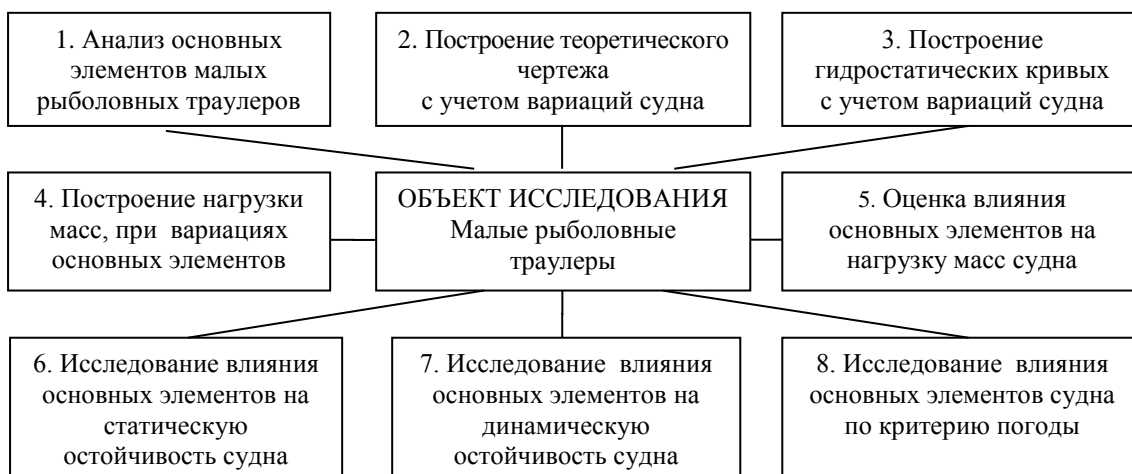


Рис. 1. Структурная схема исследований малых рыболовных судов

Fig. 1. Structural diagram of research of fishing vessels

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

С учетом разработанной структурной схемы (рис. 1) собрана статистика отечественных судов, которые могут быть использованы в качестве прототипа или аналогов для создания малого рыболовного траулера для Калининградского региона (табл. 1).

Таблица 1. Статистические данные по малым рыболовным судам

Table 1. Small fishing vessels statistics

№ п/п	Номер проекта	Главные характеристики						
		длина габаритная	длина расчетная	ширина расчетная	осадка в грузу	высота борта	водоизмещение	дедвейт
		$L_{г,м}$	$L_{л,м}$	$B,м$	$T, м$	$Hм$	$D,т$	$D_{wт}$
1	1328	25,50	22,00	6,8	2,37	3,30	174,0	30,0
2	В-410	25,80	23,00	7,20	2,70	3,50	н/д	60,0
3	В-403	26,27	23,00	7,20	2,70	3,50	н/д	69,0
4	TR -27	29,15	26,23	7,50	2,90	4,00	н/д	100,0
5	В-280	26,78	23,50	7,40	3,20	3,65	н/д	126,0
6	1296	35,72	29,60	8,80	3,30	5,95	550,0	150,0
7	1331	34,00	30,05	7,80	2,88	3,70	367,0	97,0
8	388М	33,91	29,04	7,00	2,88	3,61	318,0	93,0
9	01340РС	31,85	27,80	6,90	2,10	3,15	318,0	93,0
10	1282	31,80	29,00	7,20	2,76	3,50	318,0	88,0
11	В-275	29,80	26,37	8,00	3,24	6,17	383,0	89,0
12	СО-300	28,80	25,00	6,20	2,37	3,00	203,0	47,0
13	1336	27,54	24,81	6,70	2,98	3,70	262,7	37,0
14	РБ-150	27,20	24,00	5,50	1,84	2,50	149,0	31,0
15	1330	26,50	22,90	6,50	2,27	3,05	181,0	63,0
16	13303	26,48	22,39	6,50	2,32	3,00	176,0	60,0
17	БЧС-300	26,07	23,20	6,00	2,33	3,00	162,0	31,0

Анализ основных элементов малых отечественных рыболовных судов, представленных в табл. 1, показал, что габаритная длина изменяется в диапазоне $25,5 \leq L_2 \leq 35,72$, расчетная длина – $22,0 \leq L_{л,м} \leq 30,05$, расчетная ширина суд-

на $-6,0 \leq B \leq 8,8$, а высоты борта $-3,0 \leq H \leq 6,17$. Из табл. 1 видно, что изменение водоизмещения малых отечественных рыболовных судов находится в диапазоне $149 \leq D \leq 550$, а дедвейта $30 \leq D \leq 150$. Результаты анализа основных элементов отечественных рыболовных судов показали, что диапазон их изменений достаточно широк. Поэтому для выбора базового проекта судна учитывались район промысла, время и анализ гидрометеорологических условий эксплуатации [1], а также наличие проектно-конструкторской документации. В качестве базового проекта выбран рыболовный траулер рефрижераторного типа «Гируляй» пр.1296 расчетной длиной 29,6, шириной 8,8, высотой борта до верхней палубы 5,95 и осадкой на миделе 3,3 м.

Для проведения вариационных исследований были построены девять теоретических чертежей, включающих базовое судно и суда с измененными основными элементами. Теоретические чертежи учитывали равномерное изменение расчетной длины и ширины судна от базового варианта.

В табл. 2 представлены основные элементы, соответствующие вариантам построенных теоретических чертежей. Как видно из таблицы, они имели отличия по расчетной длине, ширине судна, высоте борта и его осадке. Мощность главного двигателя и численность экипажа для всех построенных вариантов исследований не изменялись.

Таблица 2. Основные элементы рыболовных траулеров по результатам построения теоретических чертежей

Table 2. Main elements of fishing trawlers according to the results of drawing the lines

№ п/п	Наименование основных элементов	Расчетные основные элементы рыболовного траулера по вариантам									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	Длина судна между перпендикулярами, м	29,6	27,1	24,6	29,6	27,1	24,6	29,6	27,1	24,6	
2	Ширина, м	8,8	8,06	7,31	7,92	7,25	6,58	9,24	8,45	7,68	
3	Высота борта, м	5,95	5,45	4,95	5,95	5,45	4,95	5,95	5,45	4,95	
4	Осадка, м	3,3	3,3	3,3	3,02	3,02	3,02	3,3	3,3	3,3	
5	Мощность ГД, кВт	425	425	425	425	425	425	425	425	425	
6	Экипаж, чел.	16	16	16	16	16	16	16	16	16	

На рис. 2 и 3 представлены теоретические чертежи, которые соответствуют вариантам 1 и 2, приведенным в табл. 2.

Для всех вариантов рыболовного траулера выполнены расчеты гидростатических кривых. В табл. 3 представлены гидростатические кривые для вариантов 1 и 2.

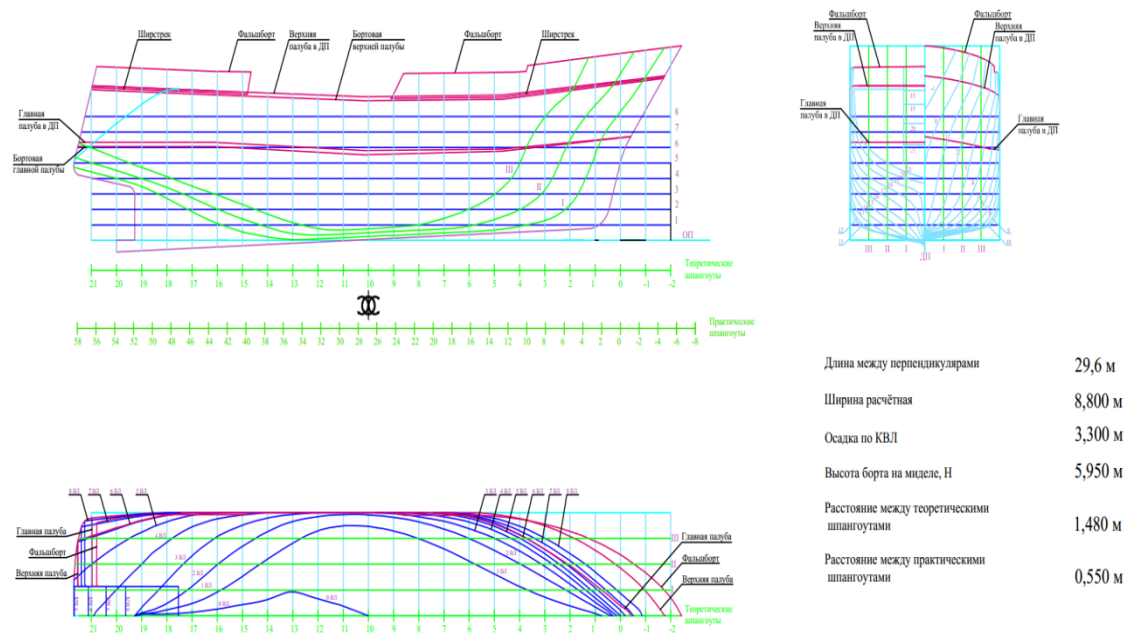


Рис. 2. Теоретический чертёж малого рыболовного судна типа «Гируляй» с расчётной длиной 29,6 м

Fig. 2. Lines of a small fishing vessel of the Giruliai type with an estimated length of 29.6 m

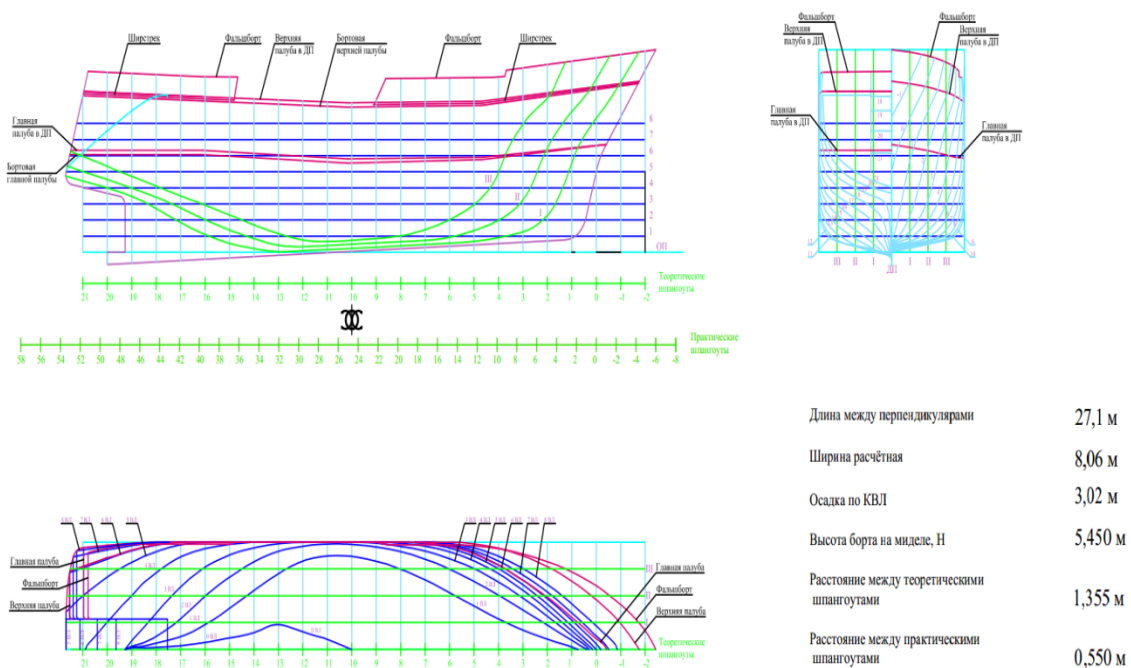


Рис. 3. Теоретический чертёж малого рыболовного судна типа «Гируляй» с расчётной длиной 27,1 м

Fig. 3. Lines of a small fishing vessel of the Giruliai type with an estimated length of 27.1 m

Таблица. 3 Гидростатические кривые для вариантов 1 и 2
Table. 3 Hydrostatic curves for options 2 and 2

Т, м	М, т	V, м ³	x _с , м	z _с , м	S, м ²	x _f , м	r ₀ , м	R ₀ , м	z _{m0,M}
Вариант №1									
1,00	75,40	73,60	-0,394	0,645	125,900	0,429	6,288	49,7	6,933
1,50	147,10	143,50	0,005	0,944	151,600	0,357	4,691	35,9	5,635
2,00	230,00	224,30	0,063	1,236	171,300	0,028	3,681	30,0	4,917
2,50	323,70	315,90	-0,082	1,530	193,400	-0,766	3,059	29,3	4,589
3,00	429,30	418,80	-0,374	1,831	215,700	-1,674	2,661	29,6	4,492
3,50	544,70	531,40	-0,718	2,132	233,200	-2,302	2,372	28,4	4,503
4,00	665,70	649,40	-1,002	2,426	242,000	-2,452	2,096	25,4	4,522
Вариант №2									
1,00	67,60	66,00	-0,264	0,642	110,800	0,412	5,465	42,4	6,107
1,50	130,60	127,40	0,037	0,938	132,700	0,246	3,988	31,3	4,926
2,00	203,40	198,40	0,038	1,230	150,800	-0,188	3,127	27,0	4,357
2,50	286,80	279,80	-0,181	1,528	173,000	-1,117	2,663	27,5	4,190
3,00	380,40	371,10	-0,510	1,829	191,500	-1,899	2,331	26,9	4,160
3,50	481,10	469,30	-0,827	2,127	202,100	-2,218	2,018	24,4	4,144
4,00	585,70	571,40	-1,062	2,417	207,700	-2,199	1,756	21,4	4,173

Примечание: Т – осадка, м; М – массовое водоизмещение, т; V – объемное водоизмещение, м³; x_с – абсцисса центра величины, м; z_с – аппликата центра величины, м; x_f – абсцисса центра тяжести площади ватерлинии, м; S – площадь ватерлинии, м²; r₀ – поперечный метацентрический радиус, м; R₀ – продольный метацентрический радиус, м; z_{m0} – аппликата поперечного метацентра, м.

Для определения нагрузки масс одноптичных судов в их состоянии порожнем использовано методическое обеспечение Cost1 [7], в соответствии с которым получены нагрузки масс для всех вариантов по заданным показателям судна прототипа.

В табл. 4 представлены результаты расчетов нагрузки масс для трех вариантов судна в его состоянии порожнем.

Таблица 4. Результаты расчетов нагрузки масс судна в его состоянии порожнем для трех вариантов

Table 4. Calculation results of the mass load of the vessel in its empty state for three options

Код статьи нагрузок	Наименование статей нагрузки масс	Базовое судно	Второй вариант судна	Третий вариант судна
		масса, т	масса, т	масса, т
1	2	3	4	5
01	Корпус голый	214,8	173,5	137,35
0101	Корпус металлический	154,45	122,6	95,23
0102	Подкрепления и фундаменты	11,8	9,5	7,55
0103	Дельные вещи	8,47	7,4	6,42
0105	Покрытия и окраска	6,18	5,1	4,19
0106	Изоляция, зашивка	31,36	26,8	22,48
02	Оборудование помещений	14,39	12,1	9,92
03	Устройства судовые	40,24	32,9	26,45
0301	Рулевое	5,01	4,3	3,59
0302	Якорное	5,86	5,04	4,27
0303	Швартовное, буксирное	1,22	1,03	0,86
0304	Спасательное	0,82	0,76	0,7

Окончание табл. 4

1	2	3	4	5
0306	Грузовое	3,35	3,22	3,12
04	Системы	28,39	22,4	13,2
05	Установка энергетическая	38,31	38,31	38,31
0501	Главные двигатели	10,7	10,7	10,7
0502	Движители	0,60	0,6	0,6
0503	Системы главной и вспомогательной установок	0,85	0,85	0,85
06	Электрическая установка, связь и управление	31,54	26,71	22,24
07	Вооружение	5,01	4,17	3,4
08	Снабжение и имущество	5,51	4,6	3,8
09	Жидкие грузы	5,85	4,91	4,04
10	Запас водоизмещения, твердый балласт	9,8	8	6,5
	Масса судна порожнем	393,8	327,5	269,91

Для всех вариантов основных элементов рыболовных траулеров, представленных в табл. 2, выполнены расчеты нагрузки масс судна в его состоянии возвращения с промысла со 100 % груза и 10 % запасов. В табл. 5 показан расчет нагрузки масс судна для второго варианта. Получены характеристики статической и динамической остойчивости судна. Выполнены расчеты проверки остойчивости по требованиям правил РМРС. В статье представлены результаты расчетов остойчивости по критерию погоды. На рис. 4 показаны результаты расчетных исследований для трех вариантов расчетной длины судна.

Таблица 5. Сводная таблица весовой нагрузки при работе судна по выпуску охлажденной продукции (для второго варианта)

Table 5. Summary table of the weight load during the operation of the vessel for the production of chilled products (for the second option)

№ П/п	Наименование разделов нагрузки масс	Возвращение с промысла со 100 % груза, 10 % запасов						
		P, т	x, м	y, м	z, м	M _x , тм	M _y , тм	M _z , тм
1	2	3	4	5	6	7	8	9
I	Водоизмещение судна порожнем	327,5	-1,67	0,00	3,62	-546	1,4	1186,7
II	Дедвейт	93,685	-0,19	-0,02	3,33	-18,2	-1,8	312
1	Экипаж с багажом	2,1	7,45	0,44	4,82	15,6	0,9	10,1
2	Провизия	0,13	-10,30	-2,47	4,94	-1,3	-0,3	0,6
3	Питьевая вода	1,05	-8,90	0,00	1,84	-9	0	2
4	Мытьевая вода	0,86	-8,80	0,00	1,84	-7,6	0,0	1,6
	цистерна №1	0,43	-8,8	1,78	1,84	-3,8	0,8	0,8
	цистерна №2	0,43	-8,8	-1,78	1,84	-3,8	-0,8	0,8
5	Промысловое снаряжение	18,28	-5,87	0,32	5,95	-107	6	109
6	Перевозимый груз	62,2	2,88	0,00	2,67	179	0	166
	ящики деревянные	9,6	3,53	0,00	2,37	33,9	0,0	22,7
	рыба в ящиках	31,9	3,53	0,00	2,37	112,6	0,0	75,6
	лед в ящиках	15,9	3,53	0,00	2,37	56,3	0,0	37,8
	бочка на палубе	0,7	-4,78	0,00	6,16	-3,6	0,0	4,6

Окончание табл. 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	отходы, пересыпанные пиросульфитом натрия	4,1	-4,78	0,00	6,16	-19,6	0,0	25,3
8	Запас топлива	8,24	-10,23	-0,79	2,72	-84	-7	22
	цистерна №6	5,2	-13,2	-2,07	3,04	-69	-11	16
	цистерна №7	1,18	-12,5	1,77	2,58	-15	2	3
	отстойная цистерна	1,86	-0,3	1,17	1,93	-0,65	2,17	3,59
9	Запас масла	0,8	-4,38	-2,10	0,75	-3,50	-1,68	0,60
	запас масла	0,2	-7,6	-2,76	1,93	-1,5	-0,6	0,4
	отработанное масло	0,6	-3,3	-1,88	0,35	-2,0	-1,1	0,2
III	Водоизмещение судна в грузу	421,2	-1,34	0,00	3,56	-564,2	-0,35	1499

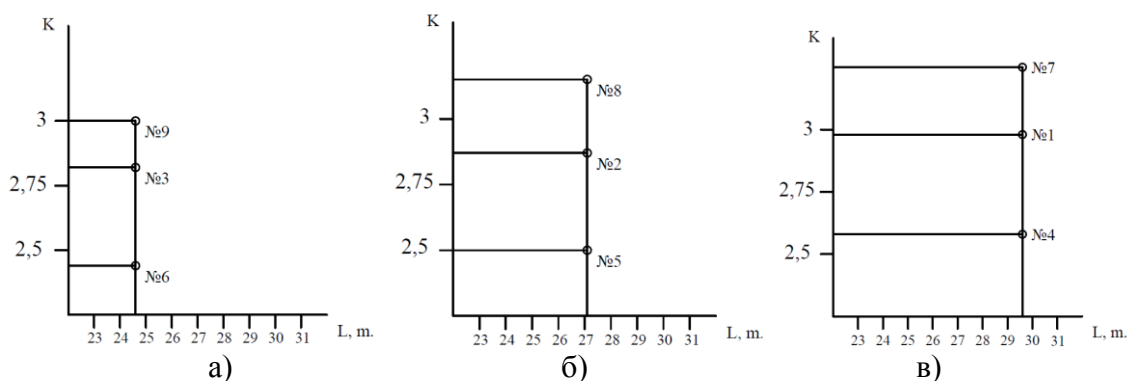


Рис. 4. Зависимости изменения критерия погоды от ширины корпуса на расчетных длинах судна: а) 24,6 м; б) 27,1 м; в) 29,6 м

Fig. 4. Dependence of changes in the weather criterion on the width of the hull by the estimated length of the vessel: a) 24.6 m; b) 27.1 m; c) 29.6 m

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье выполнен статистический анализ малых рыболовных судов, выбраны суда-прототипы и разработана структурная схема исследований устойчивости судна при изменении его основных элементов.

Построены теоретические чертежи при изменении основных элементов для базового проекта малого рыболовного траулера типа «Гируляй». Построены гидростатические кривые для девяти вариантов рыболовного траулера.

Выполнены расчеты нагрузки масс для вариантов судна порожнем и расчеты нагрузки масс и координат центра тяжести судна для нагрузки возврата с промысла со 100 % груза и 10 % запаса. Определены статическая и динамическая устойчивость судна при вариациях его главных размерений. Построена зависимость изменения критерия погоды от ширины корпуса на расчетных длинах судна.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Актуализированное комплексное исследование основных требований к главным характеристикам и параметрам функционирования современных ско-

ростных морских рыбоохранных судов неограниченного и ограниченного районов плавания / отчет о НИР / ФГБОУ ВПО «КГТУ». – Калининград, 2015. – 155 с.

2. Гайкович, А. И. Теория проектирования водоизмещающих кораблей и судов / А. И. Гайкович: в 2 т. – Санкт-Петербург: Изд-во НИЦ МОРИНТЕХ, 2014. – Т.1. Описание системы «Корабль». – 819 с.

3. Гайкович, А. И. Теория проектирования водоизмещающих кораблей и судов / А. И. Гайкович: в 2 т. – Санкт-Петербург: Изд-во НИЦ МОРИНТЕХ, 2014. – Т.2. Анализ и синтез системы «Корабль». – 812 с.

4. Дятченко, С. В. Определение основных элементов и характеристик средних рыболовных траулеров на начальных этапах проектирования / С. В. Дятченко, Н. Х. Льюнг // Вестник АГТУ. Морская техника и технология. – 2009. – №2. – С. 19-25.

5. Ногид, Л. М. Проектирование формы судна и построение теоретического чертежа / Л. М. Ногид. – Ленинград: Судпромгиз, 1962. – 243 с.

6. Раков, А. И. Проектирование промысловых судов / А. И. Раков, Н. Б. Севастьянов. – Ленинград: Судостроение, 1981. – 376 с.

7. Дятченко, С. В. Математическая модель для оценки остойчивости средних траулеров на ранних стадиях их проектирования / С. В. Дятченко, В. А. Коробчинский, А. А. Лисицын // Морские интеллектуальные технологии. – 2017. – Т. 2, № 4(38). – С. 49-55.

8. Малышев, А. Н. Плавуемость и остойчивость промысловых судов / А. Н. Малышев. – Москва: Мир, 2003. – 272 с.

9. Мореходность судов и средств океанотехники. Методы оценки: монография / науч. ред. И. К. Бородай; ФГУП «Крыловский государственный научный центр». – Санкт-Петербург, 2003. – 256 с.

10. Маслюк, Е. В. Проектирование морских судов. Расчеты нагрузки масс водоизмещения порожнем судов различного назначения / Е. В. Маслюк, А. Ф. Иконников. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2008. – 47 с.

11. Степанова, Л. А. Конкурентоспособность организаций и продукции судостроительной промышленности: учеб. пособ. / Л. А. Степанова, Е. В. Маслюк. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2011. – 263 с.

REFERENCES

1. *Aktualizirovannoe kompleksnoe issledovanie osnovnykh trebovaniy k glavnym kharakteristikam i parametram funktsionirovaniya sovremennykh skorostnykh morskikh rybookhrannykh sudov neogranichennogo i ogranichennogo rayonov plavaniya: otchet o NIR* [Updated comprehensive study of the main requirements for the main characteristics and parameters of the functioning of modern high-speed marine conservation ships of unrestricted and restricted navigation areas: research report]. Kaliningrad, FGBOU VPO “KGTU”, 2015, 155 p.

2. Gaykovich A. I. *Teoriya proektirovaniya vodoizmeshchayushchikh korabley i sudov* [Design theory of the displacement-type ships]. Saint-Petersburg, izd-vo NITS MORINTEKH, 2014, vol. 1, 819 p.

3. Gaykovich A. I. *Teoriya proektirovaniya vodoizmeshchayushchikh korabley i sudov* [Design theory of the displacement-type ships]. Saint-Petersburg, izd-vo NITS MORINTEKH, 2014, vol. 2, 812 p.

4. Dyatchenko S. V., Lyong N. H. Opredelenie osnovnykh elementov i kharakteristik srednikh rybolovnykh traulerov na nachal'nykh etapakh proektirovaniya [Identification of the main elements and characteristics of the average fishing trawlers in the early stages of design]. *Vestnik AGTU. Morskaya tekhnika i tekhnologiya*, 2009, no. 2, pp. 19-25.

5. Nogid L. M. *Proektirovanie formy sudna i postroenie teoreticheskogo chertezha* [Designing the vessel shape and drawing the lines]. L., Sudpromgiz, 1962, 243 p.

6. Rakov A. I., Sevastyanov N. B. *Proektirovanie promyslovykh sudov* [Design of fishing vessels]. L., Sudostroyeniye, 1981, 376 p.

7. Dyatchenko S. V., Korobchinskiy V. A., Lisitsyn A. A. Matematicheskaya model' dlya otsenki ostroychivosti srednikh traulerov na rannikh stadiyakh ikh proektirovaniya [A mathematical model for estimating the stability of medium trawlers in the early stages of their design]. *Morskie intellektual'nye tekhnologii*, 2017, vol. 2, no. 4(38), pp. 49-55.

8. Malyshev A. N. *Plavuchest' i ostroychivost' promyslovykh sudov* [Buoyancy and stability of fishing vessels]. Moscow, Mir, 2003, 272 p.

9. Boroday I. K. *Morekhodnost' sudov i sredstv okeanotekhniki. Metody otsenki* [Seaworthiness of ships and ocean technology. Methods of evaluation]. Saint-Petersburg, FGUP "Krylovskiy gosudarstvennyy nauchnyy tsentr", 2003, 256 p.7.

10. Maslyuk E. V., Ikonnikov A. F. *Proektirovanie morskikh sudov. Raschety nagruzki mass vodoizmeshcheniya porozhnykh sudov razlichnogo naznacheniya* [Designing of sea-going ships. Calculations of the mass load of displacement of empty vessels for various purposes]. Kaliningrad, Izd. FGBOU VPO "KGTU", 2008, 47 p.

11. Stepanova L. A., Maslyuk E. V. *Konkurentosposobnost' organizatsiy i produktsii sudostroyitel'noy promyshlennosti: uchebnoe posobie* [Competitiveness of organizations and products of the shipbuilding industry: textbook]. Kaliningrad, izd-vo FGBOU VPO "KGTU", 2011, 263 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Гришин Павел Романович – Калининградский государственный технический университет; аспирант кафедры кораблестроения; E-mail: pavel.grishin@klgtu.ru

Grishin Pavel Romanovich – Kaliningrad State Technical University; Post-graduate student of the Department of Shipbuilding; E-mail: pavel.grishin@klgtu.ru

Дятченко Сергей Васильевич – Калининградский государственный технический университет; доктор технических наук, доцент; заведующий кафедрой кораблестроения; E-mail: svd.ks@mail.ru

Dyatchenko Sergey Vasilievich – Kaliningrad State Technical University; Doctor of Technical Sciences, Associate Professor; Head of the Department of Shipbuilding; E-mail: svd.ks@mail.ru

Иванов Владимир Павлович – Калининградский государственный технический университет; кандидат технических наук, доцент; E-mail: dtn.ivanov@yandex.ru

Ivanov Vladimir Pavlovich – Kaliningrad State Technical University;
PhD in Technical Sciences, Associate Professor; E-mail: dtn.ivanov@yandex.ru

Нефедов Артем Витальевич – АО ПСЗ «Янтарь»; инженер-технолог;
E-mail: kafsud@mail.ru

Nefyodov Artyom Vitalievich – Baltic Shipyard “Yantar”; Process Engineer;
E-mail: kafsud@mail.ru

УДК 69.04 (07) (624)

РАСЧЕТ ВАНТ С УЧЕТОМ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ И ФИЗИЧЕСКОЙ
НЕЛИНЕЙНОСТИ

Э. Р. Кужахметова

CALCULATION OF THE CABLES WITH REGARD TO THE GEOMETRIC AND
PHYSICAL NONLINEARITY

E. R. Kuzhakhmetova

В статье представлен численный нелинейный анализ деформаций, а также опорных реакций шарнирно опертой ванты под поперечной нагрузкой и с разными геометрическими характеристиками: при длине пролета $L=10-100$ (м) и стреле провеса (провисания) $f = (1/10 - 1/25) L$.

Цель исследования заключается в том, чтобы сравнить прогибы и опорные реакции стальных вант с учетом геометрической и физической нелинейности деформирования. Расчеты выполнены в программном комплексе (ПК) FEMAP / NX NASTRAN.

Геометрическая нелинейность ванты учитывается в процессе пошагового нагружения её равномерно распределенной нагрузкой q (Н/м), а физическая – задается пошаговым изменением пластических свойств материала: пластического модуля H и начального предела текучести σ_T .

Широкое распространение вант обусловлено возможностью применения для их изготовления современных высокопрочных материалов с относительно низким модулем продольной упругости (или модулем Юнга) E , характерным, например, для стальных канатов одинарной и двойной свивки. Поскольку ванта работает только на растяжение, то основным её преимуществом является использование всей площади сечения стального каната, чем обеспечивается существенная экономия материала, в том числе при возведении висячих несущих конструкций (покрытий) большепролетных зданий и сооружений. При этом не требуются леса и дополнительные подмости, что облегчает и упрощает монтаж указанных конструкций, снижает экономические издержки. Результаты расчетов демонстрируют существенное влияние геометрической и физической нелинейности деформирования на деформационно-силовые зависимости вантового покрытия.

ванта, гибкая нить, геометрическая нелинейность, физическая нелинейность, прогиб ванты, стрела провеса (провисание)

The article presents a numerical non - linear analysis of deformations, as well as support reactions of a hinged supported cable under lateral load and with different geometrical characteristics: with a span of $L = 10-100$ (m) and a sag (sag) $f = (1/10 - 1/25)L$.

The purpose of the study is to compare the deflections and support reactions of steel cables, taking into account the geometric and physical nonlinearity of deformation. The calculations have been performed in the FEMAP / NX NASTRAN software package.

Geometrical nonlinearity of the cable is taken into account in the process of step loading of the cables with uniformly distributed load q (N/m), and the physical nonlinearity is determined by the stepwise change in the plastic properties of the material: plastic modulus H and the initial yield strength σ_t .

The wide distribution of the cables is due to the possibility of using modern high-strength materials for their manufacturing with a relatively low modulus of elasticity or Young's modulus E , which is characteristic, for example, of single and double lay steel cables. Since the cable works only on stretching, its main advantage is the use of the entire cross - sectional area of the steel rope, which ensures substantial material savings.

In particular, it is achieved during the construction of hanging supporting structures (coatings) of large-span buildings and structures. It does not require forests and additional scaffolding, which facilitates and simplifies construction of these structures, reduces economic costs. The calculation results demonstrate a significant effect of the geometric and physical nonlinearity of deformation on the deformation - force dependences of the cable - stayed coating.

cable, flexible thread, geometric nonlinearity, physical nonlinearity, sagging, sag (sagging)

ВВЕДЕНИЕ

Начиная с XX в. интерес архитекторов и инженеров к изучению и практическому применению вантовых конструкций нарастает. Уникальное сочетание свойств вант как конструктивных элементов (КЭ) обеспечивает возможность изобретать и создавать на их основе сложные конструктивные узлы в объектах промышленности и строительства. В них ванты могут применяться:

- как отдельные поддерживающие или несущие КЭ, например, в корабельном деле для удержания корабельных мачт, линиях связи и электропередачи, контактных сетях трамвайных и троллейбусных линий, канатных дорогах, висячих мостах, в качестве анкерных опор для поддержания большепролетного покрытия здания (сооружения) [1 – 3];
- в виде комплексных несущих каркасов висячего покрытия с дополнительными конструктивными элементами [4 – 7].

В строительстве ванты приобретают широкую популярность при перекрытии больших площадей зданий и сооружений (так называемые вантовые или висячие покрытия). Как правило, они применяются в общественных большепролетных зданиях и сооружениях, таких как спортивные комплексы, стадионы, зрелищные (кинотеатры, театры, музеи) и торговые центры [8, 9].

В современных архитектурных и конструктивных решениях при больших пролетах ванта используется в виде прочной гибкой нити с начальным провесом f , материалом которой являются пучки высокопрочной стальной проволоки и канатов, а при малых пролетах можно применять и стержневую арматуру периодического профиля [10]. Их сечения определяются предварительным расчетом с учетом поэтапного (или стадийного) действия внешних нагрузок.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В расчетном исследовании рассмотрим ванту как несущий КЭ общественного большепролетного здания с цилиндро-плито-вантовым (ЦПВ) покрытием, состоящим из цилиндро-плитного покрытия в срединной части и вантовых покрытий различной кружальной формы (полукруга, полуэллипса и т. д.) по краям (справа и слева). Одним концом ванты с равным шагом s крепятся к наружному опорному контуру кружальной формы, а другим – к внутренней опоре в форме полукольца или закладным деталям в виде петель, которые жестко заделаны в железобетонную плиту цилиндро-плитного покрытия [4 – 8]. Схема расположения вант в вантовом покрытии кружальной формы может быть радиальной и ортогональной, значит, длина каждой ванты изменяется согласно выбранной схеме и форме вантового покрытия.

Геометрические параметры анализируемой ванты: стрела провеса (или провисания) изменяется в интервале $f=(1/10-1/25)L$, пролет $L=10-100$ м (рис. 1).

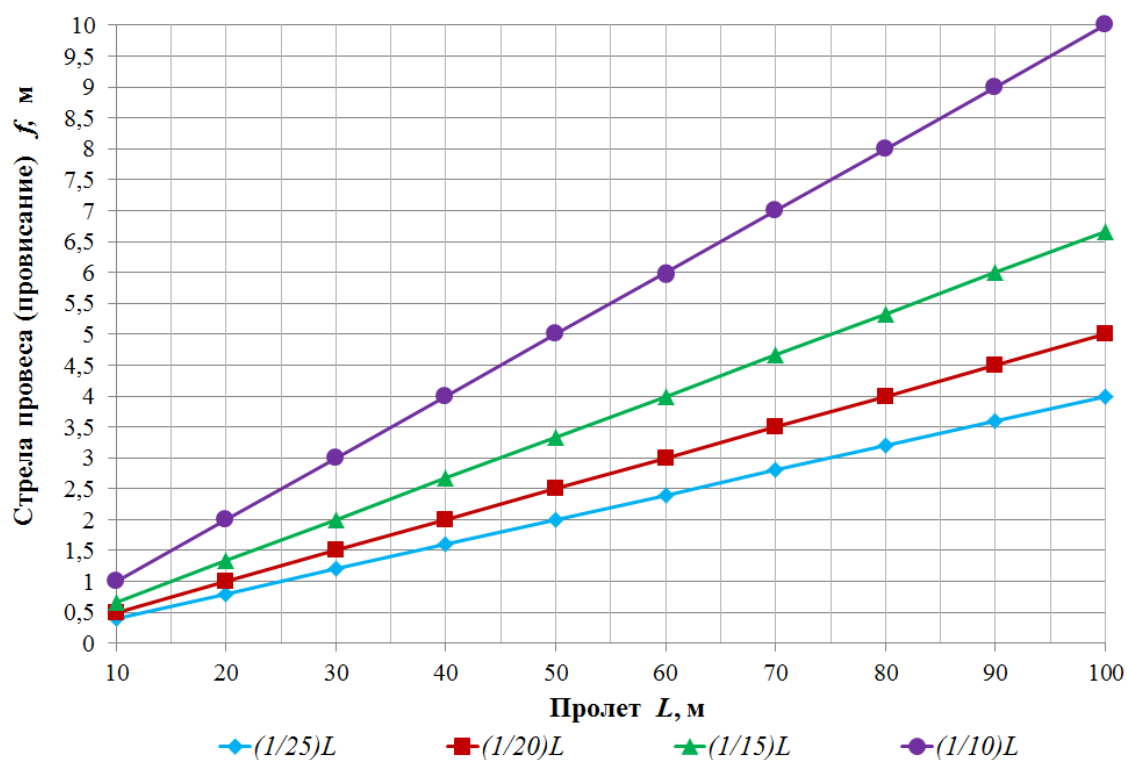


Рис. 1. График геометрических параметров (провисание f – пролет L) вант
 Fig. 1. Graph of geometric parameters (sag f – span L) of cables

Согласно нормативным требованиям [11, 12] при строительстве зданий (сооружений) монтаж и выверка вант осуществляются с учетом поэтапного приложения постоянных и временных (снеговых) нагрузок. Поверхностную нагрузку на ванты прикладывают в две стадии.

Стадия I. Нагрузка до предварительного напряжения вант. Ванты поочередно подвешивают к наружной и внутренней опорам с учетом начального их провисания. Под собственным весом они свободно провисают, поскольку их силы тяжести равномерно распределены по всей длине, следовательно, деформированной схемой ванты является цепная линия [2, 3]. Постепенно на

ванты укладывают сборные железобетонные плиты или устанавливают леса для монолитного покрытия (оболочки). Укладку плит производят одновременно, чередуя их от наружной к внутренним опорам. Данная технология позволяет равномерно распределять нагрузку и растяжение по всей длине ваны [2, 3].

Стадия II. Нагрузка после предварительного напряжения вант. После первой стадии нагружения вант на железобетонные плиты покрытия устанавливают пригруз, вес которого соответствует массе проектируемой кровли с учетом снеговой нагрузки, а также снеговых мешков при необходимости. Таким образом, ваны удлиняются и деформируются от дополнительного веса пригруза. Данное технологическое решение позволяет растянуть ванту до расчетных величин и зафиксировать её, не превышая при этом предельных значений, требуемых по нормативным документам. Через некоторое время пригруз постепенно снимают и на его место послойно укладывают кровельные материалы.

Итак, ваны в висячих покрытиях большепролетных зданий и сооружений проектируют предварительно напряженными. Это позволяет не только уменьшить деформативность покрытия в целом, но и сократить трещины в железобетонном и кровельном покрытии.

На рис. 2 представлена расчетная модель ваны в виде изогнутой линии на двух шарнирных опорах одинакового уровня [10].

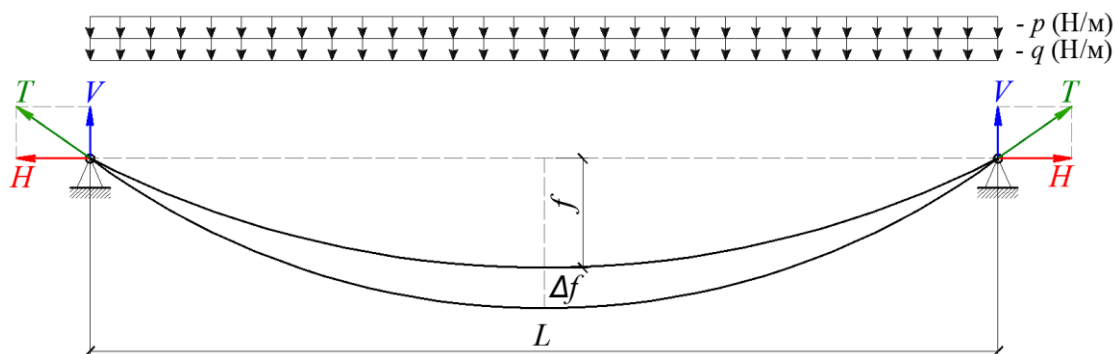


Рис. 2. Расчетная схема ваны на двух шарнирных опорах:

L – пролет, м; f – провисание (стрела провеса), м; Δf – прогиб (перемещение) ваны, м; q , p – постоянная, временная равномерно распределенная нагрузка, Н/м; V – вертикальная составляющая опорной реакции, Н; T – сила натяжения (опорная сила), Н; H – горизонтальная составляющая опорной реакции, Н

Fig. 2. Design scheme of the cable on two pivot bearings:

L – span, m; f – sagging (sagging arm), m; Δf – deflection (displacement) guy, m; q , p – constant, temporary uniformly distributed load, N / m; V – vertical component of the support reaction, N; T – tension force (supporting force), N; H – horizontal component of the support reaction, N

Расчетную поверхностную нагрузку g^p (Н/м²) переводят в расчетную линейную (равномерно распределенную) q^p (Н/м) по формуле

$$q^p = [g_{II}^p + (g_{KP}^p + p^p) \cdot \gamma_f] \cdot s, \quad (1)$$

где g_{II}^p – расчетная поверхностная нагрузка от массы сборных или монолитных железобетонных плит покрытий, Н/м²; g_{KP}^p – расчетная

поверхностная нагрузка от массы кровли, Н/м²; p^p – расчетная поверхностная снеговая нагрузка, Н/м²; γ_f – коэффициент надежности по нагрузке (табл. 7.1 [11]); s – шаг вант в покрытии, м.

Будем считать, что по всей длине ванты приложена равномерно распределенная (линейная) нагрузка q интенсивностью 1000–10000 Н/м. Значение такой нагрузки принято для большей наглядности сравнительного анализа расчетных прогибов и усилий ванты.

Расчет вантовых покрытий, как и других несущих КЭ, рекомендуется производить по двум предельным состояниям:

❖ I предельное состояние – расчет на прочность. Согласно принятой расчетной схеме и (постоянной и временной) нагрузке определяются расчетные усилия (V , H , T) в вантах (вантовых конструкциях):

1. Вертикальная составляющая опорной реакции ванты V , (Н) по формуле

$$V = q^p L / 2, \quad (2)$$

где q^p – расчетная линейная нагрузка, Н/м; L – пролет ванты, м.

2. Горизонтальная составляющая H (Н) по формуле

$$H = \frac{qL^2}{8f}, \quad (3)$$

где f – провисание ванты (стрела провеса), м.

3. Сила натяжения T (Н) по формуле

$$T = \sqrt{V^2 + H^2}. \quad (4)$$

По найденным расчетным усилиям подбирают сечение вант. Требуемая площадь A (м²) сечения ванты, изготовленной на основе стержневой арматуры, рассчитывается следующим образом:

$$A \geq \frac{T}{R_y}, \quad (5)$$

где T – сила натяжения ванты, Н; R_y – расчетное сопротивление стержневой арматуры, (Н/м²).

Требуемая площадь A (м²) сечения ванты из каната определяется по формуле

$$A \geq \frac{1,6 \cdot T}{k_n \cdot R_{um}}, \quad (6)$$

где 1,6 – коэффициент надежности по материалу; T – расчетное усилие (сила натяжения) ванты, Н; k_n – коэффициент, учитывающий понижение разрывного усилия каната по отношению к суммарному разрывному усилию проволок:

- 0,81-0,85 – для канатов ТК конструкций 1х37 и ЛК-Р конструкций 6х19;

- 0,75-0,80 – для канатов ТЛК-РО конструкций 6х36;

- 1,0 – для закрытых несущих канатов;

R_{um} – временное сопротивление проволок каната разрыву, (Н/м²), равно

$R_{um} = P_{\Sigma} / A_{\Sigma}$, где P_{Σ} – разрывное усилие суммарное всех проволок, Н;

A_{Σ} – расчетная площадь сечения всех проволок, мм².

❖ II предельное состояние – расчет по деформациям (прогибам). Данный расчет определяет пространственную жесткость и устойчивость вантового покрытия и здания в целом. Деформацию (прогиб) вант можно разделить на упругую и кинематическую. Кинематические перемещения возникают при действии неравномерной нагрузки на ванты. Расчетный упругий прогиб Δf (м) ванты, висящей на двух шарнирных опорах, определяется по формуле

$$\Delta f = \frac{3}{128} \times \frac{\mu^2}{f^2} \times \frac{q'' L^4}{EA}, \quad (7)$$

где f – стрела провеса (или провисание ванты), м; L – пролет ванты, м;
 $\mu = \frac{S}{L} = 1 + \frac{8}{3} \left(\frac{f}{L} \right)^2$ – коэффициент, определяющий отношение длины ванты S к пролету L (табл. 1); q'' – нормативная равномерно распределенная (линейная) нагрузка, Н/м; E – начальный модуль продольной упругости (или модуль Юнга), Н/м²; A – площадь ванты, рассчитанная по формулам (5), (6) и принятая по ГОСТу, м².

Таблица 1. Анализ коэффициента μ , определяющего отношение длины ванты S к пролету L

Table 1. Analysis of the coefficient μ , determining the ratio of the length of the guy S to the span L

№ п/п	Пролеты вант L , м	Стрела провеса f , м (или провисание вант), при пролете $L=10$ м равная:			
		$(1/10)L$	$(1/15)L$	$(1/20)L$	$(1/25)L$
1	10,00	1,0	0,667	0,5	0,4
		1,027	1,012	1,0067	1,00426
2	30,00	3,0	2,0	1,5	1,2
		1,027	1,012	1,0067	1,00426
3	60,00	6,0	4,0	3,0	2,4
		1,027	1,012	1,0067	1,00426
4	100,00	10,0	6,67	5,0	4,0
		1,027	1,012	1,0067	1,00426

Ванта представляет собой канат двойной свивки типа ЛК-РО конструкции 6х36 (1+7+7/7+14)+7х7(1+6) по ГОСТ 7669 маркировочной группы (предел временного сопротивления).

Материал ванты – горячекатаная намотанная в бухты сталь – катанка, получаемая прокаткой на проволочных прокатных станках, с модулем продольной упругости $E = 1,47 \cdot 10^{11}$ (Н/м²) (табл. Г.10 [12]), коэффициентом Пуассона $\nu = 0,3$ (табл. Г.10 [12]). Для строительных конструкций следует применять, как правило, стальные канаты без органических сердечников и с повышенным шагом свивки.

На примере ванты пролетом $L=10$ м определим её требуемую площадь A , мм², по формуле (6) и расчетный прогиб Δf , м, с учетом разных величин провисания (стрелы провеса) $f=(1/10-1/25)L$. Результаты расчетов приведены в табл. 2 и 3.

Таблица 2. Определение требуемой площади A , мм², каната при пролете $L=10$ м
 Table 2. Determination of the required area A , мм² of rope with a span of $L = 10$ m

№ п/п	Стрела провеса f , м	Сила натяжения T , Н	Диаметр каната \varnothing , мм	Расчетная площадь сечения всех проволок A_{Σ} , мм ²
1	$(1/10)L=1$ м	134 630	17,5	145,03
2	$(1/15)L=0,667$ м	193 961	21,0	213,39
3	$(1/20)L=0,5$ м	254 951	25,0	292,10
4	$(1/25)L=0,4$ м	312 900	26,5	327,43

Сравнительный анализ прогибов ванты пролетом $L=10-100$ м показал, что при увеличении стрелы провеса значения ручного и машинного счета практически совпали, а с уменьшением провисания между ними наблюдаются некоторые расхождения (табл. 3).

Таблица 3. Сравнение результатов прогиба ванты (троса, каната) Δf , м
 Table 3. Comparison of the results of the deflection of the guy (cable, rope) Δf , m

Виды расчетов	Стрела провеса f , м, вант при пролете $L=10$ м, равная:			
	$(1/10)L=1$	$(1/15)L=0,667$	$(1/20)L=0,5$	$(1/25)L=0,4$
По формуле (7)	0,109	0,171	0,221	0,307
Femap/Nastran	0,110	0,131	0,151	0,177
Виды расчетов	Стрела провеса f , м, вант при пролете $L=30$ м, равная:			
	$(1/10)L=3$	$(1/15)L=2$	$(1/20)L=1,5$	$(1/25)L=1,2$
По формуле (7)	0,355	0,510	0,730	0,912
Femap/Nastran	0,335	0,402	0,485	0,528
Виды расчетов	Стрела провеса f , м, вант при пролете $L=60$ м, равная:			
	$(1/10)L=6$	$(1/15)L=4$	$(1/20)L=3$	$(1/25)L=2,4$
По формуле (7)	0,610	1,014	1,390	1,757
Femap/Nastran	0,590	0,800	0,938	1,072
Виды расчетов	Стрела провеса f , м, вант при пролете $L=100$ м, равная:			
	$(1/10)L=10$	$(1/15)L=6,7$	$(1/20)L=5$	$(1/25)L=4$
По формуле (7)	1,006	1,570	2,257	2,977
Femap/Nastran	0,974	1,266	1,532	1,734

ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ НЕЛИНЕЙНОСТЬ ВАНТЫ

Расчет вант с учетом геометрической нелинейности не позволяет использовать теории и законы строительной механики, такие как принципы возможных перемещений и взаимности работ, закон независимости действия сил и др. В данном расчете необходимо использовать итерационные методы, основанные на пошаговом способе нагружения ванты.

В программном комплексе FEMAP with NX NASTRAN нелинейный статический анализ (Nonlinear Static Analysis) представляет собой решение нелинейного матричного уравнения (8) итерационным методом Ньютона – Рафсона [10].

$$[C]\{\Delta\} = \{P\}, \quad (8)$$

где $[C]$ – матрица жесткости ванты, включающая свойства элемента и материала (Н/м); $\{\Delta\}$ – вектор перемещений (м); $\{P\}$ – вектор внешней нагрузки (Н). С помощью классического метода Ньютона-Рафсона реальная нагрузка разбивается на ряд приращений с учетом заданного шага.

Стрела провеса f существенно влияет на прогиб ванты. Например, для пролета $L=10$ м с малой стрелой провеса $f = (1/25)L$ расчетный прогиб Δf составил 0,177 м, а при большем провисании ванты $f = (1/10)L - \Delta f = 0,109$ м. На рис. 3 представлен график «нагрузка-прогиб» в зависимости от стрелы провеса ванты $f=(1/10 - 1/25)L$ при фиксированной величине пролета L . Геометрическая нелинейность ($ГН$) ванты с малой стрелой провеса $f = (1/25)L=0,4$ (м) проявляется сильнее, чем с большей стрелой провеса $f = (1/10)L=1,0$ (м). Для других пролетов графики аналогичны.

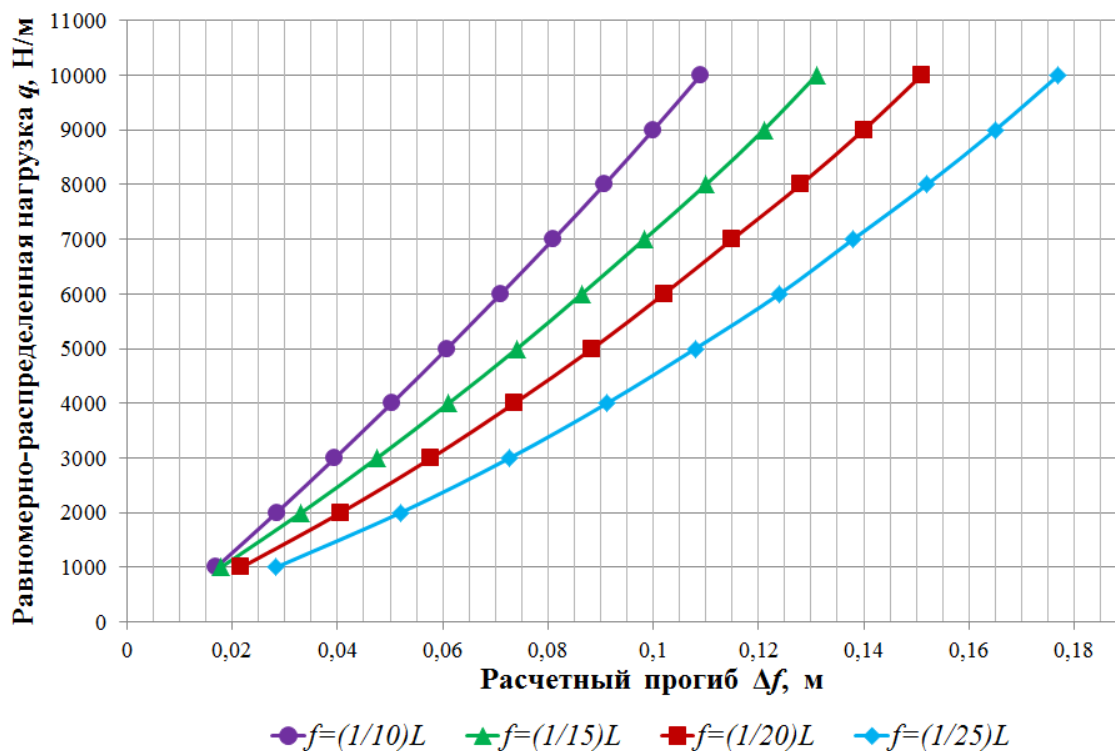


Рис. 3. График геометрической нелинейности ванты пролетом $L=10$ м
 Fig. 3. Graph of the geometric nonlinearity of the cable with a span $L = 10$ m

ФИЗИЧЕСКАЯ + ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ НЕЛИНЕЙНОСТЬ ВАНТЫ

Под физической нелинейностью ванты подразумевается изменение пластических характеристик материала (стали), а именно модуля продольной упругости, (или модуля Юнга) E (Н/м²). На рис. 4 представлены две диаграммы растяжения стали: Прандтля (рис. 4а) и упругопластического билинейного материала (рис. 4б).

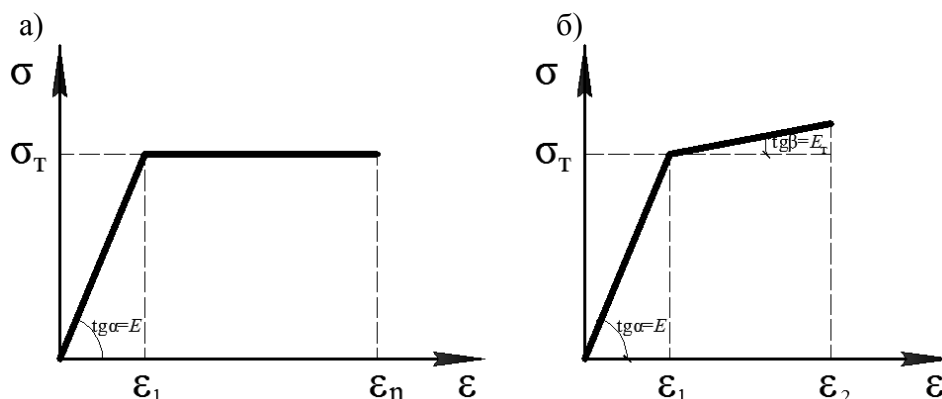


Рис. 4. Диаграммы растяжения стали «напряжение σ – деформация ϵ »:
 а) диаграмма Прандтля; б) диаграмма упругопластического билинейного материала

Fig. 4. Stretching diagrams of steel “stress σ – deformation ϵ ”:
 a) Prandtl chart; b) diagram of an elastoplastic bilinear material

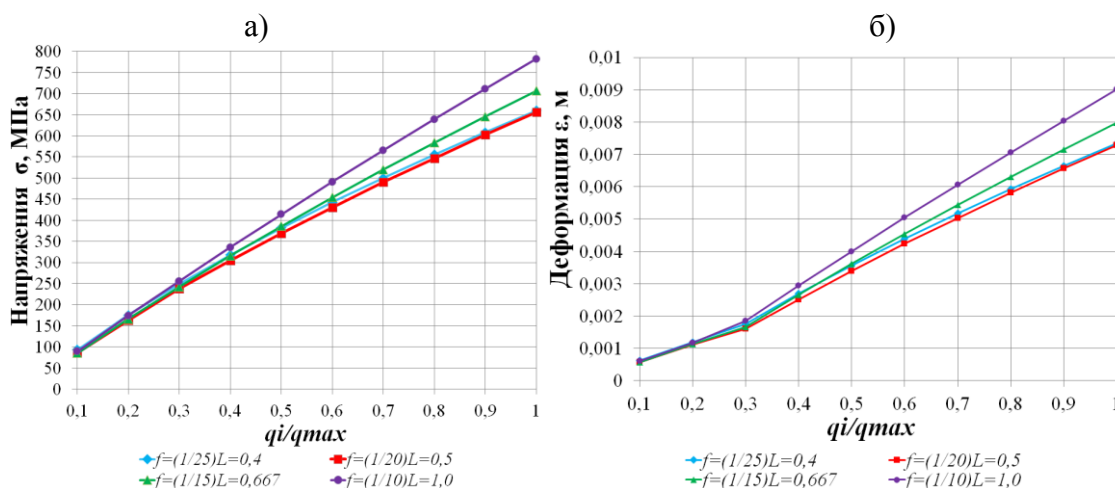


Рис. 5. Изменение напряжений σ (а) и деформации ϵ (б) ванты в процессе нагрузки
 Fig. 5. Variations in stress σ (a) and strain ϵ (b) of the cable during loading

На диаграммах растяжения стали (рис. 4) наклонный участок кривой «напряжение σ – деформация ϵ » до предела текучести σ_T представлен как идеально упругий материал с начальным модулем продольной упругости (или модулем Юнга) $E = \operatorname{tg}\alpha$, (H/m^2). За участком упругого материала следует материал с пластическими свойствами. На рис. 4а площадка текучести представлена в виде прямой линии, т. е. при постоянном напряжении $\sigma = \sigma_T$ деформации продолжают увеличиваться ($\epsilon_1 > \epsilon_n$), в свою очередь, начальный модуль продольной упругости (или модуль упругости первого участка $E = \operatorname{tg}\alpha$) остается неизменным, т. е. $E = 1,47 \cdot 10^{11} (\text{H}/\text{m}^2)$. На рис. 4б видно, что возрастают не только деформации ($\epsilon_1 > \epsilon_2$), но и напряжения σ . Тангенциальный модуль упругости второго участка $E_T = \operatorname{tg}\beta$ меняется в пределах 1-3% от начального модуля упругости $E = \operatorname{tg}\alpha$. Следовательно, $E_T = 1,47 \cdot 10^9 - 4,41 \cdot 10^9 (\text{H}/\text{m}^2)$. Пластический модуль H материала определяется по формуле

$$H = \frac{E_T}{1 - E_T / E}, \quad (9)$$

где E – начальный модуль упругости, Н/м^2 ; E_T – тангенциальный модуль упругости второго участка.

На рис. 5 графиками зависимости напряжений σ от деформаций ε иллюстрируется физическая нелинейность работы вант длиной 10 м, которая проявляется в меньшей мере по сравнению с геометрической нелинейностью (рис. 3).

Рассмотрим деформацию вант с учетом совместной геометрической и физической нелинейности с разными механическими характеристиками стали (рис. 4). Для первого расчета примем материал с модулем Юнга $E = 1,47 \cdot 10^{11} (\text{Н/м}^2)$ по диаграмме Прандтля (см. рис. 4а), для второго расчета – материал с пластическими свойствами и, следовательно, пластическим модулем в диапазоне от $1,48485 \cdot 10^9$ до $4,54639 \cdot 10^9 (\text{Н/м}^2)$ (рис. 4б). Сравним полученные результаты двух расчетов вант пролетом $L=10$ м с провисанием $f=(1/10-1/25)L$, представленные на графике «нагрузка-прогиб» (рис. 6).

Сопоставление прогибов вант при геометрической ($ГН$) и геометрической + физической ($ГН+ФН$) нелинейности материала с учетом пластических свойств показало, что значения расчетных прогибов изменились (рис. 6, 7). Пластический модуль упругости материала равен начальному модулю продольной упругости, т. е. $H=E=1,47 \cdot 10^{11} (\text{Н/м}^2)$ по диаграмме Прандтля (рис. 4а). Проанализировать степень влияния физической нелинейности ($ФН$) ванты можно по рис. 7 и табл. 4.

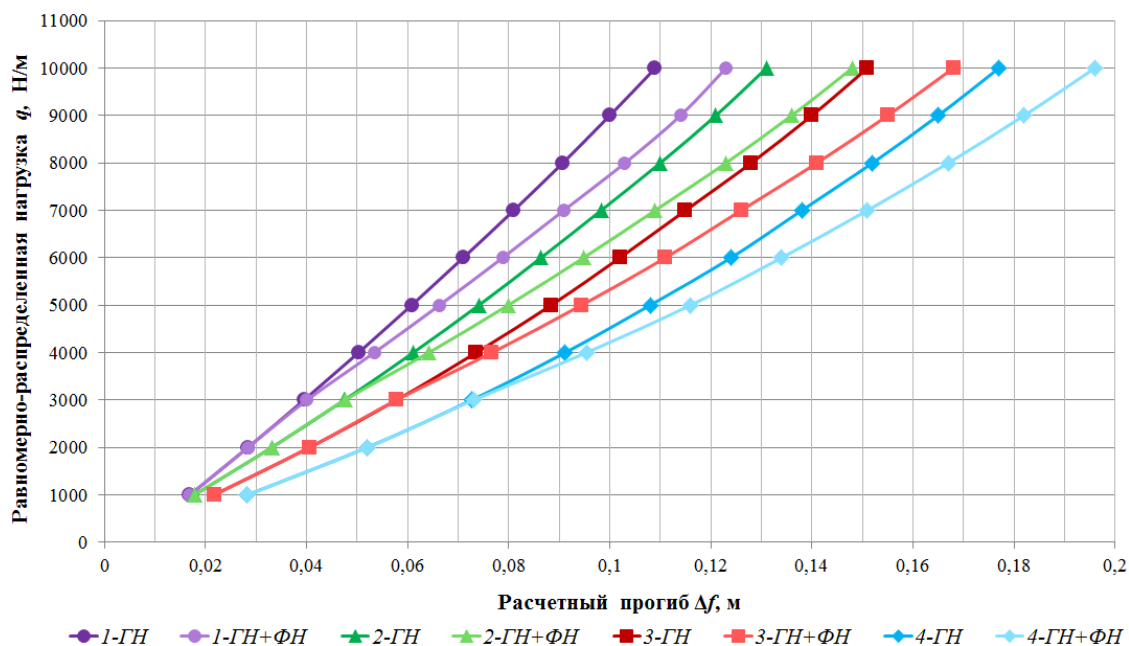


Рис. 6. График физической и геометрической нелинейности ванты пролетом $L=10$ м

Fig. 6. Graph of physical and geometrical nonlinearity of the cable with a span of $L = 10$ m

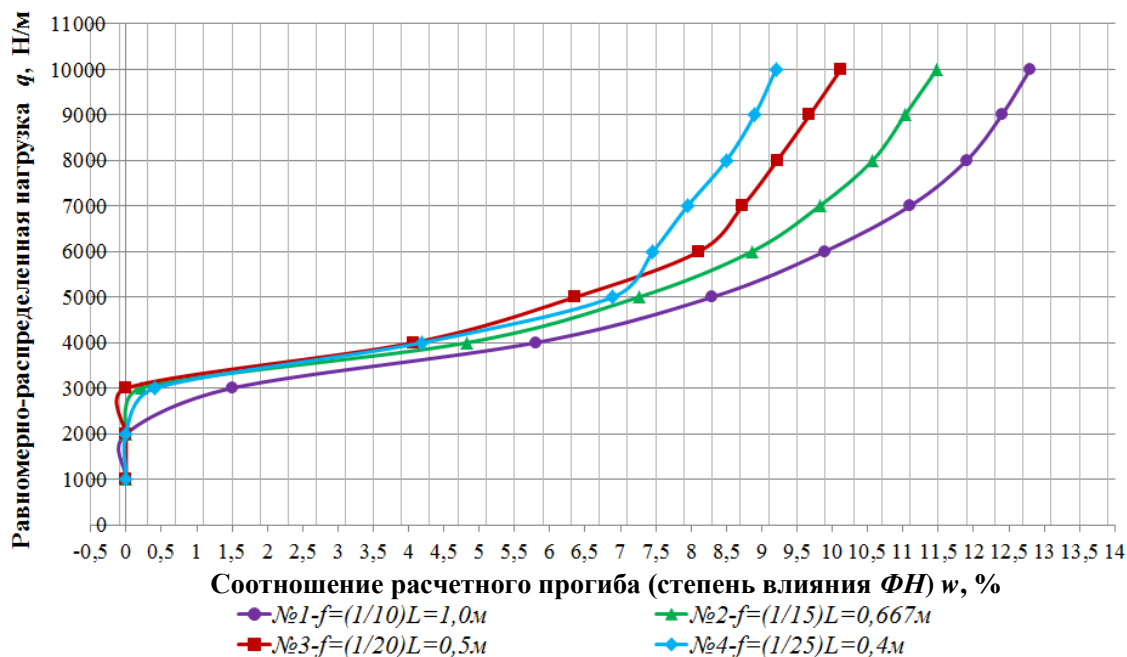


Рис. 7. Сравнительный анализ прогибов ванта пролетом $L=10$ м
 Fig. 7. Comparative analysis of deflections of the cable with a span $L = 10$ m

Таблица 4. Результаты расчетов вант пролетами $L=10$ м

Table 4. Calculation results of the cable with spans $L = 10$ m

Нагру-зка q , Н/м	Стрела провеса f , м (или провисание), ванта при пролете $L=10$ м:											
	№ 1			№ 2			№ 3			№ 4		
	$(1/10)L=1,0\text{ м}$			$(1/15)L=0,667\text{ м}$			$(1/20)L=0,5\text{ м}$			$(1/25)L=0,4\text{ м}$		
	$ГН$	$ГН+$ ΦH	%	$ГН$	$ГН+$ ΦH	%	$ГН$	$ГН+$ ΦH	%	$ГН$	$ГН+$ ΦH	%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1000	0,017	0,017	0	0,018	0,018	0	0,022	0,022	0	0,028	0,028	0
2000	0,028	0,028	0	0,033	0,033	0	0,041	0,041	0	0,052	0,052	0
3000	0,040	0,040	0	0,047	0,047	0	0,058	0,058	0	0,073	0,073	0
4000	0,050	0,053	5,7	0,061	0,064	4,7	0,074	0,077	3,9	0,092	0,095	3,2
5000	0,061	0,066	7,6	0,074	0,079	6,3	0,088	0,094	6,4	0,108	0,116	6,9
6000	0,071	0,079	10,1	0,086	0,095	9,5	0,102	0,111	8,1	0,124	0,134	7,5
7000	0,081	0,091	10,9	0,098	0,109	10,1	0,115	0,126	8,7	0,139	0,151	7,9
8000	0,091	0,103	11,6	0,110	0,123	10,6	0,128	0,141	9,2	0,152	0,165	8,5
9000	0,100	0,114	12,3	0,120	0,136	11,8	0,140	0,155	9,6	0,165	0,180	8,9
10000	0,109	0,125	12,8	0,131	0,148	11,5	0,151	0,168	10,1	0,178	0,196	9,2

Примечание.
 $ГН$ – геометрическая нелинейность;
 $ГН+\Phi H$ – геометрическая + физическая нелинейность

Материал нагруженной ванта в пределах равномерно распределенной нагрузки $q=1000-3000$ (Н/м) при стрелах провеса $f=(1/10-1/25)L$ работает в

упругой стадии (см. табл. 4, рис. 6, 7), а при больших нагрузках $q=4000-10000$ (Н/м) пластичность материала увеличивается.

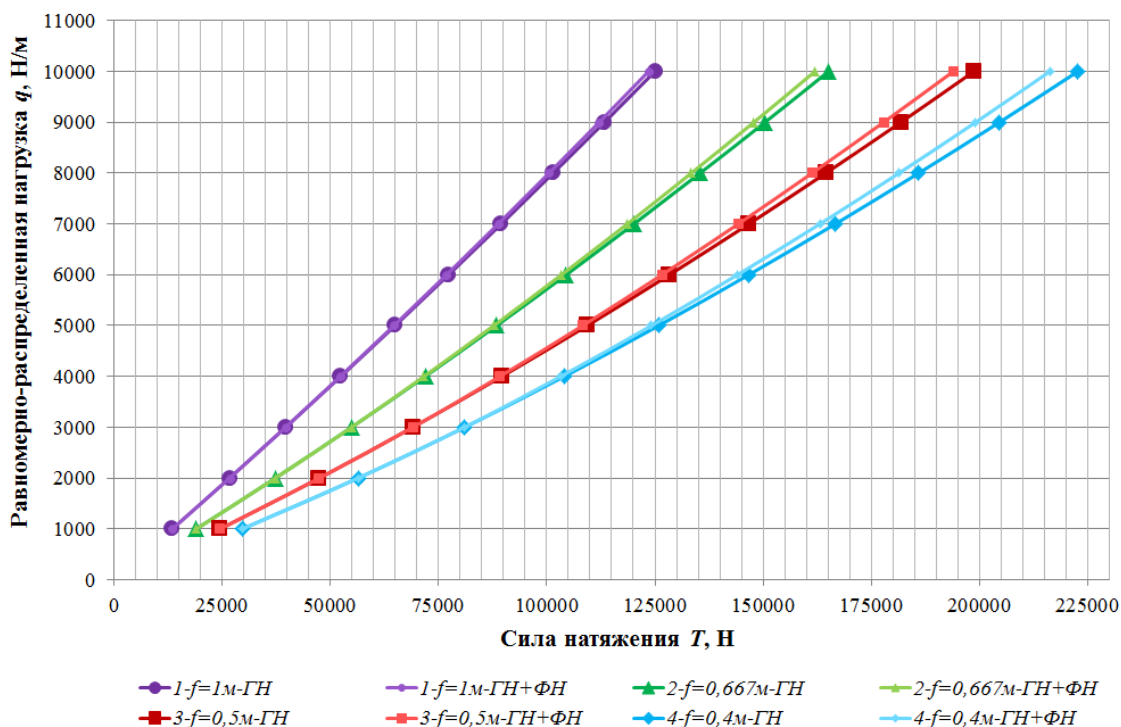


Рис. 8. Изменение силы натяжения T , Н, ванты пролетом $L=10$ м
 Fig. 8. Change in the tension force T , N, of the cable with a span $L = 10$ m

При сравнительном анализе для максимальных опорных реакций (сил натяжения T) в пределах стрелы провеса $f=(1/10-1/25)L$ вант прослеживается незначительное влияние физической нелинейности материала (рис. 8). Например, для вант с большей стрелой провеса $f=(1/10)L=1,0$ (м) значения опорной силы натяжения T между линиями $ГН$ и $ГН+ФН$ практически совпали, а с уменьшением стрелы провеса f величины T несущественно возрастают, т. е. при $f=(1/10)L > f=(1/25)L$ значения $T(f=(1/10)L) < T(f=(1/25)L)$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Являясь гибкой и прочной нитью, ванта находит широкое применение в качестве КЭ в различных отраслях промышленности и строительства.
2. Материалом вант служит горячекатаная стальная проволока, намотанная в бухты, – катанка, получаемая прокаткой на проволочных прокатных станках.
3. Высокие прочностные и пластические свойства стальной проволоки обеспечивают необходимую прочность и долговечность стальных канатов, тросов вантовых систем при действии на них статических и динамических внешних сил.
4. Ванта является растянутым несущим КЭ и приложенную к ней нагрузку воспринимает всем сечением, обеспечивая тем самым существенную экономию материала висячих вантовых покрытий зданий и сооружений.
5. Геометрические характеристики вант, такие как начальное провисание f (м), пролет L (м), диаметр поперечного сечения d (м), оказывают существенное

влияние на перемещение (прогибы) и опорные реакции вант, рассчитанные с учетом геометрической и физической нелинейности. В частности, с увеличением начального провисания f ванты:

а) уменьшается расчетный прогиб Δf (рис. 3, табл. 4), а следовательно, и величина горизонтальной силы (рис. 8, табл. 2); вертикальная сила остается при этом неизменной;

б) возрастает степень влияния w физической нелинейности на перемещение ванты (табл. 4, рис. 6, 7); величина расчетного прогиба при этом уменьшается;

в) снижается степень влияния u физической нелинейности на опорную силу (силу натяжения) (рис. 8), при этом величина силы натяжения уменьшается.

Результаты сравнительного анализа вант с разным провисанием $f=(1/10-1/25)L$ приведены в табл. 5.

Таблица 5. Сравнительный анализ показателей

Table 5. Comparative analysis of the following indicators

С увеличением стрелы провеса $f=(1/25)L < f=(1/10)L$ показатели изменяются	Расчетный прогиб Δf , м	Уменьшается	$\Delta f [(1/25)L] \gg \Delta f [(1/10)L]$
	Вертикальная сила V , Н	Постоянная	$V [(1/25)L] \gg V [(1/10)L]$
	Горизонтальная сила H , Н	Уменьшается	$H [(1/25)L] \gg H [(1/10)L]$
	Сила натяжения T , Н	Уменьшается	$T [(1/25)L] \gg T [(1/10)L]$
	Степень влияния $\Phi H w$ на расчетный прогиб	Возрастает	$W [(1/25)L] \ll w [(1/10)L]$
	Степень влияния $\Phi H u$ на силу натяжения	Снижается	$u [(1/25)L] \gg u [(1/10)L]$

6. Согласно результатам расчета геометрическая нелинейность (ΦH) вант с малой стрелой провеса $f = (1/25)L=0,4$ (м) проявляется сильнее, чем с большей стрелой провеса $f = (1/10)L=1,0$ (м) (рис. 3, табл. 4). А физическая нелинейность, наоборот, при малом провисании $f = (1/25)L=0,4$ (м) проявляется меньше, чем при $f = (1/10)L=1,0$ (м) (рис. 5, табл. 4).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Кужахметова, Э. Р. Сравнительный анализ работы вант с разной геометрической характеристикой при вертикальном нагружении / Э. Р. Кужахметова // Известия Калининградского государственного технического университета. – 2017. – № 45. – С. 235–244.

2. Кужахметова, Э. Р. Деформация вант при различных условиях нагружения / Э. Р. Кужахметова // Прогрессивные технологии, машины и механизмы в машиностроении и строительстве: материалы VI Международного Балтийского морского форума 2018 года: IV Междунар. конф. (3-6 сент. 2018). – Калининград: Изд-во БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ», 2018. – Т. 6. – С.129–140.

3. Кужахметова, Э. Р. Деформация вант при различных условиях нагружения / Э. Р. Кужахметова // Известия Калининградского государственного технического университета. – 2019. – № 52. – С. 157–168.

4. Кужахметова, Э. Р. Особенности напряженно-деформированного состояния здания с цилиндро-плито-вантовым покрытием / Э. Р. Кужахметова // Вестник науки: сб. статей // Актуальные вопросы современной науки: XII Междунар. науч.-практ. конф. – Томск, 2018. – С. 93–98.
5. Кужахметова, Э. Р. Определение прочности, устойчивости и колебаний здания с комплексным цилиндро-плито-вантовым покрытием / Э. Р. Кужахметова // Международная научная конференция научно-педагогических работников АГТУ (58 НПП). – Астрахань, 2014.
6. Кужахметова, Э. Р. Методика прочностного расчета комбинированной цилиндро-плито-вантовой конструкции покрытия большепролетного здания / Э. Р. Кужахметова // Международная научная конференция профессорско-преподавательского состава АГТУ (57 ППС). – Астрахань, 2013.
7. Кужахметова, Э. Р. Конструирование и расчет цилиндро-плито-вантового покрытия / Э. Р. Кужахметова // Международная научная конференция научно-педагогических работников АГТУ (59 НПП). – Астрахань, 2015.
8. Кужахметова, Э. Р. Архитектурная выразительность и физиологическая целесообразность зданий с криволинейными поверхностями / Э. Р. Кужахметова, А. И. Сапожников // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2012. – № 11 (166). – С. 42–45.
9. Сапожников, А.И. Жизнь зданий в земной стихии / А. И. Сапожников. – Германия: LAP LAMBER Academic Publishing, 2014. – 60 с.
10. Кужахметова, Э. Р. Методы расчета вант и вантовых конструкций / Э. Р. Кужахметова // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2019. – № 2. – С.39–48.
11. СП20.13330.2016. Свод правил. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*.
12. СП16.13330.2011. Свод правил. Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81*.

REFERENCES

1. Kuzhakhmetova E. R. Sravnitel'nyy analiz raboty vant s raznoy geometricheskoy kharakteristikoy pri vertikal'nom nagruzhenii [Comparative analysis of the work of the stay cables with different geometric characteristics under vertical loading]. *Izvestiya Kaliningradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2017, no. 45, pp. 235-244.
2. Kuzhakhmetova E. R. Deformatsiya vant pri razlichnykh usloviyakh nagruzheniya [Deformation of stay cables when subjected to various loadings]. *Baltiyskiy morskoy forum: materialy VI Mezhdunarodnogo Baltiyskogo morskogo foruma 2018 goda: "Progressivnyye tekhnologii, mashiny i mekhanizmy v mashinostroyenii i stroitel'stve": IV Mezhdunar. konf. (3-6 sent. 2018)* [Baltic Maritime Forum: proceedings of the VI International Baltic Maritime Forum 2018: "Advanced technologies, machines and mechanisms in mechanical engineering and construction": IV International. Conf., (September 3-6. 2018)]. Kaliningrad, 2018, no. 6. pp.129–140.
3. Kuzhakhmetova E. R. Deformatsiya vant pri razlichnykh usloviyakh nagruzheniya [Deformation of stay cables when subjected to various loadings]. *Izvestiya Kaliningradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2019, no. 2, pp. 157-168.

4. Kuzhakhmetova E. R. Osobennosti napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya zdaniya s tsilindro-plito-vantovym pokrytiyem [Features of the stress-strain state of a building with a cylinder-slab-guyed floor]. *Vestnik nauki. Sbornik statey po materialam XII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Aktual'nyye voprosy sovremennoy nauki"*, Tomsk, 2018, pp. 93-98.

5. Kuzhakhmetova E. R. Opredeleniye prochnosti, ustoychivosti i kolebaniy zdaniya s kompleksnym tsilindro-plito-vantovym pokrytiyem [Determination of strength, stability and vibrations of a building with a complex cylinder-slab-cable-stayed floor]. *Mezhdunarodnaya nauchnaya konferentsiya nauchno-pedagogicheskikh rabotnikov AGTU (58 NPR)*, Astrakhan, 2014.

6. Kuzhakhmetova E. R. Metodika prochnostnogo rascheta kombinirovannoy tsilindro-plito-vantovoy konstruksii pokrytiya bol'sheproletnogo zdaniya [Methodology of the strength calculation of the combined cylinder-slab-cable structure of the large-span building covering the site]. *Mezhdunarodnaya nauchnaya konferentsiya professorsko-prepodavatel'skogo sostava AGTU (57 PPS)*, Astrakhan, 2013.

7. Kuzhakhmetova E. R. Konstruirovaniye i raschet tsilindro-plito-vantovogo pokrytiya [Design and calculation of a cylinder-slab-guyed coating]. *Mezhdunarodnaya nauchnaya konferentsiya nauchno-pedagogicheskikh rabotnikov AGTU (59 NPR)*, Astrakhan, 2015.

8. Kuzhakhmetova E. R., Sapozhnikov A. I. Arkhitekturnaya vyrazitel'nost' i fiziologicheskaya tselesoobraznost' zdaniy s krivolineynymi poverkhnostyami [Architectural expressiveness and physiological expediency of buildings with curvilinear surfaces]. *Stroitel'nyye materialy, oborudovaniye, tekhnologii XXI veka*, 2012, no. 11 (166), pp. 42-45.

9. Sapozhnikov A. I. *Zhizn' zdaniy v zemnoy stikhii* [The life of buildings on earth]. Germany, LAP LAMBER Academic Publishing, 2014, 60 p.

10. Kuzhakhmetova E. R. Metody rascheta vant i vantovykh konstruksiy [Methods of calculating cables and cable structures]. *Vestnik BGTU imeni V. G. Shukhova*, 2019, no. 2. pp. 39-48.

11. SP 20.13330.2011. Svod pravil. Nagruzki i vozdeystviya. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 2.01.07-85*.

12. SP 16.13330.2011. Svod pravil. Stal'nyye konstruksii. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP II-23-81.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Кужахметова Эльвира Рафаэлевна – Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта; аспирант кафедры машиноведения и технических систем; E-mail: elja_09@bk.ru

Kuzhakhmetova Elvira Rafaelievna – Immanuel Kant Baltic Federal University; Post-graduate student; Department of Engineering Science and Technical Systems; E-mail: elja_09@bk.ru

УДК 629.5.01

ПРИМЕНЕНИЕ ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ
ТОЧНОСТИ ГИДРОГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ

А. Ю. Спиридонов, П. Г. Зобов, А. В. Дектярев, В. Н. Морозов

THE USE OF LASER SCANNING TO INCREASE THE ACCURACY
OF HYDRO AND GAS DYNAMIC CALCULATIONS

A. Yu. Spiridonov, P. G. Zobov, A. V. Dektyarev, V. N. Morozov

Исследование поведения тел в потоке жидкости или газа является крайне сложной математической задачей, поэтому вопросы повышения точности расчета являются на сегодняшний день весьма актуальными. Изучение поведения потока газа или жидкости может проводиться экспериментально, что дает точную картину потока и позволяет получить результаты для различных скоростей с учетом ламинарно-турбулентного перехода на любой геометрии. Эксперимент также позволяет провести точный анализ вихревых течений и кавитационных процессов. Однако данный способ сопряжен со значительными затратами при исследовании конструкций в натурном масштабе и высокими требованиями к точности при моделировании – в уменьшенном. Трудности также вызывает невозможность натуральных испытаний одновременно по числу Фруда и Рейнольдса. Совокупность представленных факторов делает эксперименты данного типа крайне трудоемкими. При математическом моделировании данных процессов используется метод конечных элементов с применением $k-\omega$ SST-модели турбулентности Ментера без учета ламинарно-турбулентного перехода. Являясь вариацией дискретизации, данный метод изначально приводит к ошибке из-за необходимости разбиения сложного по геометрии объема на более простые элементы. Другим важным фактором, влияющим на сходимость теоретических и практических параметров, является накапливающаяся ошибка геометрических размеров. Причины разности между теоретической трехмерной моделью изделия и реальным образцом объясняются множеством факторов: допусками на изготовление, износом оборудования, тепловыми деформациями и т. д. В данной работе рассматривается метод реверсного проектирования, позволяющий сократить геометрическую ошибку за счет внесения в расчетную модель фактической геометрии исследуемых деталей и конструкций. Производится проверка эффективности такого подхода, а также приводится пример использования данного метода.

лазерное сканирование, гидродинамика, газодинамика, точность расчетов, сходимость, точная геометрия, вихреобразование, турбулентность

The study of the behavior of bodies in a stream of liquid or gas is an extremely difficult mathematical problem, therefore, the issues of increasing the accuracy of calculation are very topical today. The study of the behavior of a gas or liquid flow can be carried out experimentally, which gives an accurate picture of the flow and provides re-

sults for different speeds, taking into account the laminar-turbulent transition to any geometry. The experiment also allows for an accurate analysis of eddy currents and cavitation processes. However, this method is associated with significant costs in the study of structures in full scale and high accuracy requirements for modeling in a reduced scale. Difficulties are also caused by the impossibility of carrying out field tests simultaneously on Frud and Reynolds numbers. The combination of the presented factors makes experiments of this type an extremely time-consuming process. In mathematical modeling of these processes, the finite-element method is used with the use of the k-S ω MST turbulence model without taking into account the laminar-turbulent transition. Being a variation of discretization, this method initially leads to an error because of the need to split a volume that is complex in geometry into simpler elements. Another important factor affecting the convergence of theoretical and practical parameters is the accumulated error of geometric dimensions. The reasons for the difference between the theoretical three-dimensional model of the product and the real sample are explained by many factors: manufacturing tolerances, equipment wear, thermal deformations, etc. In this paper, the reverse design method is considered that allows reducing the geometric error, by including the actual geometry of the parts and structures under study into the calculation model, the effectiveness of this approach is checked, and an example of using this method is given.

laser scanning, hydrodynamics, gas dynamics, accuracy of calculations, convergence, exact geometry, vortex formation, turbulence

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время одним из важнейших направлений развития подводного кораблестроения является комплексное снижение шумности судовых механизмов [1]. Последние достижения промышленности в сфере амортизации позволяют подобрать опоры для любого вида оборудования и снизить его шумность на несколько порядков еще на этапе проектирования корабля. Входящими данными для такого подбора служат частоты вибрации исследуемого механизма. При этом получение частот вибрации путем простого теоретического расчета возможно только для механизмов, не вступающих в контакт с жидкой или газообразной средой. Работы по анализу частот вибрации механизмов, работающих в контакте с такими средами, показали, что теоретический анализ возможен, однако мельчайшие неточности в изготовлении различных элементов данных конструкций (в частности крыльчаток вентиляторов) сильно влияют на точность вычислений [2]. Таким образом, работы по лазерному сканированию для корректировки модели устройства – ключевой шаг к практическому применению таких расчётов.

Главный недостаток математической модели заключается в том, что она отражает только идеализированную геометрию изделия. В данной работе рассмотрен метод введения в математическую модель скорректированной геометрии реального изделия, учитывающий все существующие отклонения, полученные в результате технологических процессов.

Анализ литературных источников показал, что данная тематика является достаточно мало изученной. В работах отечественных авторов [3-5] приводится ряд методик по расчету шумности сложных систем и примеры экспериментов, показавших ряд отклонений в частотах вибраций натурального устройства. В зару-

бежной литературе данный вопрос в основном представлен работами по смежным направлениям [6-8].

Результаты, полученные в работах других авторов, позволяют с достаточно большой точностью говорить о состоятельности CFD как метода расчета и однозначно говорят о большом уровне сходимости математической модели и реального изделия. Но стоит отметить, что основная часть приведенных материалов базируется на расчете потока в механизмах, изготовленных с высокой точностью и не являющихся крупносерийными изделиями. При этом основная часть систем вентиляции и схожего оборудования изготовлена с низкой точностью и имеет определенные геометрические отклонения от идеальной модели.

Таким образом, условия современного производства диктуют необходимость проведения исследований, направленных на получение алгоритма по расчету потока жидкости или газа в реальном, уже построенном оборудовании, для выявления критических, с точки зрения гидрогазодинамики, отклонений геометрии и поиска путей устранения данных недоработок.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Изучаемый метод реализуется с помощью алгоритма, приведенного на рис. 1 и заключается в реализации комплекса теоретических исследований и реальных экспериментов.



Рис. 1. Алгоритм проведения испытаний
Fig. 1. Algorithm for testing

Такой подход позволяет поэтапно сокращать ошибку вычислений путем одновременного анализа данных математического моделирования, практических испытаний и вторичного математического анализа с применением моделей с фактической геометрией.

Описываемый метод был апробирован в ходе работ по исследованию аэродинамических свойств крыльчатки судового вентилятора, представленных в [5]. Поверхности лопастей вентилятора представляют собой объекты сложной геометрической формы, практически не имеющие плоских граней. Именно в случае подобных типов поверхностей проявляется недостаток метода конечных элементов. Дискретизация происходит таким образом, что непрерывно изогнутая поверхность начинает представлять собой сумму плоских примитивов, вызывая геометрическую ошибку и внося погрешность в расчет (рис. 2).

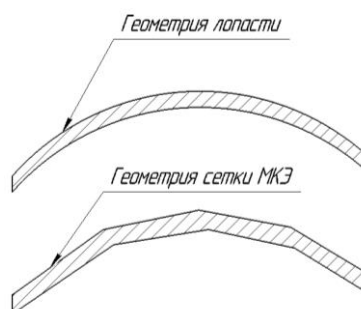


Рис. 2. Ошибка геометрии
Fig. 2. Geometry error

Ошибка может быть приведена к допустимым значениям путем дополнительного дробления сетки, что увеличит время расчета. Вопросы сеточной сходимости на примере судового винта были рассмотрены в [3]. В результате сделан вывод, что наиболее перспективен метод адаптивного построения сетки по геометрическому и гидродинамическому критерию. Также в [3] найдена зависимость результатов от геометрических размеров в не адаптивном режиме.

В нашем случае возможно показать ту же закономерность на примере представленного сечения лопасти (рис. 3).

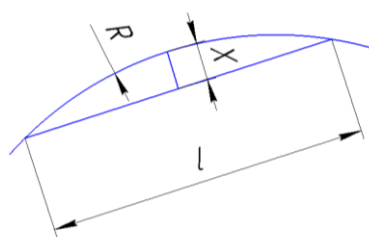


Рис. 3. Схема контакта сетки и поверхностей
Fig. 3. The contact scheme of the grid and surfaces

Исходя из схемы (рис. 3) отклонение геометрии можно описать длиной нормали, опущенной с плоскости ячейки к поверхности лопасти. Данная нормаль является высотой сегмента круга и вычисляется по формуле

$$X = R - \sqrt{R^2 - \frac{l^2}{4}}.$$

В нашем случае для лопасти с радиусом кривизны 78 мм график зависимости погрешности от размера ребра ячейки сетки будет выглядеть следующим образом (рис. 4).

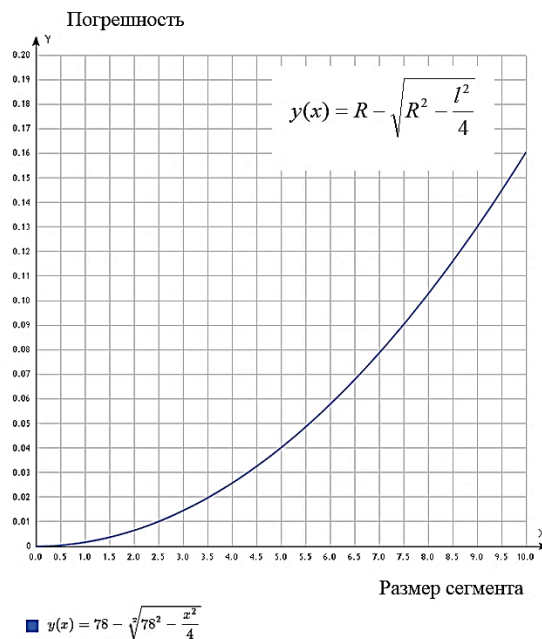


Рис. 4. Зависимость ошибки от размера ячейки

Fig. 4. Dependence of the error on the cell size

Видно, что возможно создание сетки, геометрия которой будет отклоняться от геометрии модели на допустимые значения: так, при ребре сетки меньше 2.5 мм отклонение геометрии составит всего 0.01 мм. Отсюда следует, что ошибка при создании сетки не является ключевой в ходе гидрогазодинамических расчетов, что также согласуется с результатами, приведенными в [3].

На практике отклонения модели от геометрии изготовленной детали весьма значительны ввиду наличия допусков на изготовление, тепловых деформаций и особенностей технологии изготовления. Данные факторы обосновывают необходимость уточнения реальных размеров деталей и выполнения математического моделирования с целью получения реальных параметров системы.

Изначально нами была создана трехмерная модель с использованием разработанной методики [9]. Представленная модель отражает теоретическую (идеальную) геометрию изделия. Как и предполагалось по ряду вышеописанных моментов, фактическая геометрия реального изделия отличается от теоретической. В нашем конкретном случае максимальное отклонение составляло 2.5 мм. Совмещение облака точек, полученного по результатам трехмерного лазерного сканирования, с теоретической моделью изображено на рис. 5. Облако показано зеленым, исходная модель – серым цветом.

Вызвано данное отклонение формы деформациями крыльчатки в процессе изготовления и формовки, что связано с особенностями технологии производства, такими как наличие крупных заусениц, остатков литевых каналов, недостаточно качественной стыковки между частями литейной формы.

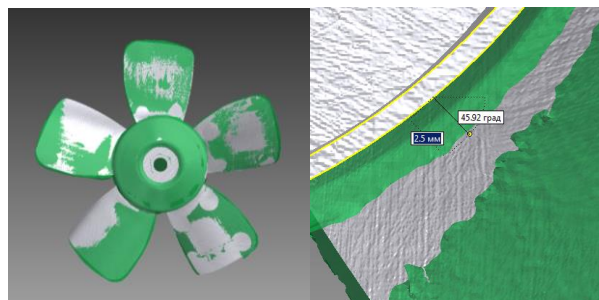


Рис. 5. Наложение облака точек
Fig. 5. Point cloud overlay

Для выявления всех отклонений формы и создания модели изделия в точной геометрии было проведено трехмерное лазерное сканирование объекта. Для этого был использован высокоточный лазерный сканер Creaform Handyscan 300. Точность данного оборудования составляет 0.2 мм. Работы выполнялись в соответствии с разработанной методикой [10].

Отдельно стоит отметить особенности сканирования объектов черного цвета, прямо влияющие на точность результата. Ввиду поглощения излучения лазера черным объектом отраженного луча недостаточно, чтобы точно определить координаты точки. Для решения данной проблемы используется увеличение мощности излучения (функция Shutter) до максимальных значений. При этом сканер способен «увидеть» матовую черную поверхность. Однако в некоторых особо сложных условиях этого оказывается недостаточно.

Для сканирования поверхностей особой сложности был использован метод покрытия объектов светоотражающим составом. При рассмотрении вариантов покрытия основными критериями являлись: возможность покрытия изделий из любого материала, легкость нанесения покрытия, безопасность для персонала, высокие показатели отражения и низкая стоимость. Представленным критериям соответствует раствор мела в воде. Он легок в нанесении и удалении с любых поверхностей, дешев и прост в обращении. Покрытие крыльчатки вентилятора происходило путем ее погружения в раствор с последующим высушиванием.

Изделие, покрытое меловым раствором, гораздо лучше отражает лучи лазера, благодаря чему возможно получение более точного и целостного облака точек. Разница в облаках точек, полученных путем сканирования крыльчатки из черного пластика без покрытия (слева) и с покрытием (справа), показана на рис. 6.

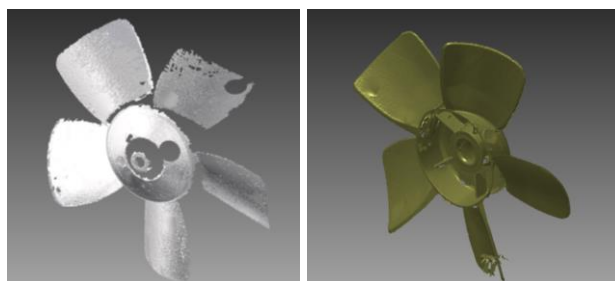


Рис. 6. Облака точек
Fig. 6. Clouds of points

По рис. 6 видно, что покрытие меловым раствором позволило получить более полное облако точек. Меловой раствор, в отличие от специализированных матирующих спреев, может быть легко смыт водой и доступен в больших количествах, что крайне необходимо при сканировании крупных конструкций корабля.

Следующим этапом является создание по облаку точек модели крыльчатки, описывающей фактическую геометрию и учитывающей все искажения относительно теории. Для этого было использовано специализированное программное обеспечение Geomagic Design X, которое позволяет получить твердотельную модель, готовую к дальнейшему применению в гидрогазодинамическом расчете. Доработанная модель показана на рис. 7.



Рис. 7. Дополненная модель крыльчатки
Fig. 7. Augmented impeller model

Использование реверсного проектирования, проведенного в соответствии с алгоритмами, приведенными в [11], позволило учесть в модели деформации центральной части крыльчатки, сдвиг лопастей, остатки литейных каналов, заусенцы лопастей и точные параметры скруглений.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Следующим этапом работы было сравнение результатов математического моделирования гидрогазодинамических процессов, полученных с использованием первоначальной и уточненной моделей.

Эффект от моделирования с применением фактической геометрии заметен даже без проведения гидродинамического расчета – на этапе моделирования в САД-системе было выявлено отклонение центра тяжести изделия вследствие деформации центральной части и сдвига лопастей. Данное отклонение является причиной появления вибрации и повышенного шумообразования даже при том условии, что гидродинамические характеристики изделия находятся в норме, что показано в [5]. В приведенном примере отклонение от оси составило 0.8 мм.

Проведение математического моделирования показало наличие разницы в поведении потока при обтекании первоначальной модели и доработанной. Во втором случае видно, что лопасть находится в аэродинамической тени за остатком канала. Данное явление снижает эффективную площадь лопатки, что, в свою очередь, понижает общее КПД вентилятора. Характер процесса представлен на рис. 8, где слева изображен участок с остатком литейного канала, на котором явно

видна аэродинамическая тень, а справа – нормальное поведение потока при отсутствии остатка канала.

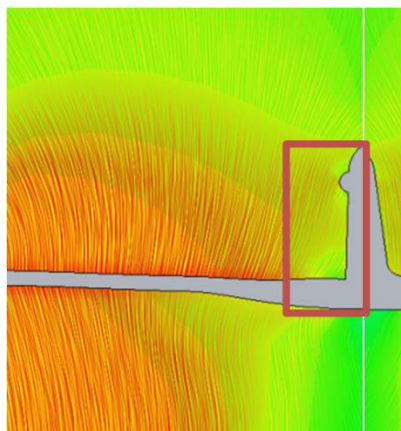


Рис. 8. Продувка модели
Fig. 8. Purging the model

С другой стороны, анализ показал, что наличие заусенца на крае лопасти практически не влияет на характеристики потока и не вызывает дополнительного вихреобразования. Искажение геометрии центральной части также влияет на поток незначительно.

Таким образом, в ходе анализа модели лопасти, полученной методом реверсного проектирования, было выявлено, что остатки литейных каналов отрицательно влияют на характеристики изделия, а деформация центральной части вызывает отклонение центра масс изделия от оси, являясь причиной возникновения вибрации.

Вызванное деформацией отклонение лопастей смещает фокус исходящего потока, что в случае одиночного вентилятора несущественно, но может сильно влиять на характеристики потока в составе системы.

ВЫВОДЫ

Описанные в статье алгоритмы анализа натуральных изделий и алгоритмы корректировки теоретических моделей на основе полученных данных дают возможность проводить комплексное улучшение шумовых характеристик корабля при проектировании серийной версии или модифицированного проекта. Таким образом, применение показанных в статье алгоритмов при проектировании и строительстве серии кораблей позволяют путем анализа головного образца улучшать шумовые характеристики на каждом новом корабле серии путем внесения правок в проект.

Получены практические результаты по снижению шумности крыльчаток судовых вентиляторов, составлен ряд рекомендаций по технологии их изготовления, позволивших снизить шумность серии судовых систем вентиляции. Дополнительно внесены правки в технологические карты схожих судовых вентиляторов других проектов.

На основании проведенного анализа и материалов ранних работ по данной тематике были составлены рекомендации по улучшению конструкции крыльчат-

ки, а также технологические требования при их изготовлении, такие как зачистка остатков литейных каналов и добавление дополнительных ребер жесткости для исключения деформации центральной части и смещения лопастей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Спиридонов, А. Ю. Разработка и внедрение технологии реверс-инжиниринга в АО «ПО «Севмаш» для постройки АПЛ 4-го поколения / А. Ю. Спиридонов, А. В. Кривчиков // Становление и развитие атомного подводного кораблестроения: сб. докл. науч.-техн. конф. – Северодвинск, 2016. – С. 89-90.
2. Спиридонов, А. Ю. Методы компьютерного моделирования для вибродиагностики состояния судового оборудования / А. Ю. Спиридонов, А. А. Пшеницин // Судостроение. – 2014. – №2 (813). – С. 44-46.
3. Таранов, А. Е. Сеточная сходимость в расчётах обтекания модели гребного винта ледокола / А. Е. Таранов // Труды Крыловского государственного научного центра. – Санкт-Петербург, 2015. – Вып. 90 (374). – С. 55-63.
4. Применение методов комплексного моделирования при решении гидродинамических задач / А. А. Пшеницин [и др.] // Судостроение. – 2016. №2 (825). – С. 31-33.
5. Пшеницин, А. А. О диагностике шумообразования в судовых вентиляторах / А. А. Пшеницин [и др.] // Судостроение. – 2016. – №2 (825). – С. 31-33.
6. O. S. Akinyemi, Y. Liu. CFD modeling and simulation of a hydropower system in generating clean electricity from water flow. International Journal of Energy and Environmental Engineering. 2015. Vol. 6, Is. 4. pp. 357-366.
7. S.V. Martynov, D.J. Mason, M.R. Heikal. Numerical simulation of cavitation flows based on their hydrodynamic similarity. International Journal of Engine Research, 2006, no. 7 (3), pp. 283-296.
8. F. Menna, S. Troisi. Low cost reverse engineering techniques for 3D modeling of propellers. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. 38, Part 5 Commission V Symposium, Newcastle upon Tyne, UK. 2010. pp. 452-457.
9. 89.32-0.03.545-2017. Моделирование в системе автоматизированного проектирования «САТИА». Методика // АО «ПО «Севмаш»
10. 89.13-1.03.544-2017. Трёхмерное лазерное сканирование объектов. Методика // АО «ПО «Севмаш»
11. Будниченко, М. А. Модернизация конструкторско-технологической подготовки производства и процессов строительства кораблей / М. А. Будниченко, А. Ю. Спиридонов // Труды Крыловского государственного научного центра. – Санкт-Петербург, 2015. – Вып. 90 (374). – С. 187-195.

REFERENCES

1. Spiridonov A. Yu., Krivchikov A. V. Razrabotka i vnedrenie tekhnologii revers-inzhiniringa v AO «PO «Sevmash» dlya postroyki APL 4-go pokoleniya [Development and implementation of reverse engineering technology at JSC «PA «Sevmash»

for the construction of the 4th generation nuclear submarines]. *Sbornik докладov nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Stanovlenie i razvitie atomnogo podvodnogo korablestroeniya»* [Collection of reports of the scientific and technical conference «Formation and development of nuclear submarine shipbuilding»]. Severodvinsk, 2016, pp. 89-90.

2. Spiridonov A. Yu., Pshenitsyn A. A. Methods of Computer Modeling for Vibration Diagnostics of the Ship Equipment [Metody komp'yuternogo modelirovaniya dlya vibrodiagnostiki sostoyaniya sudovogo oborudovaniya]. *Sudostroenie*, 2014, no. 2 (813), pp. 44-46.

3. Taranov A. E. Grid Convergence in the Calculations of the Flow Around the Model of an Icebreaker Propeller [Setochnaya ckhodimost' v raschetakh obtekaniya modeli grebnogo vinta ledokola]. *Trudy Krylovskogo gosudarstvennogo nauchnogo tsentra*, 2015, no. 90 (374), pp. 55-63.

4. Pshenitsyn A. A., Nekrasov V. A., Samokhin V. S., Spiridonov A. Yu. Application of complex modeling methods for solving hydrodynamic problems [Primenenie metodov kompleksnogo modelirovaniya pri reshenii gidrodinamicheskikh zadach]. *Sudostroenie*, 2016, no. 2 (825), pp. 31-33.

5. Pshenitsyn A. A., Lesnyak A. N., Samokhin V. S., Spiridonov A. Yu. On the Diagnosis of Noise in the Ship's Fans [O diagnostike shumobrazovaniya v sudovykh ventilyatorakh]. *Sudostroenie*, 2017, no. 1 (830), pp. 28-30.

6. Akinyemi O. S., Liu Y. CFD Modeling and Simulation of a Hydropower System in Generating Clean Electricity from Water Flow. *International Journal of Energy and Environmental Engineering*. 2015, vol. 6, iss. 4. pp. 357-366.

7. Martynov S. B., Mason D. J., Heikal M. R. Numerical Simulation of Cavitation Flows Based on Their Hydrodynamic Similarity. *International Journal of Engine Research*, 2006, no. 7 (3), pp. 283-296.

8. Menna F., Troisi S. Low Cost Reverse Engineering Techniques for 3D Modelling of Propellers. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. 38, part 5. Commission V Symposium, Newcastle upon Tyne, UK. 2010, pp. 452-457.

9. 89.32-0.03.545-2017. *Modelirovanie v sisteme avtomatizirovannogo proektirovaniya «CATIA». Metodika* [Modeling in the computer-aided design system «CATIA». Procedures]. AO «PO «Sevmash».

10. 89.13-1.03.544-2017. *Trekhmernoe lazernoe skanirovanie ob'ektov. Metodika* [Three-dimensional laser scanning of objects. Procedures]. AO «PO «Sevmash».

11. Budnichenko M. A., Spiridonov A. Yu. Modernization of design and technological preparation of production and ship building processes [Modernizatsiya konstruktorsko-tekhnologicheskoy podgotovki proizvodstva i protsessov stroitel'stva korabley]. *Trudy Krylovskogo gosudarstvennogo nauchnogo tsentra*, 2015, vol. 90 (374), pp. 187-195.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Спиридонов Александр Юрьевич – АО «ПО «Севмаш»; начальник отдела проектно-конструкторского бюро; E-mail: pkb92@sevmash.ru

Spiridonov Alexandr Yurievich – JSC «PO Sevmash»; Head of the Department of the Design Bureau; E-mail: pkb92@sevmash.ru

Зобов Павел Геннадьевич – Институт судостроения и морской арктической техники; бакалавр 4-го курса; направление «Судостроение и системотехника объектов морской инфраструктуры»; E-mail: pavelzobov98@mail.ru

Zobov Pavel Gennadievich – Institute of Shipbuilding and Marine Arctic Technology; bachelor of 4-th year of “Shipbuilding and systems engineering of marine infrastructure”; E-mail: pavelzobov98@mail.ru

Дектярев Александр Владимирович – Калининградский государственный технический университет; аспирант кафедры кораблестроения; E-mail: nwasanches@mail.ru

Dektyarev Alexandr Vladimirovich – Kaliningrad State Technical University; Post-graduate student; Department of Shipbuilding; E-mail: nwasanches@mail.ru

Морозов Владимир Николаевич – Калининградский государственный технический университет; кандидат технических наук; доцент; академик РАЕН; E-mail: mvn3613@gmail.com

Morozov Vladimir Nikolaevich – Kaliningrad State Technical University; Doctor of Engineering; Associate professor; academician of RANS; E-mail: mvn3613@gmail.com

УДК 62-585.17:531.43

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ В ПАРЕ
«ГИБКИЙ ЭЛЕМЕНТ – ТВЕРДОЕ ТЕЛО»: ТЕОРИЯ И ЭКСПЕРИМЕНТ

С. В. Федоров, Н. А. Середа, В. П. Иванов

DETERMINATION OF FRICTION COEFFICIENT
IN THE “FLEXIBLE ELEMENT – SOLID” PAIR: THEORY AND EXPERIMENT

S. V. Fyodorov, N. A. Sereda, V. P. Ivanov

В настоящей статье проведен обзор приборов и способов измерения коэффициента трения в паре «гибкий элемент – твердое тело». Установлено, что существенным недостатком известных приборов для определения коэффициента трения в названной паре является однократное изменение угла охвата гибким элементом твердого тела. Измерение выполняется только перед началом выполнения эксперимента. Рассмотрена конструкция и принцип действия лабораторной установки, содержащей исследуемую и нагружающую передачи с гибким элементом. Исследуемая передача включает ведущий и ведомый шкивы и гибкий элемент в виде ремня. Упомянутый ремень выполнен замкнутой формы с поперечным сечением в виде клина. Нагружающая передача содержит два шкива и ремень. Ремень нагружающей передачи исполнен замкнутой формы с поперечным сечением в виде прямоугольника. Получены экспериментальные данные в виде графиков коэффициента полезного действия, коэффициента скольжения и мощности на ведущем и ведомом валах в функции момента на ведомом валу. В ходе обработки экспериментальных данных предложена математическая зависимость для вычисления коэффициента трения, применяемая при анализе результатов эксперимента. Коэффициент трения в этом случае определяется как функция предварительного натяжения ремня исследуемой передачи, диаметра и вращающего момента на ведомом шкиве и угла охвата гибким элементом шкива. Показано, что характер изменения коэффициента трения в паре «гибкий элемент – твердое тело», полученный в процессе эксперимента, соответствует обобщенным диаграммным закономерностям изменения трения. Эти закономерности установлены в рамках метода трибоэргодинамики.

гибкий элемент, твердое тело, пара трения, коэффициент трения, диаграмма эволюции коэффициента трения

The article reviews devices and methods for measuring friction coefficient in the "flexible element-solid" pair. Known devices for determining the coefficient of friction in the named pair have some disadvantages. A significant disadvantage is a single change in the angle of coverage of the flexible element of the solid. This is done only before the experiment. The design and principle of operation of the laboratory installation has been considered. This installation contains a test and loading

transmission with a flexible element. The transmission under study includes driving and driven pulleys and a flexible element in the form of a belt. This belt is made as a closed shape with a cross section in the form of a wedge. The loading gear contains two pulleys and a belt. The belt of the loading transmission is made as a closed shape with a cross section in the form of a rectangle. Graphs of efficiency, sliding coefficient and power on the drive and driven shafts have been obtained. These graphs are represented in the torque function on the driven shaft. A mathematical dependence for determining the friction coefficient has been proposed. This dependency is applied when processing experimental data. The friction coefficient in this case is determined as a function of the pre-tension of the belt of the gear under study, diameter and torque on the driven pulley and the angle of coverage of the flexible pulley element. The nature of the change in the coefficient of friction in the "flexible element-solid" pair corresponds to the generalized diagram regularities of friction change in the framework of the triboergodynamics method.

flexible element, solid, friction pair, friction coefficient, evolution diagram of friction coefficient

ВВЕДЕНИЕ

Многие технологические машины содержат в составе привода передачу с гибким элементом, например, машины текстильной промышленности (трикотажное оборудование, швейные машины), вибромашины, оборудование для обработки волокнистых и сыпучих материалов, металлообрабатывающие станки, горные и бурильные машины [1-4].

Экспериментальные исследования передачи с гибким элементом, содержащей два шкива и ремень, проводят, как правило, с определением ее тяговой способности и коэффициента полезного действия. При этом отметим, что многие экспериментальные стенды не позволяют определять характер изменения коэффициента трения в паре «гибкий элемент – твердое тело». С их помощью устанавливают, к примеру, угол охвата гибким элементом твердого тела или натяжения ведущей и ведомой ветвей гибкого элемента. Коэффициент трения устанавливают по эмпирическим зависимостям, полученным в процессе обработки экспериментальных данных.

Известные технические средства и способы измерения коэффициента трения в паре «гибкий элемент – твердое тело» имеют недостатки, наиболее существенные из которых связаны с невозможностью изменения угла охвата гибким элементом твердого тела непосредственно в процессе проведения эксперимента.

Предварительный анализ отечественной и зарубежной литературы позволил выбрать направление исследования [2-11], в котором натяжение гибкого элемента исследуемой передачи фиксировано (т. е. угол охвата гибким элементом твердого тела постоянен), а натяжение ремня нагружающей передачи переменное (т. е. угол охвата ремнем шкива плавно изменяется в ходе эксперимента). Коэффициент трения определяется по зависимости, содержащей параметры, установленные в процессе выполнения эксперимента.

1. ОБЗОР ПРИБОРОВ И СПОСОБОВ ИЗМЕНЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ В ПАРЕ «ГИБКИЙ ЭЛЕМЕНТ – ТВЕРДОЕ ТЕЛО»

В этом разделе статьи гибкий элемент представляет собой нить, ленту, канат или ремень, а под твердым телом понимают барабан, направляющую цилиндрической формы, блок или шкив.

Известен прибор для определения коэффициента трения в паре трения «нить – направляющая цилиндрической формы» [1]. В него входят: направляющая цилиндрической формы 2, шарнирно связанная с валом привода, гибкий элемент, выполненный в виде нити 3, и неподвижное основание 1 (рис. 1). Один конец гибкого элемента связан с грузом 4 и образует узел натяжения нити, другой конец 5 нити – с динамометром 6, снабженным стрелкой, показывающей числовые значения натяжения нити F_2 на шкале-линейке 7. Числовое значение натяжения нити F_1 в данном эксперименте фиксировано и равно массе груза 4. Угол охвата нитью направляющей устанавливается перед проведением эксперимента посредством вращающегося ролика 8, перемещающегося в вертикальной прорези 12. Изменение угла охвата нитью направляющей в ходе проведения эксперимента не происходит. Упомянутая ранее шкала-линейка 7 нанесена на деталь 13, расположенную вертикально в шариковых порках 14. Блок 11, нить 9 и груз 10 образуют узел уравнивания шкалы-линейки 7.

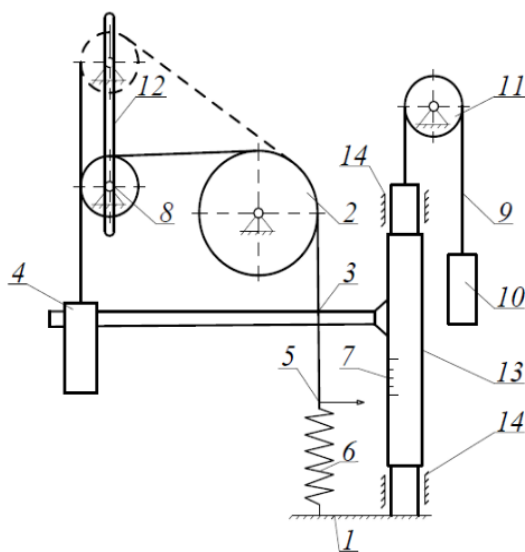


Рис. 1. Прибор для определения коэффициента трения в паре «нить – направляющая цилиндрической формы»
 Fig. 1. A device for determining the friction coefficient in the "thread – directing curve of a cylindrical shape" pair

Процесс определения коэффициента трения с использованием прибора (рис. 1) включает этапы:

- 1) устанавливают значение натяжения F_1 нити, предварительно измерив массу груза 4;
- 2) определяют значение натяжения F_2 нити в ходе эксперимента, используя шкалу-линейку 7;

3) определяют коэффициент трения по формуле (1), представленной ниже

$$f = \frac{1}{2} \cdot \ln\left(\frac{F_2}{F_1}\right). \quad (1)$$

Выполним анализ формулы (1). Если натяжение F_2 меньше натяжения F_1 , коэффициент трения принимает отрицательные значения, что недопустимо. При равенстве натяжений F_2 и F_1 коэффициент трения равен нулю. Если натяжение F_2 больше натяжения F_1 , коэффициент трения монотонно возрастает (рис. 2).

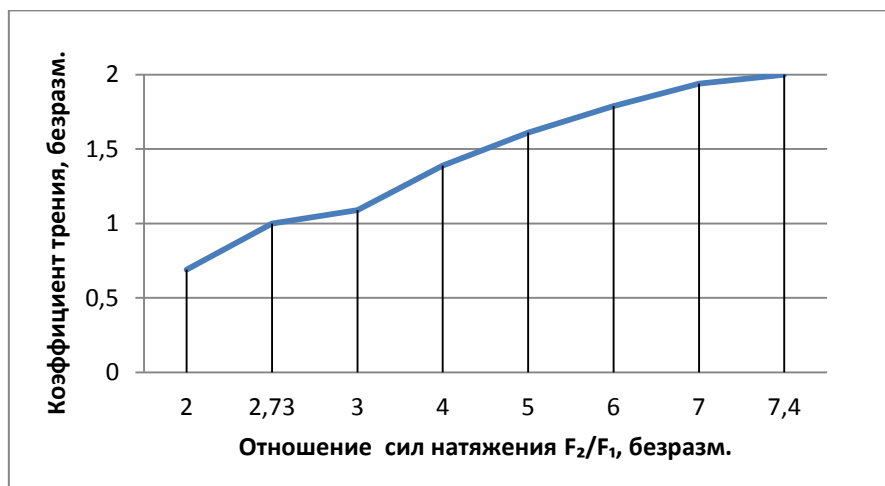


Рис. 2. График коэффициента трения, построенный по формуле (1)
 Fig. 2. Graph of the friction coefficient built according to the formula (1)

Применяя прибор для нахождения коэффициента трения в паре трения «нить – направляющая цилиндрической формы», можно получить зависимость коэффициента трения от угла охвата нитью направляющей. Для этого необходимо выполнить ряд испытаний с определением натяжения F_2 нити при разных углах охвата.

Существует прибор для определения коэффициента трения гибкого элемента в виде нити, позволяющий установить угол охвата нитью неподвижного блока, при котором отсутствует движение нити вверх [2].

Этот прибор содержит неподвижный блок 1 и нить 2. Свободный конец нити связан с грузом 3, используемым для ее натяжения. Другой конец 4 нити 2 закреплен на рычаге 5 и подпружинен к нему. Поворачивая рычаг 5 вокруг оси, можно установить фиксированный угол охвата нитью неподвижного блока. Положение рычага 5, гарантирующее фиксированный угол охвата нитью блока, фиксируется гайкой (последняя на рис. 3 не показана). Прибор снабжен узлом измерения угла охвата. Этот узел включает пластину 7, выполненную в виде полукруга и содержащую отградуированную шкалу, а также указатель 8, направленный по продольной оси нити. Узел измерения угла охвата нитью неподвижного блока снабжен грузом 6, удерживающим срезанную сторону полукруга вертикально.

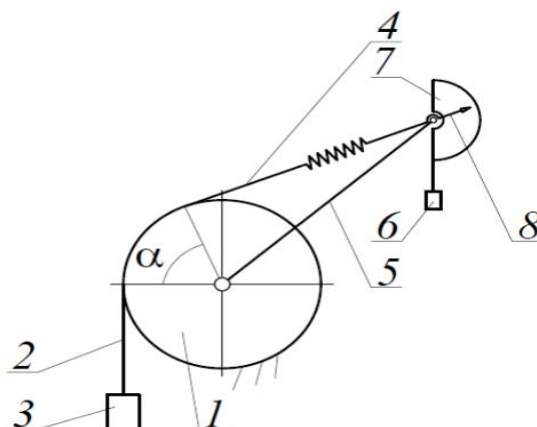


Рис. 3. Прибор для определения коэффициента трения гибкого элемента
 Fig. 3. A device for determining the friction coefficient of a flexible element

Процесс определения коэффициента трения между нитью и неподвижным блоком с помощью прибора, изображенного на рис. 3, состоит из следующих этапов:

- 1) осуществляют подъем груза 3 до положения, при котором пружина недеформирована, опускают груз вниз из состояния покоя;
- 2) поворотом рычага 5 вокруг оси увеличивают угол охвата нитью блока до значения, при котором груз остановится в нижнем положении без движения вверх. При этом груз опущен из состояния покоя;
- 3) измеряют угол охвата нитью неподвижного блока в радианах;
- 4) определяют коэффициент трения между блоком и нитью по формуле

$$f = \frac{0,347}{\alpha}. \quad (2)$$

На рис. 4 представлены результаты расчета по формуле (2), выполненные для разных значений угла охвата нитью неподвижного блока.

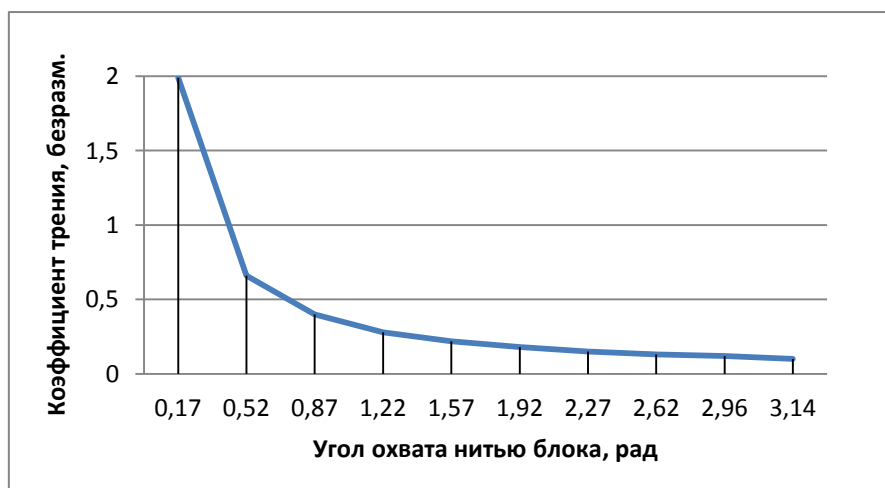


Рис. 4. Графическая интерпретация коэффициента трения, полученная по формуле (2)
 Fig. 4. Graphical interpretation of the friction coefficient obtained by the formula (2)

Выполним анализ данных, приведенных на рис. 4. Коэффициент трения максимален при малых углах охвата нитью неподвижного блока. При увеличении угла охвата коэффициент трения, определенный по формуле (2), асимптотически приближается к нулю на оси абсцисс.

Известно устройство для измерения коэффициента трения нити, используемое в текстильной промышленности, позволяющее измерять коэффициент трения нити при многократном участии нескольких ее ветвей в одновременном испытании [3].

Устройство включает барабан, механизм натяжения нити, измеритель силы трения, измеритель натяжения нити, узел ее подачи и привод перемещения. Барабан устройства установлен в подшипниках и связан с измерителем силы трения. Упомянутый измеритель силы трения, как и измеритель натяжения нити, содержит пружину и указатель. Механизм натяжения нити включает в себя пару роликов, подвижно укрепленных на рычаге. Узел подачи нити содержит систему роликов и держатель с бобиной. Привод перемещения нити включает фрикционную передачу и электродвигатель.

Существует прибор для определения коэффициента трения гибкого материала, последний представляет собой ремень замкнутой формы [4]. Прибор состоит из четырех валов, смонтированных в подшипниках и установленных на неподвижном основании. Каждый вал связан с гибким элементом. Два вала большего диаметра расположены в вертикальной плоскости друг под другом. При этом вал, находящейся внизу, связан с валом привода, а на оси вала, закрепленного сверху, установлен измеритель силы трения. Этот измеритель выполнен в виде кулачка, снабженного указателем и лимбом. Лимб отградуирован в значениях коэффициента трения. Измеритель силы трения снабжен грузом, предназначенным для статической балансировки кулачка. Вал, закрепленный сверху, установлен в направляющих с возможностью поступательного перемещения в вертикальной плоскости. Этим обеспечивается натяжение гибкого материала, измеряемое тензодатчиками.

Два вала меньшего диаметра размещены в горизонтальной плоскости друг напротив друга. Они жестко связаны с рычагами, обладающими возможностью горизонтального перемещения в направляющих. Горизонтальное перемещение валов меньшего диаметра приводит к изменению угла охвата гибким элементом валов большего диаметра.

Процесс определения коэффициента трения с применением этого прибора включает несколько этапов:

- 1) укрепляют испытуемый материал в виде ремня замкнутой формы на четырех валах;
- 2) два вала меньшего диаметра перемещают в горизонтальном направлении, тем самым фиксируют угол охвата гибким элементом валов большего диаметра;
- 3) вал большего диаметра перемещают в вертикальном направлении, создавая необходимое натяжение гибкого элемента;
- 4) тарируют измеритель силы трения и включают привод;
- 5) прибор работает по достижении равенства моментов трения на нижнем и верхнем валах большего диаметра;

б) достигнув упомянутого равенства, верхний вал большего диаметра останавливается, и указатель отмечает на лимбе значение искомого коэффициента трения.

Отметим, что во всех перечисленных устройствах изменение угла охвата гибким элементом твердого тела осуществляют один раз только перед проведением эксперимента посредством отклонения либо прижатия этого элемента к твердому телу. Это обстоятельство является существенным недостатком всех известных устройств для определения коэффициента трения. Невозможность изменения угла охвата гибким элементом твердого тела в ходе проведения эксперимента негативно сказывается на результатах определения коэффициента трения [1-5].

Существует лабораторная установка (рис. 5), содержащая исследуемую передачу с гибким элементом, нагружающую передачу и привод. Исследуемая передача с гибким элементом имеет ведущий и ведомый шкивы, гибкий элемент в виде замкнутого ремня клиновидной формы, натяжное устройство, включающее рычаг и ролик.



Рис. 5. Лабораторная установка с возможностью изменения угла охвата гибким элементом твердого тела нагружающей передачи

Fig. 5. Laboratory installation with the ability to change the angle of coverage of the flexible element of the load transmission solid body

Нагружающая передача выполнена в виде плоскоремной передачи, содержит ведущий и ведомый шкивы, замкнутый ремень плоской формы, натяжной механизм в виде рычага с роликом.

Исследуемая и нагружающая передачи, а также привод смонтированы на декоративной панели с кнопками управления.

Привод содержит электродвигатель, торсионный вал с торсионом, а также датчики измерения параметров в ходе эксперимента. Установка подключена к персональному компьютеру с программой, которая позволяет получать результаты экспериментального исследования в виде графиков коэффициента полезного действия, коэффициента скольжения, а также графиков мощности на ведущем и ведомом шкивах. Все перечисленные графики представлены в функции вращающего момента на ведомом валу.

Цель работы – экспериментальное исследование передачи с гибким элементом с определением характера изменения коэффициента трения в паре трения «гибкий элемент – твердое тело», при этом ремень нагружающей передачи

натягивается двумя способами, а натяжение исследуемого гибкого элемента фиксировано.

В качестве объекта исследования выбрана передача с гибким элементом, выполненным в виде замкнутого ремня клиновой формы.

Предмет исследования – коэффициент трения как функция предварительного натяжения ремня исследуемой передачи, диаметра и вращающего момента на ведомом шкиве и угла охвата гибким элементом шкива.

В процессе выполнения работы были сформулированы три задачи исследования:

выполнить обзор приборов и способов измерения коэффициента трения в паре «гибкий элемент – твердое тело»;

изучить конструкцию и принцип действия компьютеризированной лабораторной установки, содержащей передачу с гибким элементом;

получить экспериментальные данные в виде графиков КПД, коэффициента скольжения и мощности на двух валах в функции момента на ведомом валу и математическую зависимость, применяемую при обработке экспериментальных данных, а именно: зависимость для определения коэффициента трения.

2. ЭТАПЫ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

В этом разделе статьи рассмотрим этапы проведения эксперимента в случае натяжения плоского ремня нагружающей передачи вертикально вверх (рис. 6):

1. Используя паспортные данные на лабораторную установку, выписывают геометрические параметры исследуемой передачи с гибким элементом: диаметры ведущего и ведомого шкивов, длину и ширину гибкого элемента, межосевое расстояние, углы обхвата гибким элементом ведущего и ведомого шкивов.

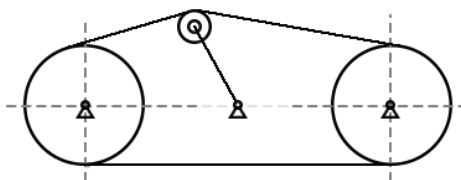


Рис. 6. Натяжение ремня нагружающей передачи вертикально вверх
Fig. 6. Tension of the loading transmission belt goes vertically up

2. Экспериментальным путем получают графики зависимости коэффициента полезного действия η , %, коэффициента скольжения ε , %, а также мощностей на ведущем P_1 , Вт, и ведомом P_2 , Вт, валах передачи с гибким элементом в функции вращающего момента на ведомом валу T_2 , Н·м.

Для этого устанавливают значение предварительного натяжения, плавно вращая маховик натяжного устройства исследуемой передачи; значение предварительного натяжения отслеживается на экране ПК; нажимают кнопку «Пуск», шкивы передачи вращаются, на экране ПК отображаются графики; плавно изменяют натяжение ремня нагружающей передачи, отклоняя этот ремень с помощью натяжного механизма.

3. Выполняют обработку полученных экспериментальных данных в следующей последовательности:

- выписывают с полученных графиков для каждого значения вращающего момента на ведомом валу T_2 параметры мощности P_2 и P_1 , КПД η . Эти значения устанавливают по полученным графическим зависимостям;
- определяют значения угловых скоростей на ведущем и ведомом шкивах;
- устанавливают мощность на ведущем валу P_1 для каждого значения T_2 ;
- определяют значения вращающего момента на ведущем валу T_1 для каждого значения T_2 ;
- устанавливают окружную силу F_t для каждого значения T_2 ;
- определяют значения натяжения F_1 ведущей ветви гибкого элемента, находящегося под нагрузкой;
- натяжение F_2 ведомой ветви гибкого элемента, находящегося под нагрузкой, также устанавливают для каждого значения параметра T_2 ;
- используют формулу Л. Эйлера $F_1 = F_2 \cdot e^{\mu \cdot \alpha}$, получают зависимость для определения коэффициента трения:

$$\mu = \frac{\ln\left(\frac{F_1}{F_2}\right)}{\alpha} = \frac{\ln\left(\frac{F_0 \cdot d_1 + T_1 \cdot 10^3}{F_0 \cdot d_1 - T_1 \cdot 10^3}\right)}{\alpha}. \quad (3)$$

Этапы проведения эксперимента в случае натяжения плоского ремня нагружающей передачи вертикально вниз, как показано на рис. 7, совпадают с этапами, перечисленными выше.

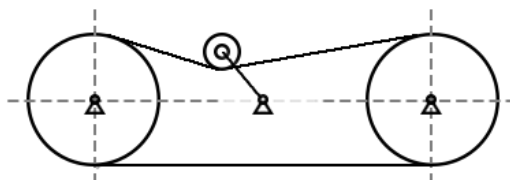
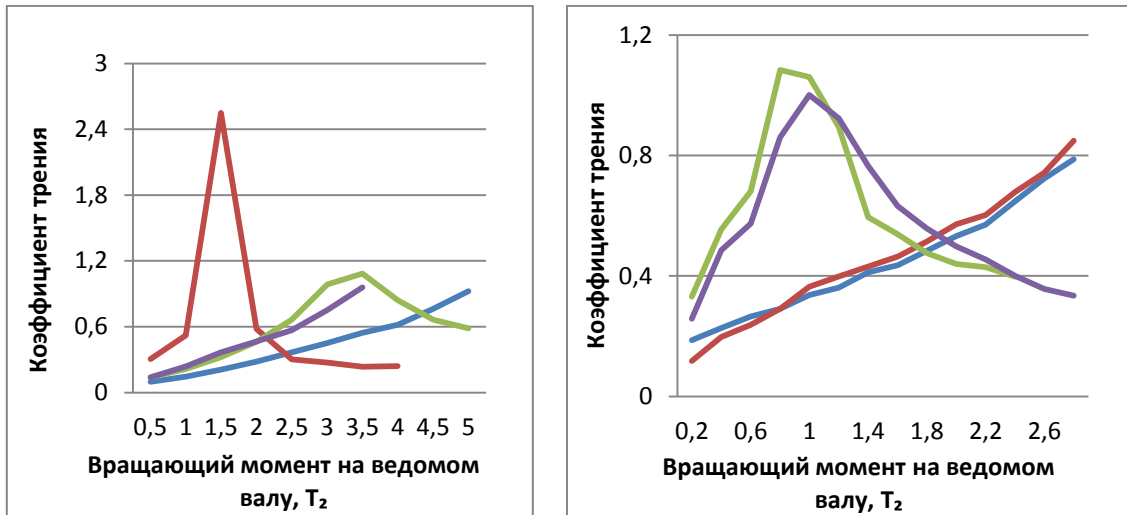


Рис. 7. Натяжение ремня нагружающей передачи вертикально вниз
 Fig. 7. Tension of the loading transmission belt goes vertically down

На рис. 8 приведены графики изменения коэффициента трения, полученные в результате обработки экспериментальных данных с применением формулы (3).

Анализ графиков на рис. 8 позволил установить, что характер изменения коэффициента трения возрастающий. По достижении определенных условий коэффициент трения переходит через максимальное значение. Это происходит в тот момент, когда сила натяжения ведущей ветви гибкого элемента становится значительно больше силы натяжения ведомой ветви этого элемента.



а б

Рис. 8. Графики коэффициента трения:
 а – натяжение вертикально вверх; б – натяжение вертикально вниз

Fig. 8. Friction coefficient graphs:
 a - tension goes vertically up; b - tension goes vertically down

Характер изменения коэффициента трения, переходящий через явно выраженный максимум, согласуется с экспериментальными данными коэффициента трения в функции нагрузки или скорости скольжения. Упомянутые экспериментальные данные получены известными учеными, работающими в области трибологии [6-11], а также обобщены С. В. Федоровым в теоретические положения метода трибоэргодинамики [12-14].

С позиций метода трибоэргодинамики коэффициент трения μ представляет собой балансовую величину и является суммой адаптивного и диссипативного коэффициентов трения

$$\mu = \frac{\dot{U}_e}{N \cdot v} + \frac{\dot{Q}}{N \cdot v} = \mu_{адант} + \mu_{дисс}, \quad (4)$$

где \dot{U}_e и \dot{Q} – скорость изменения скрытой энергии различного рода дефектов и повреждений структуры контактных объемов и мощность теплового эффекта трения; N – нормальная нагрузка; v – скорость скольжения.

Соотношение между натяжениями ведущей и ведомой ветвей гибкого элемента определяется формулой Л. Эйлера

$$\frac{F_1}{F_2} = e^{\mu \cdot \alpha}, \quad (5)$$

где F_1 и F_2 – силы натяжения ведущей и ведомой ветвей гибкого элемента; e – основание натурального логарифма; μ – коэффициент трения скольжения в паре «гибкий элемент – твердое тело»; α – угол охвата гибким элементом твердого тела, выраженный в радианах.

Вместо коэффициента трения, входящего в показатель степени формулы Л. Эйлера, запишем уравнение (4), установленное с применением метода трибоэргодинамики, и получим

$$\frac{F_1}{F_2} = e^{\left(\frac{\dot{U}_e}{N \cdot v} + \frac{\dot{Q}}{N \cdot v}\right) \cdot \alpha} = e^{(\mu_{адант} + \mu_{дисс}) \cdot \alpha} = e^{\mu_{адант} \cdot \alpha + \mu_{дисс} \cdot \alpha} = e^{\alpha_1 + \alpha_2} \quad (6)$$

Анализируя контакт двух тел без смазки, применяя теоретические положения метода трибоэргодинамики, С. В. Федоров разработал структурно-энергетическую диаграмму эволюции коэффициента трения (рис. 9).

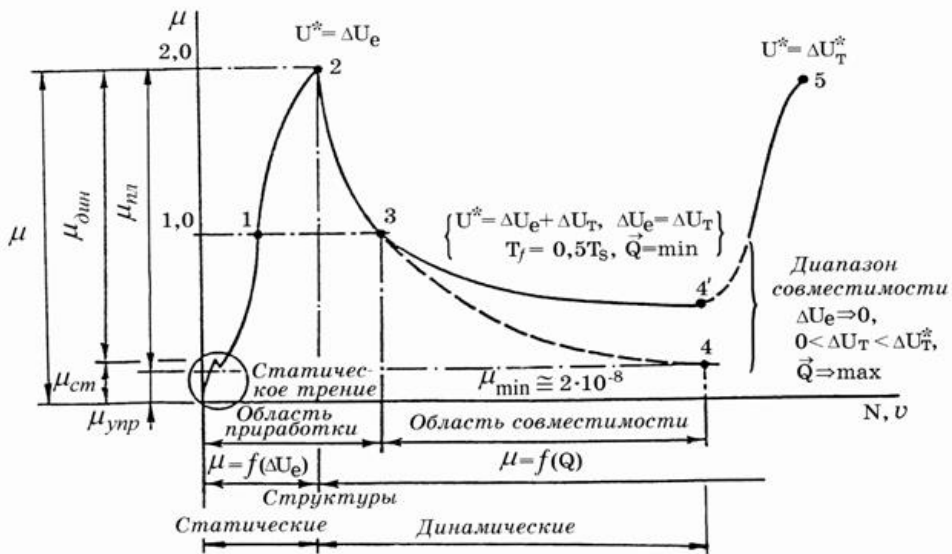


Рис. 9. Структурно-энергетическая интерпретация кривой трения $\mu = \mu(N, v)$
 Fig. 9. Structural-energy interpretation of the friction curve $\mu = \mu(N, v)$

Из этой диаграммы видно, что на начальном этапе процесса трения имеет место рост коэффициента трения (формирование тяги), далее наблюдается его уменьшение (антифрикционность – скользкость). Последнее связано с процессами динамического возврата накопленной энергии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Отметим, что в процессе выполнения работы получены следующие результаты:

- проведен обзор приборов и способов измерения коэффициента трения в паре «гибкий элемент – твердое тело»;
- изучена конструкция и принцип действия компьютеризированной лабораторной установки, содержащей передачу с гибким элементом;
- получены экспериментальные данные в виде графиков КПД, коэффициента скольжения и мощности на двух валах в функции момента на ведомом валу; предложена математическая зависимость для определения коэффициента трения, применяемая при обработке экспериментальных данных.

Установлено, что числовые значения коэффициента трения возрастают до единицы и выше, при этом сила натяжения ведущей ветви гибкого элемента становится значительно больше силы натяжения его ведомой ветви.

Показано, что характер изменения коэффициента трения в паре «гибкий элемент – твердое тело», полученный в процессе эксперимента, соответствует обобщенным диаграммным закономерностям изменения трения в рамках метода трибоэргодинамики.

Имеют место строгие основания физической интерпретации существования двух областей трения на поверхности пары «гибкий элемент – твердое тело» в рамках физической модели трения как феномена накопления энергии контактом трения (формирование тяги), так и ее высвобождения (антифрикционность – скользкость).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. А.с. 1080073. Устройство для определения коэффициента трения нити / Т. Г. Луканина, Г. А. Петракова. – № 3535845/25-28; заявл. 06.01.1983; опубл. 15.03.1984. Бюл. № 10. – 3 с.
2. А.с. 1728731. Способ определения коэффициента трения гибкой нити / Я. А. Виба, Б. К. Грасманис, А. А. Кищенко, Г. Э. Страздо. – № 4818405/28; заявл. 24.04.1990; опубл. 23.04.1992; Бюл. № 15. – 4 с.
3. А.с. 888008. Устройство для определения коэффициента трения нити / Л. А. Гриффен, Б. Т. Ковальчук, Т. Ф. Антошкина. – № 2906221/25-28; заявл. 07.04.1980; опубл. 07.12.1981. Бюл. № 45. – 2 с.
4. А.с. 1022016. Устройство для определения коэффициента трения гибких материалов / Я. Э. Кузнецов, И. В. Провингеев, Б. М. Гершкович. – № 3323861/25-28; заявл. 31.07.1981; опубл. 07.06.1983. Бюл. № 21. – 4 с.
5. Станько, Д. Г. К вопросу теории ременной передачи / Д. Г. Станько // Известия Томского Ордена Трудового Красного Знамени Политехнического Института им. С.М. Кирова. – 1951. – Т. 68. – Вып. 1. – С. 317-337.
6. Крагельский, И. В. Основы расчетов на трение и износ / И. В. Крагельский, М. Н. Добычин, В. С. Комбалов. – Москва: Машиностроение, 1977. – 526 с.
7. Боуден, Ф. П. Трение и смазка твёрдых тел / Ф. П. Боуден, Д. Тейбор. – Москва: Машиностроение, 1968. – 543 с.
8. Крагельский, И. В. Развитие науки о трении / И. В. Крагельский, В. С. Щедров. – Москва: АН СССР, 1956. – 235 с.
9. Conti, P., (1875). Sulla resistenza di Attrito. Royal Akademia dei Lencei, v. II.
10. Крагельский, И. В. Коэффициенты трения / И. В. Крагельский, И. Э. Виноградова. – Москва: Машгиз, 1955. – 188 с.
11. Lancaster, I. K. // Basic mechanisms of friction and wear of polymers. Plastics and polymers. – 1973. – 41. – P. 297-306.
12. Fedorov, S. V. Energy balance of friction and friction coefficient in energetical interpretation / 14th International Conference on Tribology

SERBIATRIB'15. Proceedings. May 13-15, 2015, Belgrade, Serbia, pp. 563-573. <http://tribolab.mas.bg.ac.rs/proceedings.html>.

13. Fedorov, S. V. Energy model of friction coefficient, regularities of tribosystem's evolution and practical states of maximum tribosystems efficiency / TRIBOLOGICAL JOURNAL BULTRIB, Volume VI, Number 06 (06) 2016, Papers from the 12 th International Conference on Tribology BULTRIB'16, 27-29 October, 2016, Sofia, Bulgaria Printing House of the Technical University Sofia, pp. 12-31. <http://tribolab.mas.bg.ac.rs/proceedings/bultrib/2016.pdf>.

14. Fedorov, S. V. Generalized Regularities of Functional Evolution for Tribological Contacts / Antribstechnisches Kolloquium 2017, ATK 2017 : Marz 7-8, 2017 - Aachen, Germany. Tagungsband. Institut fur Machinenelemente und Machinengestaltung, RWTH Aachen University, pp. 507-521, ISBN: 9783743148970.

REFERENCES

1. Lukanina T. G., Petrakova G. A. Ustroystvo dlya opredeleniya koeffitsienta treniya niti [A device for determining friction coefficient of a thread]. A. S. 1080073. No. 3535845 / 25-28; declared 01/06/1983; publ. 03/15/1984. Bull. no. 10, 3 p.

2. Viba YA. A., Grasmanis B. K., Kishchenko A. A., Strazdo G. E. Sposob opredeleniya koeffitsienta treniya gibkoy niti [A method for determining the coefficient of friction of a flexible thread]. A. S. 1728731. No. 4818405/28; declared 04/24/1990; publ. 04/23/1992. Bull. no. 15, 4 p.

3. Griffen L. A., Koval'chuk B. T., Antoshkina T. F. Ustroystvo dlya opredeleniya koeffitsienta treniya niti [A device for determining the coefficient of friction of a thread]. A. S. 888008. No. 2906221 / 25-28; declared 04/07/1980; publ. 12/07/1981. Bull. no. 45, 2 p.

4. Kuznetsov YA. E., Provingeev I. V., Gershkovich B. M. Ustroystvo dlya opredeleniya koeffitsienta treniya gibkikh materialov [A device for determining the coefficient of friction of flexible materials]. A. S. 1022016. No. 3323861 / 25-28; declared 07/31/1981; publ. 06/07/1983. Bull. no. 21, 4 p.

5. Stan'ko D. G. K voprosu teorii remennoy peredachi [Revisiting the theory of belt transmission]. *Izvestiya Tomskogo Ordena Trudovogo Krasnogo Znameni Politekhnicheskogo Instituta im. S.M. Kirova*. 1951, vol. 68, iss. 1, pp. 317-337.

6. Kragel'skiy, I. V. *Osnovy raschetov na trenie i iznos* [Basis of calculations for friction and wear]. Moscow, Mashinostroenie, 1977, 526 p.

7. Bouden F. P., Teybor D. *Trenie i smazka tvorдых tel* [Friction and lubrication of solids]. Moscow, Mashinostroenie, 1968, 543 p.

8. Kragel'skiy I. V., Shchedrov V. S. *Razvitie nauki o trenii* [Development of the science of friction]. Moscow, AN SSSR Publ., 1956, 235 p.

9. Conti P. (1875). Sulla resistenza di Attrito. Royal Akademia dei Lencei, v. II.

10. Kragel'skiy I. V. *Koeffitsienty treniya* [Coefficients of friction]. Moscow, Mashgiz Publ., 1955, 188 p.

11. Lancaster I. K. Basic mechanisms of friction and wear of polymers. *Plastics and polymeers*. 1973, 41, pp. 297-306.

12. Fedorov S. V. Energy balance of friction and friction coefficient in energetical interpretation. 14th International Conference on Tribology SERBIATRIB'15.

Proceedings. May 13-15, 2015, Belgrade, Serbia, pp. 563-573. Available at: <http://tribolab.mas.bg.ac.rs/proceedings.html>.

13. Fedorov S. V. Energy model of friction coefficient, regularities of tribosystem's evolution and practical states of maximum tribosystems efficiency. Tribological journal "BULTRIB", 2016, vol. VI, no. 06 (06), Papers from the 12 th International Conference on Tribology BULTRIB'16, 27-29 October, 2016, Sofia, Bulgaria Printing House of the Technical University Sofia, pp. 12-31. Available at: <http://tribolab.mas.bg.ac.rs/proceedings/bultrib/2016.pdf>.

14. Fedorov S. V. Generalized Regularities of Functional Evolution for Tribological Contacts. Antribstechnisches Kolloquium 2017, ATK 2017. Marz 7-8, 2017. Aachen, Germany. Tagungsband. Institut für Maschinenelemente und Maschinengestaltung, RWTH Aachen University, pp. 507-521, ISBN: 9783743148970.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Федоров Сергей Васильевич – Калининградский государственный технический университет; доктор технических наук, профессор; зав. кафедрой теории механизмов и машин и деталей машин; E-mail: fedorov@klgtu.ru

Fyodorov Sergey Vasilievich – Kaliningrad State Technical University; Doctor of Technical Sciences, Professor; Head of the Department of Theory of Mechanisms and Machines and Machine Parts; E-mail: fedorov@klgtu.ru

Серёда Наталья Александровна – Калининградский государственный технический университет; кандидат технических наук, доцент; E-mail: natalya.sereda@klgtu.ru

Sereda Natalya Aleksandrovna – Kaliningrad State Technical University; PhD in Technical Sciences, Associate Professor; E-mail: natalya.sereda@klgtu.ru

Иванов Владимир Павлович – Калининградский государственный технический университет; доктор технических наук, профессор; E-mail: dtm.ivanov@yandex.ru

Ivanov Vladimir Pavlovich – Kaliningrad State Technical University; Doctor of Technical Sciences, Professor; E-mail: dtm.ivanov@yandex.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 (иногородние могут выслать электронной почтой).

В дальнейшем с автором заключается **Лицензионный договор** и оформляется **Акт передачи – приемки рукописи**.

Объем статьи

Объем статьи составляет от восьми до четырнадцати страниц текста, включая рисунки, таблицы и список литературы.

Структура статьи

– **Введение** (состояние проблемы, задачи исследования) по центру, прописными буквами, кегль 12, шрифт не жирный);

– **Основная часть** (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, кегель 12, шрифт обычный).

5. Через один интервал по центру – **инициалы и фамилия(и) автора(ов) на английском языке** (кегель 12, шрифт обычный).

6. Через два интервала с отступом Tab. 1,27 – **аннотация** (кегель 12, шрифт обычный, слово «Аннотация» не указывается).

Рекомендуемый объем аннотации 1000-2000 знаков (200-250 слов). В начале не повторяется название статьи, аннотация не разбивается на абзацы. Аннотация должна быть полноценной и информативной, не содержать общих слов, отражать содержание статьи и результаты исследований, строго следовать структуре статьи. Следует избегать использования вводных слов и оборотов, лишних вводных фраз, например, «автор статьи рассматривает...», не нужно подчеркивать личный вклад автора. Исторические справки, если они не составляют основное содержание документа, описание ранее опубликованных работ и общеизвестные положения в аннотации не приводятся. В тексте аннотации следует применять значимые слова из текста статьи, избегать сложных грамматических конструкций. Вводная часть минимальна, место исследования уточняется до области (края). Изложение результатов содержит конкретные сведения (выводы, рекомендации и т.п.). Допускается введение сокращений в пределах аннотации (понятие из 2-3 слов заменяют на аббревиатуру из соответствующего количества букв, в 1-й раз дается полностью, сокращение – в скобках, далее используется только сокращение). Числительные, если не являются первым словом, передаются цифрами. Нельзя использовать аббревиатуры (например, названий учреждений) без расшифровки и сложные элементы форматирования (например, верхние и нижние индексы). Категорически не допускаются вставки через меню «Символ», знак разрыва строки, знак мягкого переноса, автоматический перенос слов. Значения t° обозначать как «град. С», в английском варианте – как «deg 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, кегель 12, шрифт обычный). Список литературы в научных публикациях обязателен (оформляется

по ГОСТ 7.1-2003 «Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления», ГОСТ Р 7.0.5-2008 «Библиографическая ссылка. Правила составления»). Список литературы должен содержать все цитируемые и упоминаемые в тексте работы. В список включаются только те работы, на которые автор ссылается в тексте. Источники в списке литературы нумеруются и располагаются в порядке их упоминания в тексте (в порядке цитирования). Для размещения статьи в международной базе Agris (по рекомендации редактора рубрики) требуется не менее 7-ми источников, среди них должны быть зарубежные авторы.

Образцы оформления списка использованных литературных источников:

Монография

1. Агеев, В. В. Грузопассажирские суда в военных конфликтах: моногр. / В. В. Агеев. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2013. – 106 с.
2. Бухановский, А. В. Моделирование нелинейных систем в сложных динамических средах: моногр. / А. В. Бухановский, С. В. Иванов, Ю. И. Нечаев. – Санкт-Петербург: Издательский центр НИУ ИТМО, 2013. – 263 с.

Книга

Книги одного - трех авторов

1. Розенштейн, М. М. Методы оптимизации проектных характеристик орудий рыболовства: моногр. / М. М. Розенштейн. – Калининград: ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2013. – 185 с.
2. Новикова, А. М. Универсальный экономический словарь / А. М. Новикова, Н. Е. Новиков, К. А. Погосов. – Москва: Экономика, 1995. – 135 с.

Книги более трех авторов

- Религии мира: пособие для преподавателей / Я. Н. Шапов [и др]. – Санкт-Петербург: Питер, 1996. – 496 с.

Книги, не имеющие индивидуальных авторов (под редакцией)

- Сборник задач по физике: учеб. пособие для вузов / под ред. С. М. Павлова. – 2-е изд., доп. – Москва: Высшая школа, 1995. – 347 с.

Статья в журнале

1. Толкачева, О. В. Влияние барьерных факторов на стойкость пресервов / О. В. Толкачева, Б. Л. Нехамкин, В. И. Шендерюк // Рыбная промышленность. – 2006. – №2. – С. 14-16.
2. Байдалинова, Л. С. Перспективы использования растительных антиоксидантов для стабилизации гидролитических и окислительных процессов в препаратах полиненасыщенных жирных кислот / Л. С. Байдалинова, С. В. Андропова // Известия Калининградского государственного технического университета. – 2013. – № 29. – С. 74-80.

Статья в электронном журнале

1. Белоус, Н. А. Прагматическая реализация коммуникативных стратегий в конфликтном дискурсе / Н. А. Белоус // Мир лингвистики и коммуникации: электронный научный журнал. – 2006. – № 4 [Электронный ресурс]. URL: http://www.tverlingua.by.ru/archive/005/5_3_1.htm (дата обращения: 15.12.2007).

2. Орехов, С. И. Гипертекстовый способ организации виртуальной реальности / С.И. Орехов // Вестник Омского государственного педагогического университета: электронный научный журнал. – 2006 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.omsk.edu/article/vestnik-omgrpu-21.pdf> (дата обращения: 10.01.2007).

Статья, опубликованная в сборниках научных трудов вузов, материалах конференций и семинаров

1. Авдеева, Е. В. Биоразнообразие паразитов рыб и ее особенности в бассейне Вислинского залива (Балтийское море) / Е. В. Авдеева, Е. Б. Евдокимова, С. К. Заостровцева // I Всерос. науч. интернет-конф. (12 февр. 2013): материалы. – Казань, 2013. – С. 52-56.

2. Александров, Ю. П. Измерение динамической твердости титановых сплавов / Ю. П. Александров // Инновации в науке, образовании и бизнесе – 2013: XI Междунар. научн. конф. (25-27 сент.): тр.: к 100-летию высш. рыбохоз. образования в России: в 2 ч. / Федер. Агентство по рыболовству; ФГБОУ ВПО «КГТУ». – Калининград: ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2013. – Ч. 2. – С. 29-32.

Диссертация или автореферат диссертации

1. Данилов, Г. В. Как же быть?: дис. ... канд. экон. наук: 05.13.10 / Данилов Геннадий Петрович; МАИ. – Москва, 1999. – 138 с.

2. Манилов А. В. Кто виноват?: автореф. дис. ... канд. юрид. наук: 05.13.10 / Манилов Алексей Владимирович; МЮИ. – Москва, 1999. – 16 с.

Переводная книга

1. Себехей, В. Теория орбит: ограниченная задача трех тел / В. Себехей: пер. с англ. / под ред. Г. Н. Дубошина. – Москва: Наука, 1982. – 656 с. [Victor G. Szebehely. Theory of Orbits: the Restricted Problem of Three Bodies. New York : Academic Press, 1967].

2. Дейт, К. Дж. Введение в системы баз данных / К. Дж. Дейт: пер. с англ. – Москва: Вильямс, 2006. – 1328 с. [Date C. J. An Introduction to Database Systems. 8th ed. Addison-Wesley, 2003. – 1024 p.].

Ссылки на все приведенные в списке литературы источники в тексте заключаются в квадратные скобки, например: [2], [4–7], [1, 18, 25]. Если в тексте есть прямая цитата, заключенная в кавычки, то обязательно должна быть указана страница, на которой эта цитата находится в цитируемом источнике. Например: [7, с. 28]. **Ссылки на неопубликованные работы и работы, находящиеся в печати, не допускаются.**

12. Через строку по центру – список литературы на латинице (должен быть озаглавлен – **references**, прописными буквами, кегль 12, шрифт обычный). Транслитерировать список литературы можно автоматически, зайдя на сайт <http://translit-online.ru/> и настроив перевод: ё → **yo**; й → **y**; х → всегда **kh**; ц → **ts**; щ → **shch**; э → **e** (транслитерируют только после оформления списка по образцу).

Образцы оформления ссылок:

Монография, книга

1. Shorygin A. A. *Pitanie i pishchevye vzaimootnosheniya ryb Kaspiyskogo morya* [Diet and food relations of fish in the Caspian Sea]. Moscow, Pishchepromizdat Publ., 1952, 268 p.
2. Latyshev V. N. *Tribologiya rezaniya. Kn. 1: Friksionnye protsessy pri rezanii metallov* [Tribology of Cutting, Vol. 1: Frictional Processes in Metal Cutting]. Ivanovo, Ivanovskiy Gos. Univ., 2009.

Статья в журнале

1. Zagurenko A. G., Korotovskikh V. A., Kolesnikov A. A., Timonov A. V., Kardymon D.V. Tekhniko-ekonomicheskaya optimizatsiya dizayna gidrorazryva plasta [Techno-economic optimization of the design of hydraulic fracturing]. *Neftyanoe khozyaystvo*, 2008, no. 11, pp. 54-57.
2. Sokolov L. I. Pitaniye sibirskogo osetra *Acipenser baerii* Brandt r. Leny [Diet of the Siberian sturgeon of the river Lena]. *Voprosy ikhtiologii*, 1966, vol. 6, iss. 3 (40), pp. 550–560.

Статья в электронном журнале

1. Ivanova A. E. Problemy smernosti v regionakh Tsentral'nogo federal'nogo okruga [Problems of mortality in regions of the Central Federal Okrug]. *Sotsial'nye aspekty zdorov'ya naseleniya*, 2008, no. 2, available at: <http://vestnik.mednet.ru/content/view/54/30/> (Accessed 19 September 2008).

Статья, опубликованная в материалах конференций

1. Usmanov T. S., Gusmanov A. A., Mullagalin I. Z., Muhametshina R. Ju., Chervyakova A. N., Sveshnikov A. V. Osobennosti proektirovaniya razrabotki mestorozhdeniy s primeneniem gidrorazryva plasta [Features of the design of field development with the use of hydraulic fracturing]. *Trudy 6 Mezhdunarodnogo Simpoziuma "Novye resursosberegayushchie tekhnologii nedropol'zovaniya i povysheniya neftegazootdachi"* [Proc. 6th Int. Technol. Symp. "New Energy Saving Subsoil Technologies and the Increasing of the Oil and Gas Impact"]. Moscow, 2007, pp. 267-272.

Диссертация и автореферат

1. Turkovskaia O. V. *Biologicheskie i tekhnologicheskie aspekty mikrobnoy ochistki stochnykh vod i prirodnykh ob"ektov ot poverkhnostno-aktivnykh veshchestv i nefteproduktov. Diss. dokt. biol. nauk* [Biological and technical aspects of microbial purification of sewage and nature objects from surface-active substances and oil products. Dis. dr. biol. sci.]. Saint-Petersburg, 2000, 360 p.
2. Dolganova N. V. *Razrabotka 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. Kolebaniya v inzhenernom dele. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1985, 472 p.).

13. Через два интервала по центру – **информация об авторе(ах)** (прописными буквами, кегль 12, шрифт обычный). Через интервал по центру дается следующая информация: *Фамилия, имя, отчество автора (курсивом)*, далее прямой шрифт – место работы (аббревиатуру расшифровать) и город; научная степень, ученое звание; должность; E-mail (для всех данных кегль 12, точка в конце не ставится); телефон (лучше мобильный, остаётся в редакции, нужен на случай, если у редактора возникнут вопросы по тексту). Через интервал по центру информация дублируется на английском языке.

Образец:

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Петров Иван Иванович – Калининградский государственный технический университет; доктор технических наук, профессор; зав. кафедрой пищевых и холодильных машин; E-mail: petrov@mail.ru; тел. 8(905)31-33-456

Petrov Ivan Ivanovich – Kaliningrad State Technical University; Doctor of Technical Sciences, Professor; Head of the Department of Food and Refrigeration Machines; E-mail: petrov@mail.ru

Кужлева Елизавета Петровна – Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта (г. Калининград); аспирант кафедры машиноведения и технических систем; E-mail: roza@bk.ru; тел. 8(952)31-39-654

Kuzhleva Elizaveta Petrovna – Immanuel Kant Baltic Federal University (Kaliningrad); Post-graduate student; Department of Engineering Science and Technical Systems; E-mail: roza@bk.ru

Правила оформления рукописей

- формат бумаги: А4;
- ориентация: книжная;
- поля сверху, слева, справа – 3 см, снизу – 3,5 см;
- гарнитура шрифта: Times New Roman;
- кегль – 12;
- абзац с отступом Tab. 1,27;
- межстрочный интервал – одинарный;
- при наборе текста:
 - не допускается: применять стили при формировании текста; вносить изменения в шаблон или создавать свой для формирования текста; ставить пробелы перед знаками препинания; применять любые разрядки слов;
 - необходимо: слова внутри абзаца разделять одним пробелом; набирать текст без принудительных переносов; установить автоматическую расстановку переносов (путь: меню СЕРВИС → подменю ЯЗЫК → пункт РАССТАНОВКА ПЕРЕНОСОВ → поставить галочку в открывшемся окне «автоматическая расстановка переносов»).

Таблицу, в зависимости от ее размера, помещают под текстом, в котором впервые дана ссылка на нее, или на следующей странице. Допускается помещать таблицу вдоль длинной стороны листа, при этом нумеруют арабскими цифрами

графы и строки первой части таблицы. Слово «Таблица» указывают один раз слева (без отступа) над первой частью таблицы, после номера ставят точку, следом с прописной идет название таблицы, точку в конце не ставят; над другими частями пишут: «Продолжение таблицы», с указанием номера таблицы. Таблица должна быть вставлена автоматически (через «Таблица: Добавить таблицу»). Название таблицы дублируют на английском языке под русским названием, и наоборот, если статья на английском языке (Таблица 1. Table 1.).

Рисунки. Допускаются только черно-белые четкие рисунки, выполненные средствами компьютерной графики или сканированные (сканированные необходимо распечатывать на лазерном или струйном принтере). Рисунки могут быть введены в текст статьи или выполнены в виде отдельных графических файлов. В последнем случае необходимо указать место расположения рисунка, написав на полях рукописи после абзаца, в котором он впервые упоминается: Рис. 1. и т. д. Все рисунки должны быть пронумерованы (Рис. 1. и т. д.) и иметь подрисовочные подписи. Номер рисунка и подрисовочная 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 подрисовочной 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 зна-

ков. 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 \bar{b} рекомендуется писать $\frac{a}{b}$. Отдельные элементы математических формул, вынесенные в текст, набираются по приведенным выше правилам (прямой шрифт в формуле – прямой шрифт в тексте, курсив в формуле – курсив в тексте).

Химические символы (Ag, Cu) набирают прямым шрифтом. Для набора рекомендуется использовать редактор Chem Window.

Единицы физических величин следует приводить в международной системе СИ по ГОСТ 8.417-2002. ГСИ. Единицы величин.

Все аббревиатуры в тексте должны быть расшифрованы. Разрешаются лишь общепринятые сокращения названий мер, физических, химических и математических величин.

Электронный вариант материалов

Текст статьи, рефераты, ключевые слова и сведения об авторе(ах) размещаются в одном файле. Материалы должны быть оформлены с применением средств Microsoft Office 2003 (расширение текстового файла *.doc). Для передачи информации подойдут любые электронные носители.

Редакция журнала оставляет за собой право производить сокращения и редакционные изменения рукописи.

Статьи, не соответствующие вышеперечисленным требованиям, могут быть возвращены автору(ам) для доработки.

Рукописи статей, принятых к публикации, авторам не возвращаются.

Публикации статей бесплатные. Рукописи статей сотрудников ФГБОУ ВПО «КГТУ» направляются в редакционную коллегию журнала по рекомендациям научно-методических семинаров кафедр. Все статьи проходят обязательное внешнее или внутреннее рецензирование. Автор самостоятельно или в соавторстве может представить в номер не более одной статьи. Статьи публикуются на русском или английском языке. Страницы не нумеровать.

Адрес редакции:

236022, г. Калининград, Советский проспект, 1,
Калининградский государственный технический университет

Тел. (4012) 99-59-74

E-mail: svetlana.suprunova@klgtu.ru

<http://klgtu.ru/science/magazine/index.php>

Издание зарегистрировано в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор),
Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС77-47915
от 22.12.2011 г.

Редакторы: Е. В. Билко, И. В. Голубева, Г. А. Смирнова, Г. Е. Смирнова

Издательство ФГБОУ ВО «КГТУ»
236022, г. Калининград, Советский проспект, 1
Лицензия № 05609 от 14.08.2001
Подписано в печать 29.10.2019. Выход в свет 01.11.2019. Формат 60 x 88 (1/8)
Печ. л. 37,5. Уч.-изд. л. 24,0. Тираж 1000 экз. Заказ № 47.