

# ИЗВЕСТИЯ

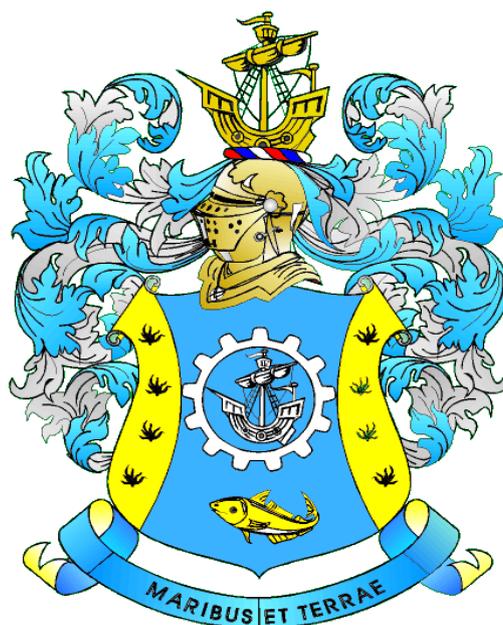
## КГТУ

## 2018

## № 50

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

### Научный журнал



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

Калининград

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

Научный журнал  
Основан в 2002 г.

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

*Редакционный совет:*

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

*Редакционная коллегия:*

*О. В. Агеев*, канд. техн. наук, доц.; *Ю. Н. Антипов*, д-р физ.-мат. наук, проф.;  
*О. А. Анциферова*, канд. с.-х. наук, доц.; *А. Г. Архипов*, д-р биол. наук, проф.;  
*О. М. Бедарева*, д-р биол. наук, доц.; *В. Ф. Белей*, д-р техн. наук, проф.;  
*В. В. Брюханов*, д-р физ.-мат. наук, проф.; *Р. Н. Буруковский*, д-р биол. наук,  
проф.; *А. А. Герасимов*, д-р техн. наук, проф.; *С. В. Дятченко*, д-р техн. наук, доц.;  
*А. В. Иванов*, д-р экон. наук, проф.; *В. П. Иванов*, д-р техн. наук, проф.;  
*И. П. Корнева*, канд. физ.-мат. наук, проф.; *О. Я. Мезенова*, д-р техн. наук, проф.;  
*В. М. Минько*, д-р техн. наук, проф.; *А. Г. Мнацаканян*, д-р экон. наук, проф.;  
*А. Б. Муромцев*, д-р ветеринар. наук, проф.; *Е. Н. Науменко*, д-р биол. наук, доц.;  
*В. А. Наумов*, д-р техн. наук, проф.; *В. И. Одинцов*, д-р техн. наук, проф.;  
*В. И. Панасин*, д-р с.-х. наук, проф.; *А. И. Притыкин*, д-р техн. наук, проф.;  
*М. М. Розенштейн*, д-р техн. наук, проф.; *Е. С. Роньжина*, д-р биол. наук, проф.;  
*В. И. Саускан*, д-р биол. наук, проф.; *Л. И. Сергеев*, д-р экон. наук, проф.;  
*Г. Г. Серпунин*, д-р биол. наук, проф.; *Н. Я. 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. Шибяев*, 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](http://www.klgtu.ru); E-mail: [svetlana.suprunova@klgtu.ru](mailto:svetlana.suprunova@klgtu.ru)

© ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»,  
2018





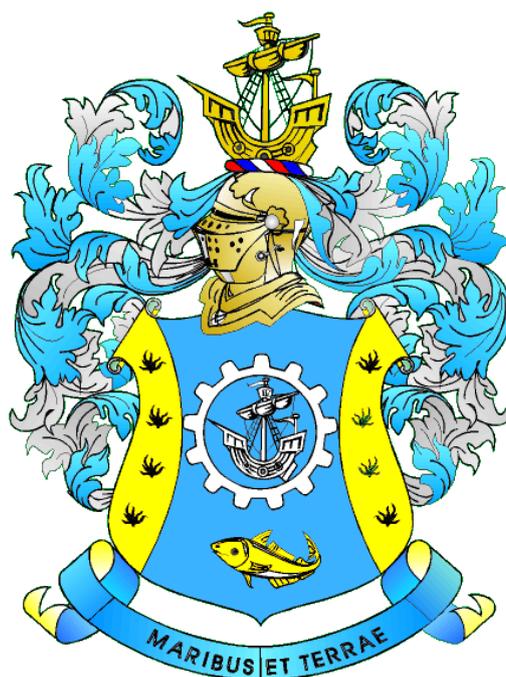
# KSTU NEWS

2018

№ 50

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

## SCIENTIFIC JOURNAL



**Journal index, registration in databases**

*Russian Index of Scientific Citation (RISC)*

*Agricultural Research Information System (Agris)*

**Kaliningrad**



СОДЕРЖАНИЕ

**Биология, экология и рыбное хозяйство**

<i>Горбунова Ю. А., Чубаренко Б. В., Домнин Д. А.</i> Методика выделения приоритетных источников биогенной нагрузки с водосборного бассейна реки Преголи .....	13
<i>Долин Г. М.</i> Об особенностях исследования сетных полотен машинной вязки .....	26
<i>Дубравин В. Ф., Капустина М. В., Мысленков С. А.</i> Эволюции термической структуры вод на Самбийско-Куршской возвышенности (Юго-Восточная Балтика) по данным термокосы .....	35
<i>Евдокимова Е. Б., Заостровцева С. К., Авдеева Е. В., Шибяев С. В., Григоренко Е. А.</i> Паразитоценоз ряпушки ( <i>Coregonus albula</i> L.) озера Виштынецкого .....	48
<i>Евдокимова Е. Б., Авдеева Е. В., Заостровцева С. К., Бурбах А. С., Карбан А. Д.</i> Фауна паразитов корюшки и снетка Куршского залива в устье реки Неман .....	57
<i>Цутикова Н. А., Берникова Т. А., Кривоускова Е. В., Цветкова Н. Н.</i> Экологическое состояние реки Неман в пределах Калининградской области .....	66

**Техника и технология пищевых производств**

<i>Агеев О. В., Наумов В. А., Фатыхов Ю. А., Самойлова Н. В.</i> Математическое моделирование сил нормального контактного давления на грани двухкромочного ножа при резании рыбы .....	81
<i>Самсонов М. В.</i> Выделение каротино-протеинового концентрата из панцирных отходов варено-мороженных креветок .....	103

**Сельское хозяйство и природопользование**

<i>Анциферова О. А.</i> Валовой калий в почвообразующих породах и почвах Замландского полуострова .....	117
<i>Анциферова О. А., Самарина Е. Д.</i> Оценка запасов продуктивной влаги под озимой пшеницей в условиях неоднородного рельефа .....	127
<i>Троян Т. Н., Кондрацкая А. А.</i> Влияние долголетнего сенокосно-пастбищного использования на динамику гумуса и кислотность почв .....	138

**Судостроение, машиностроение и энергетика**

- Александров И. С., Герасимов А. А.* Термодинамические свойства технически важных органических рабочих веществ. Нормальный тетрадекан (C<sub>14</sub>H<sub>30</sub>) ..... 153
- Сутырин В. И., Короткая Е. И.* Метод приведения как инструмент фильтрации резонансных частот корпусных конструкций ..... 167

**Экономика и управление АПК**

- Малий В. А.* Анализ системы страхования сельскохозяйственных рисков с государственным участием и предложения по ее совершенствованию ..... 183

CONTENT

***Biology, Ecology and Fishing Industry***

<i>Gorbunova Ju. A., Chubarenko B. V., Domnin D. A.</i> Methodology of prioritization of the nutrient load sources from the Pregolya river catchment area .....	13
<i>Dolin G. M.</i> On the features of studying machine knitted fishing nets .....	26
<i>Dubravin V. F., Kapustina M. V., Myslenkov S. A.</i> Evolution of the thermal structure of waters on Curonian-Sambian plateau (South-Eastern Baltic) according to thermistor chain data .....	35
<i>Evdokimova E. B., Zaostrovceva S. K., Avdeeva E. V., Shibaev S. V., Grigorenko E. A.</i> Parasite cenosis of vendace ( <i>Coregonus albula</i> L.) in lake Vishtynetskoye .....	48
<i>Evdokimova E. B., Avdeeva E. V., Zaostrovceva S. K., Burbah A. S., Karban A. D.</i> The fauna of parasites of <i>Osmerus eperlanus eperlanus</i> and <i>Osmerus eperlanus eperlanus M. sprinchus</i> of the Curonian lagoon at the mouth of the Neman river .....	57
<i>Tsupikova N. A., Bernikova T. A., Krivopuskova E. V., Tsvetkova N. N.</i> Ecological condition of the Neman river within the Kaliningrad region .....	66

***Food Production Techniques and Technology***

<i>Ageev O. V., Naumov V. A., Fatykhov Ju. A., Samojlova N. V.</i> Mathematical simulation of normal contact Pressure forces on the facets of double-edge knife during fish cutting .....	81
<i>Samsonov M. V.</i> Extraction of carotene-protein concentrate from crustacean waste of cooked-frozen shrimps .....	103

***Agriculture and Nature Management***

<i>Antsiferova O. A.</i> Total potassium in parent rocks and soils of the Samland peninsula .....	117
<i>Antsiferova O. A., Samarina E. D.</i> Evaluation of productive moisture reserves under winter wheat in conditions of heterogeneous relief .....	127
<i>Troyan T. N., Kondratskaya A. A.</i> Influence of long-term mowing and grazing use on humus dynamics and soil acidity .....	138

***Ship Building, Machinery and Power-Engineering***

<i>Alexandrov I. S., Gerasimov A. A.</i> Thermodynamic properties of technically important organic working substances. Normal tetradecane (C <sub>14</sub> H <sub>30</sub> ) .....	153
<i>Sutyurin V. I., Korotkaya E. I.</i> Reduction method as a filtering tool for resonant frequencies of shipboard structures .....	167

***Economy and Management of agribusiness industry***

<i>Maliy V. A.</i> Analysis of the insurance system against agricultural risks with state participation and proposals on its improvement .....	183
--	-----

## **БИОЛОГИЯ, ЭКОЛОГИЯ И РЫБНОЕ ХОЗЯЙСТВО**



УДК 504:338

МЕТОДИКА ВЫДЕЛЕНИЯ ПРИОРИТЕТНЫХ ИСТОЧНИКОВ БИОГЕННОЙ  
НАГРУЗКИ С ВОДОСБОРНОГО БАССЕЙНА РЕКИ ПРЕГОЛИ

Ю. А. Горбунова, Б. В. Чубаренко, Д. А. Домнин

METHODOLOGY OF PRIORITIZATION OF THE NUTRIENT LOAD SOURCES  
FROM THE PREGOLYA RIVER CATCHMENT AREA

Ju. A. Gorbunova, B. V. Chubarenko, D. A. Domnin

Река Преголя, водосборный бассейн которой занимает трансграничное положение, несет 65% своих вод в Вислинский залив, а 35% попадают в Куршский залив с водами р. Деймы, отделяющейся от основного русла в 56 км выше устья. Для обоих заливов, как и для Балтийского моря в целом, к системе которого они относятся, актуальна проблема эвтрофикации, вызванная в первую очередь причинами антропогенного характера. В связи с неудовлетворительной экологической ситуацией Хельсинской комиссией по охране морской среды Балтийского моря (ХЕЛКОМ), членом которой является Россия, принят план действий по Балтийскому морю (ПДБМ), в рамках которого установлены квоты по сокращению поступления биогенных веществ от стран-участниц. Для России (т.е. с территории Калининградской области) требуемый объем снижения стока азота в Центральную Балтику составляет 2498 т N/год, фосфора – 481 т P/год. Для разработки мер по снижению биогенной нагрузки ключевым вопросом, по которому в данный момент нет достаточной ясности, является выделение приоритетных источников нагрузки. Настоящее исследование показало, что наибольшая доля в поступлении общего азота и общего фосфора с водосборного бассейна р. Преголи принадлежит пахотным землям, коммунально-бытовым стокам населения и отходам животноводства и птицеводства. В разных частях водосбора степень их приоритета различается. Поступление биогенных веществ от источника в водосборном бассейне в приемный водоем определяется не только его мощностью, но, в большей степени, удаленностью от приемного водоема и, главное, самоочистительной способностью водосбора и водотоков. Настоящая статья иллюстрирует методику выделения приоритетных источников биогенной нагрузки, а также показывает, что очищение коммунальных стоков не решает задачи снижения биогенной нагрузки в рамках выполнения плана действий ХЕЛКОМ, необходимы существенные действия в сельскохозяйственном секторе.

*источники биогенной нагрузки, фосфор, азот, методика оценки, водосборный бассейн реки Преголи, Балтийское море*

The Pregolya River, having transboundary catchment area, carries 65% of its waters to the Vistula Lagoon, whereas 35% enters the Curonian Lagoon with the waters

of the Deima River, which is separated from the main riverbed 56 km above the mouth. For both lagoons, as well as for the Baltic Sea as a whole, to the system of which they relate, the problem of eutrophication, which is primarily caused by anthropogenic factors, is topical. Due to the unsatisfactory environmental situation, the Helsinki Commission for the Protection of the Marine Environment of the Baltic Sea (HELCOM), of which Russia is a member, has developed the Action Plan for the Baltic Sea (BSAP), within which quotas are set to reduce nutrient inputs for participating countries. For Russia in the Central Baltic (i.e. from the territory of the Kaliningrad region), the required volume of nitrogen load reduction is 2498 tons N/year, phosphorus - 481 tons P/ year. In order to develop measures to reduce nutrient loading, the key issue, which, at the moment, is not sufficiently clear, is allocation of prioritization of the load sources. The present study has showed that the largest share of total nitrogen and total phosphorus load in the catchment area of the Pregolya River are arable land, municipal and residential wastewater, livestock and poultry waste. In different parts of the catchment area, the priority of these sources is different. The flux of nutrients from the source in the catchment area to the receiving water body is determined not only by its capacity, but, to a greater extent, by the remoteness from the receiving water body, and, most importantly, by the retention capacity of the catchment and streams. This article illustrates the methodology of prioritization of the nutrient load sources, and also shows that treatment of municipal wastewater does not solve the task of reducing the nutrient load as part of the implementation of the HELCOM action plan, and significant actions are needed in the agricultural sector.

*nutrient load sources, phosphorus, nitrogen, assessment methodology, the Pregolya River catchment area, the Baltic Sea*

## ВВЕДЕНИЕ

Водосборный бассейн р. Преголи занимает площадь порядка 14 тыс. км<sup>2</sup> и имеет трансграничное положение – на долю Российской Федерации приходится 49 % площади бассейна, Республики Польша – 51 и Литовской Республики – 0,5 %. Река Преголя несет 65 % своих вод в Вислинский залив, а 35 % попадают в Куршский залив с водами р. Деймы, отделяющейся от основного русла в 56 км выше устья, в районе г. Гвардейска [1]. Оба залива относятся к водоемам с высоким уровнем трофии, который в настоящее время продолжает увеличиваться [2]. Заливы принадлежат Гданьскому бассейну Балтийского моря, характеризующемуся повышенным уровнем продуктивности и загрязнения вод, особенно в прибрежной зоне [3].

Проблема эвтрофикации актуальна для Балтийского моря в целом. В 2007 г. Хельсинской комиссией по охране морской среды Балтийского моря (ХЕЛКОМ), членом которой является Россия, принят план действий по Балтийскому морю (ПДБМ). Одна из основных его целей - борьба с эвтрофикацией посредством снижения биогенной нагрузки с территории водосборного бассейна [4]. В рамках ПДБМ были установлены квоты по сокращению поступления биогенных веществ со всех подрегионов Балтийского моря для стран-членов ХЕЛКОМ. Согласно поправкам, внесенным в ПДБМ в

рамках Министерской декларации ХЕЛКОМ от 2013 г. [5], необходимое снижение стока в Центральную Балтику азота и фосфора для России (т. е. с территории Калининградской области) составляет 2498 т N/год и 481 т P/год соответственно [6].

Известно, что наибольшая биогенная нагрузка на Балтийское море от водотоков, дренирующих территорию Калининградской области, приходится на реки Неман и Преголя, а вклад малых водотоков области незначителен [7]. При этом водосбор р. Преголи является наиболее перспективным с точки зрения уменьшения нагрузки, так как он попадает в «переходную» зону, для которой интегральное состояние по характеристикам антропогенной нагрузки и способности к самоочищению находится на среднем для области уровне и которая при принятии мер по снижению нагрузки может перейти в категорию «благополучных» [8].

В настоящее время существует ряд экспертных оценок количества биогенных веществ, поступающих со стоком р. Преголи суммарно в Вислинский и Куршский заливы, согласно которым нагрузка по азоту и фосфору составляет 3700–5100 т N/год и 490–740 т P/год [9-12]. Введение в 2017 г. очистных сооружений г. Калининграда предполагает уменьшить эту нагрузку (на 1600 т N/год и 250 т P/год), но не обеспечивает полностью требований ХЕЛКОМ. Однако только выделения перспективного водосбора недостаточно, для разработки эффективных мер по снижению биогенной нагрузки необходимо учитывать вклад от отдельных типов источников и их относительное расположение в пределах водосбора. Изложению этого подхода и посвящена настоящая статья.

#### МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Для выделения основных источников биогенной нагрузки нами использована динамическая модель FyrisNP, разработанная Шведским институтом сельскохозяйственных наук. Ее выбор был обусловлен двумя факторами: модель ранее продемонстрировала эффективную работу на речных бассейнах прибалтийского региона России (реки Луга, Инструч, Мамоновка [13 -15]), и, при этом, потребность ее во входных данных является сравнительно небольшой.

Для водосборного бассейна р. Преголи, занимающего трансграничное положение, получение унифицированных данных по биогенной нагрузке в первую очередь от антропогенных источников составило серьезную проблему, в том числе ввиду правовой закрытости ряда данных по сбросу сточных вод. С целью преодоления этой проблемы для польской и российской национальных частей водосбора была применена единая методика оценки поступления азота и фосфора от антропогенных источников, основанная на открытых статистических данных, полученных из архивов и электронных баз данных, а также публикаций территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Калининградской области и Статистического управления в Ольштыне [16 - 21].

### *Инструмент моделирования*

Динамическая модель FyrisNP рассчитывает нагрузку по общему азоту и общему фосфору на водосбор рек и озёр от природных и антропогенных источников и величину выноса биогенных веществ с водосбора в приёмный водоём (после их удержания в результате процессов самоочищения), определяя при этом пропорцию между составляющими биогенной нагрузки. Вынос, а также потери биогенных веществ в реках и озёрах посредством их осаждения, использования растениями и денитрификации рассчитывается в зависимости от температуры воды, концентрации в ней биогенных веществ, площади зеркала озёр и речных водотоков [22].

Модель калибруется по временным рядам измерений концентрации общего азота или общего фосфора в контрольных точках с помощью подбора двух параметров, определяющих относительное удержание биогенных веществ в зависимости от температуры и расхода воды.

Для моделирования более или менее обширных водосборных бассейнов их территория разделяется на суббассейны, отмеченные как части поверхностного водосбора, в пределах одной административной единицы. В данной модельной инсталляции водосборная территория р. Преголи была подразделена на 47 суббассейнов. Их выделение проведено с учётом особенностей гидрографической сети, а также расположения на них гидрологических постов и государственной границы. Временным шагом модели является один месяц, пространственным разрешением – уровень суббассейна.

### *Данные для модели*

Для запуска и калибровки модели использовались две группы данных: зависящие от времени (временные ряды измеренных концентраций азота и фосфора, температуры воды, расхода воды, поступления биогенов от точечных источников) и не зависящие от времени (информация о землепользовании, площади озёр, длине и ширине водотоков).

Временные ряды данных по концентрации в воде общего азота и общего фосфора для калибровки модели рассчитаны на основе интерполяции данных, полученных нами в результате проведения гидрохимического мониторинга 2013-2015 гг. в ключевые гидрологические сезоны года.

Временные ряды модуля стока получены в результате модельной инсталляции гидрологического модуля модели HYPE (для климатического периода 1991-2010 гг.), подробно описанного в нашей работе [23].

Для получения временных рядов данных по температуре воды было принято допущение, что она соответствует температуре приземного воздуха в связи с мелководностью водотоков и их турбулентным перемешиванием. По температуре приземного воздуха использованы данные ВНИИГМИ-МЦД (Мировой Центр Данных) [24].

Оценка поступления азота и фосфора от населения (сельского, городского) основана на статистических данных (временной срез 2014 г.) о его численности, наличии и типе используемых очистных сооружений, а также универсальных коэффициентах физиологической эмиссии биогенных веществ от населения и

эффективности различных типов очистки сточных вод. В данной оценке не учитывалось поступление биогенных веществ от г. Калининграда, сброс сточных вод которого осуществляется напрямую в Вислинский залив, минуя р. Преголю. Оценка поступления азота и фосфора от животноводства и птицеводства (крупный рогатый скот, свиньи, овцы и козы, птица) основана на статистических данных (временной срез 2014 г.) о поголовье и типе зоотехники (выпас, стойловое выращивание), а также универсальных коэффициентах физиологической эмиссии биогенных веществ от животных и птиц разного вида и потерь азота в зависимости от способа хранения навоза. Поступление азота и фосфора при стойловом выращивании подразделялось на «органические удобрения» и «сельские точечные источники» в соответствии с тем, что не весь объем вырабатываемого навоза используется в качестве удобрений. Подробно методы оценки поступления азота и фосфора от антропогенных источников описаны в нашей работе [25].

Информация о землепользовании, площади озер, длине и ширине водотоков получена на основе анализа открытого картографического материала, данных спутниковой радарной топографической съемки SRTM, базы данных Corine Land Cover (для Польши) и модельных расчетов.

Для учета диффузной нагрузки с водосборного бассейна в модели FyrisNP, помимо данных о землепользовании (площади земель разных категорий: пашен, пастбищ, лесов, неиспользуемых земель, заболоченных территорий, жилой застройки), принимается к сведению информация о концентрации общего азота и общего фосфора в водах, стекающих с земель этих категорий. В связи с тем, что для исследуемого региона подобная информация отсутствует, были взяты известные для юго-восточных районов Швеции концентрации биогенов в стоке с земель разных категорий. Для пахотных земель концентрации были подобраны по аналогии с юго-восточными районами Швеции с учетом имеющихся на водосборе типами почв и преобладающими выращиваемыми культурами. При этом для российской части водосбора концентрации были уменьшены пропорционально меньшему количеству используемых удобрений. Концентрация общего азота в водах, поступающих с пахотных земель, для российской части водосбора принята 4,0 мг/л, для польской части – 7,0; концентрация общего фосфора для российской части водосбора – 0,3 мг/л, для польской – 1,5.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате моделирования получены значения нагрузки и выноса (за вычетом удержания) биогенных элементов для отдельных суббассейнов речной системы р. Преголи (рис. 1). Расчеты проводились для естественных вариаций климатических условий для 20-летнего периода 1991-2010 гг. при фиксированной нагрузке на водосбор по валовому азоту и валовому фосфору, оцененной по срезу данных для условий 2014 г.

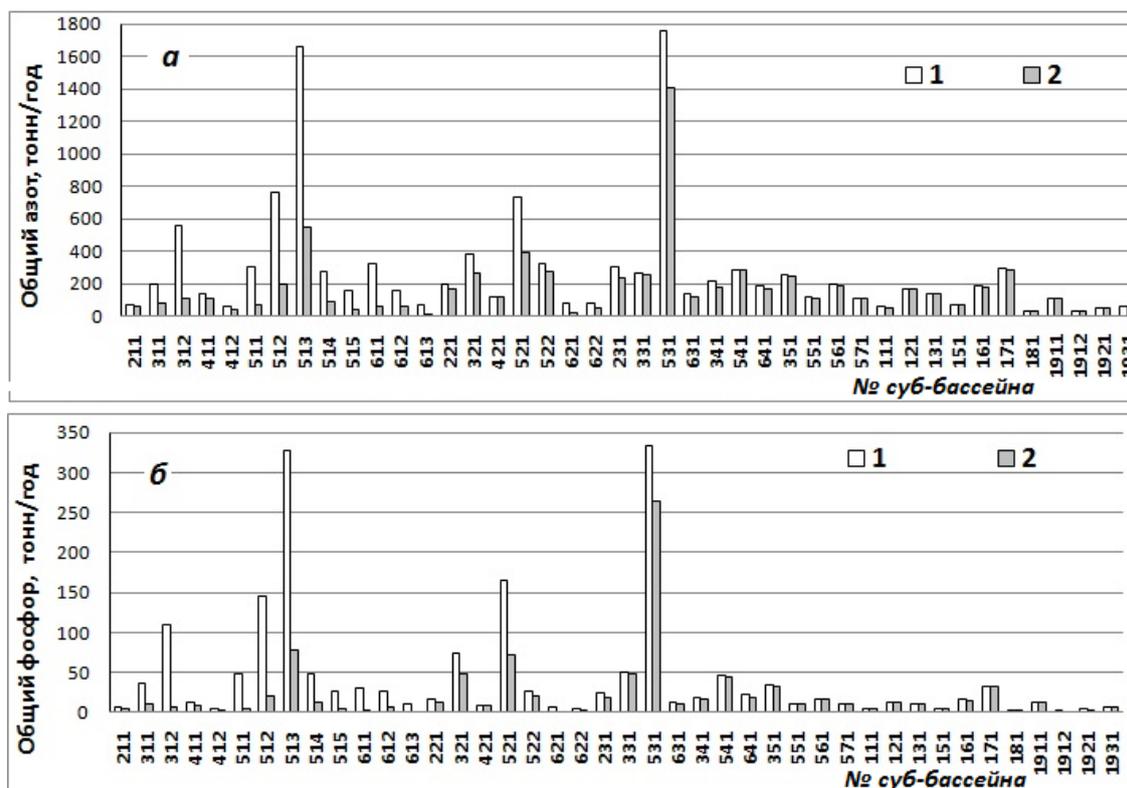


Рис. 1. Среднеголетние значения нагрузки (1) и выноса (2) общего азота (а) и общего фосфора (б) с территорий суббассейнов речной системы Преголи (средние условия для климатического периода 1991-2010 гг., биогенная нагрузка в соответствии с условиями 2014 г.)

Fig. 1. Mean values of the load (1) and removal (2) of total nitrogen (a) and total phosphorus (b) from the sub-basins of the of Pregolya River system (average conditions for the climatic period 1991-2010, the nutrient load accords with the conditions of 2014)

В пределах водосбора р. Преголи наблюдались существенные различия в соотношении общей нагрузки на суббассейны и выносе биогенов с их территории. Это объясняется различиями в способности суббассейнов к самоочищению от биогенных веществ, связанными с природными и антропогенными факторами. Так, высокая удерживающая способность (более 75%) выявлена для района Виштынецкого озера (суббассейны № 611, 613, 621) и оз. Мамра (суббассейн № 312). Таким образом, поступление в приемный водоем биогенных веществ от некоторого источника в его водосборе определяется не только мощностью этого источника, но, в большей степени, удерживающей способностью водосбора и речной сети, т.е. характеристиками водосбора и водотоков, а также удаленностью источника от приемного водоема.

Вынос со всего водосборного бассейна р. Преголи, рассчитанный как среднегодовой для климатического периода 1991-2010 гг. и условий биогенной нагрузки 2014 г., составил 5,5 тыс. т N/год для общего азота и 660 т P/год для общего фосфора. В данной оценке не учитывается поступление биогенных веществ от г. Калининграда, сброс сточных вод которого осуществляется, минуя р. Преголю, напрямую в Вислинский залив. Возможно, полученная оценка

количества общего фосфора несколько завышена в связи с особенностями работы модели.

Анализ вклада различных источников биогенных веществ в водосборном бассейне р. Преголи показал, что наибольшая доля в поступлении общего азота и общего фосфора принадлежит пахотным землям, коммунально-бытовым стокам населения и отходам животноводства и птицеводства (рис. 2). При этом в попада-

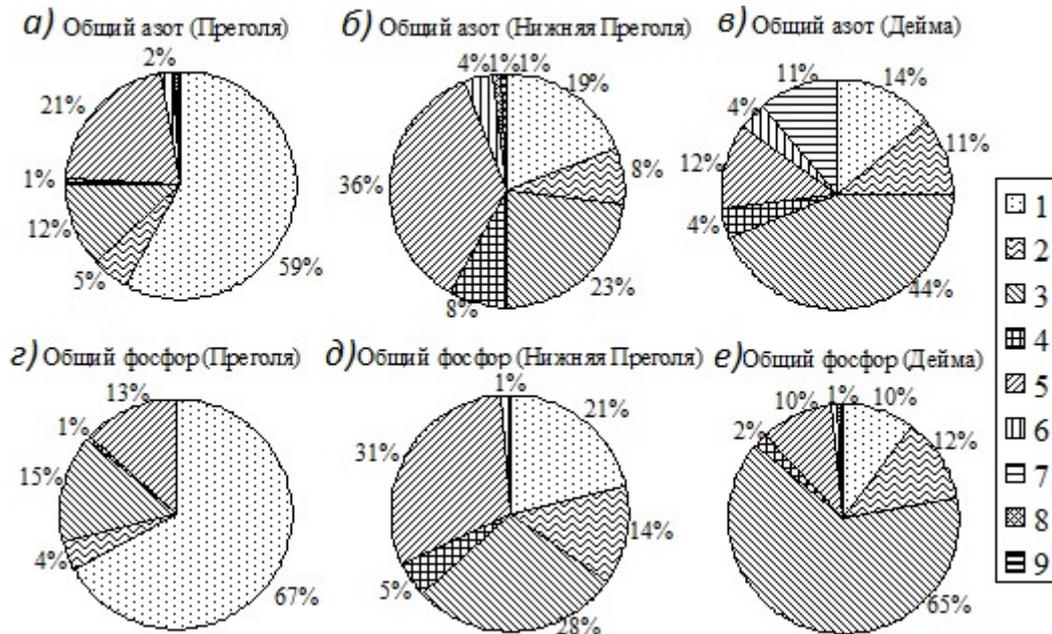


Рис. 2. Вклад различных источников в вынос общего азота (а, б, в) и фосфора (z, д, е) с водосбора верхней Преголи (а, г), нижней Преголи (б, д) и рукава Деймы (в, е): 1 – пашни; 2 – неиспользуемые земли; 3 – коммунально-бытовые стоки населения, подключенного к системе центральной канализации; 4 – коммунально-бытовые стоки населения, не подключенного к системе центральной канализации; 5 – отходы животноводства и птицеводства; 6 – леса; 7 – заболоченные земли; 8 – вырубки; 9 – урбанизированные территории

Fig. 2. Contribution of different sources to the flux of total nitrogen (a, б, в) and phosphorus (z, д, e) from the catchment of the upper Pregolya (a, г), the lower Pregolya (b, d) and the Deima arm (в, e): 1 - arable lands; 2 - unused lands; 3 - sewerage of the population connected to the central sewerage system; 4 - sewerage of the population not connected to the central sewerage system; 5 - livestock and poultry waste; 6 - forests; 7 - wetlands; 8 - clearcuts; 9 - urban areas

ние с территории водосбора выше разделения на нижнюю Преголю и Дейму наибольший вклад как по общему азоту, так и по общему фосфору принадлежит стоку с пахотных угодий – 59 и 67% соответственно. Основную долю в поступлении общего азота и общего фосфора с р. Деймой в Куршский залив составляют коммунально-бытовые стоки населения, подключенного к системе центральной канализации – 44 и 65% соответственно. Попадание с р. Преголей в Вислинский залив общего фосфора практически одинаково от коммунально-бытовых стоков населения, подключенного к системе центральной канализации (31%), и отходов животноводства и птицеводства (28%), а поступление общего

азота от отходов животноводства и птицеводства несколько больше, чем от коммунально-бытовых стоков – 36 и 23% соответственно.

## ВЫВОДЫ

1. Исследования по выделению приоритетных источников биогенных веществ в водосборном бассейне р. Преголи показали, что наибольшая доля в поступлении общего азота и общего фосфора принадлежит пахотным землям, коммунально-бытовым стокам населения и отходам животноводства и птицеводства. При этом в поступление с территории водосбора выше разделения на нижнюю Преголю и Дейму наибольший вклад вносит сток с пахотных угодий. Основная доля биогенов, попадающих с р. Деймой в Куршский залив, исходит от коммунально-бытовых стоков населения, а с р. Преголей в Вислинский залив – еще и от отходов животноводства и птицеводства (сточные воды г. Калининграда, сброс которых осуществляется напрямую в Вислинский залив, минуя р. Преголю, не учитывались).

2. Поступление биогенных веществ от их источника в водосборном бассейне в приемный водоем определяется, с одной стороны, мощностью этого источника, с другой – удерживающей способностью водосбора и речной сети, которая, в свою очередь, определяется вариациями природных характеристик водосбора и водотоков (типом почв, близостью грунтовых вод, степенью меандрированности русла, скоростью течения в водотоке, степенью зарастания, особенностями гидробиологических и микробиологических процессов и т.д.) и пропорциональна удаленности источника от приемного водоема.

3. Решение вопроса о приоритизации типов источников по важности с точки зрения уменьшения биогенной нагрузки необходимо проводить с помощью инструментария численного моделирования, так как при экспертной оценке невозможно учесть действие всех перечисленных факторов в пределах водосбора.

4. Ключевым для корректного решения вопроса о приоритизации является подбор исходных данных об антропогенной нагрузке и гидрографо-почвенно-геологических характеристиках водосбора. Оптимальным - использование данных по стоку общего азота и общего фосфора, полученных на основе прямых измерений. Но в случае отсутствия таких данных (их разнородность, особенно при трансграничном положении водосбора, юридически закрытая информация и др.) целесообразно применение косвенных методов оценки (с использованием единого методического подхода для всего водосборного бассейна) на основе открытых данных государственной статистики и универсальных коэффициентов (физиологической эмиссии биогенных веществ человеком и животными, эффективности различных типов очистки сточных вод, потерь азота в зависимости от технологии хранения и утилизации навоза и т.д.).

5. Настоящая статья иллюстрирует методику проведения оценки по приоритизации типов источников и использованию необходимых для этого данных, а также показывает, что очищение коммунальных стоков не решает задачи снижения биогенной нагрузки в рамках выполнения плана действий ХЕЛКОМ, необходимы и другие существенные действия в сельскохозяйственном секторе.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Настоящая публикация подготовлена при поддержке темы 0149-2018-0012 Государственного задания Федерального агентства научных организаций.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Силич, М. В. Водный баланс залива / М. В. Силич // Гидрометеорологический режим Вислинского залива / под ред. Н. Н. Лазаренко, А. Маевского. - Ленинград: Гидрометеоиздат, 1971. - С. 143 – 172.
2. Александров, С. В. Многолетние изменения трофического статуса Куршского и Вислинского заливов Балтийского моря / С.В. Александров // Биология внутренних вод. – 2009. - №4. – С. 27-34.
3. Первичная продукция и хлорофилл в юго-восточной части Балтийского моря в 2003-2007 гг. / Е. А. Кудрявцева [и др.] // Океанология. – 2011. – Т. 51, №1. – С. 33-41.
4. HELCOM Baltic Sea Action Plan. Helsinki: Baltic Marine Environment Protection Commission, 2007. - 103 p.
5. HELCOM. Copenhagen Ministerial Declaration. Taking Further Action to Implement the Baltic Sea Action Plan.- Reaching Good Environmental Status for a healthy Baltic Sea. – 3 October 2013, Copenhagen, Denmark. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://www.helcom.fi> / (дата обращения: 10.12.2017)
6. HELCOM Summary report on the development of revised Maximum Allowable Inputs (MAI) and updated Country Allocated Reduction Targets (CART) of the Baltic Sea Action Plan — Helsinki: Baltic Marine Environment Protection Commission, 2013. - 22 p.
7. Геоэкологические аспекты переноса биогенных веществ трансграничными реками (на примере Калининградской области) / С. В. Шибаев [и др.] // Известия Калининградского государственного технического университета. - 2011. - № 22. - С. 133-141.
8. Домнин, Д. А. Геоэкологическая оценка и районирование водосборных бассейнов Калининградской области: дис. ... канд. геогр. наук: 25.00.36 / Домнин Дмитрий Александрович; Балтийский федеральный университет им. И. Канта. – Калининград, 2017. – 130 с.
9. Александров, С. В. Биогенная нагрузка на Вислинский залив со стоком реки Преголя / С. В. Александров, Ю. А. Горбунова // Вода: химия и экология. - 2010. - № 1. - С. 4-8.
10. Горбунова, Ю. А. Поступление биогенных веществ с водосборного бассейна реки Преголи в Вислинский залив / Ю. А. Горбунова // Вестник Российского государственного университета им. И. Канта. – 2010. – Вып. 1. – С. 87-93.
11. Зотов, С. И. Моделирование состояния геосистем: моногр./ С.И. Зотов.– Калининград: Изд-во КГУ, 2001. – 237 с.
12. Чубаренко, Б. В. Биогенная нагрузка на Балтийское море с российской территории водосборов Калининградского/Вислинского и Куршского заливов / Б. В. Чубаренко, С. А. Кондратьев, А. Ю. Брюханова // Известия РГО. - 2017. - Т. 149, № 4. - С. 69-84.

13. Andreev, P. Harmonisation of methods for monitoring and assessment of nutrient loads from land to the Baltic Sea and effects of countermeasures / P. Andreev, T. Zagrebina, N. Muratova, V. Tsepelev, P. Shumkova // Report within the framework of the contract HarmoBalt / St Petersburg Regional Center for Hydrometeorology and Environmental Monitoring. - St. Petersburg: 2009
14. Chubarenko, B. Source apportionment modelling of nutrient transport in Instruch River Basin in Kaliningrad Oblast (Russia) / B. Chubarenko, J. Gorbunova // Final Report of project Within the Agreement No HarmoBalt-Kld. - Kaliningrad, 2009. – 71p.
15. Chubarenko, B. Testing of nutrient load model (FyrisNP) for the River Mamonovka catchment / B. Chubarenko, D. Domnin, A. Domnina, J. Gorbunova, K. Karmanov, O. Pillipchuk, O. Trifanenkova // Balthazar II project. Component 2.2 Building capacity within environmental monitoring to produce pollution load data from different sources for e.g. HELCOM pollution load compilations. Appendix 3b / Russian Academy of Sciences Atlantic Branch of P.P. Shirshov Institute for Oceanology. Laboratory for Coastal Systems Study. – Kaliningrad: 2012
16. Сельские населённые пункты // Статистический сборник. - Калининград: Федеральная служба государственной статистики, 2014. – 256 с.
17. Сельское хозяйство Калининградской области // Статистический сборник. - Калининград: Федеральная служба государственной статистики, 2014. – 156с.
18. Посевные площади и валовый сбор сельскохозяйственных культур в Калининградской области в 2014 г. // Статистический сборник. - Калининград: Федеральная служба государственной статистики, 2015. – 156 с.
19. Калининградская область и Варминьско-Мазурское воеводство в числах // Статистический сборник. – Олыштын: Полиграф. отд. Стат. упр., 2015. - 40с.
20. Statistical Yearbook of Agriculture 2014. – Warszawa: Central Statistical Office, 2015. – 470 p.
21. Statistical Yearbook of Warmińsko-Mazurskie Voivodship 2014. Olsztyn: Statistical Office in Olsztyn, 2015 – 346 p.
22. Hansson, K. The FyrisNP model. Technical description / K. Hansson, M. Wallin, F. Djodjic, G. Lindgren. - Uppsala: Dept. of Aquatic Science and Assessment SLU, 2008. - 17p.
23. Domnin, D. Formation and Re-Distribution of the River Runoff in the Catchment of the Pregolya River / D. Domnin, B. Chubarenko, R. Capell // In: Gritsenko V.A., Sivkov V.V., Yurov A.V., Kostianoy A.G. (eds) Terrestrial and Inland Water Environment of the Kaliningrad Region. The Handbook of Environmental Chemistry. - 2017. – vol. 65. Springer, Cham. – pp. 269-284.
24. Булыгина, О. Н. Описание массива данных суточной температуры воздуха и количества осадков на метеорологических станциях России и бывшего СССР (ТТТР) / О. Н. Булыгина, В. Н. Разуваев, Т. М. Александрова. - [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://meteo.ru/data/162-temperature-precipitation#описание-массива-данных> (дата обращения: 12.10.2017 г.)
25. Горбунова, Ю. А. Биогенная нагрузка на водосборный бассейн реки Преголи от антропогенных источников / Ю. А. Горбунова, Б. В. Чубаренко, Д. А. Домнин // Известия Калининградского государственного технического университета. – 2017. – № 47. – С. 34-45.

REFERENCES

1. Silich M. V. Vodnyj balans zaliva [Water balance of the Lagoon] *Gidrometeorologicheskij rezhim Vislinskogo zaliva* [Hydrometeorological conditions of the Vistula Lagoon]. Pod red. Lazarenko N. N., Maevskogo A. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1971, pp. 143-172.
2. Aleksandrov S. V. Mnogoletnie izmeneniya troficheskogo statusa Kurshskogo i Vislinskogo zalivov Baltijskogo morya [Long-term changes in the trophic status of the Curonian and Vistula Lagoons of the Baltic Sea]. *Biology of Inland Waters*, 2009, no. 4, pp. 27-34.
3. Kudryavtseva E. A., Pimenov N. V., Aleksandrov S. V., Kudryavtsev V. M. Pervichnaya produkcija i hlorofill v yugo-vostochnoj chasti Baltijskogo morya v 2003-2007 gg. [Primary production and chlorophyll in the south-eastern part of the Baltic Sea in 2003-2007]. *Oceanology*, 2011, vol. 51, no. 1, pp. 33-41.
4. HELCOM Baltic Sea Action Plan. Helsinki: Baltic Marine Environment Protection Commission, 2007, 103 p.
5. HELCOM. Copenhagen Ministerial Declaration. Taking Further Action to Implement the Baltic Sea Action Plan. Reaching Good Environmental Status for a healthy Baltic Sea. 3 October 2013, Copenhagen, Denmark, available at: <http://www.helcom.fi/> (Accessed 10 December 2017).
6. HELCOM Summary report on the development of revised Maximum Allowable Inputs (MAI) and updated Country Allocated Reduction Targets (CART) of the Baltic Sea Action Plan. Helsinki: Baltic Marine Environment Protection Commission, 2013, 22 p.
7. Shibayev S. V., Nagornova N. N., Bernikova T. A., Tsupikova N. A. Geoekologicheskiye aspekty perenosa biogennykh veshchestv transgranichnymi rekami (na primere Kaliningradskoy oblasti) [Geoecological aspects of nutrient transport by transboundary rivers (on the example of the Kaliningrad region)]. *Izvestiya KGTU*, 2011, no. 22, pp. 133-141.
8. Domnin D. A. *Geoekologicheskaya ocenka i rajonirovanie vodosbornyh bassejnov Kaliningradskoj oblasti. Diss. cand. biol. nauk* [Geoecological assessment and zoning of catchment areas of the Kaliningrad region. Dis. cand. biol. sci.]. Kaliningrad, 2017, 130 p.
9. Aleksandrov S. V., Gorbunova Ju. A. Biogennaya nagruzka na Vislinskij zaliv so stokom reki Pregolya [Nutrient load on the Vistula Lagoon with the Pregolya River discharge]. *Voda: himiya i ehkologiya*, 2010, no. 1, pp. 4-8.
10. Gorbunova Ju. A. Postuplenie biogennykh veshchestv s vodosbornogo bassejna reki Pregoli v Vislinskij zaliv [Nutrients load from the catchment area of the Pregolya River to the Vistula Lagoon]. *Vestnik Rossijskogo gosudarstvennogo universiteta im. I. Kanta*, 2010, no. 1, pp. 87-93.
11. Zotov S. I. *Modelirovanie sostoyaniya geosistem* [Modeling the state of geosystems]. Kaliningrad, Izdatel'stvo KGU, 2001, 237 p.
12. Chubarenko B. V., Kondratiev S. A., Bryukhanova A. Yu. Biogennaya nagruzka na Baltijskoe more s rossijskoj territorii vodosborov Kaliningradskogo/Vislinskogo i Kurshskogo zalivov [Biogenic load on the Baltic Sea from the Russian watersheds of the Kaliningrad / Vistula and Curonian Lagoons]. *Izvestiya RGO*, 2017, vol. 149, no. 4, pp. 69-84.

13. Andreev P., Zagrebina T., Muratova N., Tsepelev V., Shumkova P. Harmonisation of methods for monitoring and assessment of nutrient loads from land to the Baltic Sea and effects of countermeasures. Report within the framework of the contract HarmoBalt. Saint-Petersburg Regional Center for Hydrometeorology and Environmental Monitoring, Saint-Petersburg, 2009, 62 p.

14. Chubarenko B., Gorbunova J. Source apportionment modelling of nutrient transport in Instruch River Basin in Kaliningrad Oblast (Russia). Final Report of project Within the Agreement no HarmoBalt-Kld. Kaliningrad, 2009, 71 p.

15. Chubarenko B., Domnin D., Domnina A., Gorbunova J., Karmanov K., Pillipchuk O., Trifanenkova O. Testing of nutrient load model (FyrisNP) for the River Mamonovka catchment. BalthazAR II project. Component 2.2 Building capacity within environmental monitoring to produce pollution load data from different sources for e.g. HELCOM pollution load compilations. Appendix 3b. Russian Academy of Sciences Atlantic Branch of P. P. Shirshov Institute for Oceanology. Laboratory for Coastal Systems Study. Kaliningrad, 2012, 60 p.

16. Sel'skie naselyonnye punkty [Rural human settlements]. *Statisticheskij sbornik*, Kaliningrad, Federal'naya sluzhba gosudarstvennoj statistiki, 2014, 256 p.

17. Sel'skoe hozyajstvo Kaliningradskoj oblasti [Agriculture of the Kaliningrad region]. *Statisticheskij sbornik*, Kaliningrad, Federal'naya sluzhba gosudarstvennoj statistiki, 2014, 156 p.

18. Posevnye ploshchadi i valovyj sbor sel'skohozyajstvennyh kul'tur v Kaliningradskoj oblasti v 2014 g. [Arable lands and gross harvest of agricultural crops in the Kaliningrad region in 2014]. *Statisticheskij sbornik*, Kaliningrad, Federal'naya sluzhba gosudarstvennoj statistiki, 2015, 156 p.

19. Kaliningradskaya oblast' i Varmin'sko-mazurskoe voevodstvo v chislah. [The Kaliningrad region and Warmian-Mazurian voivodeship in numbers]. *Statisticheskij sbornik*, Olsztyn, Poligraficheskiy otdel Statisticheskogo upravleniy, 2015, 40 p.

20. Statistical Yearbook of Agriculture 2014. Warszawa, Central Statistical Office, 2015, 470 p.

21. Statistical Yearbook of Warmińsko-Mazurskie Voivodship 2014. Olsztyn, Statistical Office in Olsztyn, 2015, 346 p.

22. Hansson K., Wallin M., Djodjic F., Lindgren G. The FyrisNP model. Technical description. Uppsala, SLU, 2008, 17 p.

23. Domnin D., Chubarenko B., Capell R. Formation and Re-Distribution of the River Runoff in the Catchment of the Pregolya River In: Gritsenko V. A., Sivkov V. V., Yurov A. V., Kostianoy A. G. (eds) Terrestrial and Inland Water Environment of the Kaliningrad Region. Hdb Env Chem, Springer International Publishing AG, 2017, pp. 269-284.

24. Bulygina O. N., Razuvaev V. N., Alexandrova T. M. *Opisanie massiva dannyh sutochnoj temperatury vozduha i kolichestva osadkov na meteorologicheskikh stanciyah Rossii i byvshego SSSR (TTTR)* [Description of the data array on the daily air temperature and precipitation at meteorological stations in Russia and the former USSR (TTTR)], available at: <http://meteo.ru/data/162-temperature-precipitation#description-massive-data> (Accessed: 12 October 2017).

25. Gorbunova J. A., Chubarenko B. V., Domnin D. A. Biogennaya nagruzka na vodosbornyj bassejn reki Pregoli ot antropogennyh istochnikov [Nutrient load on the

catchment area of the Pregolya River from anthropogenic sources]. *Izvestiya KGTU*, 2017, no. 47, pp. 34-45.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Горбунова Юлия Александровна* – Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН; кандидат биологических наук, научный сотрудник;  
E-mail: julia\_gorbunova@mail.ru

*Gorbunova Julia Alexandrovna* – Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences; PhD, Scientific researcher; E-mail: julia\_gorbunova@mail.ru

*Чубаренко Борис Валентинович* – Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН; кандидат физико-математических наук; зав. лабораторией;  
E-mail: chuboris@mail.ru

*Chubarenko Boris Valentinovich* – Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences; PhD; Head of the laboratory; E-mail: chuboris@mail.ru

*Домнин Дмитрий Александрович* – Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН; научный сотрудник; E-mail: dimanisha@rambler.ru

*Domnin Dmitry Alexandrovich* – Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences; PhD, Scientific researcher; E-mail: dimanisha@rambler.ru

УДК 639.2.05

## ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ИССЛЕДОВАНИЯ СЕТНЫХ ПОЛОТЕН МАШИННОЙ ВЯЗКИ

Г. М. Долин

## ON THE FEATURES OF STUDYING MACHINE KNITTED FISHING NETS

G. M. Dolin

Обсуждаются особенности исследования сетных полотен, изготовленных с применением новой технологии машинной вязки. Проводится анализ новых международных стандартов ИСО 1107:2017, ИСО 1530:2003 и их сравнение с российской практикой. Предлагается применение новых терминов и обозначений с учетом международного опыта и стандартов.

*сетное полотно, ячея, стандарт, термины, обозначения*

The paper discusses the features of studying fishing nets made with the application of a new machine knitting technology. An analysis is being conducted of new international standards ISO 1107:2017, ISO 1530:2003 with their following comparison with the Russian practice. It is proposed to use new terms and symbols based on international experience and standards.

*fishing nets, mesh, standard, terms, symbols*

### ВВЕДЕНИЕ

Сетные полотна машинной вязки вырабатывают большей частью в виде нешироких длинных полотнищ определённого размера. Несмотря на то, что сетное полотно состоит из, казалось бы, одинаковых ячеек, в действительности геометрические и силовые характеристики вдоль и поперёк него неодинаковы. Например, выкроенный из сетного полотна треугольник с большим катетом по высоте нельзя заменить таким же треугольником с большим катетом по длине. Как известно, текстильные полотна, применяемые для пошива одежды, имеют лицевую и изнаночную стороны, а для сетных полотен такое разделение не применяется в настоящее время. Все эти особенности связаны с технологией производства сетных полотен машинной вязки.

### ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Машинная вязка осуществляется на сетевязальных машинах различных систем, позволяющих вырабатывать узловые и безузловые сетные полотна [1].

Узловые сетные полотна производят из нитевидных материалов, заранее изготовленных на специальных станках. Предварительно готовится две группы нитей: основные нити сматываются в бобины и устанавливаются в хранилище – шпулярник; уточные нити наматываются на шпули, расположенные в челноках.

Количество челноков и бобин одинаково и равно числу ячеей по ширине сетного полотна, вывязываемого на данной сетевязальной машине.

Обе группы нитей поступают в узловязующий механизм, а затем в механизм затяжки узлов.

При одновременном завязывании узлов каждого ряда ячеей подвижной распределитель подвигает нить основы то вправо, то влево, поэтому каждая нить связывается то с левой, то с правой соседней нитью. Таким образом, сетное полотно машинной вязки образуется из ряда зигзагообразно идущих нитей, направленных вдоль полотна (рис. 1).

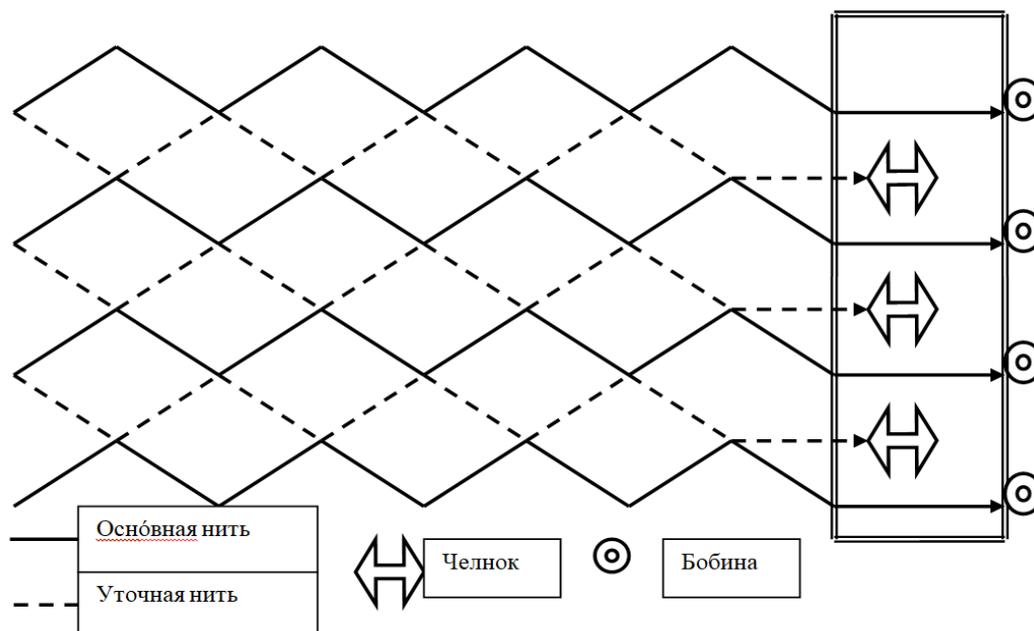


Рис. 1. Схема процесса машинного вязания сетного полотна

Fig. 1. Manufacturing process of machine knitting of a net

В основном сетные полотна вывязываются шкотовым узлом, но всё чаще применяются машины, вырабатывающие сетные полотна двойным шкотовым и другими, более сложными узлами, хорошо удерживающими связываемые ими синтетические нити, особенно монопнити. По внешнему виду шкотового узла можно легко определить направление хода нити в сетном полотне и направление затяжки узла (рис. 2).

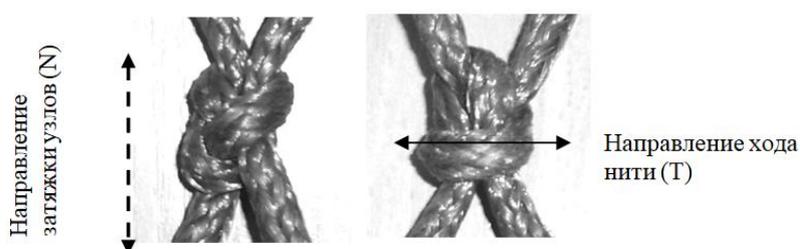


Рис. 2. Определение направлений по шкотовому узлу

Fig. 2. Finding directions on the weaver's knot

Для лучшего понимания применим названия для нитей, образующих узел: петлевая нить шкотового узла – нить, которая при завязывании образует петлю; крестовая нить шкотового узла – нить, которая при завязывании узла продевается в петлю и обвивает её, перекрещиваясь (рис. 3). Предлагается ввести понятие о лицевой и оборотной стороне узла.

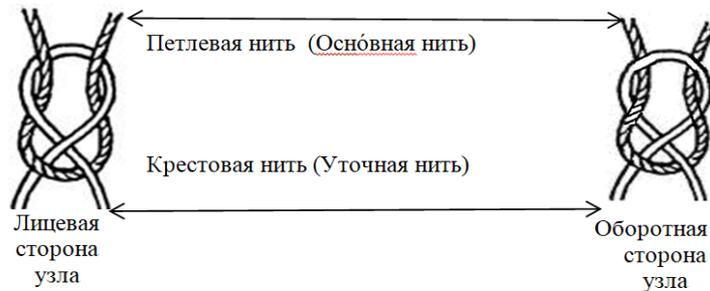


Рис. 3. Нити, образующие шкотовый узел  
Fig. 3. Strands forming the weaver's knot

Петлевая нить во всех узлах в сетном полотне – это оснóвная нить, сматываемая с бобины шпулярика, а крестовая нить – это уточная нить из челнока сетевязальной машины (рис. 1).

Различают два варианта исполнения шкотового узла: типа Z и типа S или, соответственно, правого и левого типа. Согласно международному стандарту ИСО 1530 [2] в шкотовом узле типа Z крестовая нить входит в петлю снизу вверх-направо, а в узле типа S – снизу вверх-налево (рис. 4, 5).



Рис. 4. Шкотовый узел типа Z  
Fig. 4. Weaver's knot of Z-type



Рис. 5. Шкотовый узел типа S  
Fig. 5. Weaver's knot of S-type

Обычно шкотовый узел, как, впрочем, и остальные узлы, показывают с одной стороны – лицевой, обратную сторону узла не показывают. Во многих сетевязальных машинах старого поколения сетное полотно вывязывается шкотовым узлом типа Z. При этом уточная нитка завязывает, например, с правой оснóвной ниткой шкотовый узел лицевой стороной вверх, а с левой – вверх обратной стороной узла. В таком полотне чередуются ряды узлов с лицевой и обратной стороной (рис. 6).

С другой стороны сетного полотна ряды узлов также чередуются, и поэтому отсутствует понятие лицевой и изнаночной стороны сетного полотна.

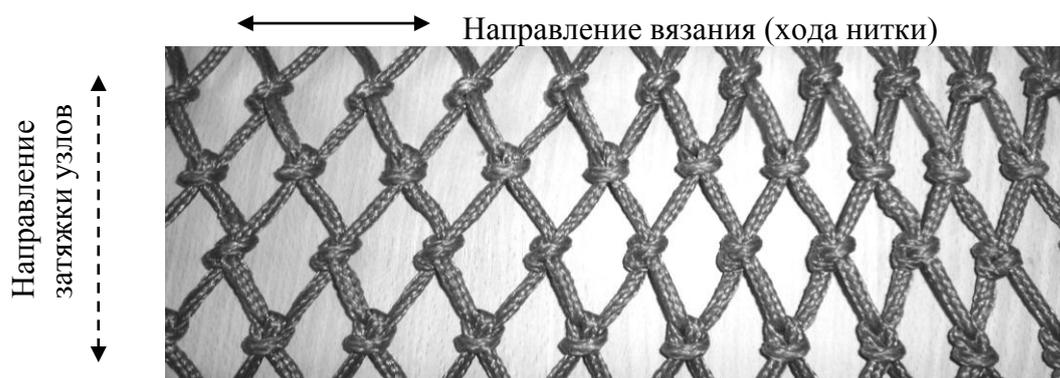


Рис. 6. Традиционное сетное полотно со шкотовым узлом типа Z и одинаковым видом с двух сторон

Fig. 6. Traditional netting with a Z-type weaver's knot and with the same view from both sides

Если из такого сетного полотна вырезать отдельно петлевую и крестовую нити, то они будут иметь вид, показанный на рис. 7 и 8.

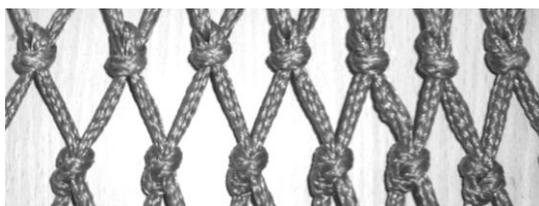


Рис. 7. Основная нить (петлевая)  
Fig. 7. Warp thread



Рис. 8. Уточная нить (крестовая)  
Fig. 8. Weft (crosswise) thread

В соответствии с последней редакцией международного стандарта ИСО 1530-2003 такое сетное полотно называется «*Netting with twisted knots*» (сетное полотно с перевёрнутым узлом).

В последнее время появились сетевязальные машины, в которых уточная нитка вяжет с соседней ниткой шкотовый узел типа Z, а с другой соседней ниткой – узел типа S. В таком сетном полотне с одной его стороны все узлы видно с лицевой, а с другой – с оборотной стороны (рис. 9).

У этого полотна различаются лицевая и изнаночная стороны. На лицевой стороне полотна видна лицевая сторона узлов, а на изнаночной стороне – оборотная сторона узлов. У сторон будут различаться геометрические параметры и условия трения нитей, составляющих узел, по поверхности трения. По стандарту ИСО 1530-2003 такое сетное полотно называется «*Netting with untwisted knots*» (сетное полотно с неперевернутым узлом).

В тексте стандарта встречается написание «*twisted mesh*» вместо «*twisted knots*». Видимо, следует считать эти названия эквивалентными, но всё-таки термин «*knots*» более подходящий.

В таком сетном полотне вырезанные основная и уточная нити с лицевой стороны будут иметь вид, показанный на рис. 10.

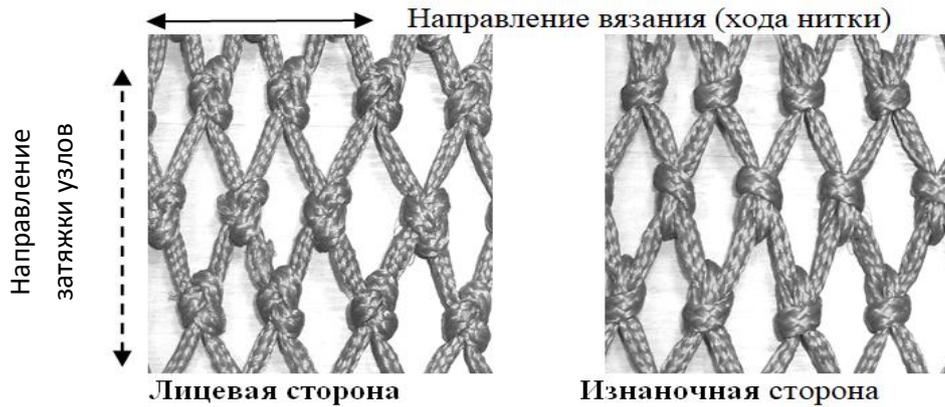


Рис. 9. Сетное полотно с чередованием шкотовых узлов типа Z и типа S  
Fig. 9. Netting with alternating weaver's knots of Z-type and S-type

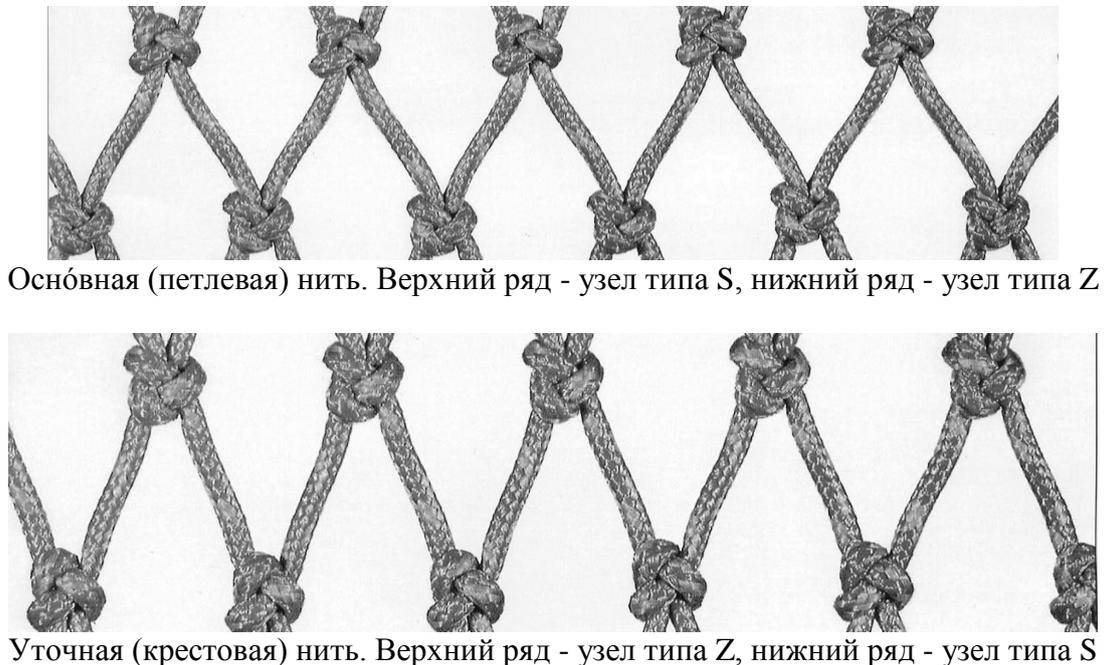


Рис. 10. Нити лицевой стороны сетного полотна с неперевернутым узлом  
Fig. 10. Threads of the front side of the netting with untwisted knot

Направление петли, образованной крестовой нитью (рис. 2) на обратной стороне шкотового узла, совпадает с направлением вязания и хода нити в сетном полотне.

В соответствии с новым международным стандартом ИСО 1107-2017 [3] это направление обозначают буквой *T* (*twine* – нить) и называют *lengthwise stretch* – длиной сетного полотна в жгуте. Направление затяжки узлов сетного полотна перпендикулярно направлению вязания. Его обозначают как направление *N* (*normal*) и называют *depthwise stretch* – высотой (глубиной) сетного полотна в жгуте.

Размер сетного полотна по направлению *T* выражается количеством ячеей по длине – *number of meshes long* (ML) или длиной в жгуте в метрах. Размер сетно-

го полотна по направлению  $N$  выражается количеством ячеек по высоте (глубине) – *number of meshes deep* (MD) или высотой в жгуте в метрах. Например:

1000 ML x 100 MD или 1000 T x 100 N;  
10 m x 200MD или 10 m x 200 N.

В российском рыболовстве такие обозначения пока не получили широкого распространения. Можно рекомендовать их применение, учитывая краткость и ясность обозначения.

Некоторые термины, приведенные в стандарте ИСО 1107-2017, не соответствуют российским терминам и вызывают сомнения с учётом широкого международного опыта [4–7]. В стандарте изменено понимание такого термина, как шаг ячейки – *length of mesh side или half mesh*. Теперь предлагается эту величину измерять не вдоль стороны ячейки, а как половину размера ячейки.

В России известен термин «размер ячейки» – расстояние между одноимёнными точками противоположных узлов (соединений) в ячейке, вытянутой в жгут. Предполагается, что ячейка может быть вытянута в жгут как по длине, так и по ширине сетного полотна. Соответственно, может быть размер ячейки по длине и по ширине сетного полотна, т.е. по направлениям  $T$  или  $N$ . В стандарте (англоязычный вариант) предлагается термин «*mesh length*», под которым понимается для узловых сетей расстояние между центрами двух противоположных узлов одной ячейки, вытянутой в жгут в направлении  $N$ . Но ведь направление  $N$  – это высота сетного полотна, а не длина (*length*). О размере ячейки, вытянутой в жгут в направлении  $T$ , вообще не упоминается. Аналогичная ситуация и с термином «внутренний размер ячейки» – кратчайшее расстояние между внутренними поверхностями двух противоположных узлов (соединений) в ячейке, вытянутой в жгут. В стандарте ИСО 1107-2017 внутренний размер ячейки (*mesh opening*) измеряется только в направлении  $N$ . Авторы стандарта, видимо, не знакомы с мировым опытом применения сетного полотна под названием *T90*. В этом случае траловые сетные части разворачиваются на  $90^\circ$  по сравнению с традиционным расположением. В научно-технической литературе на английском языке профессионалы обычно применяют термин «размер ячейки» правильно, например – «*dimension mesh*» и т.п.

С учётом российского и мирового опыта предлагается термин «размер ячейки» дополнять обозначением направления вытяжки в жгут, например, размер ячейки в направлении  $N$  (или кратко  $N$ -размер ячейки) или в направлении  $T$  (кратко  $T$ -размер ячейки). Также можно обозначать и внутренний  $N$ - или  $T$ -размер ячейки.

Вообще применение термина «*mesh opening*» для ячейки, вытянутой в жгут, явно ошибочно. Русский термин «внутренний размер» логически правильнее переводить на английский язык как «*interne dimension*». А термин «*mesh opening*», или «раскрытие ячейки», уместно применять для обозначения размера ячейки в посадке.

Некоторые проблемы с терминами возникают в стандарте ИСО 1107-2017 и с безузловым сетным полотном. Стандарт предлагает за направление  $T$  принимать направление более длинной оси ячейки. Размер ячейки и внутренний размер ячейки измеряются также в направлении  $T$ . А в узловых сетях – в направлении  $N$ . Такой разнобой очень неудобен для понимания и применения. Если в ячейке безузлового сетного полотна оси одинаковые, то направление не определяется и не имеет значения.

При проведении различных исследований с образцами узлового сетного полотна следует обращать внимание на такой фактор, как направление затяжки

узла. В сетных полотнах, вывязанных шкотовым узлом, обычно затяжка узла происходит в направлении  $N$ . Поэтому такие полотна хорошо вытягиваются в жгут в направлении  $N$ , но плохо раскрываются во время траления. В направлении  $T$  ячей в таком полотне плохо вытягиваются в жгут, но зато хорошо раскрывается при тралении, что и привело к появлению полотна  $T90$  (рис. 11).

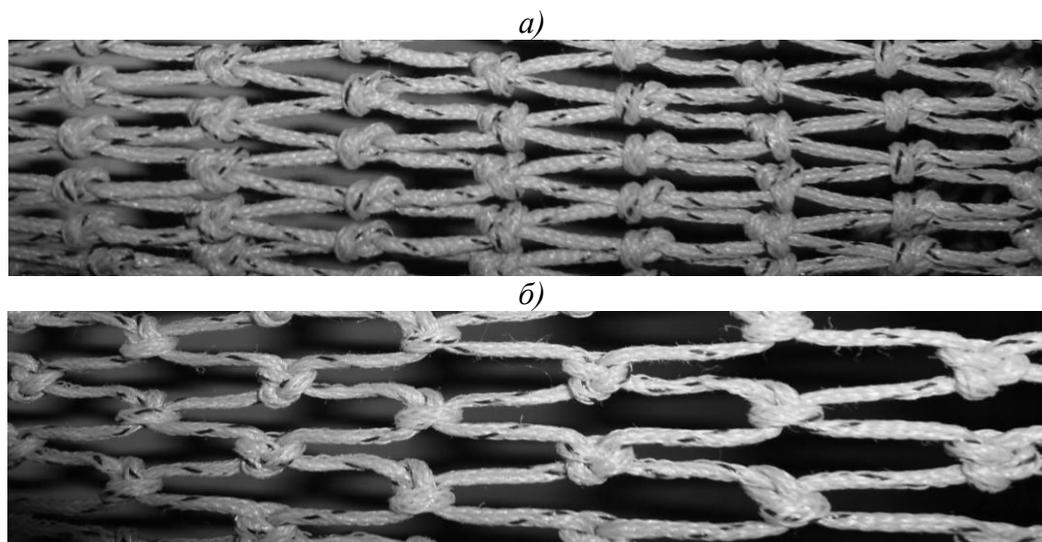


Рис. 11. Сетное полотно, вытянутое в жгут:  $a$  – вдоль направления затяжки узлов;  $b$  – поперёк направления затяжки узлов ( $T90$ )

Fig. 11. The stretched netting:  $a$  - Netting, stretched along the direction of knots' tightening;  $b$  - netting, stretched across the direction of knots' tightening

До успешного применения на практике сетного полотна  $T90$  бытовало мнение, что сетные детали в трале следует располагать так, чтобы основная нагрузка совпадала с направлением затяжки узла, тогда узлы не будут расползаться. На практике уже давно сетные полотна подвергаются химической или термической обработке, закрепляющей узлы. Часто во время обработки происходит затяжка узлов в другом направлении, и тогда сетное полотно хорошо вытягивается в жгут в направлении  $T$ , а не в направлении  $N$ , как было первоначально (рис. 12).

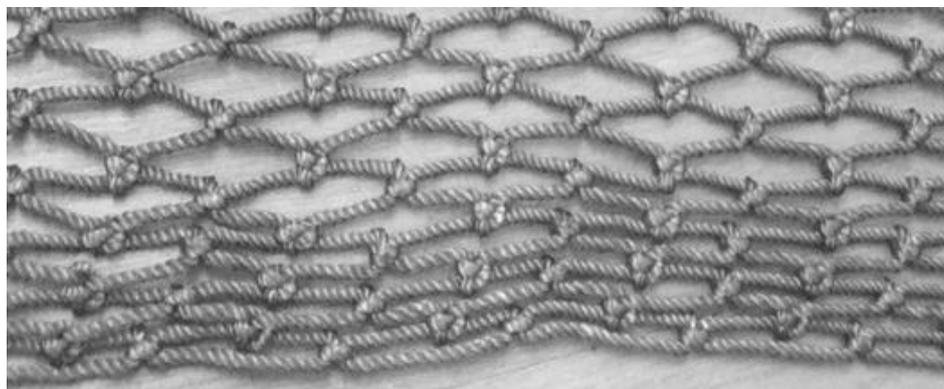


Рис. 12. Сетное полотно с фиксацией узла в направлении  $T$   
Fig. 12. Netting with hot fixing of knots in  $T$ - direction

Следует иметь в виду, что направление затяжки узла, вид и положение сетного полотна можно изменить, но направление хода нити, т.е. направление  $T$ , а следовательно, и направление  $N$ , не изменяется.

### ВЫВОДЫ

При проведении различных исследований сетного полотна машинной вязки следует всегда учитывать и указывать в результатах такие факторы, как:

- направление действия нагрузок  $T$  или  $N$ ;
- лицевая или оборотная сторона узла;
- лицевая или изнаночная сторона сетного полотна;
- перевёрнутый или неперевернутый узел в сетном полотне;
- направление затяжки узла;
- расположение сетных деталей в трале по направлению  $N$  или  $T90$ .

Исследования по учёту влияния большинства указанных факторов не проводились, хотя и представляют интерес для практического рыболовства.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ломакина, Л. М. Технология постройки орудий лова / Л. М. Ломакина. – Москва: Легкая и пищевая промышленность, 1984. – 208 с.
2. ISO 1530:2003 Fishing nets — Description and designation of knotted netting.
3. ISO 1107:2017 Fishing nets — Netting — Basic terms and definitions.
4. Баранов, Ф. И. Техника промышленного рыболовства / Ф. И. Баранов. – Москва: Пищепромиздат, 1960. – 696 с.
5. Klust, G. (1982) Netting Materials for Fishing Gear, FAO Fishing Manuals. Fishing News Books, Oxford. –169 p.
6. Ben-Yami, M. (1994) Purse Seining Manual, FAO Fishing Manual, Fishing News Books Ltd., Farnham: 416 p.
7. Fridman, A.L. 1986. Calculations for fishing gear designs. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Fishing News Books Ltd. Surrey, England. –241 p.

### REFERENCES

1. Lomakina L. M. *Tekhnologia postroyki orudiy lova* [Construction technology of fishing gear]. Moscow, Legkaya i pishchevaya promyshlennost', 1984, 208 p.
2. ISO 1530:2003, Fishing nets – Description and designation of knotted netting.
3. ISO 1107:2017, Fishing nets – Netting – Basic terms and definitions.
4. Baranov F. I. *Tekhnika promyshlennogo rybolovstva* [Commercial Fishing Techniques]. Moscow, Pishchepromizdat, 1960, 696 p.
5. Klust G. (1982) Netting Materials for Fishing Gear, FAO Fishing Manuals. Fishing News Books, Oxford. 169 p.
6. Ben-Yami M. (1994) Purse Seining Manual, FAO Fishing Manual, Fishing News Books Ltd., Farnham: 416 p.
7. Fridman A. L. 1986. Calculations for fishing gear designs. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Fishing News Books Ltd., England. 241 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

*Долин Геннадий Макарович* – Калининградский государственный технический университет; кандидат технических наук, доцент; декан факультета промышленного рыболовства; E-mail: [dolin@klgtu.ru](mailto:dolin@klgtu.ru)

*Dolin Gennadiy Makarovich* – Kaliningrad State Technical University; PhD in Engineering, Associate professor; Dean of the Commercial Fisheries Faculty; E-mail: [dolin@klgtu.ru](mailto:dolin@klgtu.ru)

УДК 551.465 (261.24)

ЭВОЛЮЦИИ ТЕРМИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ВОД  
НА САМБИЙСКО-КУРШСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ  
(ЮГО-ВОСТОЧНАЯ БАЛТИКА) ПО ДАННЫМ ТЕРМОКОСЫ

В. Ф. Дубравин, М. В. Капустина, С. А. Мысленков

EVOLUTION OF THE THERMAL STRUCTURE OF WATERS  
ON CURONIAN-SAMBIAN PLATEAU (SOUTH-EASTERN BALTIC)  
ACCORDING TO THERMISTOR CHAIN DATA

V. F. Dubravin, M. V. Kapustina, S.A. Myslenkov

Выполнен анализ термической структуры вод в Юго-Восточной части Балтийского моря в районе Самбийско-Куршской возвышенности. В работе использованы данные термокосы, установленной на нефтедобывающей платформе D6 на глубине 29 м. Измерения проводились в период с 06 августа 2015 г. по 31 декабря 2016 г. Анализ проведен на основе ежечасных данных. Время наблюдений соответствует 4-часовому поясу (UTC + 04).

В термической структуре в районе исследования выделяется верхний квазиоднородный слой (ВКС) и сезонный термоклин. ВКС наблюдается от поверхности до дна с ноября по апрель, а с мая по октябрь подстилается сезонным термоклин. Показано, что осредненный за 2016 г. суточный ход (СХ) температуры воды  $T_w$  в основном характеризуется преобладанием суточной волны. Наиболее выражен СХ на горизонтах 1, 3, 5, 10 и 13 м. Вблизи поверхности максимум наступает в 19, а минимум – в 09 ч; время роста – 10 ч; размах суточных колебаний – 0,27 град. С. С глубиной размах средних суточных колебаний  $T_w$  убывает до 0,06 град. С (на 13 и 24 м), а у дна возрастает до 0,10 град. С.

Рассмотрена сезонная изменчивость (СезХ)  $T_w$  на всех горизонтах. Показано преобладание годовой гармоник во всей толще воды, квота которой убывает от 0,94 вблизи поверхности до 0,76 у дна. Наступление экстремумов в СезХ по вертикали меняется мало: минимум наступает в марте, а максимум – в августе или сентябре (гор. 24 м). Амплитуда годовой волны на поверхности составляет 7,77, а у дна 5,39 град. С.

*структура вод, структурные зоны (поверхностная или деятельный слой и глубинная), вертикальный градиент, верхний квазиоднородный слой, сезонный и главный слои скачка температуры, суточная и сезонная изменчивость, термокоса, гармонический и корреляционный анализ*

The analysis has been carried out of the thermal structure of waters in the South-Eastern part of the Baltic Sea in the area of the Curonian-Sambian plateau. The data used are thermistor chain installed on the Ice-resistant fixed platform D-6 for Kravtsovskoye oil-field at the depth of 29 m. The measurements were carried out from

August 6, 2015 to December 31, 2016. The analysis was carried out on the basis of hourly data. The time of observation is 4th time zone (UTC+04).

There is an upper quasi-homogeneous layer (QHL) and a seasonal thermocline in the water thermal structure in the study region. QHL is observed from the surface to the bottom from November to April, and from May to October it is underlain by the seasonal thermocline. It has been shown that the daily variation (DV) of the water temperature  $T_w$ , averaged over 2016, is mainly characterized by the predominance of the daily wave. DV is most pronounced at 1, 3, 5, 10 and 13 m. horizons. Near the surface, the maximum occurs at 7 p.m. , and the minimum at 9 a.m.; growth time - 10 hours; the range of diurnal fluctuations is 0.27 deg. C. With depth, the range of mean daily fluctuations of  $T_w$  decreases to 0.06 deg. C (by 13 and 24 m), and at the bottom increases to 0.10 deg. C. The paper considers seasonal variability (SV)  $T_w$  at all horizons. The predominance of the annual harmonic in the whole water column is shown, the quota of which decreases from 0.94 near the surface to 0.76 at the bottom. The onset of extreme values in the SV varies slightly: the minimum occurs in March, and the maximum- in August or September (at 24 m). The amplitude of the annual wave on the surface is 7.77, and at the bottom- 5.39 deg. C.

*water structure, structural zones (surface or active layer and deep layer), vertical gradient, upper quasihomogeneous layer, seasonal and main thermocline, diurnal and seasonal variability, thermistor chain, harmonic and correlation analysis*

## ВВЕДЕНИЕ

В Балтийском море (средиземном, внутриматериковом или внутриконтинентальном) [1] под действием солеформирующих факторов (атмосферной циркуляции, речного стока и водообмена с Северным морем) [2] создается устойчивая плотностная стратификация, определяющая гидрологический и гидрохимический режимы. Это приводит к формированию двуслойной структуры гидрологических и гидрохимических параметров: поверхностной структурной зоны (СЗ) или деятельного слоя ДС<sup>1</sup> и глубинной. Как правило, в пределах ДС океана выделяют ВКС и сезонный слой скачка [5]. Однако заметим, что общепринятого четкого критерия для определения границы ВКС в океане (море) не существует<sup>2</sup>.

В морях термическая структура ДС отличается большим разнообразием [7]. Для Балтийского моря, согласно [8], в пределах поверхностной СЗ выделяются ВКС, сезонный термоклин и холодный промежуточный слой (ХПС), а согласно [9, 10] – еще и верхняя часть главного термоклина. При этом, согласно нашим расчетам для восточного склона Гданьской котловины, как по климатическим средним [10, 11], так и по данным мониторинга [12, 13] ДС на

<sup>1</sup> Под деятельным слоем (ДС) принято понимать верхний слой океана (моря), в котором в результате радиационных процессов и взаимодействия с атмосферой отмечаются колебания гидрологических элементов с годовым периодом [3, 4]. Обычно глубину ДС оценивают по температуре, размах СезХ которой на таких глубинах не может превышать 0,5-1,0°C [5]. Однако следует иметь в виду, что сезонная изменчивость и глубина ее распространения для каждого параметра различны.

<sup>2</sup> Достаточно подробная сводка методик расчета границы перемешанного слоя приведена в [6].

большой части акватории российского сектора Юго-Восточной Балтики проникает до дна (70-75 м).

В данном исследовании анализируются уникальные данные термокосы, установленной на платформе D6, с целью получения количественных показателей суточной и сезонной изменчивости тонкой термической структуры с помощью гармонического и корреляционного методов анализ [14].

#### МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

В работе использованы данные термокосы, установленной на морской стационарной платформе D6 приблизительно в 20 км от побережья Куршской косы [15]. Термокоса состоит из девяти датчиков Starmon mini, расположенных на горизонтах: -1<sup>3</sup>; 1; 3<sup>4</sup>; 5; 8; 10; 13; 24 и 28 м. Глубина в месте установки составляет 29 м. Дискретность измерений температуры – 1 мин, точность  $\pm 0,025$  °C. Проанализирован ряд данных, полученных в период с 06.08.2015 г. по 31.12.2016 г. и сглаженных за 1 ч<sup>5</sup>. Время наблюдений 4-часового пояса (UTC + 04).

В настоящей работе по методике, описанной в [9], в пределах ДС выделяется ВКС и верхняя часть сезонного слоя скачка. При этом за нижнюю границу ВКС принимаем критерий А. Иванова [16] – верхняя граница термоклина (сезонного или главного), т. е. глубина, где вертикальный градиент температуры  $G_T \geq 0,1$  °C/м.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ

**Средние характерные уровни термической структуры.** На рис. 1 приводятся среднемесячные кривые вертикального распределения температуры в слое 0-28 м и положения сезонного термоклина и максимума отрицательного значения вертикального градиента температуры –  $G_{T_{max}}^T$ <sup>6</sup> на интервале август 2015 – декабрь 2016 гг. С началом осеннего охлаждения от августа к сентябрю в результате конвективного перемешивания начинается увеличение мощности ВКС и уже в ноябре в районе D6 он простирается до дна.

В климатическом плане максимальной интенсивности конвекция в глубоководной части Гданьского бассейна достигает в январе-феврале и продолжается до установления минимальных поверхностных температур  $T_w$  – в марте. В результате на мелководье конвекция проникает до дна, формируя почти 50-метровый однородный по температуре слой  $\sim (1,5-1,8)$ °C [9]. По данным наших наблюдений, в зимний сезон отмечалось несколько волн холода, приводящих к формированию минимума температуры во всей толще воды в районе D6. Так, с 25

<sup>3</sup> Самый верхний горизонт был на воздухе на высоте около 90 см от воды и использован в качестве данных о температуре воздуха.

<sup>4</sup> При возникновении сильного волнения первые три датчика периодически находились и на воздухе, и в воде. Выбросы в данных были отфильтрованы на основе резкого увеличения дисперсии температуры [15].

<sup>5</sup> Первичный анализ данных термокосы за период с 06.08.2015 по 25.05.2016 приведен в [15], где были выявлены колебания температуры различных временных масштабов (от инерционных до сезонных).

<sup>6</sup> Согласно [17], положение ХПС определяется по величине максимального вертикального градиента температуры (между уровнями максимального отрицательного и максимального положительного значения  $G_{T_{max}}^T$ ).

декабря 2015 г., когда среднесуточная температура приводного воздуха  $T_a$  составляла  $7,1\text{ }^\circ\text{C}$ , наблюдалось резкое ее понижение – 30.12.2015 она перешла через  $0^\circ\text{C}$ , а 06.01.2016 опустилась до минимума –  $T_a = -7,2^\circ\text{C}$ , после чего она стала повышаться и к 17.01.2016 достигла  $T_a = 0,3^\circ\text{C}$ . В результате этого среднесуточная температура в толще воды в этот период снижалась от  $7,62-7,65$  (25.12.2015) до  $2,83-3,08$  (10.01.2016) или до  $2,67-2,87$  (12.01) с промежуточным максимумом до  $3,81-3,85$  (11.01) и последующим ростом до  $3,45-3,48^\circ\text{C}$  (17.01). С 18 по 27 января отмечалась вторая волна холода, когда  $T_a$  снижалась от  $0,8$  до  $-2,1^\circ\text{C}$  (23.01), а затем росла до  $3,1^\circ\text{C}$  (27.01). Температура в толще воды в этот период менялась так: снижалась от  $3,40-3,45$  (18.01) до  $2,62-2,67$  (20.01) и росла до  $4,11-4,16^\circ\text{C}$  (27.01) (рис. 2, а).

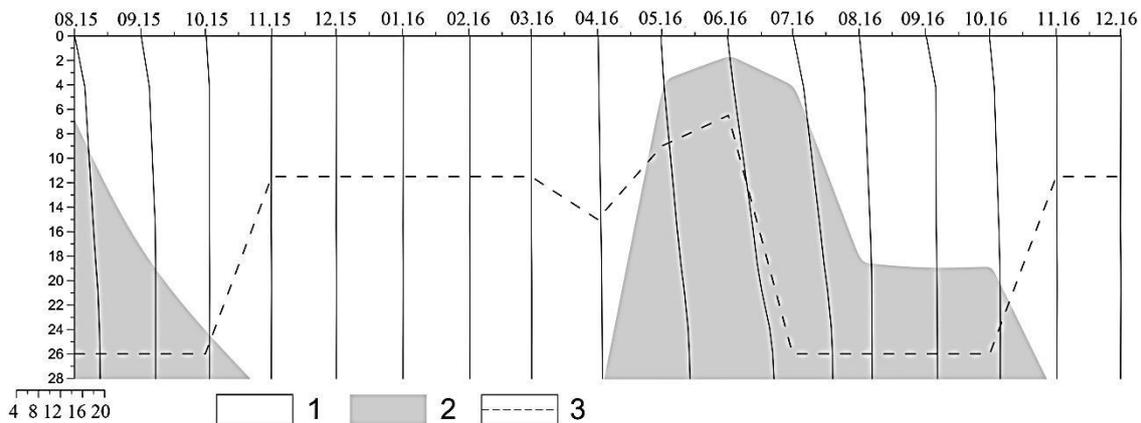


Рис. 1. Внутригодовая изменчивость термической структуры верхнего 28-метрового слоя на D6 (08.2015-12.2016): 1 – ВКС; 2 – сезонный термоклин; 3 – положение отрицательного вертикального градиента температуры  $G^T_{\max}$

Fig. 1. Intra-annual variability of the thermal structure of the upper 28-meter layer on D6 (08.2015-12.2016): 1 – VCS; 2 – seasonal thermocline; 3 – position of negative vertical temperature gradient  $G^T_{\max}$

Третья волна холода, отмечавшаяся в период с 9 по 22 февраля, характеризовалась меньшими перепадами  $T_a$  (снижалась от  $5,3$  до  $1,5^\circ\text{C}$  (17.02) и росла до  $3,7^\circ\text{C}$ ). В толще воды она проявилась так: уменьшалась от  $4,27-4,32$  (09.02) до  $3,88-3,93$  (18.02) или до  $3,95-4,00$  (21.02) с промежуточным максимумом  $4,16-4,22$  (19.02) и дальнейшим ростом до  $4,11-4,16^\circ\text{C}$  (22.02) (рис. 2, б). Последующие флюктуации, протекавшие при положительных  $T_a$ , были кратковременными, с наступлением минимума 28.02; 01.03; 05.03; 09.03; 12.03 и 19.03 с периодом в несколько суток и размахом колебаний  $2-3^\circ\text{C}$ , при этом, начиная с 25 марта, наступил устойчивый переход  $T_a$  через  $4,0^\circ\text{C}$ . В толще воды минимумы отмечались 07.03 ( $3,70-3,76\text{ }^\circ\text{C}$ ); 11.03 ( $3,65-3,70^\circ\text{C}$ ); 16.03 ( $3,73-3,85\text{ }^\circ\text{C}$ ) и 19.03 ( $3,72-3,88^\circ\text{C}$ ).

Известно [8, 9], что с началом весеннего прогрева процессы перемешивания в центральной части Гданьского бассейна идут по-разному. У берега образуется термобар<sup>7</sup>, существующий до тех пор, пока на всей акватории

<sup>7</sup> Термический фронт в пресных и солоноватых водоемах, по обе стороны которого формируются воды с разной стратификацией: весной на мелководье будет прямая

поверхностная температура не станет выше температуры наибольшей плотности  $\theta^{\circ}\text{C}$  и повсеместно начнет формироваться холодный промежуточный (на мелководье – придонный) слой.

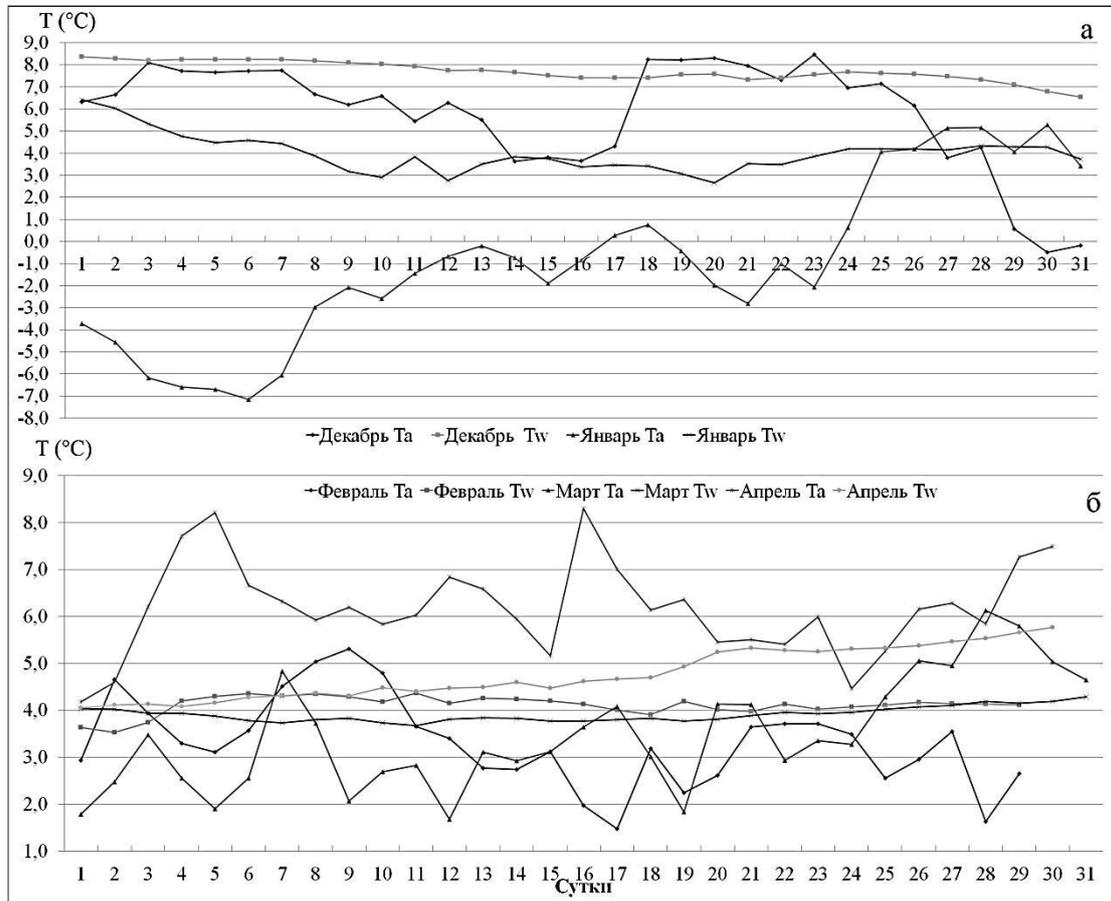


Рис. 2. Временная изменчивость температуры воздуха  $T_a$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) на высоте 1 м и средневзвешенной температуры воды  $T_w$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) в слое 1-28 м на D6 в декабре 2015 г.- январе 2016 г. – (а) и феврале-апреле 2016 г. – (б)

Fig. 2. Temporal variability of air temperature  $T_a$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) at a height of 1 m and a weighted average water temperature  $T_w$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) in the layer 1-28 m at D6 in December 2015-January 2016 – (a) and February-April 2016 – (b)

Следует обратить особое внимание на дату 20 марта<sup>8</sup>, когда в толще воды обратная стратификация сменилась устойчивой прямой. По мере дальнейшего прогрева водной толщи и переменного роста  $T_a$  к середине апреля до 8,3 $^{\circ}\text{C}$  начал формироваться *локальный термоклин* сначала в слое 8-11 м (13-14 апреля), затем опустился до 15-20 м (15-18 апреля) и до дна (22-28 м) 19.04. В связи с

стратификация (падение температуры с глубиной), осенью – обратная (рост температуры с глубиной), в глубоководной части, наоборот, весной – обратная стратификация, осенью – прямая [1].

<sup>8</sup> При месячном осреднении обратная стратификация заканчивается в феврале, а прямая начинается в марте.

похолоданием воздуха после 17.04 (рис. 2, б) локальный слой скачка был размыт. К 03.05 начал формироваться *сезонный термоклин* сначала с поверхности, опускаясь до 3-5 м между 04-09 мая, а 10-11 мая уже занимал всю толщу. В дальнейшем его верхняя граница до начала августа временами опускалась до 10-12 м, а 10-11 августа – до 20-24 м, после чего сезонный термоклин был размыт. После начала осеннего похолодания формировался только *локальный* слой скачка, который отмечался эпизодически между 12-19 и 24-30 сентября и 04-11 октября. Таким образом, термическая структура, полученная с суточным или месячным сглаживанием, может привести к различным выводам. Последнее надо учитывать при использовании разовых зондирований.

Корреляционный анализ среднесуточных значений  $T_a$  и средневзвешенных  $T_w$  на Д6 выявил их достаточно высокую тесноту связи в декабре ( $r = 0,66$ ) и марте ( $r = 0,56$ ), слабую значимую отрицательную – в январе ( $r = -0,25$ ) и незначимую – в феврале ( $r = 0,05$ ) и апреле ( $r = -0,05$ )<sup>9</sup>. Это позволяет отметить, что в период осенне-зимнего охлаждения только в декабре и марте в формировании термической структуры преобладают конвективные факторы над адвективными, а в январе, феврале и апреле, наоборот, – адвективные.

**Суточный ход.** На рис. 3 представлена суточная изменчивость  $T_w$  на разных горизонтах средняя за 2016 г. Наиболее правильной суточной изменчивостью, характеризующейся преобладанием суточной волны с большой устойчивостью, отличаются горизонты 1, 3, 5, 10 и 13 м, квота<sup>10</sup> суточной гармоникой  $T_w$  которых  $q_I = 0,92 \div 0,99$ . На гор. 24 и 8 м ее вклад уменьшается до  $q_I = 0,74 \div 0,79$ , а на гор. 28 м СХ характеризуется преобладанием полусуточной гармоникой ( $q_I = 0,43$ ;  $q_{II} = 0,48$ ) (таблица).

Для среднего за 2016 г. СХ  $T_w$  вблизи поверхности на Д6 максимум наступает в 19 (GMT+4), а минимум – в 09 ч; время роста – 10, время падения – 14 ч; размах суточных колебаний –  $0,27^\circ\text{C}$ . Это соответствует общему ходу температуры воды и воздуха<sup>11</sup> вблизи поверхности Балтийского моря [7].

С глубиной наступление экстремумов в среднегодовом СХ смещается на более позднее время суток, так что максимум на глубине 10 м отмечается в 23, минимум – приходится на 12 ч, время роста меняется мало – 10-11 ч. На горизонте 13 м максимум сдвинут на 02 ч, минимум – в полдень, время роста увеличилось до 14 ч. На глубине 24 м максимум вернулся на 23, минимум переместился на 04 ч, время роста достигло 19 ч. Вблизи дна (28 м), поскольку в среднегодовом СХ преобладает полусуточная волна (таблица), то наблюдаются два максимума (в 11-12 и 21 ч) и два минимума (в 04 и 19 ч). Размах средних суточных колебаний убывает с глубиной от  $0,27$  (у поверхности моря) до

<sup>9</sup> По результатам корреляционного анализа ежечасных данных, проведенного в [15], связь  $T_a$  и  $T_w$  на гор. 1 м очень высокая ( $r = 0,85$ ), далее, с глубиной теснота связи уменьшается до  $r = 0,72$ . Столь высокий коэффициент корреляции по сравнению со среднесуточными данными скорее всего объясняется наличием выраженного СХ температуры воздуха и воды.

<sup>10</sup> Квота ( $q$ ) – вклад данной гармоникой в общую дисперсию суточного или сезонного хода [6].

<sup>11</sup> Средний за 2016 г. СХ  $T_a$  характеризуется суточной гармоникой ( $q_I = 0,88$ ) с максимумом в 16, минимумом в 8, временем роста – 8 ч и размахом суточных колебаний –  $1,2^\circ\text{C}$ .

0,08 (на 10 м) и до 0,06°C (на 13 и 24 м). У дна, с преобладанием полусуточной гармоника, размах суточного колебания несколько возрастает до 0,10°C (рис. 3).

Таблица. Гармонические постоянные регулярного суточного хода температуры воды, осредненного за 2016 г., на D6

Table. Harmonic constants of a regular daily variation in the water temperature averaged over 2016 on D6

Элемент (высота прибора, м)	Гармоники						A <sub>I</sub> /A <sub>II</sub>	A <sub>0</sub>
	I (суточная волна)			II (полусуточная волна)				
	амплитуда <sub>I</sub>	фаза <sub>I</sub>	квота <sub>I</sub>	амплитуда <sub>II</sub>	фаза <sub>II</sub>	квота <sub>II</sub>		
T <sub>W</sub> (1м)	0,13	146,9	0,968	0,02	-81,5	0,031	5,6	10,27
T <sub>W</sub> (3м)	0,10	135,2	0,984	0,01	-88,5	0,015	8,0	10,23
T <sub>W</sub> (5м)	0,07	125,9	0,992	0,00	-133,0	0,001	35,4	10,15
T <sub>W</sub> (8м)	0,04	115,5	0,791	0,02	142,0	0,143	2,4	9,91
T <sub>W</sub> (10м)	0,03	110,5	0,916	0,01	135,4	0,049	4,3	9,72
T <sub>W</sub> (13м)	0,02	88,1	0,937	0,00	-126,4	0,014	8,3	9,45
T <sub>W</sub> (24м)	0,02	166,8	0,744	0,01	117,5	0,075	3,2	8,54
T <sub>W</sub> (28м)	0,03	-174,2	0,431	0,03	137,7	0,480	0,9	7,95

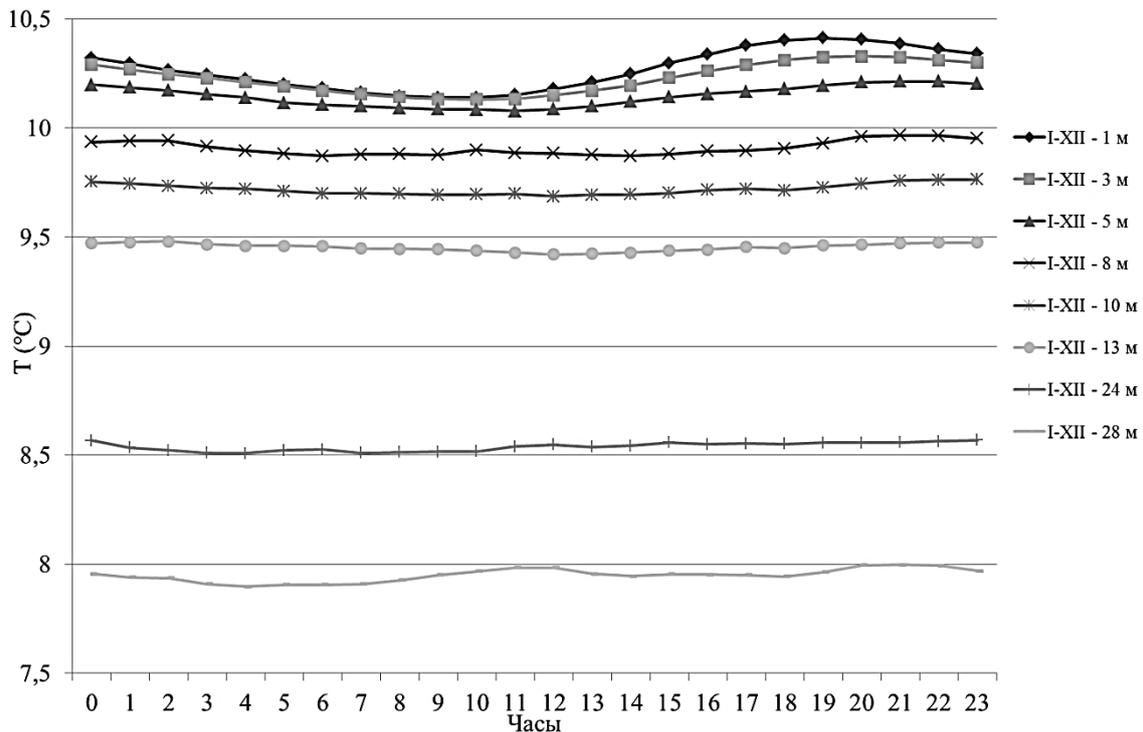


Рис. 3. Суточный ход температуры воды T<sub>w</sub> (°C) на разных горизонтах на D6, средний за 2016 г.

Fig. 3. Diurnal variation of water temperature T<sub>w</sub> (°C) at different horizons on D6 station, averaged for 2016

Подобие среднегодового суточного хода  $T_w$  между горизонтами подтверждается и результатами корреляционного анализа, выявившего высокую тесноту связи между гор. 1, 3, 5 м ( $r = 0,92 \div 0,98$ ) или между гор. 5, 8, 10, 13 м ( $r = 0,77 \div 0,95$ ); достаточно высокую тесноту связи между гор. 24 и 5-10 м ( $r = 0,51 \div 0,64$ ); невысокую значимую связь между гор. 28 и 1-10 ( $r = 0,32 \div 0,41$ ); незначимую положительную между гор. 13 и 24 ( $r = 0,13$ ) или незначимую отрицательную между гор. 13 и 28 –  $r = (-0,08)$ .

*Внутригодовая изменчивость СХ у поверхности.* Преобладание суточной волны в СХ  $T_w$  сохраняется весь год (квота суточной гармоники минимальна в октябре-декабре –  $q_I = 0,58 \div 0,82$  и максимальна в мае-июле –  $q_I = 0,96 \div 0,98$ ). Наступление максимума  $T_w$  в СХ большую часть года приходится на 18-20 ч, поднимаясь до 00 ч в декабре-январе и до 01 ч в октябре. Наступление минимума в феврале приходится на 11 ч, к апрелю-июню опускается до 08 ч и поднимается до 10 ч в сентябре, до 16 – в октябре, до 19 – в январе и до 23 – в декабре. Время роста и падения  $T_w$  в суточной ритмике не остается постоянным: продолжительность роста большую часть года составляет от 8 ч в феврале и сентябре до 11 ч в мае, июне и ноябре, и только январе уменьшается до 5 и в декабре до 1<sup>12</sup> ч. Внутригодовая изменчивость размаха СХ такова: минимальный размах ( $0,04 \div 0,12^\circ\text{C}$ ) приходится на холодное время года (с ноября по март), максимальный ( $0,65 \div 1,06^\circ\text{C}$ ) – на май-июль.

*Внутригодовая изменчивость СХ у дна.* Несмотря на превалирование полусуточной гармоники в среднегодовом СХ, преобладание полусуточной волны в среднемесечном СХ  $T_w$  сохраняется только в мае-июне ( $q_{II} = 0,50 \div 0,69$ ) и сентябре ( $q_{II} = 0,85$ ). В остальные месяцы в СХ доминирует суточная волна, при этом квота суточной гармоники минимальна в августе и декабре –  $q_I = 0,51 \div 0,56$  и максимальна в ноябре, январе-марте –  $q_I = 0,82 \div 0,97$ . Наступление максимума  $T_w$  в СХ большую часть года приходится на 19–24 (00) ч, за исключением июля – 17 ч и октября (15 ч). Наступление минимума в январе приходится на 18 ч, к июню и в августе опускается до 00 ч и поднимается до 13 ч в ноябре и до 22 – в декабре. Время роста и время падения  $T_w$  в суточной ритмике сильно изменчиво: продолжительность роста меняется от 2-3 ч в декабре и июле, до 6-9 – в январе-марте и ноябре и до 15-20 – апреле, августе и октябре. Внутригодовая изменчивость размаха СХ увеличивается от  $0,02 \div 0,08^\circ\text{C}$  в ноябре-мае, до  $0,16 \div 0,42$  – в июне-августе и октябре и до  $0,72$  – в сентябре.

**Сезонный ход.** Сезонная изменчивость  $T_w$  на всех горизонтах характеризуется годовой гармоникой, квота которой убывает от поверхности  $q_I = 0,94$  до  $q_I = 0,91$  на 10 м и до  $q_I = 0,76$  у дна (рис. 4).

Наступление экстремумов в СезХ  $T_w$  по вертикали меняется мало: минимум наступает в марте, а максимум – в августе для всех горизонтов кроме 24 м, на котором максимум сдвинут на сентябрь, время роста – 5 мес. (на гор. 24 м – 6 мес.). Амплитуда годовой волны уменьшается от поверхности  $A_I = 7,77^\circ\text{C}$  до  $A_I = 6,99^\circ\text{C}$  (на гор. 13 м), до  $A_I = 6,16^\circ\text{C}$  (на гор. 24 м) и до  $A_I = 5,39^\circ\text{C}$  (у дна). Подобие сезонной изменчивости  $T_w$  на D6 между горизонтами подтверждается и

<sup>12</sup> Подобное отмечается и на других станциях Южной Балтики (Аркона, Дарский порог и Киль), где в январе в СХ  $T_w$  вблизи поверхности моря минимум отмечался в 23 ч, а максимум – в 00 ч (по Гринвичу).

результатами корреляционного анализа, выявившего для внутригодовой изменчивости  $T_w$  на D6 между горизонтами очень высокую тесноту связи: между гор. 1, 3, 5, 8, 10, 13 м ( $r = 0,98 \div 0,99$ ), или между гор. 24 и 8-13 м ( $r = 0,92 \div 0,94$ ), или между гор. 28 и 8-13 м ( $r = 0,91 \div 0,95$ ). Теснота связи между гор. 24 и 1-5 м или между гор. 28 и 1-5 м несколько снижается – до ( $r = 0,90 \div 0,92$ ) и ( $r = 0,87 \div 0,88$ ), соответственно.

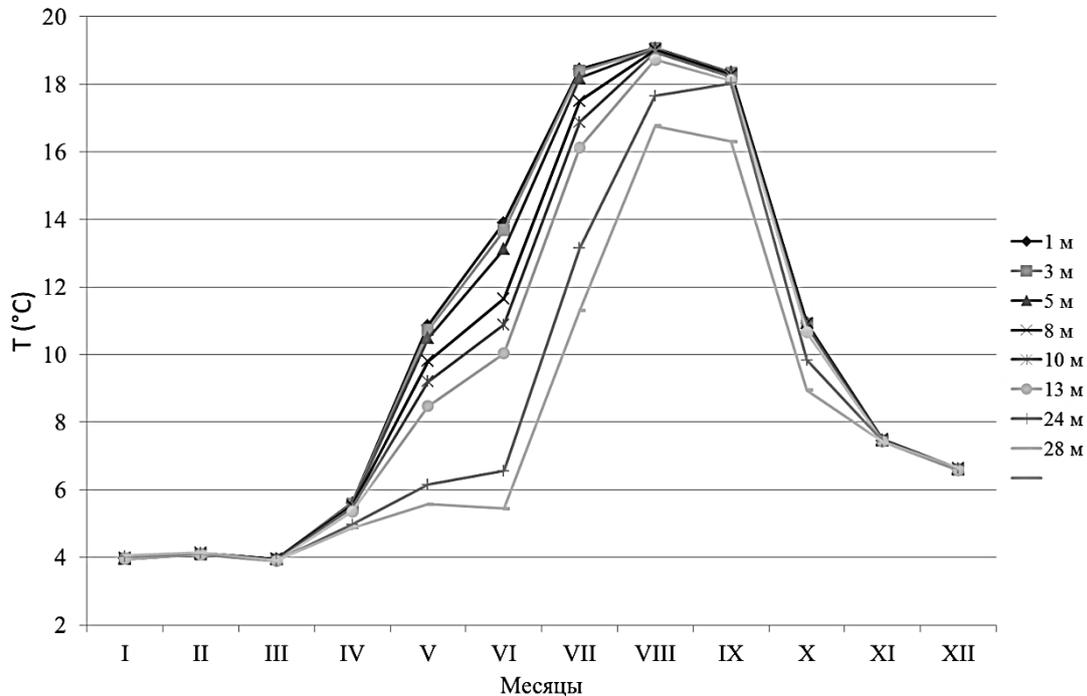


Рис. 4. Сезонный ход температуры воды  $T_w$  (°C) на разных горизонтах на D6 в 2016 г.

Fig. 4. Seasonal variation of water temperature  $T_w$  (°C) at different horizons at D6 in 2016

## ВЫВОДЫ

1. Термическая структура в районе морской стационарной платформы D6 представлена верхней частью деятельного слоя, состоящего из верхнего квазиоднородного слоя и сезонного термоклина. При месячном осреднении ВКС простирается до дна с ноября по апрель, а с мая по октябрь подстилается сезонным термоклином. Анализ данных, осредненных за сутки, показал, что ВКС непрерывно простирается до дна с ноября 2015 г по март 2016 г. и в ноябре-декабре 2016 г. В сентябре 2015 г. и в августе-октябре 2016 г. ВКС проникает до дна большую часть месяца. Напротив, в августе 2015 г. и мае-июле 2016 г. непрерывно существовал сезонный термоклин, а в сентябре 2015 и 2016 гг. – большую часть месяца.

2. Осредненный за год 2016 г. суточный ход  $T_w$  в основном характеризуется преобладанием суточной волны. Наибольшей устойчивостью отличаются горизонты 1, 3, 5, 10 и 13 м, квота суточной гармонике  $T_w$  которых  $q_I = 0,92 \div 0,99$ . На гор. 24 и 8 м ее вклад уменьшается до  $q_I = 0,74 \div 0,79$ , а на гор. 28 м СХ характеризуется преобладанием полусуточной гармонике ( $q_I = 0,43$ ;  $q_{II} = 0,48$ ). Вблизи поверхности максимум наступает в 19, а минимум – в 09 ч; время роста –

10 ч; размах суточных колебаний –  $0,27^{\circ}\text{C}$ . Это соответствует общему ходу температуры воды и воздуха вблизи поверхности Балтийского моря [7]. С глубиной наступление экстремумов в среднегодовом СХ смещается на более позднее время суток. На глубине 24 м максимум наблюдается в 23, минимум – в 04 ч, время роста достигло 19 ч. Вблизи дна (28 м) отмечаются два максимума (в 11-12 и 21 ч) и два минимума (в 04 и 19 ч). Размах средних суточных колебаний убывает с глубиной от  $0,27^{\circ}\text{C}$  (у поверхности моря) до  $0,08^{\circ}\text{C}$  (на 10 м) и до  $0,06^{\circ}\text{C}$  (на 13 и 24 м), а у дна возрастает до  $0,10^{\circ}\text{C}$ .

3. Сезонная изменчивость  $T_w$  в 2016 г. на всех горизонтах характеризуется годовой гармоникой, квота которой убывает от поверхности  $q_1 = 0,94$  до  $q_1 = 0,76$  у дна. Наступление экстремумов по вертикали меняется мало: минимум наступает в марте, а максимум – в августе или сентябре (гор. 24 м), время роста – 5 мес. (на гор. 24 м – 6 мес.). Амплитуда годовой волны уменьшается от поверхности  $A_1 = 7,77^{\circ}\text{C}$  до  $A_1 = 5,39^{\circ}\text{C}$  (у дна).

4. Подобие суточного и сезонного хода  $T_w$  на Дб между горизонтами подтверждено результатами корреляционного анализа.

Авторы выражают благодарность ООО «Лукойл-КМН» (г. Калининград) за помощь в установке оборудования и организации процессов наблюдения и получения данных.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН (тема № 0149-2018-0012).

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Берникова, Т. А. Гидрология и промысловая океанология / Т. А. Берникова. – Москва: Пищ. пром-сть, 1980. – 240 с.
2. Антонов, А. Е. Крупномасштабная изменчивость гидрометеорологического режима Балтийского моря и ее влияние на промысел / А. Е. Антонов. – Ленинград: Гидрометеоиздат, 1987. – 248 с.
3. Богородский, В. В. Физика океана / В. В. Богородский [и др.]. – Ленинград: Гидрометеоиздат, 1978. – 294 с.
4. Хромов, С. П. Метеорологический словарь / С. П. Хромов, Л. И. Мамонтова. – Ленинград: Гидрометеоиздат, 1974. – 568 с.
5. Китайгородский, С. А. Физика взаимодействия атмосферы и океана / С. А. Китайгородский. – Ленинград: Гидрометеоиздат, 1970. – 284 с.
6. Дубравин, В. Ф. Атлас термохалинной и биогеографической структур вод Атлантического океана / В. Ф. Дубравин. – Калининград: Капрос, 2013. – 471 с.
7. Дитрих, Г. Общая океанография / Г. Дитрих. – Москва: Ин. лит., 1962. – 465 с.
8. Балтийское море / под ред. В. А. Рожкова, А. И. Смирновой, Ф. С. Терзиева // Гидрометеорологические условия. Проект «Моря СССР». – Санкт-Петербург: Гидрометеоиздат, 1992. – Т. III, вып. 1. – 450 с.
9. Дубравин, В. Ф. Гидрометеорологический режим, структура и циркуляция вод / В. Ф. Дубравин, Ж. И. Стонт // Нефть и окружающая среда

Калининградской области. – Калининград: Терра Балтика, 2012. – Т. II. Море / под ред. В. В. Сивкова [и др.]. – С. 69-106.

10. Дубравин, В. Ф. Эволюции термохалинной структуры вод Балтийского моря / В. Ф. Дубравин. – Москва: Изд-во «Перо», 2017. – 438 с.

11. Дубравин, В. Ф. Долгопериодная изменчивость термохалинной структуры вод Балтийского моря и ее влияние на динамику запасов и промысел пелагических рыб / В. Ф. Дубравин, А. П. Педченко // Вопросы промысловой океанологии. – Москва: ВНИРО, 2010. – Вып.7, № 2. – С. 57-79.

12. Дубравин, В. Ф. Мониторинг деятельного слоя в пределах российского сектора Юго-Восточной Балтики / В. Ф. Дубравин, Ж. И. Стонт, О. А. Гушин // День Балтийского моря: X Междунар. экологич. Форум: сб. материалов. – Санкт-Петербург: ООО «Макси-Принт», 2009. – С. 205-206.

13. Дубравин, В. Ф. Термохалинная структура и циркуляция вод / В. Ф. Дубравин, М. В. Капустина, В. А. Кречик // Система Балтийского моря / под ред. А. П. Лисицын [и др.]. – Москва: Научный мир, 2017. – С. 58-80.

14. Брукс, К. Применение статистических методов в метеорологии / К. Брукс, Н. Карузерт. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1963. – 416 с.

15. Мысленков, С. А. Анализ температуры воды в прибрежной зоне Балтийского моря по спутниковым данным и измерениям термоксы / С. А. Мысленков, В. А. Кречик, Д. М. Соловьев // Труды Гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации, 2017. – № 364. – С. 159-169.

16. Иванов, А. Введение в океанографию / А. Иванов. – Москва: Мир, 1978. – 574 с.

17. Степанова, Н. Б. Структура и эволюция холодного промежуточного слоя в юго-восточной части Балтийского моря по данным натурных измерений в 2004–2008 гг. / Н. Б. Степанова, И. П. Чубаренко, С. А. Щука // Океанология. – 2015. – Т. 55, № 1. – С. 32-43.

#### REFERENCES

1. Bernikova T. A. *Gidrologiya i promyslovaya okeanologiya* [Hydrology and Industrial Oceanology]. Moscow: Pishchevaya Promyshlennost', 1980.

2. Antonov A. E. *Krupnomasshtabnaya izmenchivost' gidrometeorologicheskogo rezhima Baltijskogo morya i ee vliyanie na promysel* [Large-scale variability of the hydro-meteorological conditions of the Baltic Sea and its influence on fishing]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1987, 248 p.

3. Bogorodsky V.V., Gusev A. V., Doronin Yu. P., Kuznetsova L. N. Shifrin K. S. *Fizika okeana* [Physics of the Ocean]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1978, 294 p.

4. Khromov R. P., Mamontova L. I. *Meteorologicheskij slovar* [Meteorological Glossary]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1974, 568 p.

5. Kitaygorodsky S.A. *Fizika vzaimodejstviya atmosfery i okeana* [Physics of interaction between the atmosphere and the ocean]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1970, 284 p.

6. Dubravin V.F. *Atlas termokhalinnoi i biogeograficheskoi struktur vod Atlanticheskogo okeana* [Atlas of the Thermohaline and Biogeographic Structures of the Atlantic Ocean]. Kaliningrad, Kapros, 2013, 471 p.

7. Dietrich G. *Obshchaya okeanografiya* [General Oceanography: introduction]. Moscow, In. lit., 1980, 676 p.
8. *Gidrometeorologicheskie usloviya. Proekt "Morya SSSR". Baltiyskoe more* [Hydro-meteorological conditions. "The USSR seas" project. The Baltic sea]. Saint-Petersburg, Gidrometeoizdat, 1992, vol. 3, no. 1, 450 p.
9. Dubravin V. F., Stont Zh. I. *Gidrometeorologicheskiy rezhim, struktura i tsirkulyatsiya vod. Neft i okruzhayushchaya sreda Kaliningradskoy oblasti. T. 2. More.* Pod red. V. V. Sivkova [Hydro-meteorological conditions, structure and circulation of waters. Oil and environment of the Kaliningrad region]. Kaliningrad, Terra Baltika, pp. 69-106.
10. Dubravin V. F. *Evolyucii termohalinnoj struktury vod Baltijskogo morya* [Evolution of the thermohaline structure of the Baltic Sea waters]. Moscow, Pero, 2017, 438 p
11. Dubravin V. F., Pedchenko A. P. *Dolgoperiodnaya izmenchivost' termokhalinnoy struktury vod Baltijskogo morya i ee vliyanie na dinamiku zapasov i promysel pelagicheskikh ryb* [Long-term variability of the thermohaline structure of the Baltic Sea waters and its influence on the dynamics of supply and fishery of pelagic fish]. *Voprosy promyslovoy okeanologii*. 2010, vol. 7, no. 2, pp. 57-79.
12. Dubravin V. F., Stont Zh. I., Gushhin O. A. *Monitoring dejatel'nogo sloja v predelah rossijskogo sektora Jugo-Vostochnoj Baltiki* [Monitoring of the active layer within the Russian sector of the south-eastern Baltic]. *Sbornik materialov X Mezhdunarodnogo jekologicheskogo foruma «Den' Baltijskogo morja»* [Proceedings of the X International ecological forum "The Baltic sea day"]. Saint-Petersburg, OOO «Maksi-Print», 2009, pp. 205-206.
13. Dubravin V. F., Kapustina M. V., Krechik V. A. *Termohalinnaya struktura i cirkulyaciya vod* [Thermohaline structure and water circulation]. *Sistema Baltijskogo morya* [The Baltic Sea System]. Pod red. A. P. Lisitsyn [i dr.]. Moscow, Nauchnyi Mir, 2017, pp. 58-80.
14. Brooks K., Carruthers N. *Primenenie statisticheskikh metodov v meteorologii* [Application of statistic methods in meteorology]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1963, 416 p.
15. Myslenkov S. A., Krechik V. A., Soloviev D. M. *Analiz temperatury vody v pribrezhnoy zone Baltijskogo morya po sputnikovym dannym i izmereniyam termokosy* [Analysis of water temperature in the coastal zone of the Baltic Sea based on satellite data and thermister chain measurements]. *Trudy Gidrometeorologicheskogo nauchno-issledovatel'skogo tsentra Rossiyskoy Federatsii* [Proceedings of the Hydrometeorological Research Center of the Russian Federation]. 2017, no. 364, pp. 159-169.
16. Ivanov A. *Vvedenie v okeanografiyu* [Introduction to Oceanography]. Moscow, Mir, 1978, p. 574
17. Stepanova N. B., Chubarenko I. P., Shchuka S. A. Structure and Evolution of the Cold Intermediate Layer in the Southeastern Part of the Baltic Sea by the Field Measurement Data of 2004–2008. *Oceanology*, 2015, 55(1), pp. 25–35. DOI: 10.1134/S0001437015010154

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Дубравин Владимир Филиппович* – Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН; доктор географических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории геоэкологии; E-mail: v\_dubravin@mail.ru

*Dubravin Vladimir Filippovich* – P. P. Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences; Leading Researcher of the Laboratory of Geoecology; E-mail: v\_dubravin@mail.ru

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

*Kapustina Mariia Vladimirovna* – P. P. Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences; Junior Researcher, Laboratory of Geoecology; E-mail: kapustina.mariya@ya.ru

*Мысленков Станислав Александрович* – Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова; кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник географического факультета; E-mail: stasocean@gmail.com

*Myslenkov Stanislav Aleksandrovich* – M. V. Lomonosov Moscow State University; Senior Researcher, Faculty of Geography; E-mail: stasocean@gmail.com

УДК 639.3.091

ПАРАЗИТОЦЕНОЗ РЯПУШКИ (COREGONUS ALBULA L.)  
ОЗЕРА ВИШТЫНЕЦКОГО

Е. Б. Евдокимова, С. К. Заостровцева, Е. В. Авдеева, С. В. Шибает, Е. А. Григоренко

PARASITE CENOSIS OF VENDACE (COREGONUS ALBULA L.) IN  
LAKE VISHTYNETSKOYE

E. B. Evdokimova, S. K. Zaostrovceva, E. V. Avdeeva, S. V. Shibaev,  
E. A. Grigorenko

Приводятся данные многолетних исследований паразитоценоза ряпушки оз. Виштынецкого (Калининградской области). Ядро паразитофауны ряпушки в озере составляют три вида паразитов: миксоспоридия *Henneguya zschokkei*, цестода *Proteocephalus exiguus*, паразитический рачок *Ergasilus briani*. Другие виды паразитов встречались единично (пять видов). Внесение в озеро миксоспоридии *Henneguya zschokkei* способствовало расширению ареала ее специфического паразита.

Зоогеографический анализ паразитофауны ряпушки показал, что количество видов паразитов, заражающих ряпушку в водоемах Северо-Запада России, уменьшается к югу.

*паразитоценоз, миксоспоридии, цестоды, паразитические ракообразные, ряпушка, ядро паразитофауны*

The article presents the data of long-term studies of the parasite cenosis of Lake Visnynetskoe (Kaliningrad region). Three types of parasites make up the core of the parasite fauna of vendace in the lake: myxosporidia *Henneguya zschokkei*, cestode *Proteocephalus exiguus*, parasitic crustacean *Ergasilus briani*. Other types of parasites were found separately (5 species). Introduction of myxosporidia *Henneguya zschokkei*, contributed to the expansion of the range of its specific parasite in the lake.

Zoogeographical analysis of the parasite fauna of vendace showed that the number of species of parasites infecting whitefish in water bodies of North-West Russia decreases to the South.

*parasite cenosis, myxosporidia, cestodes, parasitic crustaceans, vendace, parasite fauna core*

ВВЕДЕНИЕ

В водоемах Южной Прибалтики ряпушка сохранилась лишь в некоторых относительно глубоких олиготрофных озерах как реликт ледникового периода. В Калининградской области она представлена единственной популяцией только в оз. Виштынецком, где она не относится к малочисленным видам и на протяжении многих лет доминирует в промысле [1].

Изучение распределения паразитов ряпушки по водоемам Северо-Запада России и зоогеографический анализ паразитофауны европейской ряпушки в этих водоемах позволит понять происхождение и наличие того или иного паразитического организма.

Сотрудниками лаборатории ихтиопатологии и кафедры ихтиологии и экологии КГТУ проводится ежегодный мониторинг по изучению паразитофауны ряпушки и отслеживаются все изменения в ее составе [2, 3].

## МЕТОДЫ

В 2015-2017 гг. методом полного паразитологического анализа исследовано 129 экземпляров ряпушки, размером от 8 до 16 см. Полный паразитологический анализ осуществляли по методике Быховской-Павловской [4].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

У ряпушки на протяжении многих лет обнаруживаются три вида паразитов, составляющих ядро паразитофауны: микроспоридия *Henneguya zschokkei*, цестода *Proteocephalus exiguus*, паразитический рачок *Ergasilus briani*. Другие виды паразитов единично встречаются в отдельные годы: *Mухobolus evdokimovae*, *Trichodina sp.*, *Piscicola geometra*, *Glochidia gen.sp.*, *Argulus foliaceus*.

*Henneguya zschokkei* считается специфичным паразитом для лососевых и сиговых рыб в водоемах Северо-Запада России. Нередки случаи массового заражения рыбы, сопровождающегося значительной гибелью рыбы или порчей ее товарного вида [5].

Заражение ряпушки Виштынецкого озера этим паразитом регистрируется с начала 2000-х гг. после того, как в 2001 г. в озеро была завезена партия рипуса с литовской стороны в целях акклиматизации. Так как данный паразит специфичен к сиговым и лососевым рыбам, он перешел на местную ряпушку и постоянно регистрируется на ней. Зараженность невелика: в 2009 г. она составила 20 %, в 2010 – 10,9, в 2011 – 7,06, в 2012 – 5,95, в 2013 – 5,8, в 2014 – 13,4, в 2015 – 4,6, в 2016 – 8,4, а в 2017 г. – 14 % (рис. 1).

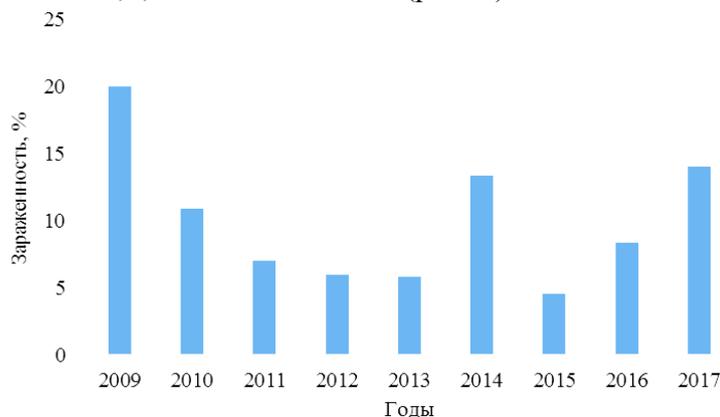


Рис. 1. Экстенсивность заражения ряпушки *Henneguya zschokkei* по годам  
 Fig. 1. Infection extensity of vendace *Henneguya zschokkei* by years

Из рис. 1 видно, что в озере создан устойчивый очаг инвазии. Он будет там находиться до тех пор, пока в озере существует популяция ряпушки.

*Henneguya zschokkei* принадлежит к арктическому пресноводному фаунистическому комплексу, южная граница ее ареала проходит по водоемам Невского округа Балтийской провинции, а это значит, что если произойдет глобальное похолодание, то численность паразита может резко увеличиться.

Таким образом, попадание паразита в Виштынецкое озеро представляет собой потенциальную угрозу для сига и ряпушки в данном водоеме. Изменение температурного режима, усиление эвтрофикации и другие негативные явления могут привести к вспышке заболевания.

При исследовании заражения ряпушки *Proteocephalus exiguus* в оз. Виштынецком было отмечено, что все ее размерные группы содержали паразита. Гельминты на разных стадиях развития (плероцеркоиды и взрослые черви) обнаруживались в кишечнике ряпушки. Это подтверждает, что ряпушка, активно питаясь зоопланктоном, заражается плероцеркоидами, которые в кишечнике рыбы достигают стадии взрослого червя (табл. 1).

Таблица 1. Зараженность *P. exiguus* разноразмерных групп ряпушки

Table 1. Infection of different size groups of vendace with *R. exiguus*

Размерная группа, см	Количество рыб, экз.	Экстенсивность, %	Интенсивность, экз.
8	12	100	от 1 до 43
9	16	100	от 7 до 39
10	16	94	от 0 до 66
11	15	94	от 0 до 81
12	15	94	от 0 до 54
13	15	100	от 1 до 79
14	15	100	от 3 до 180
15	16	100	от 9 до 211
16	9	100	от 7 до 125

Все размерные группы ряпушки на 100 % заражены паразитом, за исключением рыб длиной от 10 до 12 см, у которых зараженность несколько ниже – 94 %. По нашим данным, ряпушка длиной 8 см заражена уже на 100 %. Это вызывает гибель молоди, в связи с чем мы видим более низкий процент заражения у ряпушки длиной 10-12 см. Погибают самые зараженные, остальные выживают. После чего экстенсивность заражения снова приходит к 100 %. Рыба длиной 16 см – уже взрослая особь, у нее выработался иммунитет к паразитам, также несколько низкому проценту заражения способствует вылов.

В 80-е гг. 20 в. зараженность паразитом составляла 60 %, на данный момент – почти 100 % (рис. 2).

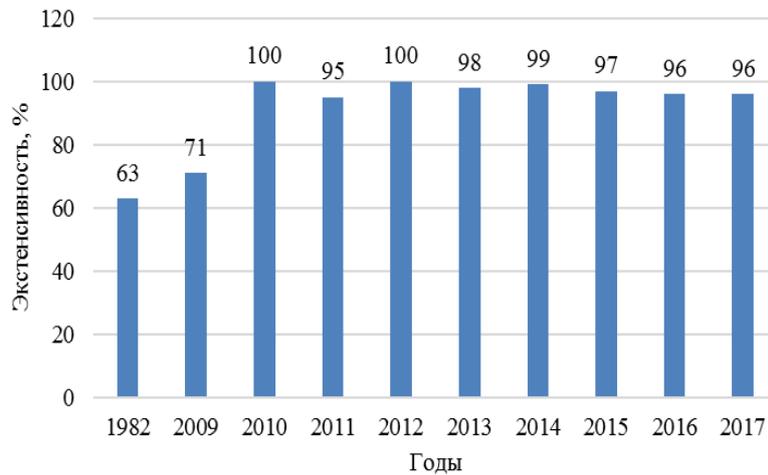


Рис. 2. Экстенсивность заражения ряпушки *Proteocephalus exiguus* по годам  
 Fig. 2. Infection extensity of vendace *Proteocephalus exiguus* by years

Очаг протеоцефалеза постоянно присутствует в озере. Этому способствует то, что ряпушка питается зоопланктоном, в котором преобладают организмы копепоидной группы. Копепоидиты, в свою очередь, являются индикаторами эвтрофности водоема.

Паразитический рачок *Ergasilus briani* у ряпушки оз. Виштынецкого регистрируется постоянно. Ряпушка длиной тела 8 см оказалась незараженной им, далее происходило увеличение заражения до размерной группы 13 см. Науплиусы рачков прикрепляются в июне к трехмесячной молоди ряпушки и заражение начинает нарастать. Снижение экстенсивности заражения у рыб длиной 13 см связано с гибелью части молоди, у которой еще не развился иммунитет к данному паразиту. Еще один скачок заражения оказался у размерной группы 15 см. Рыбы размерной группы 16 см накапливают в себе паразита и экстенсивность доходит до 100 % (табл. 2).

Таблица 2. Зараженность *E. briani* ряпушки в 2017 г.

Table 2. Infection of vendace with *E. briani* in 2017

Размерная группа, см	Количество рыб, экз.	Экстенсивность, %	Интенсивность, экз.
8	12	0	от 0 до 0
9	16	13	от 0 до 3
10	16	19	от 0 до 4
11	15	34	от 0 до 1
12	15	87	от 0 до 7
13	15	60	от 0 до 14
14	15	94	от 0 до 63
15	16	75	от 0 до 165
16	9	100	от 1 до 75

До 2000 г. зараженность *Ergasilus briani* составляла 41 %, потом резко пошла вверх. С 2011 г. начала снижаться, в 2014 – вновь повысилась, а в 2017 г. снова резко снизилась. Все эти изменения, по-видимому, связаны с температурным режимом в озере (рис. 3).

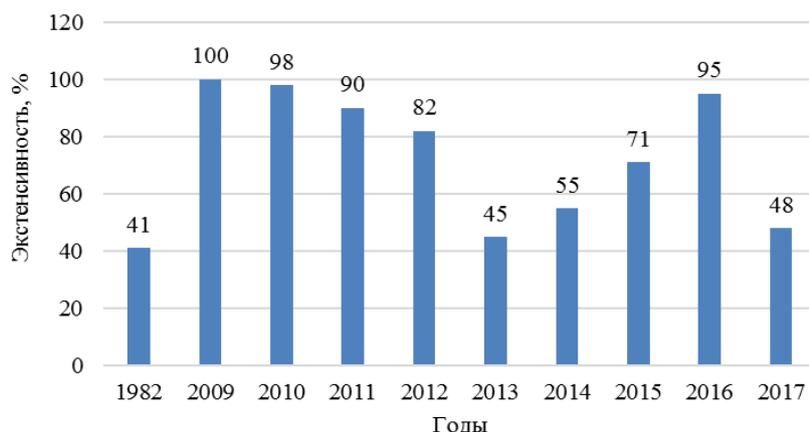


Рис. 3. Многолетние изменения зараженности *Ergasilus briani*  
 Fig. 3. Long-term changes in *Ergasilus briani* infection

Многолетние наблюдения за заражением ряпушки оз. Виштынецкого *E. briani* позволяют считать, что в водоеме сформирован естественный очаг эргазилеза рыб. Это следует учитывать при планировании любых акклиматизационных работ с сиговыми рыбами.

За все время исследований самая высокая зараженность приходится на цестоду *Proteocephalus exiguus* и паразитического рачка *Ergasilus briani*, которые могут приводить к развитию у ряпушки серьезных патологий.

Нами были проанализированы паразитоценозы ряпушки трех географических округов: Европейского (Кольский п-ов), Невского (Карелия), Рейнского (Калининградская область) (табл. 3).

Таблица 3. Количество видов паразитов у ряпушки в некоторых водоемах Северо-Запада России [6, 7].

Table 3. The number of species of parasites in the vendace in some water bodies of the North-West of Russia [6, 7].

№	Водоем	Количество видов паразитов	Зоогеографические области
1	Онежское озеро	28	Невский округ
2	Ладожское озеро	26	Невский округ
3	Оз. Пяозеро	18	Невский округ
4	Оз. Самозеро	16	Невский округ
5	Оз. Имандра	15	Европейский округ
6	Оз. Ловозеро	12	Европейский округ
7	Оз. Колвицкое	22	Европейский округ
8	Оз. Ковдозеро	11	Европейский округ
9	Оз. Умбозеро	9	Европейский округ
10	Оз. Толвоярви	9	Невский округ
11	Оз. Виштынецкое	8	Рейнский округ
12	Оз. Кунозеро	1	Европейский округ
13	Оз. Мончеозеро	1	Европейский округ
14	Оз. Ньюдозеро	1	Европейский округ

По результатам таблицы можно сделать вывод, что количество видов паразитов сокращается по мере продвижения с севера на юг.

Онежское и Ладожское озера наиболее богаты в видовом разнообразии фауны паразитов. Эти озера — самые крупные внутренние водоемы Европы. По биологической классификации Онежское и Ладожское озера относятся к олиготрофному типу. Основу фауны паразитов рыб Онежского и Ладожского озер составляют три хорошо развитых фаунистических комплекса — бореальный предгорный, арктический пресноводный и бореальный равнинный, на долю которых приходится подавляющее число видов паразитов (90 %) [7].

Оба озера занимают одинаковое географическое положение, находясь на стыке двух зоогеографических подобластей Голарктики – Циркумполярной и Средиземноморской, вблизи водоразделов речных бассейнов трех морей – Каспийского, Балтийского и Белого [8].

В распределении паразитов ряпушки по водоемам Кольского полуострова проявляются сильно выраженные различия. Более насыщена паразитофауна в оз. Ковдозеро, Имандра, Колвицкое, Умбозеро и Ловозеро. В этих водоемах встречается большая часть паразитов с прямым циклом развития. Также встречаются паразиты, которыми ряпушка заражается, питаясь зоопланктоном, амфиподами и другими бентосными организмами.

Паразитофауна ряпушки оз. Виштынецкого значительно беднее, чем в других регионах. Это во многом обусловлено тем, что ряпушка в Виштынецком озере обитает на границе своего ареала и, соответственно, потеряла истинно присущих ей паразитов.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование паразитофауны ряпушки оз. Виштынецкого показывает устойчивость ее видового состава. Ядро в настоящее время составляют три вида паразитов: *Henneguya zschokkei*, *Proteocephalus exiguus*, *Ergasilus briani*. Внесение в озеро микроспоридии *Henneguya zschokkei* способствовало расширению ареала ее специфичного паразита.

Высокая зараженность ряпушки цестодой *Proteocephalus exiguus* указывает на то, что она, в основном, питается зоопланктоном, и в его составе в Виштынецком озере преобладают организмы копеподитной группы.

Заражение ряпушки паразитическим рачком *Ergasilus briani* зависит от температурного режима водоема.

Цестода *Proteocephalus exiguus*, паразитический рачок *Ergasilus briani* и микроспоридия *Henneguya zschokkei* сформировали устойчивые очаги инвазии в оз. Виштынецком.

Зоогеографический анализ паразитофауны ряпушки показал, что количество видов паразитов, заражающих её в водоемах Северо-Запада России, уменьшается к югу.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Экологические и рыбохозяйственные аспекты изучения прибрежных зон морей и внутренних водоемов: сб. науч. тр. – Калининград: Издательство КГТУ, 2002. – 197 с.
2. Евдокимова, Е. Б. О возможном влиянии некоторых паразитов ряпушки (*Coregonus albula* (L.)) на численность ее популяции в озере Виштынецком Калининградской области / Е. Б. Евдокимова, С. К. Заостровцева, С. В. Шibaев // Известия КГТУ. – 2010. – №19. – С. 180-187.
3. Евдокимова, Е. Б. Экологические особенности паразитофауны ряпушки (*Coregonus albula* L.) озера Виштынецкого (Калининградская область) / Е. Б. Евдокимова, С. К. Заостровцева, С. В. Шibaев // Биологические науки. – 2011. – №15. – С. 53-60.
4. Быховская-Павловская, И. Е. Паразиты рыб. Руководство по изучению / И. Е. Быховская-Павловская. – Ленинград: Наука, 1985. – 121 с.
5. Васильков, Г. В. Паразитарные болезни рыб и санитарная оценка рыбной продукции / Г. В. Васильков. – Москва: Изд-во ВНИРО, 1999. – 191 с.
6. Паразиты и болезни морских и пресноводных рыб Северного бассейна: сб. науч. труд. ПИНРО / под ред. Н. К. Воробьева, А. В. Зубченко, А. Б. Карасев, С. А. Оганесян, Н. А. Ярагина. – Мурманск: Издательство ПИНРО, 1998. – 176 с.
7. Румянцев, Е. А. Фауна паразитов рыб онежского и ладожского озер (черты сходства и различия) / Е. А. Румянцев // Паразитология. – 2002. – № 36 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.zin.ru/journals/parazitologiya/content/2002> (дата обращения: 11.03.2018).
8. Решетников, Ю. С. Экология и систематика сиговых рыб / Ю. С. Решетников. – Москва: Наука, 1980. – 300 с.

REFERENCES

1. *Ekologicheskie i rybohozjajstvennyye aspekty izuchenija pribrezhnyh zon morej i vnutrennih vodoemov* [Ecological and fishery aspects of studying coastal zones of seas and inland water bodies]. Sb. nauch. tr. Kaliningradskij gosudarstvennyj tehničeskij universitet, Kaliningrad, izdatel'stvo KGTU, 2002, 197 p.
2. Evdokimova E. B., Zaostrovseva S. K., Shibaev S. V. O vozmozhnom vlijanii nekotoryh parazitov rjapushki (*Coregonus albula* (L.)) na chislennost' ee populjacji v ozere Vishtyneckom Kaliningradskoj oblasti [On the possible influence of some parasites of vendace (*Coregonus albula* (L.)) on the abundance of its population in Lake Vishtynetskoye of the Kaliningrad region]. *Izvestija KGTU*, 2010, no. 19, pp. 180-187.
3. Evdokimova E. B., Zaostrovseva S. K., Shibaev S. V. Ekologicheskie osobennosti parazitofauny rjapushki (*Coregonus albula* L.) ozera Vishtyneckogo (Kaliningradskaja oblast') [Ecological features of the parasite fauna of the vendace (*Coregonus albula* L.) in Lake Vishtynetskoye (Kaliningrad region)]. *Biologicheskie nauki*, 2011, no. 15, pp. 53-60.

4. Bykhovskaya-Pavlovskaya I. E. *Parazity ryb. Rukovodstvo po izucheniju* [Fish parasites. A study guide]. L., Nauka, 1985, 121 p.
5. Vasilkov G. V. *Parazitarnye bolezni ryb i sanitarnaja ocenka rybnoj produkcii* [Parasitic diseases of fish and sanitary evaluation of fish products]. Moscow, izdatel'stvo VNIRO, 1999, 191 p.
6. *Parazity i bolezni morskikh i presnovodnyh ryb Severnogo bassejna: sb. nauch. trud. PINRO* [Parasites and diseases of marine and freshwater fish of the Northern Basin: Proceedings of PINRO], ed. N. K. Vorobyeva, A. V. Zubchenko, A. B. Karasev, S. A. Oganessian, N. A. Yaragina. Murmansk, Izdatel'stvo PINRO, 1998, 176 p.
7. Rumyantsev E. A. Fauna parazitov ryb onezhskogo i ladozhskogo ozer (cherty shodstva i razlichija) [Fauna of fish parasites of Lakes Onega and Ladoga (features of similarity and difference)]. *Parasitology*, 2002, no. 36, available at: <https://www.zin.ru/journals/parazitologiya/content/2002> (Accessed 11 March 2018).
8. Reshetnikov Yu. S. *Ekologija i sistematika sigovyh ryb* [Ecology and taxonomy of whitefish]. Moscow, Nauka, 1980, 300 p.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Евдокимова Елизавета Борисовна* – Калининградский государственный технический университет; кандидат биологических наук, доцент кафедры «Ихтиопатология и гидробиология»; E-mail: elavd@mail.ru

*Evdokimova Elizaveta Borisovna* – Kaliningrad State Technical University; PhD in Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Ichthyopathology and Hydrobiology; E-mail: elavd@mail.ru

*Заостровцева Софья Константиновна* – Калининградский государственный технический университет; кандидат биологических наук, доцент кафедры «Ихтиология и экология»; E-mail: zaostrov@klgtu.ru

*Zaostrovseva Sofia Konstantinovna* – Kaliningrad State Technical University; PhD in Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Ichthyopathology and Hydrobiology; E-mail: zaostrov@klgtu.ru

*Авдеева Елена Витальевна* – Калининградский государственный технический университет; кандидат биологических наук, профессор кафедры «Ихтиопатология и гидробиология»; E-mail: elena.avdeeva@klgtu.ru, elavd@mail.ru;

*Avdeeva Elena Vitalievna* – Kaliningrad State Technical University; PhD in Biological Sciences, Professor of the Department of Ichthyopathology and Hydrobiology; E-mail: elena.avdeeva@klgtu.ru, elavd@mail.ru

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

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

*Григоренко Елизавета Александровна* – Калининградский государственный технический университет; магистр по направлению «Водные биоресурсы и аквакультура»

*Grigorenko Elizaveta Aleksandrovna* – Kaliningrad State Technical University; Master degree holder in «Water bioresources and aquaculture»

УДК 639.3.091

ФАУНА ПАРАЗИТОВ КОРЮШКИ И СЧЕТКА КУРШСКОГО ЗАЛИВА  
В УСТЬЕ РЕКИ НЕМАН

Е. Б. Евдокимова, Е. В. Авдеева, С. К. Заостровцева, А. С. Бурбах, А. Д. Карбан

THE FAUNA OF PARASITES OF *OSMERUS EPERLANUS EPERLANUS*  
AND *OSMERUS EPERLANUS EPERLANUS M. SPRINCHUS* OF THE CURONIAN  
LAGOON AT THE MOUTH OF THE NEMAN RIVER

E. B. Evdokimova, E. V. Avdeeva, S. K. Zaostrovceva, A. S. Burbah, A. D. Karban

Проведены четырехлетние паразитологические исследования корюшки в устье р. Неман. В этом же районе впервые исследована паразитофауна снетка в течение двух лет. У корюшки обнаружено 11 видов паразитов: *Glugea hertwigi*, *Proteocephalus longicollis*, *Triaenophorus nodulosus*, *Diplostomum mergi*, *Corynosoma semerme*, *Metechinorhynchus salmonis*, *Cystidicola farionis*, *Contracaecum osculatum*, *Glochidia gen sp.*, *Ergasilus briani*, *Piscicola geometra*. У снетка найдено шесть видов паразитов: *Glugea hertwigi*, *Eimeria clupearum*, *Proteocephalus longicollis l.*, *Proteocephalus longicollis*, *Triaenophorus nodulosus*, *Glochidia gen sp.*, *Ergasilus briani*. У корюшки преобладают виды со сложным циклом развития, которых она приобретает, питаясь в основном бокоплавами, находясь с ними в пространственной близости у дна водоема. У снетка обнаружены паразиты, свидетельствующие о том, что он держится преимущественно в толще воды, где заражается паразитами с прямым циклом развития. Цестоды *Proteocephalus longicollis* и *Triaenophorus nodulosus* попадают в снетка по трофическим путям.

*паразитофауна, паразит, цестоды, простейшие, трофические пути, водоем*

Four-year parasitological studies of the *Osmerus eperlanus eperlanus* at the mouth of the Neman river have been conducted. The parasitofauna of the *Osmerus eperlanus eperlanus m. spirinchus* has been studied in the same area for the first time for two years. Eleven species of parasites have been found in *Osmerus eperlanus eperlanus*: *Glugea hertwigi*, *Proteocephalus longicollis*, *Triaenophorus nodulosus*, *Diplostomum mergi*, *Corynosoma semerme*, *Metechinorhynchus salmonis*, *Cystidicola farionis*, *Contracaecum osculatum*, *Glochidia gen sp.*, *Ergasilus briani*, *Piscicola geometra*. Six types of parasites have been found in *Osmerus eperlanus eperlanus m. spirinchus*: *Glugea hertwigi*, *Eimeria clupearum*, *Proteocephalus longicollis l.*, *Proteocephalus longicollis*, *Triaenophorus nodulosus*, *Glochidia gen sp.*, *Ergasilus briani*. *Osmerus eperlanus eperlanus* are dominated by species with a complex development cycle, which it acquires, feeding mainly on amphipods, being in the vicinity with them near the bottom of the reservoir. In the *Osmerus eperlanus eperlanus m. spirinchus*, parasites have been found, indicating that it is held mainly in the water

column, where it is infected with parasites with a direct development cycle. Cestodes *Proteocephalus longicollis* and *Triaenophorus nodulosus* enter the *Osmerus eperlanus eperlanus m. spirinchus* along trophic routes.

*parasitofauna, parasite, cestodes, protozoa, trophic routes, pond*

#### ВВЕДЕНИЕ

Данные о составе фауны паразитов рыб дают представление о паразитологической ситуации в водоеме. На основании изучения паразитоценоза можно прогнозировать паразитологическую ситуацию в водоеме, уточнить его рыбопродуктивность и биологию рыбы. В настоящее время научных трудов по изучению паразитофауны корюшки немного, сведения в них фрагментарные и не дают представлений о биологии рыбы в конкретном водоеме.

Особенности паразитофауны и биологии корюшки и снетка Куршского залива изучают ихтиологи и ихтиопатологи Калининградского государственного технического университета [1–5].

#### МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Паразитологическому обследованию были подвергнуты в 2015-2018 гг. 100 экз. корюшки и в 2015-2016 гг. – 35 экз. снетка в устье р. Неман при использовании методики полного паразитологического анализа Быховской-Павловской [6].

#### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

За все годы исследования у корюшки обнаружено 11 видов паразитов (табл. 1). Основу паразитофауны составляют паразиты со сложным циклом развития (семь видов). Паразиты с прямым циклом развития представлены четырьмя видами.

Цестод *Proteocephalus longicollis*, *Triaenophorus nodulosus* и нематоду *Contracaecum osculatum* корюшка получает в результате питания зоопланктоном, а также хищничества.

Скребни *Corynosoma semerme* и *Metechinorhynchus salmonis* попадают корюшке при питании донными ракообразными, в частности, реликтовыми бокоплавами *Pontoporeia affinis*. Таким же образом заражается корюшка нематодой *Cystidicola farionis*.

Паразиты с прямым циклом развития: *Glugea hertwigi*, *Glochidia gen sp.*, *Ergasilus briani*, *Piscicola geometra* попадают на корюшку непосредственно из толщи воды. Наиболее высокая зараженность и постоянное присутствие в паразитофауне отмечены для микроспоридии *Glugea hertwigi*, нематод *Cystidicola farionis* и скребней *Corynosoma semerme*. В отдельные годы наблюдений видовой состав паразитофауны незначительно изменялся.

Таблица 1. Паразитофауна корюшки из устья р. Неман в 2015-2018 гг.

Table 1. Parasitofauna of the *Osmerus eperlanus eperlanus* from the mouth of the Neman River in 2015-2018

№ п/п	Вид паразита	Локализация	Зараженность по годам											
			2015			2016			2017			2018		
			Экстенсивность, %	Интенсивность, экз. min - max	Индекс обилия	Экстенсивность, %	Интенсивность, экз. min - max	Индекс обилия	Экстенсивность, %	Интенсивность, экз. min - max	Индекс обилия	Экстенсивность, %	Интенсивность, экз. min - max	Индекс обилия
1	<i>Glugea hertwigi</i>	Поверхность тела, жабры, плавники	92	2-29	-	60	4-27	-	40	4-19	-	72,0	2 - 27	-
2	<i>Proteocephalus longicollis</i>	Кишечник	24	1-2	0,24	20	1-2	0,28	12	3-4	0,44	20,0	1 - 4	0,52
3	<i>Triaenophorus nodulosus</i>	Печень	4	1	0,04	8	1	0,08	-	-	-	16,0	1 - 3	0,32
4	<i>Diplostomum mergi</i>	Глаза	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,0	7	0,28
5	<i>Corynosoma semerme</i>	Поверхность внутренних органов, селезенка, кишечник	56	2-15	2	76	1-19	4,2	80	2-15	4,4	60,0	1 - 7	2,04
6	<i>Metechinorhynchus salmonis</i>	Поверхность внутренних органов, печень	52	4-8	1,8	-	-	-	-	-	-	40,0	1 - 4	1,8
7	<i>Cystidicola farionis</i>	Плавательный пузырь	100	20-74	34	100	20-110	38	100	15-80	33	100,0	20 - 115	40,0
8	<i>Contracecum osculatum</i>	Поверхность внутренних органов, полость тела	-	-	-	20	1-3	0,44	28	1-7	1,12	24,0	1 - 4	0,52
9	<i>Glochidia gen sp.</i>	Поверхность тела и жабры	24	1-3	0,32	28	1-7	0,96	60	1-10	2,24	25,0	1 - 5	0,96
10	<i>Ergasilus briani</i>	Жабры	4	3	0,12	8	2	0,16	-	-	-	8,0	1 - 2	0,12
11	<i>Piscicola geometra</i>	Поверхность тела	-	-	-	12	1	0,12	4	1	0,04	-	-	-

Паразитофауна снетка включает в себя шесть видов (табл. 2), преобладают паразиты с прямым циклом развития (четыре вида). *Eimeria clupearum* была обнаружена в печени снетка только в 2015 г. с экстенсивностью 20,7 %. Наиболее заражен снеток личиночными и взрослыми формами цестоды *Proteocephalus longicollis*, которых он приобретает, поедая копеподитную группу зоопланктона. Личиночные формы цестод *Proteocephalus longicollis* достигают половой зрелости непосредственно в кишечнике снетка.

Таблица 2. Паразитофауна снетка из устья р. Неман в 2015 и 2016 гг.

Table 2. Parasitofauna of the *Osmerus eperlanus eperlanus m. spirinchus* from the mouth of the Neman River in 2015 and 2016

№ п/п	Вид паразита	Локализация	Зараженность по годам					
			2015			2016		
			Экстенсивность, %	Интенсивность, экз. min - max	Индекс обилия	Экстенсивность, %	Интенсивность, экз. min - max	Индекс обилия
1	<i>Glugea hertwigi</i>	Поверхность тела, жабры, плавники	93,3	-	-	-	-	-
2	<i>Eimeria clupearum</i>	Печень	20,7	-	-	-	-	-
3	<i>Proteocephalus longicollis l.</i>	Кишечник	100	17-44	27,3	100	10-35	28,7
	<i>Proteocephalus longicollis</i> (взрослые)	Кишечник	100	20-78	35,3	100	20-60	45,3
4	<i>Triaenophorus nodulosus</i>	Печень	-	-	-	8	1-4	0,2
5	<i>Glochidia gen sp.</i>	Поверхность тела, плавники	86,8	1-12	4,2	68	2-9	6,3
6	<i>Ergasilus briani</i>	Плавники	6,7	1	0,1	-	-	-

Паразитофауну корюшки *Osmerus eperlanus eperlanus* составляли 11 видов паразитов, четыре из которых (*Glugea hertwigi*, *Glochidia gen. sp.*, *Ergasilus briani* и *Piscicola geometra*) имеют прямой цикл развития и попадают в рыбу непосредственно из толщи воды, остальные семь заражают ее по трофическим

путям через промежуточных хозяев - веслоногих ракообразных (Copepoda) и бокоплавов (рода *Pontoporeia*). Пути заражения корюшки *Osmerus eperlanus* паразитами представлены на рис. 1.

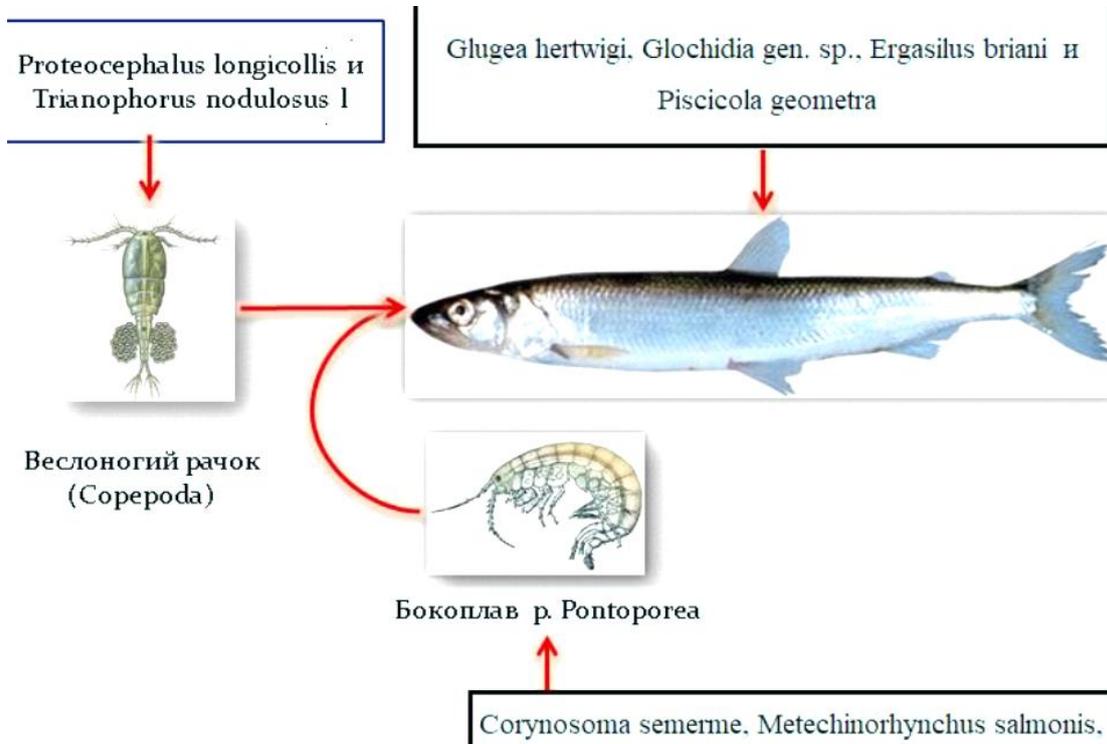


Рис. 1. Пути заражения корюшки *Osmerus eperlanus*  
 Fig. 1. Routes of infection of smelt *Osmerus eperlanus*

Паразитофауна снетка *Osmerus eperlanus eperlanus m. spirinchus* включает в себя шесть видов паразитов: из которых два - цестоды *Proteocephalus longicollis* и *Triaenophorus nodulosus* - используют в своем цикле развития промежуточных хозяев (веслоногих рачков Copepoda) и попадают в снетка по трофическим путям. Остальные четыре вида - паразиты с прямым циклом развития, попадающие в рыбу непосредственно из толщи воды. Пути заражения паразитами снетка *Osmerus eperlanus eperlanus m. spirinchus* показаны на рис. 2

Состав паразитофауны снетка характеризует его как рыбу, придерживающуюся поверхностных слоев воды, однако заходящую иногда в зарослевую зону водоема, где приобретает глехидий моллюсков.

В отличие от снетка паразитофауна корюшки свидетельствует о ее близости ко дну водоема, где она питается в основном бокоплавами.

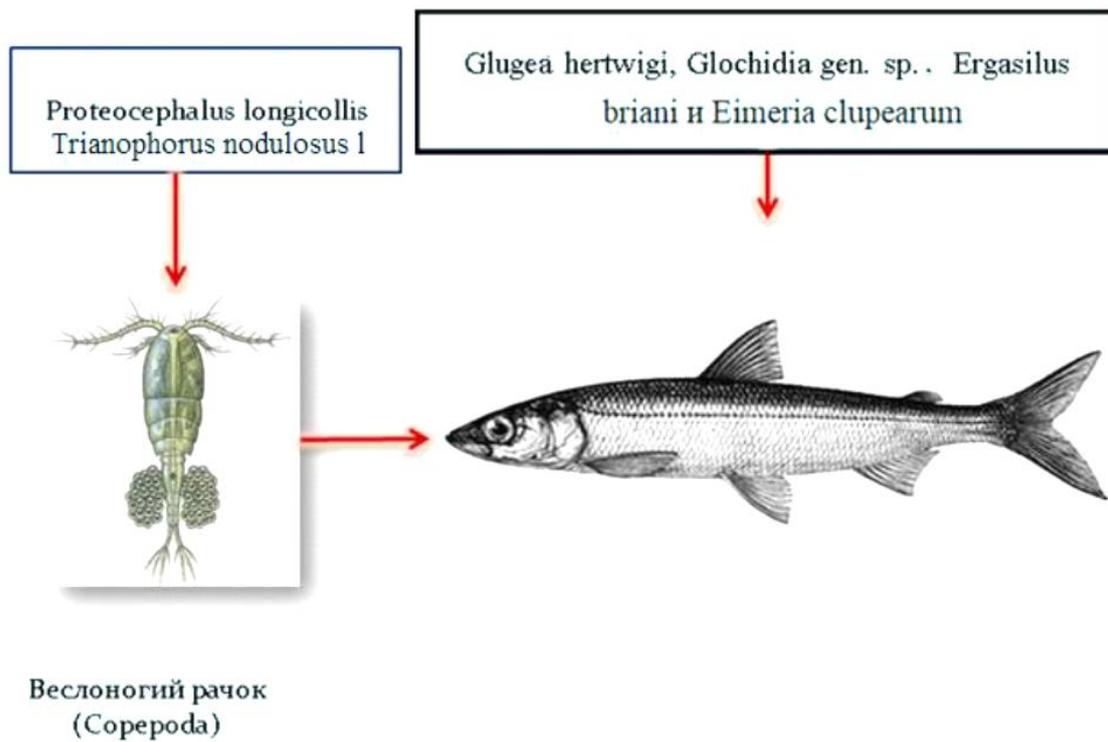


Рис. 2. Пути заражения паразитами сетка *Osmerus eperlanus eperlanus*  
*m. spirinchus*

Fig. 2. Routes of infestation of smelt *Osmerus eperlanus eperlanus*  
*m. spirinchus*

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование паразитофауны сетка и корюшки в 2015-2018 гг. показали, что у корюшки она состоит из 11 видов паразитов: микроспоридия *Glugea hertwigi*, цестоды *Proteocephalus longicollis* и *Trianophorus nodulosus 1*, трематода *Diplostomum mergi*, скребни *Corinosoma ssemerme* и *Metechinorhynchus salmonis*, нематоды *Cystidicola farionis* и *Contracaecum osculatum*. Были найдены личинки двустворчатых моллюсков *Glochidia gen sp.*, паразитический рачок *Ergasilus briani* и пиявка *Piscicola geometra*.

Характер паразитофауны корюшки *Osmerus eperlanus eperlanus* свидетельствует о том, что основу ее питания составляют донные ракообразные, реликтовые рачки рода *Pontoporea*, а это значит, что в водоеме рыба придерживается в основном донных слоев воды.

Паразитофауна сетка *Osmerus eperlanus eperlanus m. spirinchus* представлена шестью видами паразитов: микроспоридия *Glugea hertwigi*, кокцидия *Eimeria clupearum*, цестоды *Proteocephalus longicollis* (на разных стадиях развития) и плероцеркоиды *Triaenophorus nodulosus*, личинки двустворчатых моллюсков *Glochidia gen sp.* и паразитический рачок *Ergasilus briani*.

Наиболее заражен сеток был цестодой *Proteocephalus longicollis* и личинками двустворчатых моллюсков. *Glochidia gen sp.*

Состав паразитофауны сетка *Osmerus eperlanus eperlanus m. spirinchus* показывает, что в водоеме рыба держится преимущественно в верхних слоях воды, иногда заходя в прибрежную зону, в заросли с высшей водной растительностью, и ее питание составляют только компоненты зоопланктона.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Евдокимова, Е. Б. Экологические особенности паразитофауны корюшки (*Osmerus eperlanus eperlanus* Linnaeus, 1758) Куршского залива / Е. Б. Евдокимова, Е. В. Авдеева, С. К. Заостровцева // Водные биоресурсы, аквакультура и экология водоемов: II междунар. науч.- практ. конф. (15-16 октября 2014 г.): тр. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2014. – С. 92-95.
2. Авдеева, Е. В. Особенности фауны паразитов рыб Прибалтики / Е. В. Авдеева, Е. Б. Евдокимова // IX Всесоюзное совещание по паразитам и болезням рыб: сб. тез. докл. – Ленинград, 1990.
3. Авдеева, Е. В. Биоразнообразие паразитов рыб в водоемах Калининградской области / Е. В. Авдеева, Е. Б. Евдокимова, С. К. Заостровцева // Водные биоресурсы, аквакультура и экология водоемов: сб. науч. тр. – Калининград, 2013. – С. 224-226.
4. Евдокимова, Е. Б. Биоразнообразие фауны паразитов рыб реки Неман до введения в эксплуатацию Балтийской АЭС / Е. Б. Евдокимова, Е. В. Авдеева, С. К. Заостровцева // Экологическая безопасность АЭС: II науч.- практ. конф. с международным участием, посвящ. 70-летию атомной отрасли России (20–21 окт. 2015): тр. – Калининград: Изд-во «Аксиос», 2015. – С. 63-66.
5. Авдеева, Е. В. Современное состояние изучения паразитофауны рыб водоемов Калининградской области / Е. В. Авдеева, Е. Б. Евдокимова, С. К. Заостровцева // Известия Калининградского государственного технического университета. – 2017. – № 45. – С. 24 – 61.
6. Быховская – Павловская, И. Е. Паразиты рыб: Руководство по обучению / И. Е. Быховская-Павловская. – Ленинград, 1985. – 121 с.

## REFERENCES

1. Evdokimova E. B., Avdeeva E. V., Zaostrovceva S. K. *Ekologicheskie osobennosti parazitofauny korjushki (Osmerus eperlanus eperlanus Linnaeus, 1758) Kurshskogo zaliva* [Ecological features of smelt parasitofauna (*Osmerus eperlanus eperlanus* Linnaeus, 1758) of the Curonian lagoon]. *Vodnye bioresursy, akvakul'tura i jekologija vodoemov: II mezhdunar. nauch.- prakt. konf.* Kaliningrad: FGBOU VPO KGTU [Proceedings of the second scientific-practical conference "Aquatic bioresources, aquaculture and ecology of water bodies", 15-16 October 2014]. Kaliningrad, izdatel'stvo KGTU, 2014 pp. 92-95.
2. Avdeeva E. V., Evdokimova E. B. *Osobennosti fauny parazitov ryb Pribaltiki* [Special features of fish parasitofauna in the Baltic states]. *IX Vsesojuznoe soveshhanie po parazitam i boleznyam ryb: sbornik tezisov dokladov* [IX All-Union meeting on fish parasites and diseases: collection of abstracts]. Leningrad, 1990.

3. Avdeeva E. V., Evdokimova E. B., Zaostrovceva S. K. Bioraznoobrazie parazitov ryb v vodoemah Kaliningradskoj oblasti [Biodiversity of fish parasitofauna in the water bodies of the Kaliningrad region]. *Nauchnaja konferencija "Vodnye bioresursy, akvakul'tura i jekologija vodoemov"*, 25-26 sentjabrja [Scientific conference "Aquatic bioresources, aquaculture and ecology of water reservoirs", 25-26 September]. Kaliningrad, 2013, pp. 224-226.

4. Evdokimova E. B., Avdeeva E. V., Zaostrovceva S. K. Bioraznoobrazie fauny parazitov ryb reki Neman do vvedenija v jekspluataciju Baltijskoj AJeS [Biodiversity of fish parasite fauna in the Neman river prior to initial operation of the Baltic NPS]. *Trudy Vtoroj nauchno-prakticheskoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem, posvjashhennoj 70-letiju atomnoj otrasli Rossii «Jekologicheskaja bezopasnost' AJeS»*, Kaliningrad, 20–21 oktjabrja 2015 g. [Proceedings of the second research conference with international participants, dedicated to the 70th anniversary of the nuclear power industry of Russia "Environmental safety of NPS", Kaliningrad, 20–21 October 2015]. Kaliningrad, Aksios, 2015, pp. 63-66.

5. Avdeeva E. V., Evdokimova E. B., Zaostrovceva S. K. Sovremennoe sostojanie izuchenija parazitofauny ryb vodoemov Kaliningradskoj oblasti [Current status of the research of parasitofauna of the fish in the Kaliningrad region water bodies] *Izvestija Kaliningradskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta*. 2017, no. 45, pp. 24-61.

6. Bykhovskaya-Pavlovskaya I. E. *Parazity ryb. Rukovodstvo po obucheniju* [Fish parasites. Study guide]. L., Nauka, 1985, 121 p.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Евдокимова Елизавета Борисовна* – Калининградский государственный технический университет; кандидат биологических наук, доцент кафедры «Ихтиопатология и гидробиология»; E-mail: elavd@mail.ru

*Evdokimova Elizaveta Borisovna* – Kaliningrad State Technical University; PhD in Biological Sciences, Associate professor of the Department of Ichthyopathology and Hydrobiology; E-mail: elavd@mail.ru

*Авдеева Елена Витальевна* – Калининградский государственный технический университет; кандидат биологических наук, профессор кафедры «Ихтиопатология и гидробиология»; E-mail: elena.avdeeva@klgtu.ru, elavd@mail.ru

*Avdeeva Elena Vitalievna* – Kaliningrad State Technical University; PhD in Biological Sciences, Professor of the Department of Ichthyopathology and Hydrobiology; E-mail: elena.avdeeva@klgtu.ru, elavd@mail.ru

*Заостровцева Софья Константиновна* – Калининградский государственный технический университет; кандидат биологических наук, доцент кафедры «Ихтиология и экология»; E-mail: zaostrov@klgtu.ru

*Zaostrovseva Sofia Konstantinovna* – Kaliningrad State Technical University;  
PhD in Biological Sciences, Associate Professor of the Department  
of Ichthyology and Ecology; E-mail: [zaostrov@klgtu.ru](mailto:zaostrov@klgtu.ru)

*Бурбах Анна Сергеевна* – Калининградский государственный технический  
университет; магистр по направлению «Водные биоресурсы и аквакультура»;  
ведущий инженер кафедры «Ихтиология и экология»

*Burbah Anna Sergeevna* – Kaliningrad State Technical University; master  
degree holder in «Water bioresources and aquaculture»; chief engineer  
of the Department of Ichthyology and Ecology

*Карбан Александра Дмитриевна* – Калининградский государственный  
технический университет; магистр по направлению «Водные биоресурсы  
и аквакультура»

*Karban Aleksandra Dmitrievna* – Kaliningrad State Technical University;  
master degree holder in «Water bioresources and aquaculture»

УДК 556.531.4

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ РЕКИ НЕМАН В ПРЕДЕЛАХ  
КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Н. А. Цупикова, Т. А. Берникова, Е. В. Кривоускова, Н. Н. Цветкова

ECOLOGICAL CONDITION OF THE NEMAN RIVER WITHIN  
THE KALININGRAD REGION

N. A. Tsupikova, T. A. Bernikova, E. V. Krivopuskova, N. N. Tsvetkova

Рассмотрено экологическое состояние р. Неман в пределах Калининградской области по материалам, собранным сотрудниками кафедры «Ихтиология и экология» ФГБОУ ВО «КГТУ» в период 2007-2017 гг. в рамках комплексного мониторинга р. Неман. Для оценки возможного воздействия Балтийской АЭС на экосистему нижнего течения р. Неман особое внимание уделено анализу гидрохимических показателей на трех стандартных станциях: фоновой, контрольной и замыкающей. Проанализирована межгодовая изменчивость основных гидрологических и гидрохимических параметров в марте, мае и августе. Рассмотрен временной ход основных гидрохимических параметров воды, включая хлорофилл «а» в 2014 г. Сезонная динамика проанализирована путем осреднения всех данных за 2007-2017 гг. по календарным сезонам. Показано, что величина рН всегда сдвинута в щелочную сторону. Кислородные условия благоприятны, однако зимой насыщенность воды кислородом заметно снижена. Перманганатная окисляемость воды обычно повышенная, особенно в весенне-летний период и особенно в замыкающем створе. Осенью количество органических веществ в воде снижается, перманганатная окисляемость переходит в класс «средняя». Сезонный ход фосфора фосфатов не нарушен: максимум наблюдается зимой, минимум – в весенне-летний период. Особенно много фосфора накапливается в замыкающем створе. Сезонный ход азота аммонийного в какой-то мере нарушен, что может свидетельствовать о загрязнении воды. Концентрация железа в целом наиболее высока в зимнюю межень, что связано с увеличением доли грунтовых вод в питании реки, в период осенних дождевых паводков содержание железа закономерно снижено. Какая-либо закономерность в распределении рассмотренных показателей между станциями не обнаружена. Долгосрочные изменения большинства рассматриваемых показателей в целом согласуются друг с другом и соответствуют их естественному ходу.

*р. Неман, растворенной кислород, перманганатная окисляемость, фосфор фосфатов, азот аммонийный, хлорофилл "а", сезоны*

The paper considers ecological condition of the Neman River within the Kaliningrad Region on the basis of the materials collected by the members of the

Ichthyology and Ecology Department of Kaliningrad State Technical University in 2007-2017 within the framework of a comprehensive monitoring of the Neman River which included assessment of the watercourse background status in the area of possible impacts of the Baltic NPP under construction. To assess the possible impact of the Baltic NPP on the ecosystem of the lower Neman River, special attention was paid to the analysis of hydrochemical indicators at three standard stations: background, control and closing. A detailed geocological description of the study area is given. Interannual variability of the main hydrological and hydrochemical parameters in March, May and August was analyzed. Variation of the main hydrochemical parameters including chlorophyll "a" with time in 2014 was examined. Seasonal dynamics was analyzed by averaging all data for 2007-2017 for calendar seasons. It is shown that pH value is always shifted toward the alkaline side. Oxygen conditions are favorable but in winter oxygen saturation of water is markedly reduced. Permanganate value is usually increased, especially during the spring-summer period and especially at the closing station. In autumn, the amount of organic matter in water decreases, permanganate value changes for the "medium" class. Seasonal dynamics of phosphorus is not disturbed: its maximum is observed in winter and minimum – within the spring-summer period. Especially large accumulations of phosphorus were found at the closing station. Seasonal variation of ammonium nitrogen is to some extent disturbed which may indicate water contamination. Concentration of iron is generally the highest during winter runoff low that is explained with an increase of groundwater share in the river water supply, during the autumn rainfall the iron content is regularly reduced. There is no regularity in the distribution of the considered indicators between the stations. Long-term changes in most of the examined indicators are generally consistent with each other and with their natural changes.

*riv. Neman, dissolved oxygen, permanganate oxidability, phosphorus-phosphates, ammonium nitrogen, chlorophyll "a", seasons*

## ВВЕДЕНИЕ

Комплекс физико-географических и антропогенных факторов накладывает важный отпечаток на условия, в которых складывается экологическая ситуация. При этом ее формирование в речном бассейне обусловлено исторически, и уязвимость экосистемы водного объекта зависит от сбалансированности абиогенных условий природной среды, основных биотических компонентов и техногенной нагрузки, которые подвержены как пространственной, так и временной изменчивости.

В 2010 г. в непосредственной близости к р. Неман и приблизительно в 10 км от границы с Литовской Республикой началось строительство Балтийской АЭС. Ее сооружение привлекают повышенное общественное внимание не только в РФ, но и в Литве. В связи с этим цель предлагаемой статьи состоит в рассмотрении гидрохимических условий реки и их временной динамики в районе строящейся Балтийской АЭС.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Оценка экологического состояния р. Неман (в пределах Калининградской обл.) производилась на основе анализа материалов, полученных сотрудниками кафедры «Ихтиология и экология» ФГБОУ ВО «КГТУ» в период 2007-2017 гг. в рамках комплексного мониторинга р. Неман, включая работы по оценке фоновому состоянию водотока в районе возможного воздействия строящейся Балтийской АЭС.

Все наблюдения проводились согласно общедоступным стандартным методикам. Определение температуры воды, содержания растворенного кислорода осуществлялось прибором WTW-375i, электропроводности и величины рН – прибором WTW Multiline P3 непосредственно при отборе проб. Вода для гидрохимического анализа отбиралась ведром в пластиковые бутылки в приустьевых участках, обычно на расстоянии 1,5-3 м от левого берега на глубине 0,7-0,8 м. Гидрохимический анализ отобранных проб осуществлялся в лаборатории кафедры ихтиологии и экологии.

Для оценки возможного воздействия Балтийской АЭС на экосистему нижнего течения р. Неман и фоновому мониторинга отслеживались гидрохимические показатели на трех стандартных станциях:

- станция 1 (в районе пос. Большое Село, выше г. Неман) – фоновый створ, необходимый для оценки качества воды в р. Неман, поступающей с территории Литовской Республики, находящийся выше предполагаемого водосброса Балтийской АЭС и выше основных крупных городов, расположенных на территории РФ – г. Немана и г. Советска. В районе этой станции учитывается также влияние на экологическое состояние водотока двух его крупных притоков: р. Шешупе (впадает в р. Неман с территории РФ, с левого берега) и р. Юра (впадает в р. Неман с территории Литвы, с правого берега);

- станция 2 (ниже г. Советска) – в определенной степени дает возможность изучить, рассмотреть влияние крупных городов (г. Неман и г. Советск) на состояние реки ниже по течению, а также дать оценку возможного влияния сбросных вод атомной станции на экосистему, испытывающую значительное антропогенное воздействие;

- станция 3 (пос. Ясное) – замыкающий створ, располагающийся в приустьевой части р. Неман до его разделения на рукава Скирвите и Атмату, но после отделения рукава Матросовка. Позволяет проанализировать экологическое состояние вод Немана перед впадением в Куршский залив, а также оценить степень самоочищения реки после прохождения районов с низким уровнем антропогенного воздействия.

## РАЙОН ИССЛЕДОВАНИЯ

Неман является одной из крупнейших рек, впадающих в Балтийское море, и относится к категории трансграничных водных объектов. В пределах территории Российской Федерации (Калининградская область) располагается нижнее течение реки, а также южная часть его обширной дельты. Из общей длины р. Неман, равной 937 км, и общей площади бассейна 98,2 тыс. км<sup>2</sup> на долю

территории Калининградской области приходится только 107 км и 3,1 тыс. км<sup>2</sup> соответственно [1, 2]. Тем не менее, Неман занимает особое место не только в гидрографической сети области, но и обладает особым правовым статусом, по реке проходит государственная граница РФ с Литовской Республикой, поэтому любая хозяйственная и природоохранная деятельность осуществляется в соответствии с двухсторонними соглашениями и международным правом.

Река Неман – самый крупный водоток области, река высшей рыбохозяйственной категории. На ее берегах расположены достаточно крупные города Советск и Неман и населенные пункты, связанные густой сетью автомобильных и железных дорог (плотность автодорог общего пользования с твердым покрытием – 513 км на 1000 км<sup>2</sup> территории) [3]. На территории бассейна в области проживает около 120 тыс. человек, из которых более 58 % – городское население. Здесь развиты целлюлозно-бумажная и пищевая промышленность, металлообработка. Высокопродуктивные сельскохозяйственные угодья создают предпосылки для интенсивного развития сельского хозяйства, в частности, молочного и мясомолочного животноводства [2]. Внимание к реке особенно возросло в последние годы в связи со строящейся в ее нижнем течении (около пос. Маломожайское) Балтийской АЭС. Бассейн р. Неман имеет широко разветвленную гидрографическую сеть, при этом наиболее крупные притоки в пределах области – правые, стекают с территории Литвы; левые (кроме нескольких совсем мелких) – р. Шешупе (длина 308, в пределах области – 114 км), которая в значительной части также проходит по территории Литвы, и р. Тыльжа длиной 44 км.

Значительную роль в формировании экологической ситуации в речном бассейне играет комплекс физико-географических и антропогенных факторов. При этом формирование экологической ситуации в речном бассейне обусловлено исторически, и уязвимость экосистемы водного объекта зависит от сбалансированности абиогенных условий природной среды, основных биотических компонентов и техногенной нагрузки, которые подвержены как пространственной, так и временной изменчивости.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Как показали наши наблюдения, диапазон колебаний значений гидрохимических параметров в р. Неман за период исследований (2007-2017 гг.) весьма значителен.

Термический режим реки определяется погодными и климатическими особенностями и находится под влиянием теплообмена с атмосферой. В связи с этим ледовый режим отличается большой неустойчивостью. Из-за неустойчивости температурного режима часто наблюдаются осенние зажоры и зимние и весенние заторы. В середине второй половины марта обычно начинается вскрытие реки и весенний прогрев, температура воды в марте 2014 г. поднялась до 8 °С, однако в последующие годы была более низкой – около 6 °С. В мае происходит дальнейший прогрев, температура в разные годы изменялась в

пределах 17...23 °С, при этом на станции под г. Советском была более низкой. Последнее может свидетельствовать о влиянии притоков.

Температурные условия в августе можно разделить на два периода: более теплый 2007-2013 гг. и менее теплый 2014-2017 гг. Наиболее высокая температура воды в период наших работ наблюдалась в 2013 г., наиболее низкая – в 2014 г.; в последующие годы ее значения постепенно повышались.

Электропроводность – показатель, характеризующий содержание солей в воде, косвенно может давать представление о ее загрязнении. В марте и в августе она оставалась на уровне фоновых значений, в мае во все годы была несколько повышенной. Это может быть связано с половодьем, во время которого увеличивается поступление воды с площади водосбора. Повышенная электропроводность на ст. Большое Село, по-видимому, объясняется поступлением более минерализованных вод притоков. Ее межгодовая изменчивость незначительна (рис. 1).

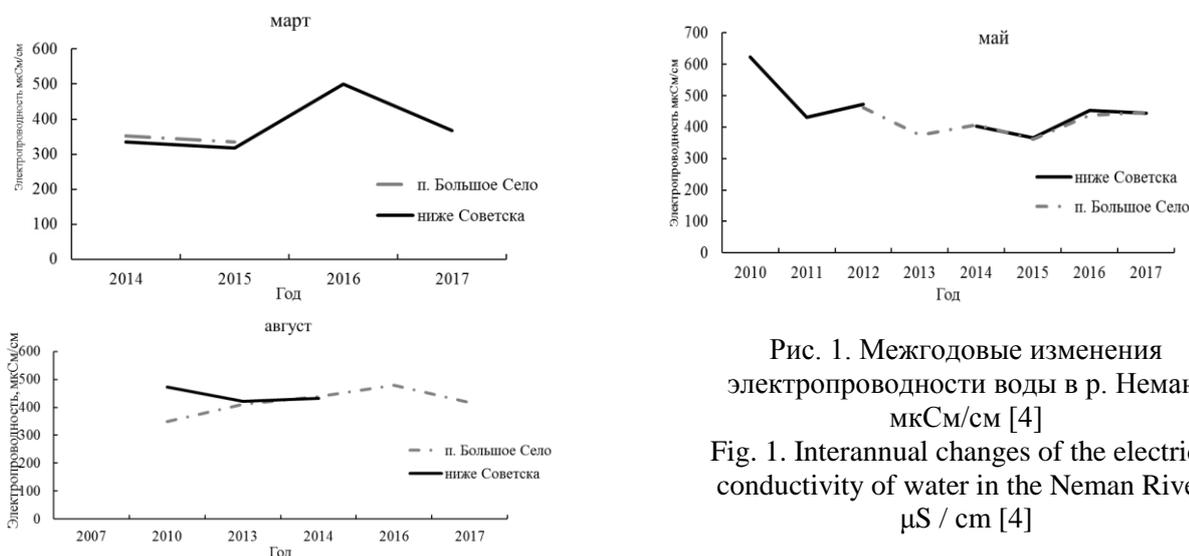


Рис. 1. Межгодовые изменения электропроводности воды в р. Неман, мкСм/см [4]

Fig. 1. Interannual changes of the electrical conductivity of water in the Neman River, μS / cm [4]

Водородный показатель сдвинут в щелочную сторону. Межгодовые изменения рН аналогичны ходу температуры воды (рис. 2).

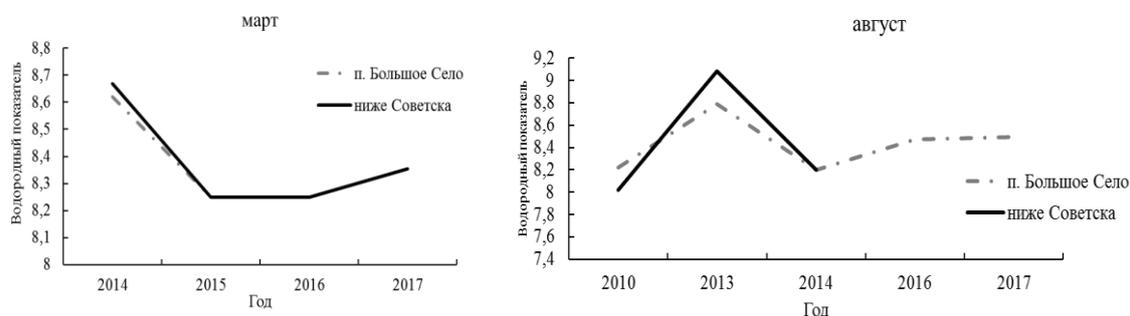


Рис. 2. Межгодовые изменения величины рН в р. Неман [4]

Fig. 2. Interannual changes of pH in the river Neman [4]

Кислородные условия в целом благоприятны и их изменения обратны ходу температуры (рис. 3). Это объясняется повышением расходования кислорода на окислительные процессы при более высокой температуре. В холодный период расходование кислорода замедляется. Обращает на себя внимание очень низкое, вплоть до дефицита, содержание кислорода в марте и мае 2016 г. Различия между станциями невелики.

Перманганатная окисляемость (рис. 4), свидетельствующая о содержании легкоокисляемых органических веществ, в разные годы изменяется (в соответствии с общеизвестной классификацией О. А. Алёкина) от «средней» (5-10 мг О/дм<sup>3</sup>) до «повышенной» (10-20 мг О/дм<sup>3</sup>). При этом в августе, в более теплый период (2007-2013 гг.), окисляемость «повышенная», начиная с 2014 г. (более холодный период), переходит в класс «средняя».

Биогенных веществ содержится в водах реки обычно много, при этом изменения азота аммонийного, нитритов и фосфора фосфатов по годам в августе аналогичны (рис. 5).

Для анализа сезонных изменений основных параметров воды результаты, полученные в период 2007-2017 гг., осреднены по календарным сезонам (рис. 6). Температура воды наиболее высокой (кроме зимы) была в фоновом створе, наиболее низкой – в замыкающем. Электропроводность воды во все сезоны, кроме зимы, уменьшалась по мере продвижения от фонового створа к замыкающему.

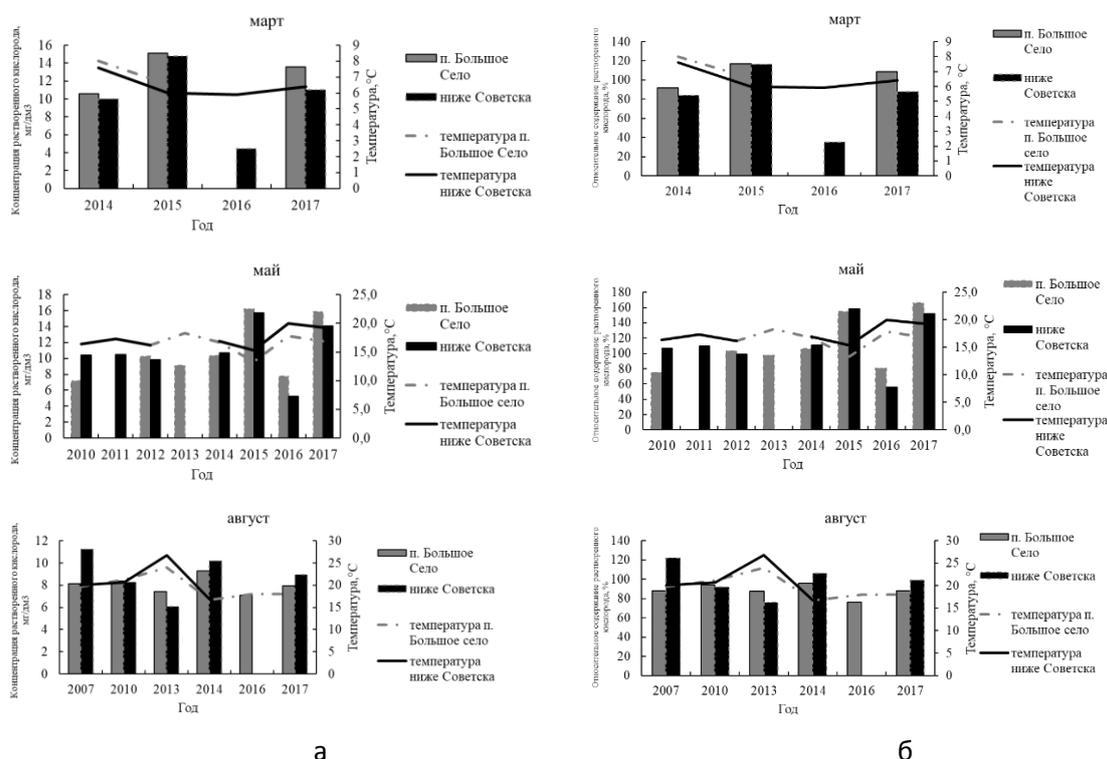


Рис. 3. Межгодовые изменения содержания растворенного кислорода в р. Неман: а – абсолютного, мг/дм<sup>3</sup>, б – относительного, % [4]

Fig. 3. Interannual changes of the content of dissolved oxygen in the river Neman: a - absolute, mg/dm<sup>3</sup>, b – relative, % [4]

Величина рН всегда сдвинута в щелочную сторону, особенно ниже г. Советска. Кислородные условия во все сезоны благоприятны, однако зимой насыщенность воды кислородом заметно снижена, что естественно, учитывая заметное возрастание растворимости кислорода при низкой температуре.

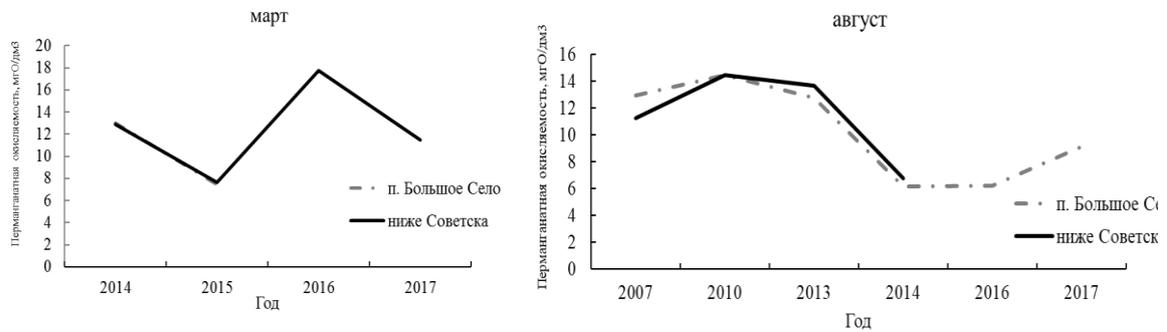


Рис. 4. Межгодовые изменения величины перманганатной окисляемости воды, мг О/дм<sup>3</sup>, в р. Неман [4]

Fig. 4. Interannual changes of the permanganate water oxidation, mg O/dm<sup>3</sup>, in the Neman River [4]

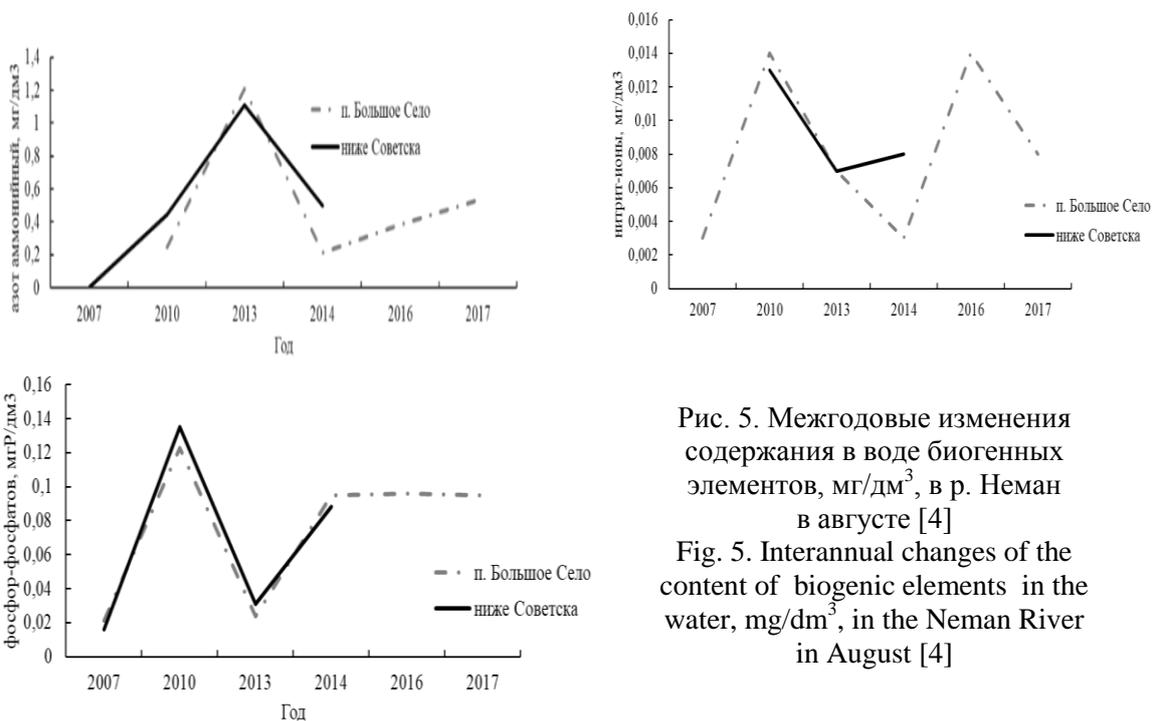


Рис. 5. Межгодовые изменения содержания в воде биогенных элементов, мг/дм<sup>3</sup>, в р. Неман в августе [4]

Fig. 5. Interannual changes of the content of biogenic elements in the water, mg/dm<sup>3</sup>, in the Neman River in August [4]

Перманганатная окисляемость воды обычно повышенная, особенно в весенне-летний период и особенно в замыкающем створе. Осенью количество органических веществ в воде снижается, перманганатная окисляемость переходит в класс «средняя». Сезонный ход фосфора фосфатов не нарушен: максимум наблюдается зимой, минимум – в весенне-летний период. Особенно много фосфора накапливается в замыкающем створе.

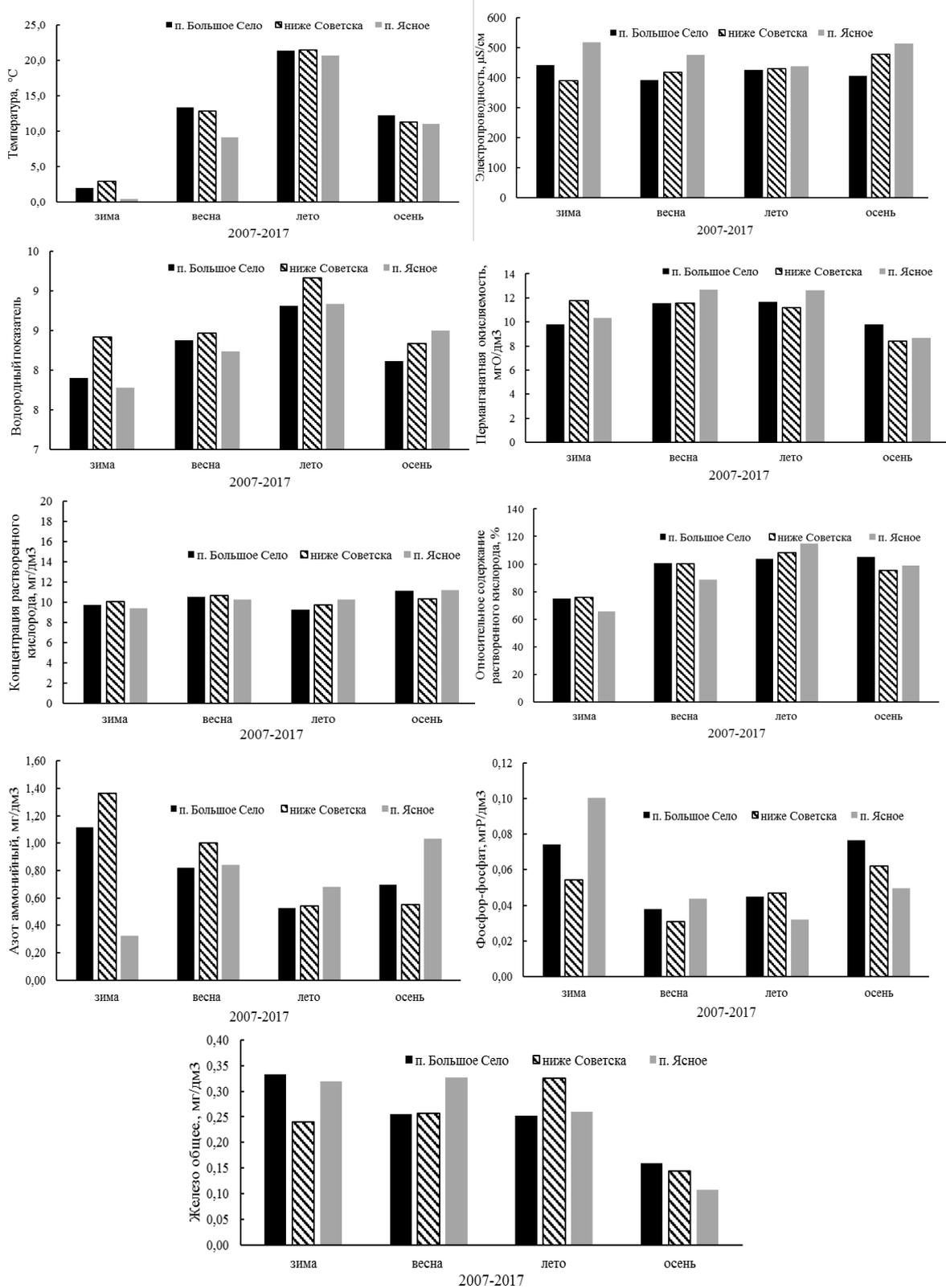


Рис. 6. Изменения основных гидрохимических параметров в р. Неман по сезонам  
 Fig. 6. Changes in the basic hydrochemical parameters in the Neman River by seasons

Сезонный ход азота аммонийного в какой-то мере нарушен, что может свидетельствовать о загрязнении воды: годовой максимум в двух верхних створах зафиксирован зимой. Концентрация железа в целом наиболее высока в зимнюю межень, что связано с увеличением доли грунтовых вод в питании реки. В период осенних дождевых паводков содержание железа закономерно снижено.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Какая-либо закономерность в распределении рассмотренных показателей между станциями не обнаружена. Долгосрочные изменения большинства рассматриваемых показателей в целом согласуются друг с другом и соответствуют их естественному ходу.

Одной из важнейших причин возникновения экологических проблем является недостаточная очистка сточных вод при их отведении в поверхностные водные объекты, обусловленная малой эффективностью работы очистных сооружений или же их отсутствием во многих населенных пунктах. Около 99,9 % вод, сбрасываемых в поверхностные водные объекты бассейна р. Неман, относятся к загрязненным (из них около 20 % попадают в водные объекты без очистки, остальные 80 % – недостаточно очищенные) и всего 0,1 % – к нормативно-чистым. По данным отчетности 2ТП-водхоз за 2009 г. [2] безвозвратное водопотребление в бассейне р. Неман (24,9 %) выше среднего по области, а потери при транспортировке достигают 11,8 % от величины общего водозабора.

Согласно схемы комплексного использования и охраны водных объектов (СКИОВО) р. Неман [2] качество воды в ее бассейне изменяется от 3 до 4 класса (от «загрязненной» до «грязной»), хотя необходимо учитывать, что в конкретные сроки в разных створах оценка может быть иной.

Обобщенная экологическая характеристика р. Неман следующая: по содержанию кислорода вода оценивается как «вполне чистая»; по концентрации азота нитритов – «достаточно чистая»; по фосфору фосфатов – «слабо загрязненная»; по уровню рН, величине перманганатной окисляемости, концентрации азота аммонийного и нитратного, а также хлорофилла «а» – «умеренно загрязненная».

Легко заметить, что преобладающей характеристикой вод реки по гидрохимическим показателям является «умеренно загрязненная». Однако в том и другом случае необходимо учитывать, что в конкретные сроки в разных створах оценка может быть иной. По содержанию хлорофилла «а» приустьевой участок Неман в 2014 г. в мае-июле характеризовался как эвтрофный, начиная с августа, – как мезотрофный (кроме станции ниже Советска: 20.09.14 г. – эвтрофный [6-8]).

Неман и крупные водотоки в дельтовой низменности определяют биогенную нагрузку на Куршский залив. Следует подчеркнуть, что реки Неман и Шешупе приходят на территорию области достаточно загрязненными – качество воды в приграничных створах нередко бывает хуже, чем ниже по течению. Естественно, что при движении от границы до места впадения водоток принимает определенное количество загрязнений от точечных и диффузных источников, существуют участки, где река получает основной объем загрязнений и где происходит самоочищение воды. Исследования, проведенные в 2010 г.,

подтвердили отмеченные ранее закономерности. Основную нагрузку на территорию области оказывают реки, текущие с территории Республики Литва (за счет р. Неман-Шешупе). При этом объем азота нитритов, фосфора минерального, железа общего и отчасти нитратов, выносимый в Куршский залив р. Неман, в 2010 г. мало отличался от объема, поступившего в Калининградскую область с сопредельных территорий. С учетом природных особенностей можно заключить, что на территории Калининградской области значительная часть биогенных веществ, переносимых р. Неман, удерживается главным образом за счет подпора со стороны принимающего водоема, высокой степени заболоченности бассейна, равнинного рельефа, снижающего скорость течения и объем переноса биогенных веществ.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Схема комплексного использования и охраны водных объектов бассейнов реки Неман и рек бассейна Балтийского моря (российская часть в Калининградской обл.) (код 01.01.00). Проект. Сводный том СКИОВО реки Неман и рек бассейна Балтийского моря (российская часть бассейна в Калининградской области) Москва, 2012. – 105 с. [Электронный ресурс]. – URL: [http://www.klgd.ru/municipal\\_services/ecology/svodnyi\\_tom\\_skiovo.pdf](http://www.klgd.ru/municipal_services/ecology/svodnyi_tom_skiovo.pdf) (дата обращения 18.06.2018).
2. Цупикова, Н. А. Физико-географические и антропогенные факторы формирования экологической ситуации в бассейне р. Неман в пределах Калининградской области / Н. А. Цупикова, Т. А. Берникова, Н. Н. Цветкова, Е. В. Кривоускова // Экологическая безопасность АЭС: II науч.-практ. конф. с междунар. участием, посвящ. 70-летию атомной отрасли России (20-21 окт. 2015): тр. – Калининград: Аксиос, 2015. – С. 174-177.
3. Калининградская область в цифрах, 2017. Краткий статистический сборник / Калининградстат. – Калининград, 2017. – 141 с.
4. Берникова, Т. А. Динамика фоновых гидрохимических показателей р. Неман в районе строящейся Балтийской АЭС / Т. А. Берникова, Е. В. Кривоускова, Н. А. Цупикова, Н. Н. Цветкова // Экологическая и радиационная безопасность объектов атомной энергетики: IV науч.-практ. конф. с междунар. участием (18-19 окт. 2017): материалы. – Калининград: «Издательский Дом «РОСТ-ДООАФК», 2017. – С. 116-120.
5. Берникова, Т. А. Гидрохимические условия р. Неман в пределах Калининградской области / Т. А. Берникова, Е. В. Кривоускова, Н. Н. Цветкова, Т. С. Агаркова, Н. А. Цупикова // Экологическая безопасность АЭС: II науч.-практ. конф. с междунар. участием, посвящ. 70-летию атомной отрасли России (20-21 окт. 2015): тр. – Калининград: Аксиос, 2015. – С. 31-33.
6. Берникова, Т. А. Хлорофилл «а» и взаимосвязанные с ним гидрологические характеристики реки Неман в районе строящейся Балтийской атомной электростанции / Т. А. Берникова, Е. В. Кривоускова, Н. Н. Нагорнова // Известия КГТУ. – 2015. – № 38. – С. 21-30.

7. Нагорнова, Н. Н. Предварительные результаты изучения содержания хлорофилла А в системе Неман-Шешупе (в пределах Калининградской области) / Н. Н. Нагорнова, Т. А. Берникова, Е. В. Кривоускова // Водные биоресурсы, аквакультура и экология водоемов: II междунар. науч.-практ. конф. (15-17 окт. 2014). – Калининград: ФГБОУ ВПО «Калининградский государственный технический университет», 2014. – С. 177-179.

8. Рыбохозяйственный кадастр трансграничных водоемов России (Калининградская область) и Литвы / С. В. Шibaев [и др.] – Калининград: «ИП Мишуткина», 2008. – 200 с.

## REFERENCES

1. *Shema kompleksnogo ispol'zovaniya i ohrany vodnyh ob'ektov bassejnov reki Neman i rek bassejna Baltijskogo morja (rossijskaja chast' v Kaliningradskoj obl.) (kod 01.01.00). Proekt* [Scheme of integrated use and protection of water bodies in the Neman River basins and the Baltic Sea basin (the Russian part in the Kaliningrad Region) (code 01.01.00). Project]. available at: [http://www.klgd.ru/municipal\\_services/ecology/svodnyi\\_tom\\_skiovo.pdf](http://www.klgd.ru/municipal_services/ecology/svodnyi_tom_skiovo.pdf) (Accessed 18 June 2018).

2. Tsupikova N. A., Bernikova T. A., Cvetkova N. N., Krivopuskova E. V. Fiziko-geograficheskie i antropogennye faktory formirovaniya jekologicheskoy situacii v bassejne r. Nemana v predelah Kaliningradskoj oblasti [Physico-geographical and anthropogenic factors of the ecological situation formation in the basin of the Neman River in the Kaliningrad region]. *Trudy 2 nauchno-prakticheskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem, posvjashhennoj 70-letiju atomnoj otrasli v Rossii «Jekologicheskaja bezopasnost' AJeS»* [Proceedings of the 2th scientific and practical conference with international participation, dedicated to the 70th anniversary of the nuclear industry of Russia "Environmental Safety of Nuclear Power Plants"]. Калининград, «Аксios», 2015, pp. 174-177.

3. *Kaliningradskaja oblast' v cifrah, 2017. Kratkij statisticheskij sbornik* [Kaliningrad region in figures, 2017. A brief statistical compilation]. Калининград, Калининградstat, 2017, 141 p.

4. Bernikova T. A., Krivopuskova E. V., Cupikova N. A., Cvetkova N. N. Dinamika fonovyh gidrohimicheskikh pokazatelej r. Neman v rajone strojashhejsja Baltijskoj AJeS [Dynamics of background hydrochemical indicators of the Neman River in the area of the Baltic NPP under construction]. *Materialy 4 nauchno-prakticheskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem «Jekologicheskaja i radiacionnaja bezopasnost' ob'ektov atomnoj jenergetiki»* [Proceedings of the 4th scientific-practical conference with international participation "Ecological and radiation safety of nuclear power facilities"]. Калининград, Izdatel'skij Dom «ROST-DOAFK», 2017, pp. 116-120.

5. Bernikova T. A., Krivopuskova E. V., Tsvetkova N. N., Agarkova T. S., Tsupikova N. A. Girohimicheskie uslovija r. Neman v predelah Kaliningradskoj oblasti [Hydrochemical conditions of the Neman River in the Kaliningrad Region]. *Trudy vtoroj nauchno-prakticheskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem, posvjashhennoj 70-letiju atomnoj otrasli Rossii "Jekologicheskaja bezopasnost' AJeS"*

[Proceedings of the 2th scientific and practical conference with international participation, dedicated to the 70th anniversary of the nuclear industry of Russia "Environmental Safety of Nuclear Power Plants"]. Kaliningrad, "Aksios", 2015, pp. 31-33.

6. Bernikova T. A., Krivopuskova E. V., Nagornova N. N. Chlorophyll "a" and the associated hydrological characteristics of the Neman River in the area of the Baltic Nuclear Power Plant under construction [Hlorofill «a» i vzaimosvjazannye s nim gidrologicheskie kharakteristiki reki Neman v rajone strojashhejsja Baltijskoj atomnoj elektrostancii]. *Izvestija KSTU*, 2015, no 38, pp. 21-30.

7. Nagornova N. N., Bernikova T. A., Krivopuskov E. V. Predvaritel'nye rezul'taty izuchenija sodержaniya hlorofilla A v sisteme Neman-Sheshupe (v predelah Kaliningradskoj oblasti) [Preliminary results of studying the content of chlorophyll A in the Neman-Sheshupe system (within the Kaliningrad region)]. *Trudy vtoroj mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii «Vodnye bioresursy, akvakul'tura i jekologija vodoemov»* [Proceedings of the 2th International Scientific and Practical Conference "Aquatic Bioresources, Aquaculture and Ecology of Water Bodies"]. Kaliningrad, FGBOU VPO «Kaliningradskij gosudarstvennyj tehničeskij universitet», 2014, pp. 177-179.

8. Shibaev S. V., Hlopnikov M. M., Sokolov A. V. *Rybohozjajstvennyj kadastr transgranichnyh vodoemov Rossii (Kaliningradskaja oblast') i Litvy* [Fishery cadastre of transboundary reservoirs of Russia (Kaliningrad region) and Lithuania]. Kaliningrad, «IP Mishutkina», 2008, 200 p.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

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

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

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

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

*Кривопускова Екатерина Владимировна* – Калининградский государственный технический университет; ассистент кафедры «Ихтиология и экология»; E-mail: katekrivopuskova@gmail.com

*Krivopuskova Ekaterina Vladimirovna* – Kaliningrad State Technical University;  
Assistant at the Department of Ichthyology and Ecology;  
E-mail: katekrivopuskova@gmail.com

*Цветкова Надежда Николаевна* – Калининградский государственный  
технический университет; кандидат географических наук, доцент кафедры  
«Ихтиология и экология»; E-mail: nagornova@klgtu.ru

*Tsvetkova Nadezhda Nikolaevna* – Kaliningrad State Technical University;  
PhD in Geography, Associate Professor of the Department of Ichthyology and Ecology;  
E-mail: nagornova@klgtu.ru

## **ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ**



УДК 664.9.022

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИЛ НОРМАЛЬНОГО  
КОНТАКТНОГО ДАВЛЕНИЯ НА ГРАНИ ДВУХКРОМОЧНОГО НОЖА  
ПРИ РЕЗАНИИ РЫБЫ

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

MATHEMATICAL SIMULATION OF NORMAL CONTACT  
PRESSURE FORCES ON THE FACETS OF DOUBLE-EDGE KNIFE DURING FISH  
CUTTING

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

Разработана математическая модель для определения нормального контактного давления на заднюю наклонную грань двухкромочного ножа. Предложены математические модели для расчета размерной и безразмерной сил нормального контактного давления. При резании рыбы ножом с двумя кромками вязкоупругая энергия аккумулируется в материале и высвобождается после полного погружения в материал боковых граней. Положение крайней точки контакта и объем присоединенной каверны зависят от углов заточки граней и скорости резания. Предельное положение крайней точки при увеличении скорости ножа определяется отношением тангенсов углов заточки. Сила нормального контактного давления зависит от толщины ножа, углов заточки граней, меры эластичности материала и скорости ножа. При увеличении безразмерной скорости ножа безразмерная сила достигает предела, зависящего от углов заточки и меры эластичности материала. Длина боковой грани на предел силы практически не влияет. При мере эластичности материала, равной 2, безразмерной высоте ножа, равной 2, и отношениях тангенсов углов заточки 0,7; 0,8; 0,9; 1,0 предел безразмерной силы составляет соответственно 0,735; 0,96; 1,215; 1,5. При безразмерной высоте ножа, равной 2, отношении тангенсов углов заточки, равном 0,7, и мерах эластичности материала 2; 3; 4; 5 предел составляет соответственно 0,735; 0,98; 1,225; 1,47. Отсутствие у ножа боковых граней оказывает влияние на положение крайней точки контакта и силу нормальных контактных давлений лишь при малых и средних скоростях ножа. Это объясняется тем, что при высоких скоростях процесс релаксации напряжений протекает малое время перед разгрузкой материала. При отсутствии у ножа боковых граней также образуется присоединенная каверна, обусловленная диссипацией энергии в материале, что объясняется скачкообразным изменением режима нагружения демпфера элемента Кельвина-Фойгта в реологической модели материала при контакте с угловой точкой ножа.

*рыба, резание, нож, грань, реология, вязкоупругость, давление, сила, трение, модель, моделирование*

A mathematical model to determine the normal contact pressure on the back inclined facet of a double-edge knife has been developed. Mathematical models for calcu-

lating dimensional and dimensionless forces of normal contact pressure have been proposed. When cutting a fish with a double-edge knife, viscoelastic energy is accumulated in the material and released after the side facets are immersed completely into the material. The position of the extreme contact point and the volume of the attached cavity depend on the facets sharpening angles and the cutting speed. The limiting position of the extreme point with increasing knife speed is determined by the ratio of the sharpening angles tangents. The normal contact pressure force depends on the knife thickness, the facets sharpening angles, the material elasticity and the knife speed. As the dimensionless knife speed increases, the dimensionless force reaches its limit depending on the sharpening angles and the material elasticity. The length of the side facet has no impact on the force limit. When the material elasticity is equal to 2, the dimensionless knife height equals 2 and the ratio of the tangent angles is 0.7; 0.8; 0.9; 1.0, then the limit of the dimensionless force is 0.735; 0.96; 1.215; 1.5, respectively. When the dimensionless knife height is equal to 2, the ratio of the tangent angles equals 0.7 and the elasticity measure of the material is 2; 3; 4; 5, then the limit of the dimensionless force is 0.735, 0.98; 1.225; 1.47, respectively. Deficiency of the knife side edges affects the position of the extreme contact point and the force of normal contact pressures only at small and medium knife speeds. This is explained by the fact that at high speeds the process of stress relaxation takes a short time before the material is relieved. At the deficiency of the knife side edges, an associated cavern is also formed due to energy dissipation in the material, which is explained by a jump-like change in the loading regime of the Kelvin-Voigt dampener in the rheological model of the material when in contact with the corner point of the knife.

*fish, cutting, knife, edge, rheology, viscoelasticity, pressure, force, friction, model, simulation*

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время резание рыбы лезвием является основным технологическим процессом при первичной обработке сырья [1]. Резание осуществляется ножами различных видов, которые приводятся в движение электродвигателями. Для научно обоснованного выбора геометрии лезвия, а также определения параметров электропривода необходимо знать полезные и вредные силы сопротивлений, приложенные к лезвию со стороны объекта обработки [2].

Настоящая работа является продолжением работ авторов [3-6]. В работе [3] экспериментально исследованы структурно-механические свойства рыбы. Проведены подбор и идентификация механической модели реологических свойств рыбы. Показано, что механическому поведению ткани рыбы соответствует трехэлементная модель вязкоупругого материала – модель Кельвина (стандартное вязкоупругое тело). В работе [4] разработаны математические модели сил нормального контактного давления на наклонные грани ножа при резании рыбы в одномерной постановке. В работе [5] проведено математическое моделирование сил нормального контактного давления на боковые грани ножа. В указанных работах показано, что силы нормального контактного давления на наклонные и боковые грани существенно зависят от глубины погружения ножа, геометрии лезвия, реологических свойств материала, а также от скорости движения ножа. В работе [6] определено, что при движении ножа в материале образуется присоединенная каверна,

объем которой связан с энергетическими потерями, обусловленными диссипацией энергии в вязкоупругом материале. Сокращение объема присоединенной каверны соответствует снижению количества вязкоупругой энергии, безвозвратно рассеянной в материале вследствие релаксации напряжений.

Согласно работе [6], после погружения в материал крайней точки боковой грани ножа начинается процесс разгрузки деформированного материала, обусловленный геометрической формой лезвия. При этом высвобождается запасенная в материале вязкоупругая энергия и происходит восстановительная деформация. Для использования высвобождаемой энергии необходимо сохранить контакт материала с ножом после погружения крайней точки боковой грани. Этого возможно достичь, если снабдить нож задними наклонными гранями, образующими вторую кромку. Для определения результирующей макроскопической силы трения [5] требуется разработать математическую модель сил нормального контактного давления на заднюю наклонную грань.

#### МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИЛ НОРМАЛЬНОГО КОНТАКТНОГО ДАВЛЕНИЯ

Рассмотрим двухкромочный нож, геометрическая форма которого показана на рис. 1. Такой нож имеет переднюю кромку с углом заточки  $2\alpha$  и заднюю кромку с углом заточки  $2\beta$ . Нормальные контактные давления на заднюю наклонную грань (отрезок  $EH$ ) обусловлены напряжениями в мышечной ткани, которая деформировалась передними наклонными и боковыми гранями ножа. Установим взаимосвязь между напряжением в материале и восстановительной вязкоупругой деформацией при разгрузке материала на задней наклонной грани.

Из рис. 1 видим, что относительная деформация материала при погружении задней наклонной грани в материал изменяется от максимального значения  $\delta/l$  до нуля. Однако в отличие от процесса раздвижения материала передней наклонной гранью [4] существует крайняя точка контакта  $G$ . На отрезке  $GE$  имеется контакт задней наклонной грани с материалом, а на отрезке  $GH$  контакт отсутствует. После прекращения контакта материал полностью разгружается и происходит восстановительная деформация материала с образованием присоединенной каверны [6]. Следовательно, нормальные контактные давления действуют на заднюю наклонную грань только на отрезке  $GE$ , на котором происходит использование высвобождаемой при разгрузке вязкоупругой энергии. В общем случае положение крайней точки контакта  $G$  неизвестно.

Сокращение относительной деформации в процессе погружения задней кромки ножа приводит к снижению напряжений в материале до нулевого значения в крайней точке контакта. Следовательно, для нахождения силы нормальных контактных давлений материала на заднюю наклонную грань необходимо решить задачу определения напряжений в вязкоупругом материале при изменении относительной деформации на отрезке  $GE$ , а также задачу определения координат крайней точки контакта  $G$ . По-прежнему будем считать, что напряжения в материале возникают только в области контакта материала с лезвием и являются нормальными к поверхности ножа, а напряжения, касательные к поверхности грани – отсутствуют.

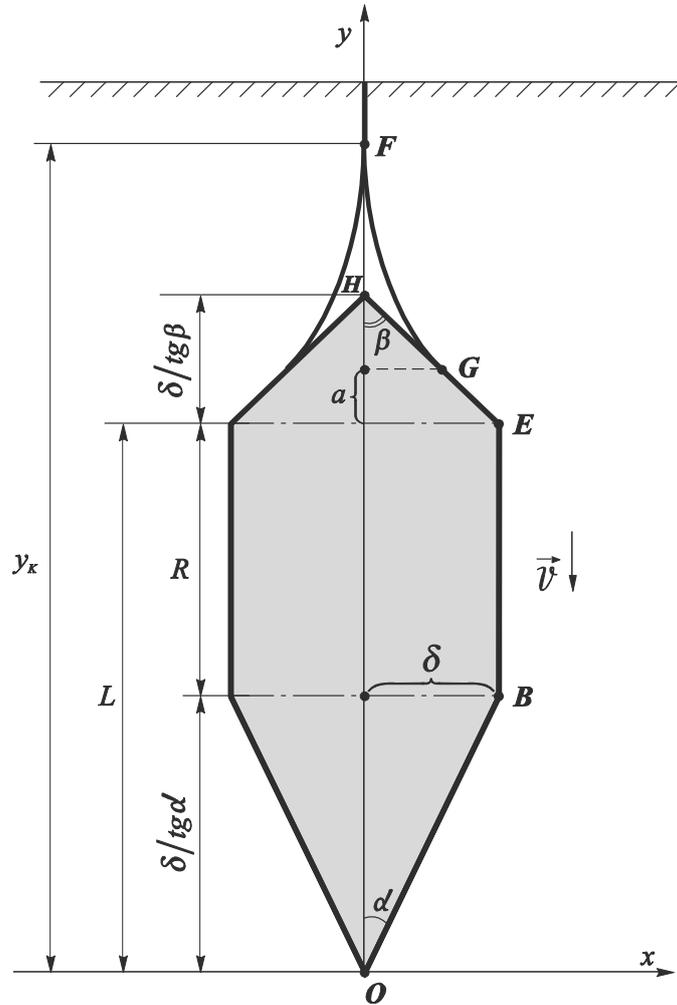


Рис. 1. Схема движения двухкромочного ножа в пищевом материале  
 Fig. 1. The scheme of double-edge knife movement in the food material

Перейдем в систему координат с центром в точке  $E$ . Заметим, что в связи с прямой формой задней наклонной грани  $EH$  при установившемся движении ножа разгрузка материала происходит с постоянной скоростью  $v \cdot \operatorname{tg} \beta$ . Тогда относительная деформация  $\varepsilon$  зависит от времени  $t$ , скорости движения ножа в материале  $v$  и половины угла заточки задней кромки ножа  $\beta$  следующим образом:

$$\varepsilon = \frac{-v \cdot \operatorname{tg} \beta}{l} \cdot t; \quad \frac{d\varepsilon}{dt} = \frac{-v \cdot \operatorname{tg} \beta}{l}, \quad (1)$$

где  $t$  – время с момента полного погружения боковой грани ножа в материал.

В модели вязкоупругого материала (рис. 2 в [4]) элемент Гука и элемент Кельвина-Фойгта соединены последовательно. Следовательно, напряжения  $\hat{\sigma}_{\text{накл}}$  на реологических элементах будут равны, а деформации суммируются:

$$\hat{\sigma}_{накл} = \hat{\sigma}_0 = \hat{\sigma}_1; \quad (2)$$

$$\varepsilon = \varepsilon_0 + \varepsilon_1. \quad (3)$$

В подвижной системе координат  $(x, y)$ , связанной с режущей кромкой ножа (точка  $O$  на рис. 1), зависимость напряжения в элементе Кельвина-Фойгта от деформации определяется следующим дифференциальным уравнением:

$$\hat{\sigma}_{накл} = \hat{\sigma}_1 = \eta \cdot v \cdot \frac{d\varepsilon_1}{dy} + E_1 \cdot \varepsilon_1. \quad (4)$$

Зависимость напряжения в элементе Гука от деформации определяется следующим выражением:

$$\hat{\sigma}_{накл} = \hat{\sigma}_0 = E_0 \cdot \varepsilon_0. \quad (5)$$

Из выражений (4) и (5) имеем:

$$\frac{d\varepsilon_1}{dy} = \frac{\hat{\sigma}_{накл} - E_1 \cdot \varepsilon_1}{\eta \cdot v}; \quad (6)$$

$$\varepsilon_0 = \frac{\hat{\sigma}_{накл}}{E_0}. \quad (7)$$

Продифференцируем уравнение (3) и получим:

$$\frac{d\varepsilon}{dy} = \frac{d\varepsilon_0}{dy} + \frac{d\varepsilon_1}{dy}. \quad (8)$$

С учетом (1), (6) и (7) представим выражение (8) в следующем виде:

$$\frac{d\varepsilon}{dy} = \frac{d(-y \cdot \operatorname{tg}\beta/l)}{dy} = \frac{1}{E_0} \cdot \frac{d\hat{\sigma}_{накл}}{dy} + \frac{\hat{\sigma}_{накл} - E_1 \cdot \varepsilon_1}{\eta \cdot v}. \quad (9)$$

Выполнив преобразования, придем к следующему дифференциальному уравнению:

$$\frac{d\hat{\sigma}_{накл}}{dy} + \frac{E_0 + E_1}{\eta \cdot v} \cdot \hat{\sigma}_{накл} + \frac{E_0 \cdot E_1 \cdot \operatorname{tg}\beta}{\eta \cdot v \cdot l} \cdot y + \frac{E_0 \cdot \operatorname{tg}\beta}{l} = 0. \quad (10)$$

Интерпретируем напряжение  $\hat{\sigma}_{накл}$  в материале как нормальное контактное давление  $\hat{p}_{накл}$  на заднюю наклонную грань [5]. Тогда дифференциальное уравнение (10) примет следующий вид:

$$\frac{d\hat{p}_{накл}}{dy} - k \cdot \hat{p}_{накл} + \frac{E_0 \cdot E_1 \cdot \operatorname{tg}\beta}{\eta \cdot v \cdot l} \cdot y + \frac{E_0 \cdot \operatorname{tg}\beta}{l} = 0. \quad (11)$$

Решение дифференциального уравнения (11) имеет вид:

$$\hat{p}_{накл} = C \cdot \exp(k \cdot y) - \frac{\xi \cdot \operatorname{tg}\beta}{l} \cdot y - \frac{\xi^2 \cdot \eta \cdot v \cdot \operatorname{tg}\beta}{E_1^2 \cdot l}. \quad (12)$$

С учетом работы [5] и обозначения  $\tau = 1 + \frac{\xi \cdot \eta \cdot v \cdot \mu \cdot \operatorname{tg}\alpha}{E_1^2 \cdot \delta} \cdot \exp\left(k \cdot \left(L - \frac{\delta}{\operatorname{tg}\alpha}\right)\right)$  запишем граничные условия для уравнения (12):

$$\hat{p}_{накл}(y_G) = 0; \quad (13)$$

$$\hat{p}_{накл}(0) = \frac{\delta \cdot \xi \cdot \tau}{l}. \quad (14)$$

Решение дифференциального уравнения (11), удовлетворяющее первому условию (13) с учетом  $y \in (0, y_G)$ , имеет вид:

$$\hat{p}_{накл} = \left( \xi \cdot \text{tg}\beta \cdot y_G + \frac{\xi^2 \cdot \eta \cdot v \cdot \text{tg}\beta}{E_1^2} \right) \cdot \frac{\exp(k \cdot [y - y_G])}{l} - \frac{\xi \cdot \text{tg}\beta}{l} \cdot y - \frac{\xi^2 \cdot \eta \cdot v \cdot \text{tg}\beta}{E_1^2 \cdot l}. \quad (15)$$

Подставим второе условие (14) в выражение (15) и сократим  $l$ :

$$\delta \cdot \xi \cdot \tau = \left( \xi \cdot \text{tg}\beta \cdot y_G + \frac{\xi^2 \cdot \eta \cdot v \cdot \text{tg}\beta}{E_1^2} \right) \cdot \exp(-k \cdot y_G) - \frac{\xi^2 \cdot \eta \cdot v \cdot \text{tg}\beta}{E_1^2}. \quad (16)$$

Сократим  $\xi$  и получим следующее уравнение:

$$\left( y_G + \frac{\xi \cdot \eta \cdot v}{E_1^2} \right) \cdot \exp(-k \cdot y_G) - \frac{\xi \cdot \eta \cdot v}{E_1^2} - \frac{\delta \cdot \tau}{\text{tg}\beta} = 0. \quad (17)$$

Путем решения уравнения (17) численным методом на ЭВМ определим искомую ординату  $y_G$  крайней точки контакта  $G$ . На рис. 2 приведены зависимости указанной координаты от угла заточки  $\beta$  задней наклонной грани и скорости ножа.

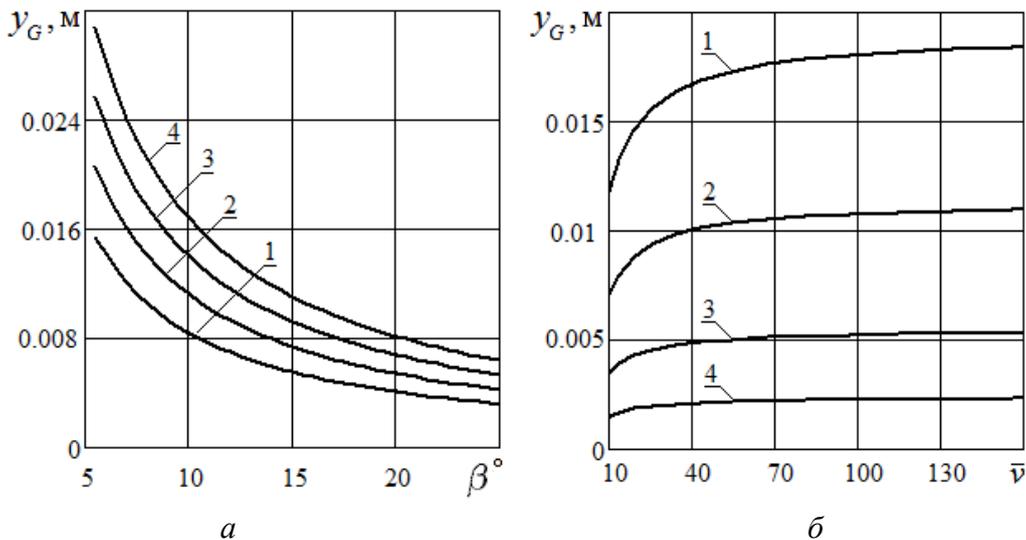


Рис. 2. Координата крайней точки контакта  $G$  на задней наклонной грани:  $a$  – зависимость от угла заточки при различных значениях толщины ножа ( $v = 0,1$  м/с;  $\alpha = 6^\circ$ ): 1 –  $\delta = 0,0015$  м; 2 –  $\delta = 0,002$  м; 3 –  $\delta = 0,0025$  м; 4 –  $\delta = 0,003$  м;  $b$  – зависимость от безразмерной скорости при различных значениях угла заточки: 1 –  $\beta = 6^\circ$ ; 2 –  $\beta = 10^\circ$ ; 3 –  $\beta = 20^\circ$ ; 4 –  $\beta = 40^\circ$

Fig. 2. The coordinate of the extreme contact point  $G$  on the back inclined facet:  $a$  – dependence on the sharpening angle for different knife thicknesses;  $b$  – dependence on the dimensionless velocity for different values of the sharpening angle

Используя выражение (16), исключим  $y_G$  из выражения (15). Из (16) имеем:

$$\left( \operatorname{tg}\beta \cdot y_G + \frac{\xi \cdot \eta \cdot v \cdot \operatorname{tg}\beta}{E_1^2} \right) \cdot \exp(-k \cdot y_G) = \frac{\xi \cdot \eta \cdot v \cdot \operatorname{tg}\beta}{E_1^2} + \delta \cdot \tau. \quad (18)$$

Из (15) имеем:

$$\hat{p}_{\text{накл}} = \left( \xi \cdot \operatorname{tg}\beta \cdot y_G + \frac{\xi^2 \cdot \eta \cdot v \cdot \operatorname{tg}\beta}{E_1^2} \right) \cdot \frac{\exp(k \cdot y)}{l \cdot \exp(k \cdot y_G)} - \frac{\xi \cdot \operatorname{tg}\beta}{l} \cdot y - \frac{\xi^2 \cdot \eta \cdot v \cdot \operatorname{tg}\beta}{l \cdot E_1^2}; \quad (19)$$

$$\hat{p}_{\text{накл}} + \frac{\xi \cdot \operatorname{tg}\beta}{l} \cdot y + \frac{\xi^2 \cdot \eta \cdot v \cdot \operatorname{tg}\beta}{l \cdot E_1^2} = \left( \xi \cdot \operatorname{tg}\beta \cdot y_G + \frac{\xi^2 \cdot \eta \cdot v \cdot \operatorname{tg}\beta}{E_1^2} \right) \cdot \frac{\exp(k \cdot y)}{l \cdot \exp(k \cdot y_G)}; \quad (20)$$

$$\frac{\left( \hat{p}_{\text{накл}} + \frac{\xi \cdot \operatorname{tg}\beta}{l} \cdot y + \frac{\xi^2 \cdot \eta \cdot v \cdot \operatorname{tg}\beta}{l \cdot E_1^2} \right) \cdot l}{\xi \cdot \exp(k \cdot y)} = \left( \operatorname{tg}\beta \cdot y_G + \frac{\xi \cdot \eta \cdot v \cdot \operatorname{tg}\beta}{E_1^2} \right) \cdot \exp(-k \cdot y_G). \quad (21)$$

Подставив правую часть выражения (18) в выражение (21), получим окончательное выражение для нормального контактного давления на заднюю наклонную грань:

$$\hat{p}_{\text{накл}}(y) = \frac{\xi}{l} \cdot \operatorname{tg}\beta \cdot \left[ \left( \frac{\xi \cdot \eta \cdot v}{E_1^2} + \frac{\delta \cdot \tau}{\operatorname{tg}\beta} \right) \cdot \exp(k \cdot y) - y - \frac{\xi \cdot \eta \cdot v}{E_1^2} \right]. \quad (22)$$

Выражение (22) имеет физический смысл при  $y \in (0, y_G)$  в подвижной системе координат, связанной с точкой  $E$ . Определим, возможен ли полный контакт материала с задней наклонной гранью, условия которого согласно (16) представим следующим образом:

$$\tilde{y}_G = \frac{\delta}{\operatorname{tg}\beta}; \quad (23)$$

$$\left( \delta + \frac{\xi \cdot \eta \cdot \tilde{v} \cdot \operatorname{tg}\beta}{E_1^2} \right) \cdot \exp\left(-k \cdot \frac{\delta}{\operatorname{tg}\beta}\right) - \frac{\xi \cdot \eta \cdot \tilde{v} \cdot \operatorname{tg}\beta}{E_1^2} - \delta \cdot \tau = 0. \quad (24)$$

Решение уравнения (24) относительно  $\tilde{v}$  показывает, что оно не имеет положительных корней. Это означает невозможность полного контакта материала с задней наклонной гранью ножа при его движении с произвольной скоростью. Таким образом, при движении ножа всегда образуется присоединенная каверна, что ожидаемо, поскольку раздвижение вязкоупругого материала лезвием является необратимым термодинамическим процессом.

Пусть нож не имеет боковой грани  $BE$ . Тогда граничные условия для уравнения (22) в соответствии с [5] выглядят следующим образом:

$$\tilde{p}_{\text{накл}}(\tilde{y}_G) = 0; \quad (25)$$

$$\tilde{p}_{\text{накл}}(0) = \frac{\delta \cdot \xi}{l} + \frac{\xi^2 \cdot \eta \cdot v \cdot \mu \cdot \operatorname{tg}\alpha}{E_1^2 \cdot l}. \quad (26)$$

Решение дифференциального уравнения (11), удовлетворяющее первому условию (25) с учетом  $y \in (0, \tilde{y}_G)$ , имеет вид:

$$\bar{P}_{накл} = \left( \xi \cdot tg\beta \cdot \bar{y}_G + \frac{\xi^2 \cdot \eta \cdot v \cdot tg\beta}{E_1^2} \right) \cdot \frac{\exp(k \cdot [y - \bar{y}_G])}{l} - \frac{\xi \cdot tg\beta}{l} \cdot y - \frac{\xi^2 \cdot \eta \cdot v \cdot tg\beta}{E_1^2 \cdot l}. \quad (27)$$

Подставив второе условие (26) в выражение (27) и сократив  $l$ ,  $\xi$ , получим следующее уравнение:

$$\left( tg\beta \cdot \bar{y}_G + \frac{\xi \cdot \eta \cdot v \cdot tg\beta}{E_1^2} \right) \cdot \exp(-k \cdot \bar{y}_G) - \frac{\xi \cdot \eta \cdot v}{E_1^2} \cdot (tg\beta + \mu \cdot tg\alpha) - \delta = 0. \quad (28)$$

Путем решения уравнения (28) численным методом определим искомую ординату  $\bar{y}_G$  крайней точки контакта  $G$  ножа, не имеющего боковой грани. На рис. 3 приведены зависимости координаты  $\bar{y}_G$  крайней точки контакта  $G$  от угла заточки  $\beta$  задней наклонной грани и скорости ножа.

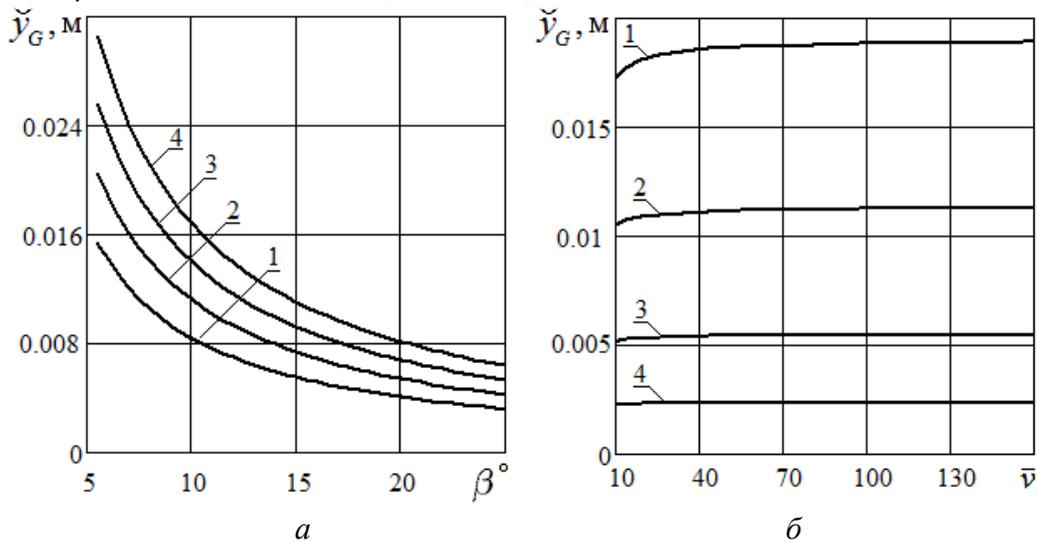


Рис. 3. Координата крайней точки контакта  $G$  на задней наклонной грани ножа с отсутствующей боковой гранью:  $a$  – зависимость от угла заточки  $\beta$  при различных значениях толщины ножа ( $v = 0,1$  м/с;  $\alpha = 6^\circ$ ): 1 –  $\delta = 0,0015$  м; 2 –  $\delta = 0,002$  м; 3 –  $\delta = 0,0025$  м; 4 –  $\delta = 0,003$  м;  $b$  – зависимость от безразмерной скорости при различных значениях при различных значениях угла заточки  $\beta$ : 1 –  $\beta = 6^\circ$ ; 2 –  $\beta = 10^\circ$ ; 3 –  $\beta = 20^\circ$ ; 4 –  $\beta = 40^\circ$

Fig. 3. The coordinate of the extreme contact point  $G$  on the back inclined facet of the knife with no side facet:  $a$  – dependence on the sharpening angle  $\beta$  for different knife thicknesses;  $b$  – dependence on the dimensionless velocity for different values of the sharpening angle  $\beta$

Используя выражение (28), исключим  $\bar{y}_G$  из выражения (27). Из (28) имеем:

$$\left( tg\beta \cdot \bar{y}_G + \frac{\xi \cdot \eta \cdot v \cdot tg\beta}{E_1^2} \right) \cdot \exp(-k \cdot \bar{y}_G) = \frac{\xi \cdot \eta \cdot v}{E_1^2} \cdot (tg\beta + \mu \cdot tg\alpha) + \delta. \quad (29)$$

Из (27) имеем:

$$\frac{\left(\tilde{P}_{\text{накл}} + \frac{\xi \cdot \text{tg}\beta}{l} \cdot y + \frac{\xi^2 \cdot \eta \cdot v \cdot \text{tg}\beta}{l \cdot E_1^2}\right) \cdot l}{\xi \cdot \exp(k \cdot y)} = \left(\text{tg}\beta \cdot \tilde{y}_G + \frac{\xi \cdot \eta \cdot v \cdot \text{tg}\beta}{E_1^2}\right) \cdot \exp(-k \cdot \tilde{y}_G). \quad (30)$$

Подстановка правой части выражения (30) в выражение (29) дает равенство:

$$\frac{\left(\tilde{P}_{\text{накл}} + \frac{\xi \cdot \text{tg}\beta}{l} \cdot y + \frac{\xi^2 \cdot \eta \cdot v \cdot \text{tg}\beta}{l \cdot E_1^2}\right) \cdot l}{\xi \cdot \exp(k \cdot y)} = \frac{\xi \cdot \eta \cdot v}{E_1^2} \cdot (\text{tg}\beta + \mu \cdot \text{tg}\alpha) + \delta; \quad (31)$$

$$\tilde{P}_{\text{накл}} + \frac{\xi \cdot \text{tg}\beta}{l} \cdot y + \frac{\xi^2 \cdot \eta \cdot v \cdot \text{tg}\beta}{l \cdot E_1^2} = \left(\frac{\xi \cdot \eta \cdot v}{E_1^2} \cdot (\text{tg}\beta + \mu \cdot \text{tg}\alpha) + \delta\right) \cdot \frac{\xi}{l} \cdot \exp(k \cdot y);$$

$$\tilde{P}_{\text{накл}} = \left(\frac{\xi \cdot \eta \cdot v}{E_1^2} \cdot (\text{tg}\beta + \mu \cdot \text{tg}\alpha) + \delta\right) \cdot \frac{\xi}{l} \cdot \exp(k \cdot y) - \frac{\xi \cdot \text{tg}\beta}{l} \cdot y - \frac{\xi^2 \cdot \eta \cdot v \cdot \text{tg}\beta}{l \cdot E_1^2}.$$

Окончательное выражение для нормального контактного давления на заднюю наклонную грань ножа, не имеющего боковую грань, выглядит следующим образом:

$$\tilde{P}_{\text{накл}}(y) = \frac{\xi}{l} \cdot \text{tg}\beta \cdot \left[ \left(\frac{\xi \cdot \eta \cdot v}{E_1^2} \cdot (\text{tg}\beta + \mu \cdot \text{tg}\alpha) + \delta\right) \cdot \frac{\exp(k \cdot y)}{\text{tg}\beta} - y - \frac{\xi \cdot \eta \cdot v}{E_1^2} \right]. \quad (32)$$

Выражение (32) имеет физический смысл при  $y \in (0, \tilde{y}_G)$  в системе координат, связанной с точкой  $E$ .

Определим, возможен ли полный контакт материала с задней наклонной гранью ножа при отсутствии боковой грани. Условие полного контакта в этом случае согласно (32) выглядит следующим образом:

$$\tilde{y}_G = \frac{\delta}{\text{tg}\beta}; \quad (33)$$

$$\left(\delta + \frac{\xi \cdot \eta \cdot \tilde{v} \cdot \text{tg}\beta}{E_1^2}\right) \cdot \exp\left(-k \cdot \frac{\delta}{\text{tg}\beta}\right) - \frac{\xi \cdot \eta \cdot \tilde{v}}{E_1^2} \cdot (\text{tg}\beta + \mu \cdot \text{tg}\alpha) - \delta = 0. \quad (34)$$

Решение уравнения (34) относительно  $\tilde{v}$  показывает, что оно не имеет положительных корней. Это означает невозможность полного контакта материала с задней наклонной гранью ножа без боковой грани при его движении с любой скоростью. Таким образом, при движении двухкромочного ножа при отсутствии боковой грани в материале также всегда образуется присоединенная каверна.

Определим силу нормального контактного давления на заднюю наклонную грань ножа  $P_5$ . Элемент указанной силы, действующей на грань ножа в элементарной полоске  $dy$  длиной  $l_k$ :

$$dP_5 = l_k \cdot \hat{p}_{\text{накл}} \cdot dy. \quad (35)$$

Сила нормального контактного давления на заднюю наклонную грань ножа с учетом (22) и (35) определяется следующим выражением:

$$P_5 = \frac{l_k \cdot \xi \cdot \operatorname{tg} \beta}{l} \cdot \int_0^{y_G} \left( \left( \frac{\xi \cdot \eta \cdot v}{E_1^2} + \frac{\delta \cdot \tau}{\operatorname{tg} \beta} \right) \cdot \exp(k \cdot y) - y - \frac{\xi \cdot \eta \cdot v}{E_1^2} \right) dy. \quad (36)$$

Используем формулу Ньютона-Лейбница и получим выражение для силы нормального контактного давления на наклонную грань ножа:

$$P_5 = \frac{l_k \cdot \xi \cdot \operatorname{tg} \beta}{l} \cdot \left\{ \frac{1}{k} \cdot \left( \frac{\xi \cdot \eta \cdot v}{E_1^2} + \frac{\delta \cdot \tau}{\operatorname{tg} \beta} \right) \cdot [\exp(k \cdot y_G) - 1] - \frac{\xi \cdot \eta \cdot v}{E_1^2} \cdot y_G - \frac{y_G^2}{2} \right\}. \quad (37)$$

Введем безразмерную скорость  $\bar{v}$ :

$$v = \bar{v} \cdot \frac{h_m \cdot (E_0 + E_1)}{\eta}; \quad \bar{y}_G = \frac{y_G}{h_m}; \quad k = -\frac{E_0 + E_1}{\eta \cdot v} = -\frac{1}{\bar{v} \cdot h_m};$$

$$\mu = 1 - \exp\left(\frac{k \cdot \delta}{\operatorname{tg} \alpha}\right) = 1 - \exp\left(\frac{-1}{\bar{v}}\right); \quad e_{01} = \frac{E_0}{E_1};$$

$$\frac{\xi \cdot \eta \cdot v}{E_1^2} = \bar{v} \cdot h_m \cdot e_{01}; \quad \chi = \frac{\xi \cdot \eta \cdot v \cdot \mu}{E_1^2 \cdot \delta / \operatorname{tg} \alpha} = \bar{v} \cdot e_{01} \cdot \left[ 1 - \exp\left(\frac{-1}{\bar{v}}\right) \right];$$

$$\tau = 1 + \chi \cdot \exp(k \cdot R) = 1 + \bar{v} \cdot e_{01} \cdot \left[ 1 - \exp\left(\frac{-1}{\bar{v}}\right) \right] \cdot \exp\left(\frac{-R_0}{\bar{v}}\right); \quad R_0 = \frac{R}{h_m};$$

С учетом выражения для безразмерной скорости из (17) получим уравнение для безразмерной координаты  $\bar{y}_G$ :

$$(\bar{y}_G + \bar{v} \cdot e_{01}) \cdot \exp\left(\frac{\bar{y}_G}{\bar{v}}\right) - \bar{v} \cdot e_{01} - t_{\alpha\beta} \cdot \tau = 0, \quad \text{где } t_{\alpha\beta} = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} \beta}.$$

Из (37) получим выражение для безразмерной силы  $P_5$ :

$$\bar{P}_5 = \left[ 1 - \exp\left(\frac{-\bar{y}_G}{\bar{v}}\right) \right] \cdot ((\bar{v})^2 \cdot e_{01} + t_{\alpha\beta} \cdot \tau) - \bar{v} \cdot \bar{y}_G \cdot e_{01} - \bar{v} \cdot \bar{y}_G \cdot e_{01} - \frac{(\bar{y}_G)^2}{2} \quad (38)$$

$$P_0 = \frac{l_k \cdot \xi \cdot \operatorname{tg} \beta}{l} \cdot h_m^2; \quad P_5 = P_0 \cdot \bar{P}_5.$$

Разработанные математические модели (37), (38) позволяют варьировать безразмерными скоростью и высотой ножа, модулями упругости материала для исследования зависимостей размерной и безразмерной сил нормального контактного давления от указанных параметров.

На рис. 4, 5 показаны зависимости размерной  $P_5$  и безразмерной  $\bar{P}_5$  сил от безразмерной скорости  $\bar{v}$  при различных длинах боковой грани  $R_0$ . На рис. 6 изображены зависимости безразмерной силы  $\bar{P}_5$  от угла заточки задней наклонной грани ножа при различных его толщинах  $\delta$  и отношениях  $e_{01}$  (мерах эластичности материала). На рис. 7, 8 показано влияние безразмерной высоты ножа  $\bar{L}$  и отношения углов заточки наклонных граней  $t_{\alpha\beta}$  на безразмерные координаты

ту  $\bar{y}_G$  и силу  $\bar{P}_5$ . На рис. 9 приведен контурный график с зависимостью силы нормального контактного давления на заднюю наклонную грань  $P_5$  от угла заточки задней наклонной грани и толщины ножа.

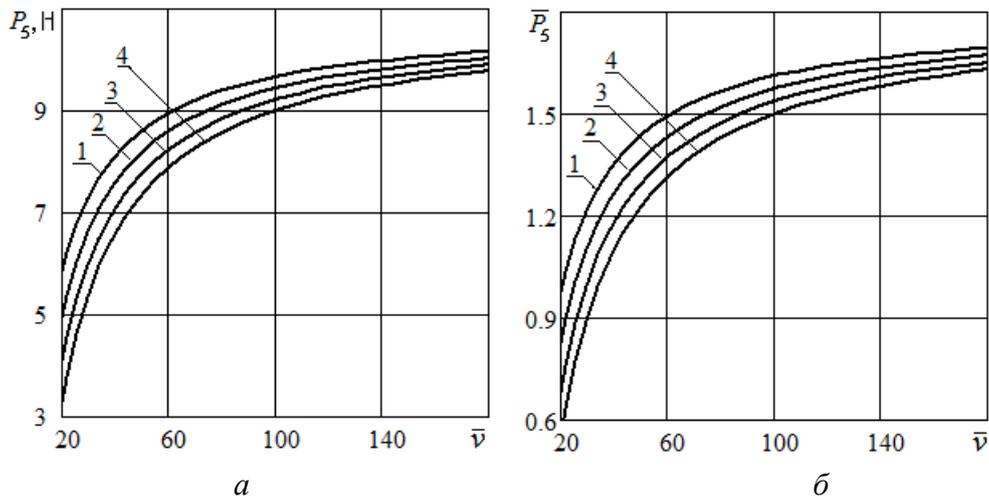


Рис. 4. Сила нормального контактного давления на заднюю наклонную грань ( $e_{01} = 5$ ;  $t_{\alpha\beta} = 0,8$ ):  $a$  – размерная ( $P_0 = 6$  Н);  $b$  – безразмерная:

$$1 - R_0 = 4; 2 - R_0 = 5; 3 - R_0 = 6; 4 - R_0 = 7$$

Fig. 4. The force of the normal contact pressure on the back inclined facet:  $a$  – dimension ( $P_0 = 6$  Н);  $b$  – dimensionless

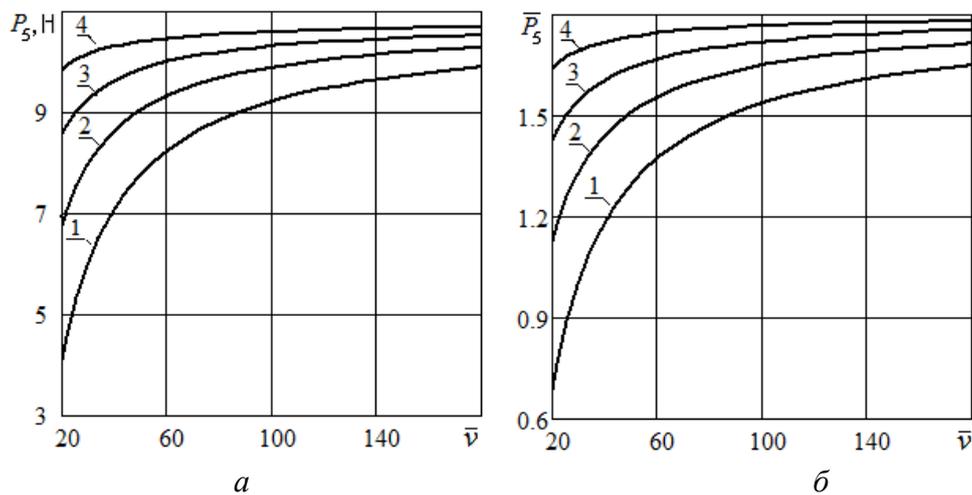


Рис. 5. Сила нормального контактного давления на заднюю наклонную грань ( $e_{01} = 5$ ;  $t_{\alpha\beta} = 0,8$ ):  $a$  – размерная ( $P_0 = 6$  Н);  $b$  – безразмерная:

$$1 - R_0 = 7; 2 - R_0 = 3; 3 - R_0 = 1,2; 4 - R_0 = 0,001$$

Fig. 5. The force of the normal contact pressure on the back inclined facet:  $a$  – dimension ( $P_0 = 6$  Н);  $b$  – dimensionless

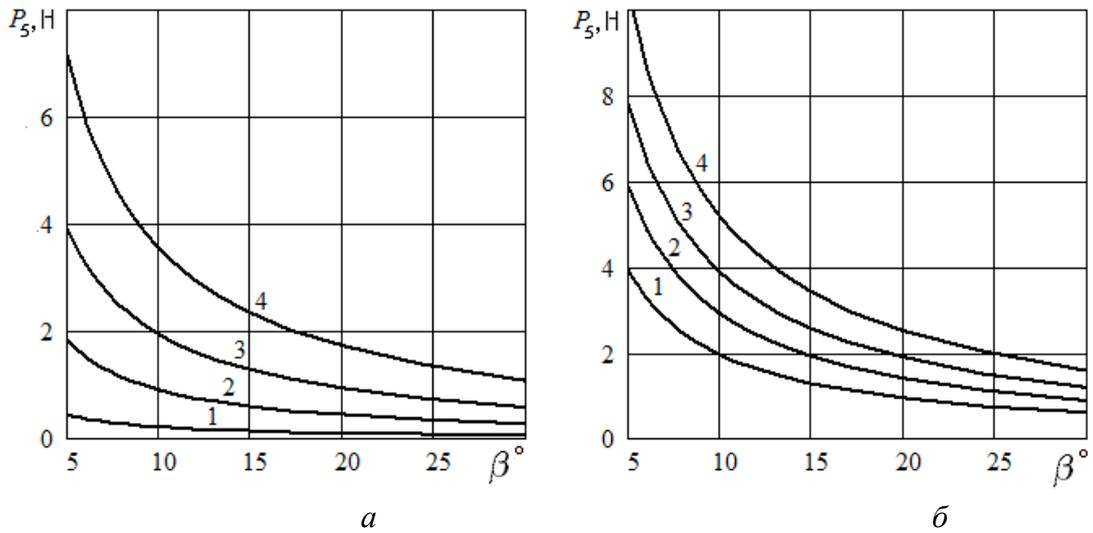


Рис. 6. Сила нормального контактного давления на заднюю наклонную грань

( $\bar{v} = 200$ ;  $\alpha = 5^\circ$ ;  $l = 0,05$  м;  $\bar{L} = 3$ ):

а)  $e_{01} = 2$ ; 1 –  $\delta = 1$  мм; 2 –  $\delta = 2$  мм; 3 –  $\delta = 3$  мм; 4 –  $\delta = 4$  мм;

б)  $\delta = 3$  мм; 1 –  $e_{01} = 2$ ; 2 –  $e_{01} = 3,5$ ; 3 –  $e_{01} = 5$ ; 4 –  $e_{01} = 7$

Fig. 6. The force of the normal contact pressure on the back inclined facet

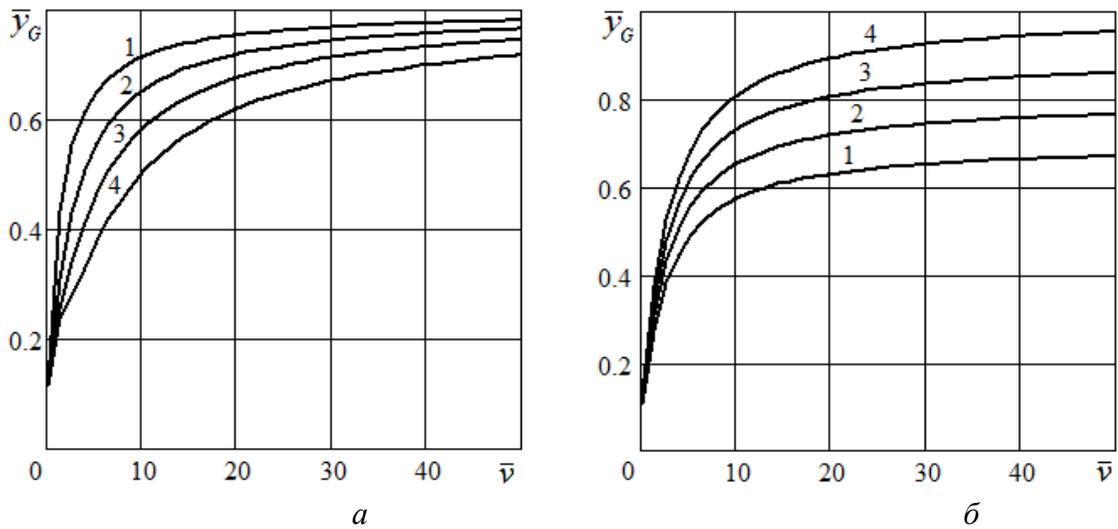


Рис. 7. Безразмерная координата крайней точки контакта на задней кромке ножа

( $e_{01} = 2$ ): а)  $t_{\alpha\beta} = 0,8$ ; 1 –  $\bar{L} = 1,5$ ; 2 –  $\bar{L} = 3$ ; 3 –  $\bar{L} = 5$ ; 4 –  $\bar{L} = 8$ ;

б)  $\bar{L} = 3$ ; 1 –  $t_{\alpha\beta} = 0,7$ ; 2 –  $t_{\alpha\beta} = 0,8$ ; 3 –  $t_{\alpha\beta} = 0,9$ ; 4 –  $t_{\alpha\beta} = 1,0$

Fig. 7. The dimensionless coordinate of the extreme contact point on the back knife edge

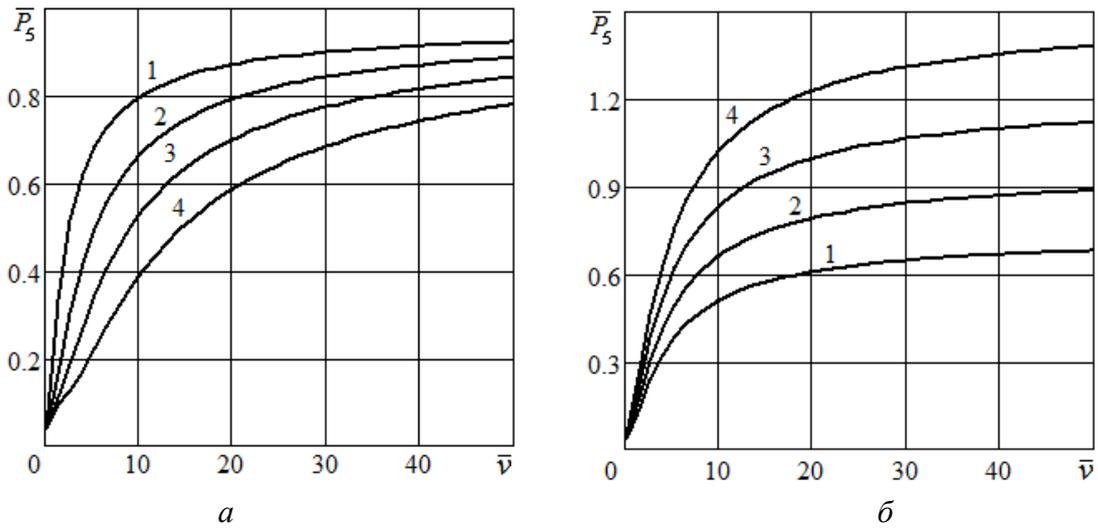


Рис. 8. Безразмерная сила нормального контактного давления на заднюю наклонную грань ( $e_{01} = 2$ ): а)  $t_{\alpha\beta} = 0,8$ ; 1 –  $\bar{L} = 1,5$ ; 2 –  $\bar{L} = 3$ ; 3 –  $\bar{L} = 5$ ; 4 –  $\bar{L} = 8$ ;

б)  $\bar{L} = 3$ ; 1 –  $t_{\alpha\beta} = 0,7$ ; 2 –  $t_{\alpha\beta} = 0,8$ ; 3 –  $t_{\alpha\beta} = 0,9$ ; 4 –  $t_{\alpha\beta} = 1,0$

Fig. 8. The dimensionless force of the normal contact pressure on the back inclined facet

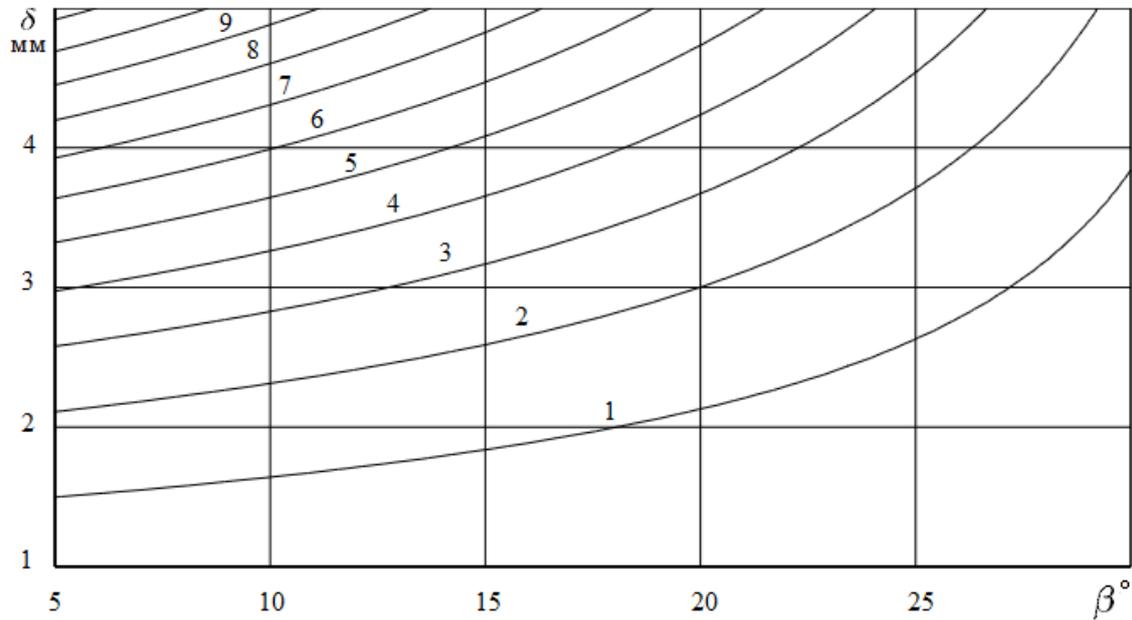


Рис. 9. Зависимость силы нормального контактного давления на заднюю наклонную грань ножа  $P_5$  (в ньютонах) от угла заточки и толщины ножа

при  $e_{01} = 2$ ;  $\bar{v} = 200$ ;  $\alpha = 5^\circ$ ;  $l = 0,05$  м;  $\bar{L} = 3$

Fig. 9. Dependence of the normal contact pressure force on the back inclined facet of the knife (in newtons) on the sharpening angle and the thickness of the knife

Аналогично определим силу нормального контактного давления на заднюю наклонную грань ножа с отсутствующей боковой гранью  $P_6$  :

$$P_6 = \frac{l_k \cdot \xi \cdot \eta \cdot v \cdot \operatorname{tg} \beta}{l} \cdot \left\{ \left( \frac{\xi \cdot \eta \cdot v}{E_1^2} \cdot (\operatorname{tg} \beta + \mu \cdot \operatorname{tg} \alpha) + \delta \right) \cdot \frac{(\exp(k \cdot \bar{y}_G) - 1)}{k \cdot \operatorname{tg} \beta} - \frac{\xi \cdot \eta \cdot v}{E_1^2} \cdot \bar{y}_G - \frac{\bar{y}_G^2}{2} \right\}. \quad (39)$$

При  $R_0 = 0$ :

$$\tau = 1 + \bar{v} \cdot e_{01} \cdot \left[ 1 - \exp\left(\frac{-1}{\bar{v}}\right) \right]. \quad (40)$$

Из (39) и (40) получим выражение для безразмерной силы нормального контактного давления на заднюю наклонную грань ножа с отсутствующей боковой гранью:

$$\bar{P}_6 = \left[ 1 - \exp\left(\frac{-\bar{y}_G}{\bar{v}}\right) \right] \cdot ((\bar{v})^2 \cdot e_{01} + t_{\alpha\beta} \cdot \tau) - \bar{v} \cdot \bar{y}_G \cdot e_{01} - \frac{(\bar{y}_G)^2}{2}. \quad (41)$$

Разработанные модели (39), (41) позволяют варьировать безразмерной скоростью ножа, безразмерной высотой ножа, модулями упругости материала для исследования зависимостей размерной и безразмерной сил нормального контактного давления на заднюю наклонную грань ножа при отсутствии боковой грани от указанных параметров.

На рис. 10 приведены зависимости размерной  $P_6$  и безразмерной  $\bar{P}_6$  сил от безразмерной скорости  $\bar{v}$  при различных отношениях углов заточки наклонных граней  $t_{\alpha\beta}$ ; на рис. 11 – контурный график с зависимостью силы нормального контактного давления на заднюю наклонную грань ножа с отсутствующей боковой гранью от угла его заточки и толщины; на контурных графиках рис. 12, 13 – сравнительные зависимости сил нормальных контактных давлений на заднюю наклонную грань  $P_5$  и  $P_6$  от угла заточки и толщины ножа – при малой и большой безразмерных его скоростях.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Проанализируем влияние различных параметров процесса резания на положение крайней точки контакта. Результаты моделирования, представленные на рис. 2, а, показывают, что с увеличением угла заточки задней наклонной грани координата крайней точки контакта монотонно нелинейно снижается. Увеличение угла заточки при постоянной толщине ножа соответствует увеличению скорости разгрузки материала (см. рис. 1).

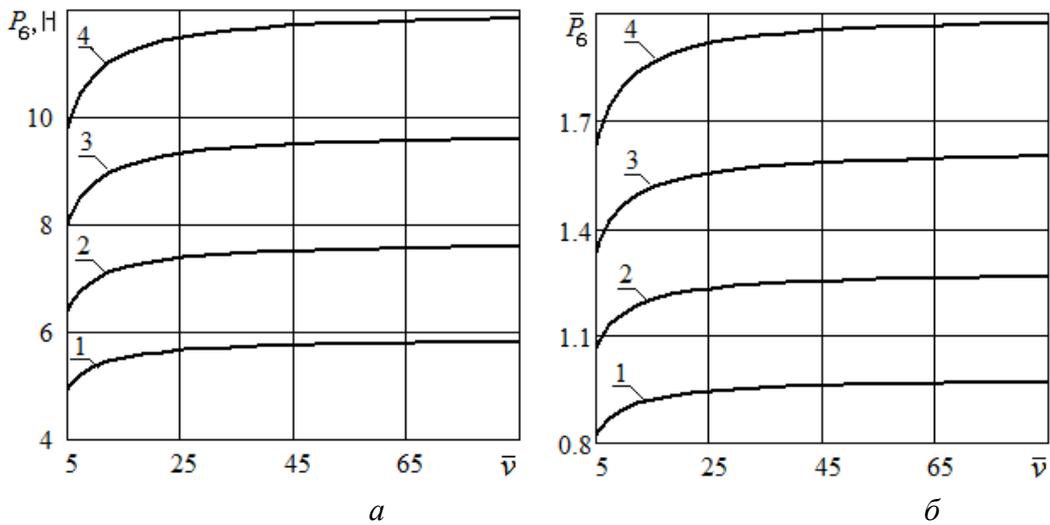


Рис. 10. Сила нормального контактного давления на заднюю наклонную грань ножа с отсутствующей боковой гранью ( $e_{01} = 3$ ):  $a$  – размерная ( $P_0 = 6$  Н);  $\bar{b}$  – безразмерная: 1 –  $t_{\alpha\beta} = 0,7$ ; 2 –  $t_{\alpha\beta} = 0,8$ ; 3 –  $t_{\alpha\beta} = 0,9$ ; 4 –  $t_{\alpha\beta} = 1,0$   
 Fig. 10. The force of the normal contact pressure on the back inclined facet of the knife with no side facet ( $e_{01} = 3$ ):  $a$  – dimension ( $P_0 = 6$  Н);  $\bar{b}$  – dimensionless

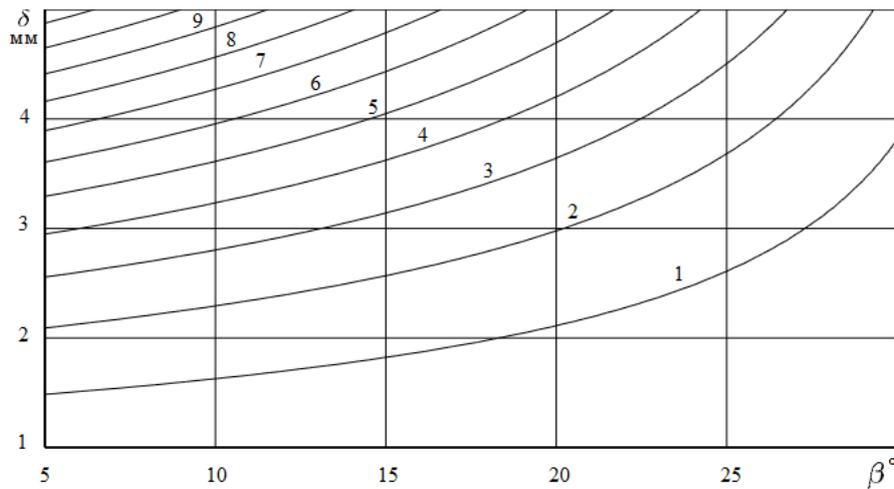


Рис. 11. Зависимость силы нормального контактного давления на заднюю наклонную грань ножа с отсутствующей боковой гранью  $P_6$  (в ньютонах) от угла заточки и толщины ножа при  $e_{01} = 2$ ;  $\bar{v} = 200$ ;  $\alpha = 5^\circ$ ;  $l = 0,05$  м  
 Fig. 11. Dependence of the normal contact pressure force on the back inclined facet of the knife with no side facet  $P_6$  (in newtons) on the sharpening angle and the thickness of the knife

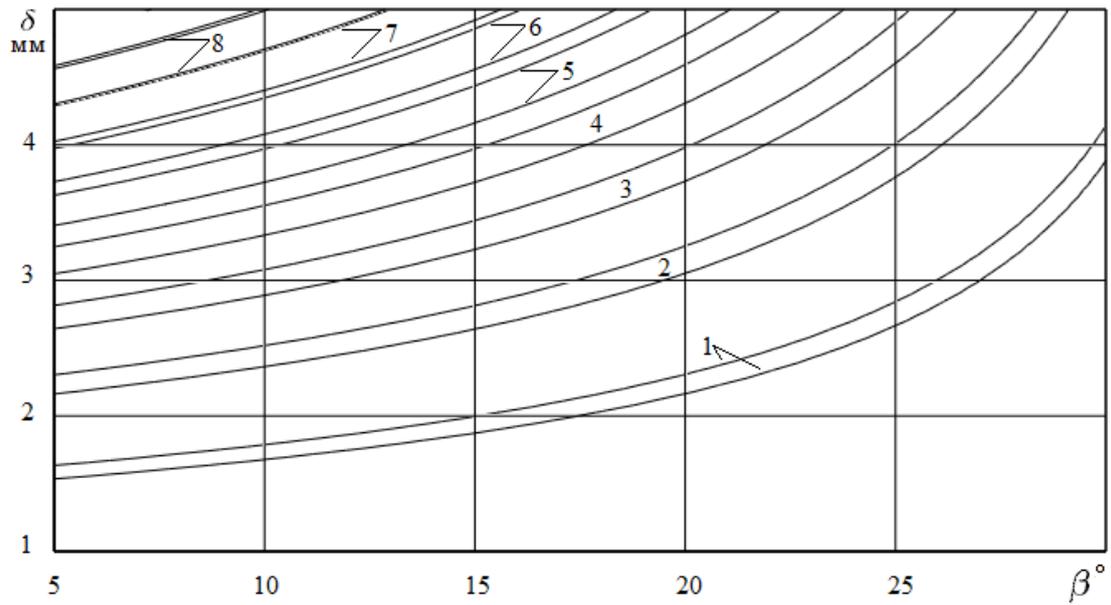


Рис. 12. Силы нормальных контактных давлений на заднюю наклонную грань  $P_5$  и  $P_6$  (в ньютонах) при  $\bar{v} = 20$  ( $e_{01} = 2$ ;  $\alpha = 5^\circ$ ;  $l = 0,05$  м)

Fig. 12. The forces of the normal contact pressures on the back inclined facet  $P_5$  and  $P_6$  (in newtons)

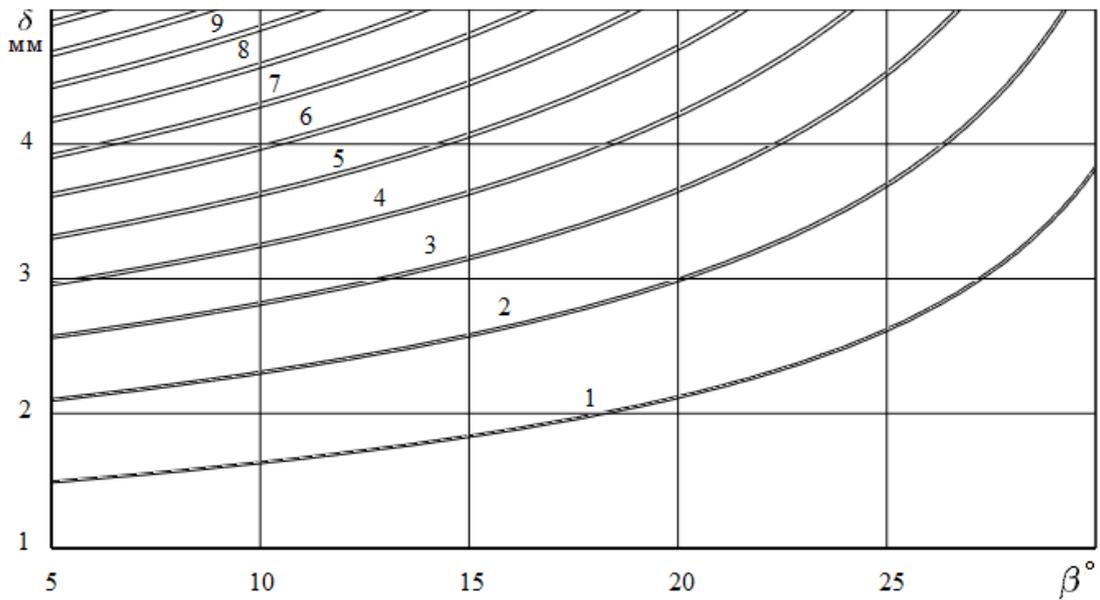


Рис 13. Силы нормальных контактных давлений на заднюю наклонную грань  $P_5$  и  $P_6$  (в ньютонах) при  $\bar{v} = 200$  ( $e_{01} = 2$ ;  $\alpha = 5^\circ$ ;  $l = 0,05$  м)

Fig. 13. The forces of the normal contact pressures on the back inclined facet  $P_5$  and  $P_6$  (in newtons)

Соответственно с увеличением скорости разгрузки нарастает отставание высокоэластической восстановительной деформации от процесса разгрузки. При этом с ростом толщины ножа ожидаемо увеличивается координата крайней точки контакта, поскольку запасенная в материале вязкоупругая энергия зависит от величины деформации. Одновременно рис. 2, б демонстрирует, что с увеличением безразмерной скорости ножа координата крайней точки контакта монотонно нелинейно возрастает и достигает предела. Это объясняется релаксацией напряжений в материале при его деформировании боковой гранью. С ростом скорости ножа сокращается время, в течение которого происходит релаксация напряжений при контакте материала с боковой гранью. Вследствие этого диссипация энергии, запасенной в деформированном вязкоупругом материале, осуществляется в существенно меньшем количестве. При больших скоростях ножа процесс релаксации практически не успевает протекать, и влияние скорости на положение крайней точки контакта заметно снижается. Причем с увеличением скорости разгрузки материала, определяемой величиной угла заточки грани, снижается влияние процесса релаксации напряжений на положение крайней точки контакта.

При отсутствии у ножа боковой грани не происходит релаксация напряжений при постоянной деформации материала. Поэтому результаты моделирования, представленные на рис. 3, а, в целом соответствуют результатам на рис. 2, а, однако из-за отсутствия диссипации энергии координата крайней точки контакта больше для ножа без боковой грани. Это соответствует сокращению объема присоединенной каверны.

Как и следовало ожидать, при отсутствии релаксации напряжений влияние скорости ножа на положение крайней точки контакта несущественно и заметно лишь при малых скоростях (рис. 3, б). В связи с этим пределы координаты крайней точки контакта совпадают с пределами, соответствующими ножу с боковой гранью.

Рис. 4, 5 демонстрируют, что размерная и безразмерная силы нормального контактного давления на заднюю наклонную грань с увеличением безразмерной скорости монотонно нелинейно возрастают и достигают пределов. Безразмерная длина боковой грани оказывает влияние на величины указанных сил только при малых скоростях ножа, в связи с чем пределы сил практически не зависят от длины боковой грани. С ее увеличением процесс релаксации напряжений протекает дольше, а силы нормального контактного давления снижаются вследствие диссипации вязкоупругой энергии в материале. В то же время, как видно по рис. 5, при сокращении безразмерной длины боковой грани размерная и безразмерная силы при малых скоростях существенно возрастают, поскольку диссипация вязкоупругой энергии становится малой. Пределы указанных сил зависят от меры эластичности материала и отношения тангенсов углов заточки.

Результаты моделирования, представленные на рис. 6, показывают, что с увеличением угла заточки задней наклонной грани сила нормального контактного давления монотонно нелинейно снижается. Это является следствием сокращения площади контакта материала с наклонной гранью, поскольку координата крайней точки контакта также снижается (рис. 2, а). При этом увеличение толщины приводит к возрастанию указанной силы вследствие увеличения деформации материала. В то же время при возрастании меры эластичности материала указанная сила увеличивается, что объясняется усилением мгновенно-упругих свойств сырья.

При достижении углом заточки задней наклонной грани значения  $90^\circ$  сила нормального контактного давления принимает нулевое значение.

Рис. 7, 8 демонстрируют зависимости безразмерной координаты крайней точки контакта и безразмерной силы нормального контактного давления на заднюю наклонную грань от безразмерной скорости при изменении геометрических параметров ножа – безразмерной высоты и отношения тангенсов углов заточки граней. С увеличением безразмерной высоты ножа координата крайней точки контакта снижается, объем присоединенной каверны увеличивается, что объясняется диссипацией вязкоупругой энергии в материале. При увеличении отношения тангенсов углов заточки указанная координата возрастает, что связано с уменьшением скорости разгрузки материала и означает рост площади контакта. При любых безразмерных высотах ножа предел безразмерной координаты крайней точки контакта равен отношению тангенсов углов заточки передней и задней наклонных граней.

С увеличением безразмерной высоты ножа безразмерная сила нормального контактного давления снижается при малых и средних скоростях, что объясняется релаксацией напряжений в материале. При увеличении отношения тангенсов углов заточки указанная сила возрастает, что связано с уменьшением скорости разгрузки материала и ростом площади контакта материала с наклонной гранью.

От безразмерной высоты ножа предел силы практически не зависит, однако зависит от меры эластичности материала и отношения тангенсов углов заточки. При мере эластичности материала, равной 2, безразмерной высоте ножа, равной 2, и отношениях тангенсов углов заточки 0,7; 0,8; 0,9; 1,0 предел безразмерной силы составляет соответственно 0,735; 0,96; 1,215; 1,5. При безразмерной высоте ножа, равной 2, отношении тангенсов углов заточки, равном 0,7, и мерах эластичности материала 2; 3; 4; 5 предел составляет соответственно 0,735; 0,98; 1,225; 1,47.

Контурный график на рис. 9 показывает зависимости размерной силы нормального контактного давления на заднюю наклонную грань от геометрических параметров ножа. Как видно из данного графика, указанная сила монотонно нелинейно возрастает при снижении угла заточки задней грани (вследствие увеличения площади контакта материала с ножом), а также при увеличении толщины ножа (вследствие роста деформации материала наклонной и боковыми гранями).

Результаты моделирования, представленные на рис. 10, относятся к ножу без боковой грани и демонстрируют, что сила нормального контактного давления с увеличением безразмерной скорости ножа монотонно нелинейно увеличивается и достигает предела. Увеличение отношения тангенсов углов заточки приводит к существенному возрастанию силы, поскольку увеличивается площадь контакта материала с ножом. При мере эластичности материала, равной 3, и отношениях тангенсов углов заточки 0,7; 0,8; 0,9; 1,0 предел безразмерной силы составляет соответственно 0,98; 1,28; 1,62; 2. Отметим, что пределы сил  $P_5$  и  $P_6$  при больших скоростях совпадают.

Результаты на рис. 11 соответствуют результатам на рис. 9. Вместе с тем рис. 12, 13 показывают, что при малых скоростях ножа силы нормальных контактных давлений для ножа с боковой гранью и без боковой грани заметно отличаются при малых углах заточки задней грани и больших толщинах ножа. При больших скоростях ножа указанные силы практически не отличаются. Причиной этого, как указывалось выше, является влияние релаксации напряжений при по-

стоянной деформации материала боковой гранью ножа. При отсутствии же боковой грани диссипация энергии не протекает, а вязкоупругая энергия сохраняется и высвобождается при разгрузке материала на задней наклонной грани. На рис. 12, 13 линии, соответствующие силе  $P_5$ , расположены выше линий, соответствующих силе  $P_6$ . Это означает, что в случае отсутствия боковой грани при одинаковом угле заточке задней наклонной грани определенное значение силы нормального контактного давления будет достигнуто при меньшей толщине ножа.

С учетом вышеизложенного следует отметить, что при движении ножа в вязкоупругом материале происходят преобразования энергии. При раздвижении материала передними наклонными гранями механическая энергия движения ножа преобразуется в вязкоупругую энергию материала. В процессе релаксации напряжений вязкоупругая энергия превращается в тепловую. При разгрузке материала на задних наклонных гранях осуществляется обратное преобразование вязкоупругой энергии материала в механическую энергию движения ножа.

Согласно [7], вязкоупругой является энергия механически вязкоупруго измененного тела, освобождаемая при снятии нагрузки. Указанный вид энергии условно относится к потенциальному, в то время как механическая и тепловая энергии отнесены к кинетическим видам. Запасенная вязкоупругая энергия может превращаться в гравистатический, гравидинамический, механический, тепловой, электростатический, электродинамический и магнитостатический виды энергии. В процессе резания вязкоупругая энергия при разгрузке превращается в механическую и тепловую.

В трехэлементной реологической модели материала (рис. 2 в [4]) вязкоупругая энергия накапливается в пружинах, а в реальном теле накопление связано с наличием межмолекулярных сил притяжения и отталкивания. Как видно из результатов моделирования (рис. 3-13), преобразование энергии при раздвижении материала лезвием всегда сопровождается потерями, обусловленными переходом части энергии в тепловой вид. Это связано с необратимым в термодинамическом смысле характере деформации элементарного объема вязкоупругого материала. Наличие цикла частично обратимого превращения энергии из механического в вязкоупругий вид позволяет ожидать сокращения энергетических затрат на преодоление макроскопической силы трения [5] при движении в материале двухкромочного ножа. Такой энергетический выигрыш будет заметно зависеть от протекания термодинамически необратимого релаксационного процесса, т. е. определяется длиной боковой грани ножа, скоростью резания и реологическими свойствами материала. Показателем производства энтропии при деформировании материала является объем присоединенной каверны, который сокращается с увеличением скорости ножа.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. При резании рыбы двухкромочным ножом вязкоупругая энергия аккумулируется в материале при его деформировании передней наклонной гранью и частично высвобождается после полного погружения в материал боковой грани. При этом на задние наклонные грани действуют силы нормального контактного давления и образуется присоединенная каверна. В процессе резания происходит частично обратимое преобразование механической энергии движения ножа в по-

тенциальную вязкоупругую и тепловую энергии, а также производится энтропия, показателем которой является объем присоединенной каверны.

2. Положение крайней точки контакта на задней наклонной грани и соответственно объем присоединенной каверны зависят от углов заточки граней и скорости резания. Предельное положение указанной точки определяется отношением тангенсов указанных углов.

3. Математическое моделирование показывает, что сила нормального контактного давления зависит от толщины ножа, углов заточки грани, меры эластичности материала и скорости ножа. При увеличении безразмерной скорости ножа безразмерная сила достигает предельного значения, зависящего от углов заточки граней и меры эластичности материала. Длина боковой грани на предельное значение силы практически не влияет.

4. Отсутствие у ножа боковых граней оказывает влияние на положение крайней точки контакта и силу нормальных контактных давлений лишь при малых и средних скоростях ножа. Это объясняется тем, что при высоких скоростях процесс релаксации напряжений протекает малое время перед разгрузкой материала.

5. При отсутствии у ножа боковых граней, тем не менее образуется присоединенная каверна, обусловленная диссипацией энергии в материале. Это объясняется скачкообразным изменением в угловой точке ножа режима нагружения демпфера элемента Кельвина-Фойгта в трехэлементной реологической модели материала.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бредихин, С. А. Технологическое оборудование рыбоперерабатывающих производств / С. А. Бредихин. – Москва: МОРКНИГА, 2013. – 749 с.

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

3. 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. 61-78.

4. 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.

5. 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. Сер.: Процессы и аппараты пищевых производств. – 2017. – № 4. – С. 27-42. – DOI: 10.17586/2310-1164-2017-10-4-27-42.

6. Агеев, О. В. Математическое моделирование процесса восстановительной деформации материала и образования присоединенной каверны при резании

рыбы / О. В. Агеев, В. А. Наумов, Ю. А. Фатыхов // Известия Калининградского государственного технического университета. – 2018. – № 48. – С. 61-78.

7. Malkin, Ya. A. Rheology: conception, methods, and applications / Ya. A. Malkin, A. I. Isayev. – Toronto: ChemTec Publishing, 2012. – 510 p.

#### REFERENCES

1. Bredihin S. A. *Tehnologicheskoe oborudovanie rybopererabatyvajushhih proizvodstv* [Manufacturing equipment of fish processing productions]. Moscow, MORKNIGA, 2013, 749 с.

2. Ageev O. V., Fatykhov Yu. A. *Sovershenstvovanie tekhnologicheskogo oborudovaniya dlya pervichnoi obrabotki ryby: opyt, problematika, sistemnyi podkhod* [Perfection of manufacturing equipment for primary fish processing: experience, problems, system approach]. Kaliningrad, Izdatel'stvo FGBOU VPO "KGTU", 2015, 261 p.

3. Ageev O. V., Fatykhov Yu. A., Samoiloва N. V. Vybór i identifikacija reologicheskoy modeli strukturno-mehaničeskikh svoystv myshečnoj tkani ryby [Selection and identification of rheological model of the structural-mechanical properties of muscular fish tissue]. *Izvestija Kaliningradskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta*, 2018, no. 49, pp. 61-78.

4. Ageev O. V., Naumov V. A., Fatykhov Yu. A., Samoiloва N. V. Matematicheskoe modelirovanie sil normal'nogo kontaktnogo davleniya na naklonnye grani nozha pri rezanii ryby [Mathematical simulation of normal contact pressure forces of inclined knife facets during fish processing]. *Izvestija Kaliningradskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta*, 2017, no. 47, pp. 80-96.

5. Ageev O. V., Naumov V. A., Fatykhov Yu. A. Matematicheskoe modelirovanie sil normal'nogo kontaktnogo davleniya na bokovye grani nozha pri rezanii pishhevyykh materialov [Mathematical simulation of normal contact pressure forces on side knife facets during cutting of food materials]. *Nauchnyj zhurnal Sankt-Peterburgskogo nacional'nogo issledovatel'skogo universiteta informacionnykh tehnologij, mehaniki i optiki. Serija: Processy i apparaty pishhevyykh proizvodstv*, 2017, no. 4 (34), pp. 27-42.

6. Ageev O. V., Naumov V. A., Fatykhov Yu. A. Matematicheskoe modelirovanie processa vosstanovitel'noj deformacii materiala i obrazovaniya prisoedinennoj kaverny pri rezanii ryby [Mathematical simulation of the material strain recovery process and attached cavity formation during fish cutting]. *Izvestija Kaliningradskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta*, 2018, no. 48, pp. 61-68.

7. Malkin Ya. A., Isayev A. I. Rheology: conception, methods, and applications. Toronto, ChemTec Publishing, 2012, 510 p.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

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

*Ageev Oleg Vjatcheslavovich* – 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, профессор; заведующий кафедрой водных  
ресурсов и водопользования; E-mail: van-old@rambler.ru

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

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

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

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

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

УДК 664.38

ВЫДЕЛЕНИЕ КАРОТИНО-ПРОТЕИНОВОГО КОНЦЕНТРАТА  
ИЗ ПАНЦИРНЫХ ОТХОДОВ ВАРЕНО-МОРОЖЕНЫХ КРЕВЕТОК

М. В. Самсонов

EXTRACTION OF CAROTENE-PROTEIN CONCENTRATE FROM  
CRUSTACEAN WASTE OF COOKED-FROZEN SHRIMPS

M. V. Samsonov

Разработка рациональной технологии извлечения каротино-протеинового концентрата из панцирных отходов основывается на выборе протеазы, исследовании механизмов и временных интервалов распространения её по слоям кутикулы, а также значении предварительного суспензирования и интенсивности образования микроэмульсии. Все перечисленные факторы влияют не только на количественный выход концентрата, но и на конечное содержание астаксантина. Предложенная в работе модель двухступенчатой переработки панциря вареной северной креветки включает в себя следующие позиции: измельчение, предварительное суспензирование, первую ступень протеолиза, фракционирование, вторую ступень протеолиза, повторное фракционирование, осаждение хитозаном, инактивацию протеазы, вакуумное обезвоживание, хранение и реализацию. На основе экспериментальных данных были установлены оптимальные температурные и временные значения инактивации ферментативного препарата в соотношении с сохранностью астаксантина в неизменной форме. Режим применяемого процесса соответствует 85 град. С в течение 0,5 мин. Определено, что оптимальный режим вакуумного обезвоживания белкового концентрата составляет 75-80 мин при температуре не выше значения 50 град. С. Проведенный аминокислотный анализ концентрата показал наличие в своем составе девяти незаменимых аминокислот и ещё одиннадцати заменимых, следовательно, белок выделенного комплекса является полноценным с биологической точки зрения. Выполненные исследования по подбору типа хранения показали, что использование непрозрачной полиэтиленовой упаковки без вакуума обеспечивает сохранность неизмененного астаксантина в течение первых 10 сут, а при использовании непрозрачного полиэтиленового пакета под вакуумной упаковкой сохранность начальной формы астаксантина увеличивается до 120-130 сут.

*каротино-протеиновый концентрат, протеаза, вакуумное обезвоживание, астаксантин, ферментативный гидролиз*

Development of a rational technology for the extraction of carotene-protein concentrate from the crustacean waste is based on a reasonable choice of protease,

studies of the mechanisms and time intervals of its spread through the cuticle layers, as well as the value of pre-suspension and the formation of microemulsions. All of these factors affect not only the quantitative yield of concentrate, but also the final content of astaxanthin. The proposed model of two-stage processing of the carapace of cooked shrimps consists of the following stages: crushing, pre-suspension, the first stage of proteolysis, fractionation, the second step of proteolysis, refractionation, precipitation by chitosan, inactivation of protease, vacuum dehydration, storage and sales. On the basis of the experimental data, the optimal temperature and time values of inactivation of the enzymatic preparation have been found, in the ratio of astaxanthin safety in an unchanged form. The mode of the acceptable inactivation corresponds to 85 deg C, for about 0.5 minutes. It has been determined that the optimal mode of vacuum dehydration of protein concentrate is 75-80 minutes at a temperature not higher than 50 deg C. AFR. The conducted amino acid analysis of the concentrate showed the presence of all nine essential amino acids and eleven other interchangeable, therefore, the protein of the selected complex is complete from a biological point of view. The conducted research on the selection of the storage type has showed that the use of opaque polyethylene packaging without vacuum ensures safety of unchanged astaxanthin during the first 10 days, and when using an opaque plastic bag under vacuum packing, the safety of the initial form of astaxanthin increases to 120-130 days.

*carotene-protein concentrate, protease, vacuum dehydration, astaxanthin, enzymatic hydrolysis*

## ВВЕДЕНИЕ

Развитие рыбоперерабатывающей отрасли в РФ обуславливается внедрением передовых ресурсосберегающих технологий, основанных в том числе на использовании технологических процессов переработки нетрадиционного водного сырья [1]. При этом особый интерес представляет хитинсодержащее сырье, оставшееся после разделки ракообразных (креветок, крабов). Основными продуктами, выделяемыми из панцирьсодержащих отходов (ПСО), являются различные липидо-протеиновые комплексы в связи с каротиноидами (астаксантином), а так же хитин-хитозан [2].

Однако при переработке ПСО получение пищевого каротино-протеинового концентрата (КПК) с заданными биологическими свойствами связано со значительными экономическими издержками, так как ПСО ракообразных представляет сложносоставное капиллярно-пористое основание, в составе которого заложены плотноупакованные хитино-минеральные пластины с проходящими через неё кристалло-аморфными фибриллами, а так же пигментные клетки липидно-белковой природы [3].

Возможное решение данной проблемы связывается с внедрением научно обоснованных ресурсосберегающих технологий, основанных на применении гидролиза [4]. Гидролиз ПСО подразумевает использование химического или биологического (ферментативного) воздействия на молекулы субстрата [5]. Химический гидролиз основывается на воздействии агрессивных реагентов, что

может представлять определённую технологическую проблему, связанную с дальнейшей очисткой концентрата, а также с целостностью основных выделяемых компонентов [6].

Использование ферментативного гидролиза при выделении КПК из ПСО целесообразнее, что связывается с большей возможностью контролировать и влиять на процесс расщепления, а так же с невысокими технологическими издержками [7]. Основным недостатком применения используемых протеаз (трипсин, химотрипсин) в процессе переработки ПСО являются значительные экономические затраты на препарат. Решением данной проблемы может быть использование недорогой микробиологической протеазы, с низкой степенью очистки – Протосубтилин ГЗх-70 нейтральный (ПГЗх) [8, 9].

При создании технологии переработки ПСО необходимо учитывать данные: о воздействии ПГЗх на интенсивность образования микроэмульсий, о степени извлечения азотсодержащих веществ (АСВ) при протеолизе ПСО, о возможном использовании хитозана (в качестве осаждающего агента), о необходимой концентрации протеазы и временных интервалах в аспекте соотношений высокого значения извлечённых высокомолекулярных АСВ при минимальной концентрации микроэмульсии [8, 9, 10, 11]. А также данные о влиянии предварительного суспензирования и воздействии ПГЗх на хитино-минеральный субстрат, с разной степенью однородности, в аспекте превалирования диффузионного или кинетического характера гидролиза, что отображает интенсивность распространения протеазы по слоям кутикулы, в зависимости от временного интервала [11].

Однако существующие режимы температурной инактивации протеазы с последующей сушкой концентрата и его хранение, в меньшей степени направлены на сохранение астаксантина в начальной форме, что в свою очередь не позволяет достичь конечному продукту заданных функционально-биологических свойств. Решение поставленной проблемы заключается в разработке научно обоснованного режима инактивации фермента и применении вакуумного обезвоживания гидролизата.

Цель работы: на основании имеющихся научно обоснованных данных предложить технологическую схему протеолиза ПСО северной креветки (*Pandalus borealis*) с использованием ПГЗх, с увеличенным количественным выходом неизмененного астаксантина в белковом концентрате.

#### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В рамках научно-исследовательских мероприятий использовались ПСО, полученные в результате разделки варёных северных креветок, с последующим дефростированием на воздухе. Химический состав ПСО: белок – 11,2 %, липиды – 5,5 % (в том числе 0,98 % – каротиноиды), минеральные вещества – 5,2 %, влага – 74 %, хитин – 4,2 %. Использовалась протеаза микробиологического происхождения – протосубтилин ГЗх нейтральный (Protosubtilin G3H).

Измельчение панцирных отходов производилось в куттере РИМАК объёмом 5 л. Суспензирование проводилось при температурных значениях не более 21°С продолжительностью не более 5 мин. Процесс инактивации ПГЗх проходил при отсутствии влияния прямого ультрафиолетового излучения в специализированном тепловом шкафу. Центрифугирование осуществлялась в центрифуге со скоростью не менее 5000 об/мин в течение 15 мин.

Массовое определение неизменного астаксантина в концентрате осуществлялось при использовании стандартных методов очистки каротиноидов и подготовке анализов по ГОСТ 54058-2010 с последующим анализом на фотоэлектроколориметре (ФЕК) модели 2МК.

При определении аминокислотных значений использовался ионообменный хроматографический анализ.

Определение активности протеазы осуществлялось методом изучения скорости превращения субстрата под влиянием фермента в исследуемом сырье при протеолитической реакции катализации.

Схема определения кинетики ферментативных реакций отображается в двухстадийной системе (1):



где E – ферментный препарат; S – значение субстрата; P – продукты реакции;  $k_{\text{кат}}$  – *const* каталитическая.

Начальная скорость катализируемой протеолиза (где расходом субстрата можно пренебречь), выражается уравнением Михаэлиса–Ментен (2):

$$v_o = \frac{k_{\text{кат}} \cdot [E]_0 \cdot [S]_0}{K_m + [S]_0} = \frac{V_{\text{макс}} \cdot [S]_0}{K_m + [S]_0}, \quad (2)$$

где  $V_{\text{макс}} = k_{\text{кат}} \times [E]$  – максимальная скорость реакции;  $v_o$  – начальная скорость;  $[E]_0$  – начальная концентрация фермента;  $K_m$  – *const* Михаэлиса.

Пробы отбирают через фиксированные временные промежутки, также проводится определённое количество экспериментов для определения динамики активности фермента.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОСУЖДЕНИЕ

При проведении протеолиза в течение 120 мин извлекается до 65 % КПК [8, 9], однако до 20-25 % КПК остаётся неизвлечённым. Учитывая динамику распространения фермента по слоям кутикулы и соотношение интенсивности гидролиза, предлагается двухступенчатая модель протеолиза с предварительным суспензированием и осаждением образовавшихся микроэмульсий хитозаном [9].

Первая ступень протеолиза проходила при температуре 37° С в течение 2 ч, гидромодуль 1/10, концентрация фермента 0,7 % от массы сырья. Для второго этапа гидролиза берётся 0,2 % протеазы при гидромодуле 2,8, режимы идентичны первой ступени. При использовании полученных данных о специфичности

ПГЗх и его концентрации, а также о процессах и интервале образования микроэмульсий составлена технологическая схема выделения КПК из ПСО вареной креветки (рис. 1).

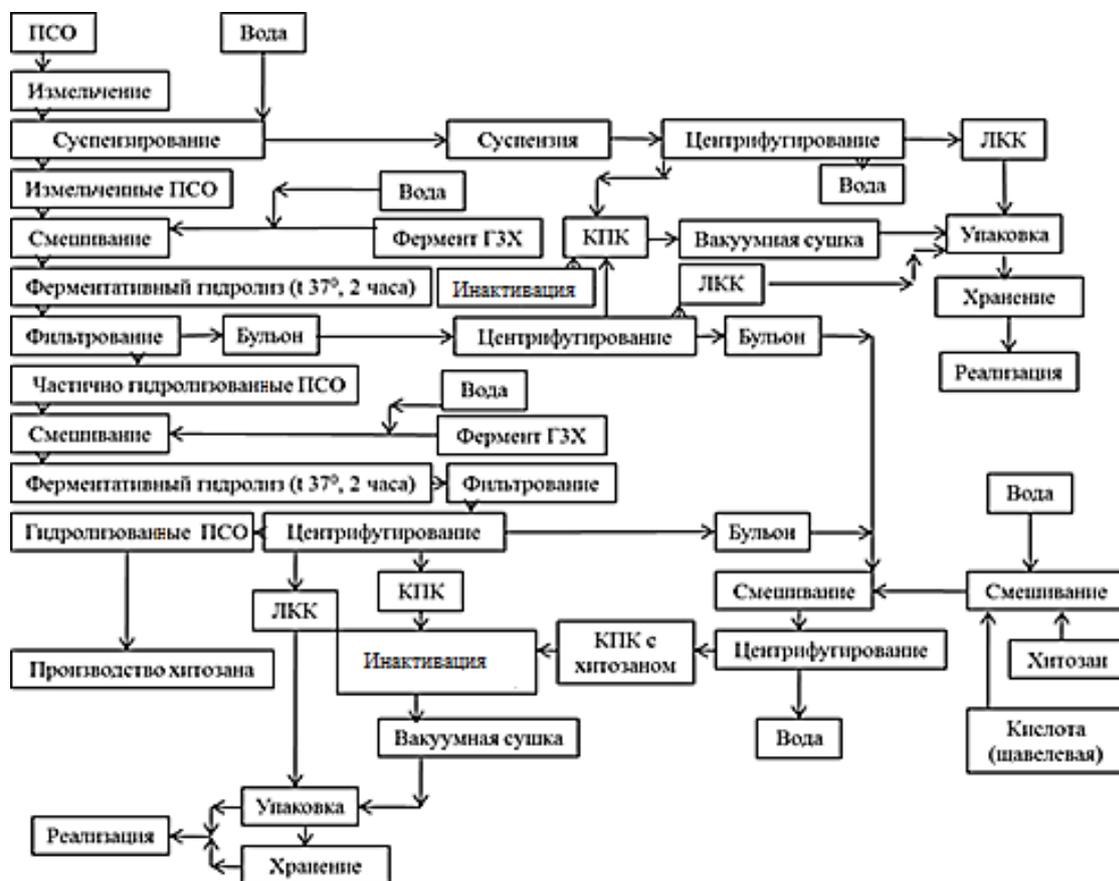


Рис. 1. Технологическая схема выделения каротино-протеинового концентрата  
 Fig. 1. Process flow diagram of carotene-protein concentrate extraction

Технологическая схема выделения концентрата из ПСО включает в себя следующие основные операции: измельчение, суспензирование, первая ступень протеолиза, фильтрация, вторая ступень протеолиза, фракционирование, инактивация фермента и осаждение хитозаном.

Суспензия, полученная в результате механического отделения биомолекул, несвязанного с хитино-минеральным матриксом, также подвергается фракционированию и концентрированию, что объясняется значительным содержанием астаксантина в составе извлеченных комплексов.

Депротеинизированный хитино-минеральный матрикс используется для производства хитозана по технологии Немцева [12].

При определении параметров инактивации ПГЗх учитывались качественные зависимости температурных показателей от продолжительности

процесса. Начальные режимы инактивации принимаются с учётом литературных и патентных данных по активности протеазы ПГЗх (рис. 2).

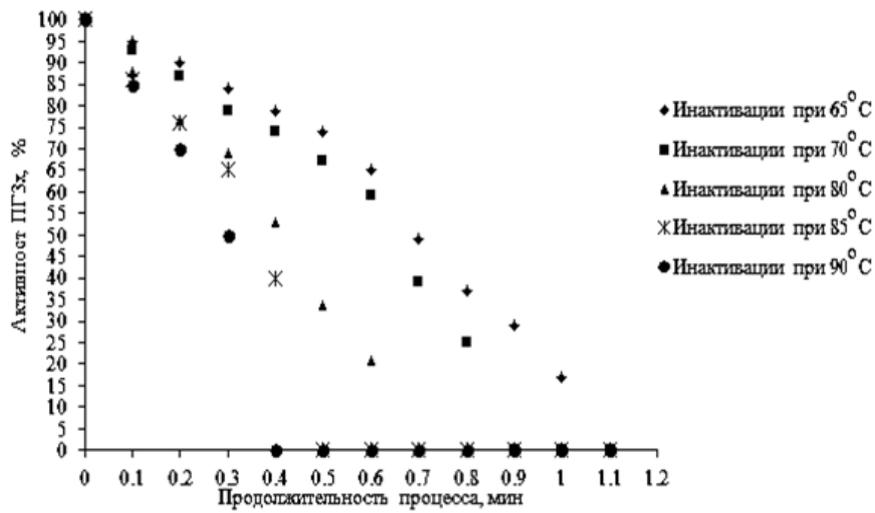


Рис. 2. Динамика инактивации ПГЗх  
Fig. 2. Dynamics of Pg3h inactivation

При минимальных термических значениях (65°C) точка инактивации достигается в течение 1,1 мин. При максимальном значении в 90°C данный показатель достигается в течение 0,4 мин с момента начала процесса.

При подборе режима инактивации в качестве основополагающего значения использовалось процентное соотношение астаксантина в неизменной форме (рис. 3).

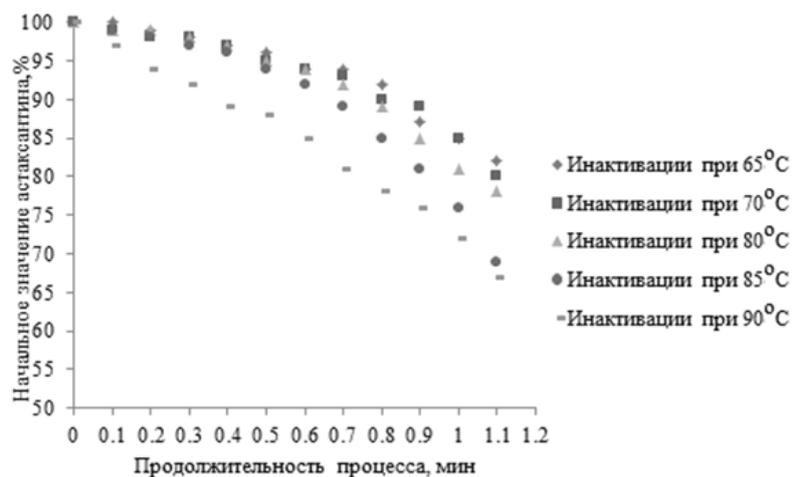


Рис. 3. Воздействие температурной инактивации на концентрацию неизменённого астаксантина  
Fig. 3. Effect of temperature inactivation on concentration of unchanged astaxanthin

Полученные результаты (рис. 3) показывают, что в течение первой минуты инактивации происходит потеря от 4 до 12 % астаксантина. Дальнейшее нагревание концентрата ведёт к интенсивному изменению каротиноидов. С учётом данных (рис. 2) оптимальный уровень приемлемой инактивации соответствует температурному режиму в 85°С в течение 0,5 мин, при этом по достижению установленной точки сохранность астаксантина в начальной форме варьируется в пределах 94-96 %.

Для обезвоживания концентрата использовалась вакуумная сушка. Процесс сушки осуществлялся при температуре не выше 50°С (используемая температура рекомендована при обезвоживании белковых паст и концентрированных гидролизатов) в вакуумной установке. Использование больших температур нежелательно, так как приводит к изменению начальной формы астаксантина, снижая его биологические свойства (рис. 4).

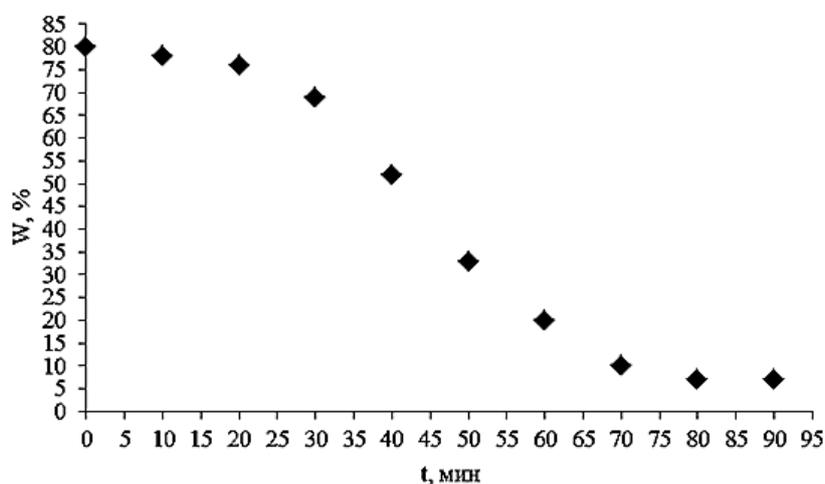


Рис. 4. Кривая вакуумной сушки

Fig. 4. Vacuum drying curve

Данные по кривой обезвоживания позволили разделить процесс на несколько этапов. Первый этап соответствовал временному интервалу от 0 до 20 мин и характеризовался начальным прогреванием сырья. Потеря влаги при этом минимальна. Второй этап соответствовал отрезку времени от 20 до 50 мин, который обуславливается периодом постоянной сушки. Происходило интенсивное удаление влаги по линейному закону. Снижение влаги наблюдается до первой критической точки влажности (точка в 50 мин). Третий этап состоял из двух участков кривизны – первый на интервале от 50 до 70 мин, где достигалась вторая критическая точка влажности. И второй отрезок – от 70 до 80 мин, здесь достигалась точка равновесия влажности, при этом дальнейшее удаление влаги не происходит.

Из анализа полученных данных видно, что оптимальное время вакуумного обезвоживания соответствует временному интервалу в 75-80 мин.

Технология двухступенчатого протеолиза ПСО позволяет получать белковый концентрат со значительным содержанием неизмененного астаксантина (табл. 1) и аминокислот (табл. 2).

Таблица 1. Химический состав обезвоженного белкового концентрата  
Table 1. Chemical composition of dehydrated protein concentrate

Наименование показателей	Содержание в КПК, %
Белок, не менее	82.6
Липиды, не более	2.4
Минеральные в-ва, не более	3,5
Влага, не более	10
Астаксантин в неизменённой форме, не менее	0.05
Хитин/хитозан, не более	1

Данные по химическому составу позволяют отнести выделенный КПК к белковому концентрату с невысоким содержанием липидов (в 2,0-2,4 % от общей массы). Щадящие режимы обработки позволяют сохранить значительную концентрацию неизмененного астаксантина как в свободном виде, так и в комплексе с протеинами и липидами.

Таблица 2. Аминокислотный состав КПК  
Table 2. Amino acid composition of the CPC

Наименование аминокислоты	Результаты испытаний г/100г	Погрешность / Неопределённость
Фенилаланин	2.41	0.69
Тирозин	1.65	0.47
Лейцин	2.7	0.99
Изолейцин	1.3	0.99
Гистидин	1.61	0.77
Цистин	1.7	0.55
Аланин	3.04	0.75
Метионин	1.53	0.49
Ванин	3.32	1.26
Глутаминовая кислота – Глутамин	7.23	2.75
Треонин	2.81	1.07
Серин	2.73	0.67
Пролин	2.36	0.9
Глицин	2.81	0.91
Аспарагиновая кислота – Аспарагин	8.22	3.12
Лизин	4.62	1.49
Аргинин	3.77	1.43
Триптофан	0.62	0.18

Показатели аминокислотного состава КПК демонстрируют наличие всех девяти незаменимых аминокислот и ещё одиннадцати заменимых. Биологические значения аминокислотного состава позволяют характеризовать белковый концентрат как полноценный с биологической точки зрения.

Для определения хранимоспособности КПК (с учётом комнатных температур в 21°C) по таким показателям, как концентрация неизменённого астаксантина, проведены исследования по определению сохранности в непрозрачной вакуумной и обычной упаковке. В качестве обычной упаковки использовался непрозрачный полиэтиленовый пакет (рис. 5).

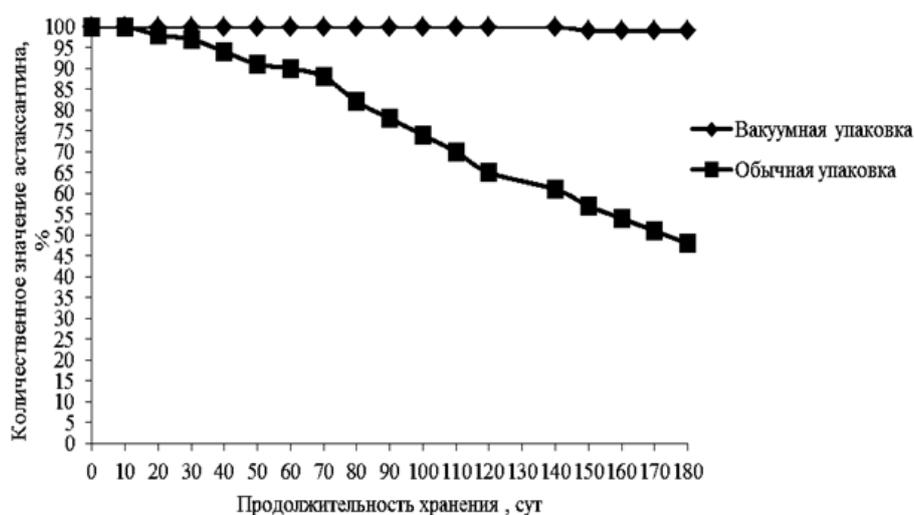


Рис. 5. Влияние переменных временных интервалов и типов упаковки на хранимоспособность астаксантина

Fig. 5. Dependence of the variable time intervals and packaging types on the storage capacity of astaxanthin

Исходя из полученных данных по сохранности астаксантина, можно сделать вывод, что при использовании непрозрачной полиэтиленовой вакуумной упаковки потери каротиноидов не происходят в течение 120 сут хранения при комнатной температуре (21° С). Небольшие изменения в 1 % наблюдаются после 130-140 сут хранения.

Использование невакуумной упаковки позволяет сохранять начальную концентрацию астаксантина в течение 10 сут хранения. Последующее хранение ведёт к снижению концентрации неизмененного астаксантина, что объясняется в первую очередь окислительными процессами при контакте с кислородом.

При использовании краткосрочного хранения КПК рационально использовать обычную, не вакуумную упаковку. Однако для более продолжительного хранения необходимо применять упаковку под вакуумом.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана технологическая схема выделения белкового концентрата со значительным содержанием полноценного (с биологической точки зрения) белка и неизменённого астаксантина, при концентрации липидов в 2,0-2,4 % (на сухое вещество).

Предложенная модель двухступенчатого протеолиза ПСО северной креветки включала в себя предварительное суспензирование, первую ступень гидролиза (2 ч при 37°С, гидромодуль 1/10, концентрация фермента 0,7 % от массы сырья), вторую ступень гидролиза (2 ч при 37°С, гидромодуль 2/8, концентрация фермента 0,2 %), центрифугирование (не менее 5000 об/мин, 15 мин), осаждение хитозаном образовавшейся микроэмульсии, инактивацию фермента (85°С, 0,5 мин), вакуумное обезвоживание (75-80 мин при температуре не более 50 °С).

Продолжительность хранения КПК при температуре не выше 21°С при вакуумной упаковке составляет 120-130 сут без потери астаксантина, при упаковке без вакуума – 10 сут.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Артюхова, С. А. Технология продуктов из гидробионтов: учеб. / С. А. Артюхова, В. Д. Богданов, В. М. Дацун. – Москва: Колос, 2001. – 496 с.
2. Строкова, Н. Г. Биотехнологические аспекты комплексной переработки ракообразных / Н. Г. Строкова, А. В. Подкорытова // Биотехнология: состояние и перспективы: IV Московский междунар. конгресс: материалы. – 2011. – Ч. 2. – С. 241-242.
3. Noël, P. Comparative study of tegumentary carotenoids in *Processa edulis*, and *Lysmata seticaudata* (Crustacea, Caridae) / P. Noël, Y. Couturier-Bhaud // *Comp. Biochem. and Physiol.* B. – 1981. – 70, N 3. – P. 571-578.
4. Строкова, Н. Г. Универсальная комплексная технология переработки культивируемых и промысловых ракообразных / Н. Г. Строкова, Н. В. Семикова, О. В. Ефремов // Морские прибрежные экосистемы. Водоросли, беспозвоночные и продукты их переработки: IV Междунар. науч.-практ. конф.: тез. докл. – Южно-Сахалинск, 2011. – С. 242.
5. Неклюдов, А. Д. Получение и очистка белковых гидролизатов / А. Д. Неклюдов, А. Н. Иванкин, А. В. Бердугина // *Прикладная биохимия и микробиология.* – 2000. – Т. 36, № 4. – С. 379-370.
6. Севодина, К. В. Кинетическое моделирование и его роль в изучении процессов неферментативного потемнения пищевых продуктов / К. В. Севодина, Г. И. Севодина // *Ползуновский вестник.* – 2011. – № 4-1. – С. 56-58.
7. Максимюк, Н. Н. О преимуществах ферментативного способа получения белковых гидролизатов / Н. Н. Максимюк, Ю. В. Марьяновская // *Фундаментальные исследования.* – 2009. – № 1. – С. 34-35.
8. Самсонов, М. В. Сравнительный анализ выделения астаксантина из панцирных отходов ракообразных с использованием ферментных препаратов трипсин, химотрипсин, протосубтилин / М. В. Самсонов, М. Л. Винокур, М. П. Андреев // *Известия КГТУ.* – 2017. – № 44. – С. 143-150.
9. Самсонов, М. В. Использование протосубтилина г3х для предотвращения образований микроэмульсий при гидролизе панцирных отходов северной креветки / М. В. Самсонов // *Известия КГТУ.* – 2017. – № 47. – С. 123-134.
10. Неклюдов, А. Д. Получение и очистка белковых гидролизатов / А. Д. Неклюдов, А. Н. Иванкин, А. В. Бердугина // *Прикладная биохимия и микробиология.* – 2000. – Т. 36, № 4. – С. 371–379.
11. Самсонов, М. В. Исследование процесса гидролиза панцирных отходов вареной креветки с использованием протосубтилина / М. В. Самсонов, М. Л. Винокур, М. П. Андреев // *Известия КГТУ.* – 2017. – № 46. – С. 90-101.
12. Немцев, С. В. Получение низкомолекулярного водорастворимого хитозана / С. В. Немцев // *Биотехнология.* – 2001. – № 6. – С. 37-42.

## REFERENCES

1. Artyuhova S. A. *Tekhnologiya produktov iz gidrobiontov* [Technology of products from hydrobionts ]. Moscow, 2001, 496 p.
2. Strokova N. G. Biotekhnologicheskie aspekty kompleksnoj pererabotki rakoobraznyh [Biotechnological aspects of complex processing of crustaceans]. *Biotechnology: status and prospects*, 2011, no. 2, pp. 241-242.
3. Noël P. Comparative study of tegumentary carotenoids in *Processa edulis*, and *Lysmata seticaudata* (Russ. Ed.: Noel P. Sravnitelnoe temperaturnih issledovaniy karotinoidov\_ v processe izmeneniya okrasa. *Comp. Biochem. and Phisiol*, 1981, no. 3, pp. 571-578.)
4. Strokova N. G. *Universal'naya kompleksnaya tekhnologiya pererabotki kul'tiviruemyh i promyslovyh rakoobraznyh* [Universal complex technology of processing of cultivated and commercial crustaceans]. Moscow, Marine coastal ecosystem, 2011, 242 p.
5. Neklyudov A. D. Poluchenie i ochistka belkovykh gidrolizatorov [Preparation and purification of protein hydrolysates]. *Applied biochemistry and Microbiology*, vol. 36, no. 4, pp. 379-370.
6. Sevodina K. V. Kineticheskoe modelirovanie i ego rol' v izuchenii processov nefermentativnogo potemneniya pishchevykh produktov [Kinetic modeling and its role in the study of non-enzymatic darkening of food products]. *Polzunovskii Herald*, 2011, no. 4-1, pp. 56-58.
7. Maksimyuk N. N. O preimushchestvah fermentativnogo sposoba polucheniya belkovykh gidrolizatorov [On the advantages of enzymatic method for producing protein hydrolysates]. *Fundamental study*, 2009, no. 1, pp. 34-35.
8. Samsonov M. V., Vinokur M. L., Andreev M. P. Sravnitel'nii analiz videleniya astaksantina iz pancirnih othodov rakoobraznykh s ispolzovaniem fermentnykh preparatov tripsin himotripsin protosubtilin [Comparative analysis of extraction of astaxanthin from crustacean shellfish waste with the use of enzyme preparations of trypsin, chymotrypsin, protosubtilin]. *Izvestiya KGTU*, 2017, no. 44, pp. 143-150.
9. Samsonov M. V. Ispol'zovanie protosubtilina g3h dlya predotvrashcheniya obrazovaniy mikroemul'sij pri gidrolize pancirnykh othodov severnoj krevetki [Use protosubtilin G3h for the prevention of micro-emulsions formation during hydrolysis of crustacean waste for Northern shrimp]. *Izvestiya KGTU* , 2017, no. 47, pp. 123-134.
10. Neklyudov A. D. Poluchenie i ochistka belkovykh gidrolizatorov [Preparation and purification of protein hydrolysates]. *Applied biochemistry and Microbiology*, 2000, vol. 36, no.4, pp. 371-379.
11. Samsonov M. V., Vinokur M. L., Andreev M. P. Issledovanie processa gidroliza pancirnykh othodov varenoj krevetki s ispolzovaniem protosubtilina [Study of the hydrolysis process of crustacean waste of boiled shrimps using protosubtilin]. *Izvestiya KGTU*, 2017, no. 46, pp. 90-101.
12. Nemtsev S. V. Poluchenie nizkomolekuljarnogo vodorastvorimogo hitozana [Preparation of low molecular weight water-soluble chitosan]. *Biotechnology*, 2001, no. 6, pp. 37-42.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

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

*Samsonov Maxim Vyacheslavovich* – Kaliningrad State Technical University;  
Postgraduate student of the Department of food technology;  
E-mail: Samsonov-Sk@ya.ru

## **СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ**



УДК 631.4 : 631.41

ВАЛОВОЙ КАЛИЙ В ПОЧВООБРАЗУЮЩИХ ПОРОДАХ И ПОЧВАХ  
ЗАМЛАНДСКОГО ПОЛУОСТРОВА

О. А. Анциферова

TOTAL POTASSIUM IN PARENT ROCKS AND SOILS OF THE  
SAMLAND PENINSULA

O. A. Antsiferova

Исследования проведены в пределах моренных, водно-ледниковых, озерно-ледниковых и аллювиальных ландшафтов Замландского полуострова (Калининградская область). Изучались почвы и породы под смешанными и лиственными лесами и на сельскохозяйственных угодьях. Среднее содержание валового калия в почвообразующих породах составляет 2,01 % (2,42 %  $K_2O$ ). Варьирование средних показателей по группам зависит от гранулометрического состава: от 0,42 %  $K_2O$  в рыхлых эоловых песках до 4,01 % в озерно-ледниковых и озерно-морских суглинках и глинах. Выявлена тесная связь валового калия с тонкодисперсной частью почвообразующих пород. Коэффициент его корреляции с физической глиной составил 0,74, с илистой фракцией – 0,72. В гумусовых горизонтах лесных почв содержание валового калия в среднем 1,62% (1,95%  $K_2O$ ), а сельскохозяйственных почв – 1,78% (2,15 %  $K_2O$ ). Высокие коэффициенты вариации внутри отдельных групп пород объясняются различиями в химическом составе. На основании сравнения содержания калия в почвах и породах обнаружена тенденция к выщелачиванию элемента в условиях промывного типа водного режима преобладающих дерново-подзолистых и буроземных почв. Распределение валового калия по профилю связано с интенсивностью развития оподзоливания и лессиважа, что приводит к дифференциации почв по химическому и гранулометрическому составу. Содержание калия в гумусовых горизонтах почв сельскохозяйственных угодий в большинстве случаев выше, чем в почвах лесных экосистем. Это объясняется различиями в круговороте веществ и длительным применением минеральных калийных удобрений в почвах агроэкосистем. Калий относится к группе элементов, которые практически не накапливаются в Fe- и Fe-Mn-новообразованиях почв.

*валовой калий, среднее содержание, почвообразующие породы, почвы, Замландский полуостров*

The investigations have been carried out within the moraine, water-glacial, limno-glacial and alluvial landscapes of the Samland Peninsula (Kaliningrad region). Soils and rocks under mixed and deciduous forests and on agricultural lands have been studied. The average content of total potassium in the parent rocks is 2,01 % (2,42 %  $K_2O$ ). Variation of the average parameters by groups depends on grain-size distribution: from 0.42%  $K_2O$  in loose aeolian sands to 4.01% in lake-glacial and lacustrine-marine

loam and clay. A close relationship between total potassium and the finely dispersed part of the parent rocks has been revealed. The coefficient of its correlation with physical clay was 0.74, with silt fraction- 0.72. In the humus horizons of forest soils, the content of total potassium is at the average of 1.62% (1.95% K<sub>2</sub>O), and agricultural soils- 1.78% (2.15% K<sub>2</sub>O). High coefficients of variation within individual groups of rocks are explained by differences in the chemical composition. Based on the comparison of the potassium content in soils and rocks, a tendency has been found towards leaching of the element under the conditions of flushing regime of the prevailing sod-podzolic and brown earth soils. Distribution of total potassium along the profile is related to the intensity of development of podzolization and lessivage, which leads to differentiation of soils by chemical and granulometric composition. The content of potassium in the humus horizons of soils in agricultural lands is, in most cases, higher than in soils of forest ecosystems. This is due to differences in circulation of substances and long-term use of mineral potassium fertilizers in the soils of agroecosystems. Potassium belongs to a group of elements that are not practically accumulated in Fe and Fe-Mn-neoformations of soils.

*total potassium, average content, parent rocks, soils, Samland Peninsula*

#### ВВЕДЕНИЕ

Калий – один из важнейших элементов литосферы и почв [1 - 3]. Коэффициент биологического поглощения калия высок (около 10), что определяет его биогенную аккумуляцию в верхних горизонтах почв.

Этот элемент является одним из основных (наряду с азотом и фосфором) для обеспечения минерального питания сельскохозяйственных растений. В агрономической практике для характеристики плодородия обычно выделяют четыре состояния калия, которые в природной почве неразрывно связаны друг с другом и динамичны при достижении равновесия для данной почвы: 1) калий минерального скелета (валовой); 2) калий необменный; 3) калий обменный; 4) калий почвенного раствора [4, с. 10]. Поэтому сведения о содержании валового калия имеют фундаментальное значение для познания геохимических особенностей почв региона. Прикладные аспекты связаны с оценкой общих запасов калия в почвах агроэкосистем и их потенциального плодородия.

В геохимической классификации элементов по особенностям их гипергенной миграции (автор А. И. Перельман) калий относится к слабоподвижным катионогенным водным мигрантам с постоянной валентностью [5, с. 338]. Главные геохимические барьеры для калия – биогеохимический (живое вещество) и сорбционный (глины).

Кларк калия в почвах 1,36 % по А. П. Виноградову [1]. Lindsay считает, что его величина составляет 0,83 %, с пределами содержания 0,04 – 3,0 [3].

Общее количество калия в природной почве зависит от ее минералогического состава, а также от того, в какой степени в ней представлены калийсодержащие минералы группы полевых шпатов и слюд и продукты их выветривания – вторичные минералы (иллиты, вермикулиты, смектиты, каолинит), а также смешаннослойные образования типа смектит-иллит, хлорит-смектит и др.

В почвах Европы содержание  $K_2O$  2,02 % (интервал 0,026 – 6,13 %) [2]. В. В. Прокашев приводит следующие данные по валовому количеству калия в дерново-подзолистых почвах: песчаные 0,6 – 1,4, супесчаные 1,5 – 2,2, суглинистые 1,8 – 2,5% [4, с. 9].

Калининградская область располагается в пределах Юго-Восточной Прибалтики и граничит с территорией Литвы. В моренных валунных суглинках Литвы содержание калия варьирует примерно в интервале 2,24 – 4,43% (от 2,7 до 5,34%  $K_2O$ ), в песчаных породах – 0,47 – 2,08% [6, с. 112 - 139].

Для условий Калининградской области данные о количестве и поведении калия в почвах ограничены. В задачи исследования входило: 1) изучить содержание калия в разных группах почвообразующих пород западной части Калининградской области – Замландского полуострова; 2) установить среднее содержание этого элемента в преобладающих и сопутствующих типах почв; 3) выяснить особенности его распределения по профилю почв.

### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Отбор образцов почв осуществлялся в моренных, водно-ледниковых, озерно-ледниковых и аллювиальных ландшафтах Замландского полуострова в ходе почвенного обследования. Для диагностики почв закладывались разрезы глубиной 150 – 220 см. Названия почв даны по классификации 1977 г. [7].

Валовое содержание калия определено рентгенфлуоресцентным энергодисперсионным методом в Почвенном институте им. В.В. Докучаева (г. Москва) на приборах «TEFA-6111» и «РЕСПЕКТ». Погрешность анализа соответствует требованиям третьей категории точности согласно правилам Научного совета по аналитическим методам.

Статистическая обработка данных проведена в программе Excel.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В осадочной дочетвертичной толще отложений Калининградской области зона концентрации калия обнаруживается в составе пород в основном пермского возраста (калийно-магниево-соли: сильвин, карналлит, кизерит, полигалит) [8]. Еще один минерал калия – глауконит – повсеместно распространен в палеогеновых отложениях, которые перекрывают, вмещают и подстилают залежи янтаря [9, 10].

По данным А. А. Завалишина и Б. В. Надеждина, в валунных моренных суглинках содержится от 13 до 33,3% гидрослюд, которые сконцентрированы в илистой фракции. Калиевых полевых шпатов 6 – 9 %, основная часть приходится на фракции мелкого песка и крупной пыли. Содержание валового калия 1,25 – 2,49 % (1,5 – 3%  $K_2O$ ).

В безвалунных глинах общее содержание гидрослюд достигает 67 – 76,5 %. Сосредоточены они в пылеватой, а большая их часть в илистой фракциях. Калиевых полевых шпатов в мелкоземной почве (фракции меньше 1 мм) до 3%. Содержание валового калия в безвалунных глинах наибольшее из всех четвертичных пород и составляет 2,6 – 4,6 % (3,1 – 5,6 %  $K_2O$ ).

В песчаных породах содержание гидрослюд 1,5 – 5,3%; калиевых полевых шпатов 5,2 – 10,7%, а валового калия наименьшее – 0,58 – 1,7% (0,7 – 2%  $K_2O$ ) [11, с. 13-35].

Среднее содержание калия в почвообразующих породах (табл. 1) ниже кларка литосферы, но несколько выше, чем в среднем для Европы [2].

Наименьшим содержанием отличаются эоловые пески. Наибольшее количество валового калия в выщелоченных озерно-ледниковых и озерно-морских отложениях, которые имеют суглинистый и глинистый состав с высокой долей ила. Интересно, что карбонатные моренные суглинки содержат большее количество калия по сравнению с выщелоченными аналогами. Корреляция с илистой фракцией в моренных карбонатных суглинках выше (0,84), чем с глинистой (0,72).

Таблица 1. Статистические показатели содержания валового калия (%) в почвообразующих породах Замландского полуострова

Table 1. Statistical indicators of total potassium content ( % ) in parent rocks of the Samland Peninsula

Породы	n	M		m	lim (по K <sub>2</sub> O)	V
		K	K <sub>2</sub> O			
Водно-ледниковые пески и супеси	28	1,37	1,65	0,14	0,44 – 3,18	38,8
Моренные супеси и пески	18	1,84	2,22	0,16	0,98 – 3,16	27,5
Выщелоченные моренные суглинки	50	2,41	2,90	0,07	2,32 – 4,13	15,2
Карбонатные моренные суглинки	15	2,80	3,37	0,28	2,77 – 4,35	18,4
Выщелоченные озерно-ледниковые и озерно-морские	15	3,33	4,01	0,27	3,38 – 5,42	19,2
Карбонатные озерно-ледниковые и озерно-морские	15	2,61	3,15	0,25	2,29 – 4,29	22,9
Древнеаллювиальные пески и супеси	20	1,21	1,46	0,09	1,13 – 2,04	19,9
Аллювиальные	20	1,52	1,83	0,21	0,85 – 3,50	46,4
Эоловые пески Балтийской и Куршской кос	6	0,35	0,42	0,10	0,26 – 0,65	47,6
Все породы (без кос)	181	2,01	2,42	0,08	0,44 – 5,42	39,8

Примечание: n – объем выборки; M – среднее арифметическое; m - ошибка средней; lim – размах выборки: минимальное и максимальное содержание элемента; V – коэффициент вариации, %.

Корреляционная связь валового калия с тонкодисперсной частью пород сильная и прямая (по всей выборке): с илом 0,72, с физической глиной 0,74. С уровнем рН достоверной связи не выявлено.

Отмечается высокий коэффициент вариации в группе водно-ледниковых песков и супесей. Это связано с тем, что в условиях холмистых морен в составе

камовых холмов встречаются тонкозернистые пылеватые супеси с примесью слюд. В таких отложениях количество валового калия обычно повышено по сравнению с рыхлыми супесями и песками. В отдельных образцах обнаруживается примесь глауконита из перемытых ледниковыми водами коренных геологических отложений.

Связь валовых магния и калия варьирует от незначительной в выщелоченных породах (моренные пески, супеси, суглинки, озерно-ледниковые) до средней степени силы в группах карбонатных пород и аллювиальных отложений ( $r = 0,52 - 0,67$ ).

Примерный кларк калия в почвах Замландского полуострова 1,81% (2,18 %  $K_2O$ ). Это несколько меньше, чем в почвообразующих породах. Следовательно, в целом преобладают процессы выщелачивания калия из почв. Полученное нами среднее содержание калия выше, чем кларк в почвах мира (1,36 %).

При статистическом анализе установили, что среднее содержание валового калия в гумусовых горизонтах: лесных почв 1,62% (1,95%  $K_2O$ ), сельскохозяйственных почв 1,78% (2,15 %  $K_2O$ ). Различия недостоверны. В гумусовом горизонте всех почв содержится в среднем 2,02 %  $K_2O$ .

Среднее содержание валового калия в окультуренных песчаных и супесчаных почвах несколько больше, чем в лесных (табл. 2), но эти различия недостоверны. А вот в группах почв разного гранулометрического состава различия очевидны.

Таблица 2. Статистические показатели содержания валового калия (%) в гумусовых горизонтах подзолистых и дерново-подзолистых почв Замландского полуострова

Table 2. Statistical indicators of the content of total potassium (%) in humus horizons of podzolic and sod-podzolic soils of the Samland Peninsula

Почвы	Угодье	n	M		m	lim (по $K_2O$ )	V
			K	$K_2O$			
Подзолы песчаные и супесчаные	Лес	22	0,99	1,19	0,11	0,43 – 1,89	30,2
Подзолы песчаные и супесчаные окультуренные	С/х*	25	1,20	1,45	0,11	0,70 – 2,19	26,9
Дерново-подзолистые суглинистые окультуренные	С/х	22	2,16	2,60	0,19	1,85 – 3,47	19,2

\* С/х – сельскохозяйственные угодья

Распределение валового калия по профилю почв подзолистого ряда различается в зависимости от степени увлажнения. В автоморфных песчаных и супесчаных подзолах и дерново-подзолистых почвах различий между содержанием калия в оподзоленных и альфегумусовых горизонтах не наблюдается на статистическом уровне (около 0,73 – 0,58 %  $K_2O$ ). В глееватых почвах возрастает общее содержание калия и появляется тренд к снижению его в оподзоленных горизонтах (в среднем 1,19 %  $K_2O$ ) по сравнению с

альфегумусовыми (1,77% K<sub>2</sub>O). Наибольшие различия выявлены в группе глеевых почв, где четко выражена дифференциация профиля на сильноопесчаненный белесый подзолистый горизонт (A<sub>2</sub>, 0,44 % K<sub>2</sub>O) и систему иллювиальных горизонтов (Bh, Vfh, иногда еще Vf) со средним количеством 1,21% K<sub>2</sub>O.

В суглинистых окультуренных дерново-подзолистых почвах признаки оподзоливания или вовсе стерты, или диагностируются остаточные в виде фрагментарного горизонта A<sub>2</sub>B в автоморфных условиях и A<sub>2</sub> с признаками оглеения в полугидроморфных условиях. Гумусовый горизонт несколько обеднен обменным калием по сравнению с A<sub>2</sub>B. Если в глееватых и глеевых почвах выражен A<sub>2</sub>, то он содержит меньшее количество калия, чем нижележащий иллювиальный [12].

В буроземах различия по содержанию валового калия между группами сглажены по сравнению с почвами подзолистого типа (табл. 3). В первую очередь это связано с тем, что буроземообразование развивается на супесчаных и суглинистых породах. Песчаные буроземы встречаются реже. Из суглинков преобладают легкие. Таким образом, разница по гранулометрическому составу в группах буроземов не так резка, как в подзолистых почвах.

Таблица 3. Статистические показатели содержания валового калия (%) в гумусовых горизонтах буроземных почв Замландского полуострова

Table 3. Statistical indicators of the content of total potassium (%) in humus horizons in burozemic soils (brown earth soils) of the Samland Peninsula

Почвы	Угодье	n	M		m	lim (по K <sub>2</sub> O)	V
			K	K <sub>2</sub> O			
Буроземы песчаные и супесчаные	Лес	30	1,87	2,25	0,13	1,22 – 3,33	24,9
	С/х	22	1,67	2,01	0,13	1,56 – 2,54	20,9
Буроземы суглинистые	Лес	19	2,17	2,62	0,21	1,76 – 3,55	22,9
	С/х	22	2,07	2,49	0,20	1,17 – 3,51	24,1

Иллювиальные горизонты лесных буроземов содержат валового калия больше, чем гумусовые. Это связано с дифференциацией профиля буроземов по илу (в результате лессиважа, глинисто-иллювиального процесса, внутрипочвенного выветривания) [12; 13]. Анализируя выборки почв по степени увлажнения и гранулометрическому составу, мы установили, что наиболее тесная связь тонкодисперсной части с валовым калием характерна для суглинистых почв (табл. 4).

Распределение валового калия в большинстве почв нарастающее с более или менее выраженным максимумом в горизонте накопления ила (B<sub>2</sub> или B<sub>3</sub>). Эта тенденция сохраняется в окультуренных почвах, хотя встречается и равномерное распределение.

В почвах, развитых на двучленах, содержание валового калия максимально в горизонте тяжелой породы. Такие буроземы описаны нами ранее [12, с. 203].

Таблица 4. Содержание валового калия в иллювиальных горизонтах буроземов  
Table 4. Content of total potassium in the illuvial horizons of the burozems (brown earth soils)

Степень увлажнения почв	Гранулометрический состав	Среднее содержание $K_2O$ , %	Корреляция валового калия фракцией	
			ила	физической глины
Неоглеенные	Супеси	2,51	0,56	0,60
	Суглинки	2,75	0,70	0,94
Глееватые	Супеси	2,24	0,48	0,62
	Суглинки	3,20	0,68	0,95
Глеевые	Супеси	2,22	0,62	0,50
	Суглинки	2,64	0,85	0,57

В дерново-глеевых почвах разница в содержании калия между лесными и окультуренными группами связана с двумя причинами: 1) с тем, что в выборке лесных почв больше супесчаных, а в почвах агроландшафтов – наоборот; 2) с большим накоплением органического вещества в гумусовом горизонте природных почв ( $C_{орг}$  в среднем около 7%) по сравнению с сельскохозяйственными ( $C_{орг}$  в среднем 2,8 %). Эти же различия характерны и для аллювиальных почв (табл. 5).

Количество валового калия обнаруживает тесную отрицательную корреляцию с органическим углеродом в болотных осушенных почвах (-0,73) в связи с низким содержанием минеральной глинистой фракции.

Таблица 5. Статистические показатели содержания валового калия (%) в гумусовых горизонтах дерново-глеевых, болотных и аллювиальных почв Замландского полуострова

Table 5. Statistical indicators of the content of total potassium (%) in the humus horizons of sod-gley, marsh and alluvial soils of the Samland Peninsula

Почвы	Угодье	n	M		m	lim (по $K_2O$ )	V
			K	$K_2O$			
Дерново-глеевые	Лес	15	1,66	2,00	0,20	1,0 – 2,6	22,0
	С/х	16	2,09	2,52	0,19	1,68 – 3,04	19,0
Аллювиальные	Лес	12	1,49	1,79	0,16	1,35 – 2,12	19,0
	С/х	16	1,82	2,19	0,05	1,79 – 2,27	5,5
Болотные низинные осушенные	С/х	20	1,16	1,40	0,21	1,68 – 3,04	36,4

Не выявлено накопления калия в ортштейнах из дерново-подзолистых и дерново-глеевых почв Замландского полуострова. В железистых красных и охристых шаровидных непрочных образованиях иногда отмечается слабое накопление этого элемента ( $K_n = 1,1 - 1,5$ ). Но, в общем, калий относится к группе элементов, которые не накапливаются в Fe- и Fe-Mn-новообразованиях.

## ВЫВОДЫ

1. Среднее содержание валового калия в почвообразующих породах составляет 2,01 % (2,42 %  $K_2O$ ). Варьирование средних показателей по группам зависит от гранулометрического состава: от 0,42 %  $K_2O$  в рыхлых эоловых песках до 4,01 % в озерно-ледниковых и озерно-морских суглинках и глинах.
2. Выявлена тесная связь валового калия с тонкодисперсной частью почвообразующих пород. Коэффициент корреляции с физической глиной 0,74, с илистой фракцией 0,72.
3. В гумусовых горизонтах лесных почв содержание валового калия в среднем 1,62% (1,95%  $K_2O$ ), а сельскохозяйственных почв –1,78% (2,15 %  $K_2O$ ). Различия недостоверны.
4. На основании сравнения содержания калия в почвах и породах обнаружена тенденция к выщелачиванию элемента в условиях промывного типа водного режима преобладающих дерново-подзолистых и буроземных почв.
5. Распределение валового калия по профилю связано с интенсивностью развития оподзоливания и лессиважа, что приводит к дифференциации почв по химическому и гранулометрическому составу.
6. Содержание калия в гумусовых горизонтах почв сельскохозяйственных угодий в большинстве случаев выше, чем в почвах лесных экосистем. Это объясняется различиями в круговороте веществ и длительным применением минеральных калийных удобрений в почвах агроэкосистем.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Алексеенко, В. А. Экологическая геохимия / В. А. Алексеенко. – Москва, 2000. – 627 с.
2. Geochemical Atlas of Europe [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.gtk.fi/publ/foregsatlas/>.
3. Lindsay, W. L. Chemical equilibria in soils / W. L. Lindsay. – 1979. – 449 p.
4. Прокашев, В. В. Калий и калийные удобрения. Практическое руководство / В. В. Прокашев, И. П. Дерюгин. – Москва: Ледум, 2000. – 185 с.
5. Перельман, А. И. Геохимия / А. И. Перельман. – Москва, 1979. – 423 с.
6. Подзолистые почвы запада Европейской части СССР / отв. ред. Н. А. Ногина, А. А. Роде. – Москва: Колос, 1977. – 287 с.
7. Классификация и диагностика почв СССР / сост. В. В. Егоров [и др.]. – Москва: Колос, 1977. – 224 с.
8. Вишняков, А.К. Каменные и калийно-магниевые соли Калининградской области / А. К. Вишняков, В. А. Загородных, Д. Г. Руденко // Горный журнал. – 2010. – № 3. – С. 30 – 38.
9. Географический атлас Калининградской области / гл. ред. В. В. Орленок. – Калининград: Изд-во КГУ; ЦНИТ, 2002. – 276 с.
10. Полезные ископаемые Калининградской области [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www2.gov39.ru/index.php?idpage=290>

11. Завалишин, А. А. Почвенный покров Калининградской области / А. А. Завалишин, Б. В. Надеждин // Почвы Калининградской области - Москва: Изд-во АН СССР, 1961. – С. 5 – 130.
12. Анциферова, О. А. Почвы Замландского полуострова и их антропогенное изменение. Ч. 1. Факторы почвообразования. Почвы подзолистого и буроземного рядов / О. А. Анциферова. – Калининград, 2008. – 397 с.
13. Анциферова, О. А. Дифференциация профиля буроземов Калининградской области по илу / О. А. Анциферова // Известия КГТУ. – 2009. – № 16. – С. 18-21.

#### REFERENCES

1. Alekseenko V. A. *Ekologicheskaya geokhimiya* [Ecological geochemistry]. Moscow, 2000, 627 p.
2. Geochemical Atlas of Europe. Available at: <http://www.gtk.fi/publ.foregsatlas> (Accessed 23.01.2013)
3. Lindsay W. L. Chemical equilibria in soils. New York, Wiley, 1979, 449 p.
4. Prokoshev V. V., Deryugin, I. P. *Kalij i kalijnye udobrenija. Prakticheskoe rukovodstvo* [Potassium and potash fertilizers. Practical guide]. Moscow, Ledum, 2000, 185 p.
5. Perel'man A. I. *Geokhimiya* [Geochemistry]. Moscow, 1979, 423 p.
6. *Podzolistye pochvy zapada Evropeyskoy chasti SSSR* [Podzolic soils of the western part of the European part of the USSR]. Otv. red. N. A. Nogina, A. A. Rode. Moscow, Kolos, 1977, 287 p.
7. *Klassifikatsiya i diagnostika pochv SSSR* [Classification and diagnostics of the soils of the USSR]. Sost. V. V. Egorov i dr. Moscow, Kolos, 1977, 224 p.
8. Vishnyakov, A. K., Zagorodnykh V. A., Rudenko D. G. *Kamennye i kalijno-magnievye soli Kaliningradskoj oblasti* [Stone and potassium-magnesium salts of the Kaliningrad region]. *Gornyj zhurnal*, 2010, no 3, pp. 30 – 38.
9. *Geograficheskij atlas Kaliningradskoj oblasti*. [Geographical Atlas of the Kaliningrad Region]. Gl. red. V. V. Orlenok. Kaliningrad. Publishing house of KSU. CNIT, 2002, 276 p.
10. *Poleznye iskopaemye Kaliningradskoy oblasti* [Minerals of the Kaliningrad region]. Available at: <http://www2.gov39.ru/index.php.idpage.290>. (Accessed 26.01.2013).
11. Zavalishin A. A., Nadezhdin B. V. *Pochvennyy pokrov Kaliningradskoy oblasti. Pochvy Kaliningradskoy oblasti* [Soil cover of the Kaliningrad region. Soils of the Kaliningrad Region]. Moscow, Izd-vo AN SSSR, 1961, pp. 5 – 130.
12. Antsiferova O. A. *Pochvy Zamlandskogo poluostrova i ih antropogennoe izmenenie. Chast' 1. Faktory pochvoobrazovaniya. Pochvy podzolistogo i burozemnogo rjadov* [Soils of the Samland Peninsula and their anthropogenic change. Part 1. Factors of soil formation. Soils of podzolic and brown earth series]. Kaliningrad, 2008, 397 p.
13. Antsiferova O. A. *Differenciacija profilja burozemov Kaliningradskoj oblasti po ilu* [Differentiation of the burozems profile of the Kaliningrad region on silt]. *Izvestija KGTU*, 2009, no. 16, pp. 18-21.

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

ОЦЕНКА ЗАПАСОВ ПРОДУКТИВНОЙ ВЛАГИ ПОД ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЕЙ  
В УСЛОВИЯХ НЕОДНОРОДНОГО РЕЛЬЕФА

О. А. Анциферова, Е. Д. Самарина

EVALUATION OF PRODUCTIVE MOISTURE RESERVES UNDER WINTER  
WHEAT IN CONDITIONS OF HETEROGENEOUS RELIEF

O. A. Antsiferova, E. D. Samarina

Исследования проведены в апреле–июле 2017 г. на пахотном поле в Зеленоградском районе Калининградской области. Для сельскохозяйственных угодий в условиях холмисто-моренного рельефа типичен сложный гидрологический режим почв. В западной части региона доминируют буроземы. К началу возобновления вегетации озимой пшеницы запасы продуктивной влаги в пахотном слое буроземов на вершинах холмов и склонах были удовлетворительными и хорошими. Интенсивное минеральное питание озимой пшеницы способствует усиленному водопотреблению и быстрому иссушению пахотного слоя в буроземах. Дефицит влаги (ниже 20 мм) продолжался со второй половины мая до конца июня. Осадки, выпавшие в июне (61 мм), практически полностью расходовались на потребление пшеницей. За изученный период выращивания культуры запасы продуктивной влаги в слое 0 – 100 см буроземов были достаточными для формирования высоких урожаев. Худшую влагообеспеченность имел бурозем эродированный супесчаный с подстиланием песком. Но запасы продуктивной влаги в этом ареале не опускались ниже критической отметки 60 мм для слоя 0 – 100 см. Период плохих влагозапасов (60 – 90 мм) составил около 40 дней в мае – июне. Установлена пространственная контрастность влажности на поле. Большинство почв оглеены и осушаются системой закрытого дренажа. Основной проблемой является неудовлетворительное состояние осушителей вследствие различных нарушений. Поэтому большая доля почв находится в состоянии переувлажнения. В замкнутых понижениях располагаются дерново-глеевые почвы. В этих ареалах наблюдалось поверхностное заболачивание, что привело к гибели посевов. Пахотный слой до конца мая имел очень высокую влажность. Запасы продуктивной влаги оцениваются как избыточные в слое 0 – 100 см с апреля по июль (свыше 200 мм). Переувлажнение приводит к недобору урожая в почвах понижений. Необходимо регулирование поверхностного стока для предотвращения осеннего и весеннего заболачивания и улучшения состояния дерново-глеевых почв.

*буроземы, дерново-глеевые почвы, озимая пшеница, запасы продуктивной влаги*

The research was carried out in April – July 2017 in the arable field in the Zelenogradsk district of the Kaliningrad region. Agricultural lands in conditions of

hilly-moraine relief are characterized by complex hydrological regime of soils. Burozems (brown forest soils) dominate in the Western part of the region. By the beginning of the resumption of winter wheat vegetation, productive moisture reserves in the arable layer of the burozems on hilltops and slopes were satisfactory and good. Intensive mineral nutrition of winter wheat contributes to increased water consumption and rapid drying of the arable layer in the burozems. The moisture deficit (below 20 mm) lasted from the second half of May to the end of June. Precipitation in June (61 mm) was almost completely spent on wheat consumption. Over the period studied, productive moisture reserves in the layer 0 – 100 cm of burozems were sufficient for formation of high yields. Eroded sandy loam with sand underlain had the worst moisture content. But productive moisture reserves in this area did not fall below the critical level of 60 mm for the layer 0-100 cm. The period of poor moisture reserves (60 - 90 mm) was about 40 days in May - June. The spatial contrast of humidity in the field has been found. Most of the soils are gleyed and drained by a closed drainage system. Therefore, a large proportion of soils are in a state of excessive moistening. In closed depressions, there are sod-gley soils. In these areas, surface waterlogging was observed, which led to the destruction of crops. The arable layer had a very high humidity before the end of May. Productive moisture reserves are rated as surplus in the 0 - 100 cm layer from April to July (over 200 mm). Excessive moistening leads to a shortage of yield in the soils of depressions. It is necessary to regulate surface runoff to prevent autumn and spring waterlogging and improve the state of sod-gley soils.

*burozem, sod-gley soils, winter wheat, productive moisture reserves, waterlogging*

## ВВЕДЕНИЕ

Влагообеспеченность почв – ключевой фактор земледелия. Исследование закономерностей формирования и динамики запасов продуктивной влаги является основой для построения моделей управления продукционным процессом [1 - 4]. Это особенно актуально на фоне тренда к глобальному изменению климата.

В условиях неоднородного рельефа холмисто-моренных равнин и гумидного климата выражена контрастность гидрологических условий, что напрямую влияет на урожайность сельскохозяйственных культур.

Калининградская область расположена в зоне избыточного увлажнения. Её особенностью является широкое распространение осушительных мелиоративных систем. Регулирование влажности почв - первостепенная задача для увеличения эффективности земледелия. Вместе с тем крайне мало информации о современном состоянии и динамике влагозапасов в почве. Данные агроклиматического справочника относятся к середине XX в. [5].

Цель исследования: выявить особенности динамики запасов продуктивной влаги в почвах разной степени гидроморфизма в условиях пахотного поля в холмисто-моренном агроландшафте.

Задачи: 1) изучить особенности почвенного покрова; 2) определить запасы продуктивной влаги в пахотном слое (0 – 20 см) и метровой толще (0 – 100 см) в основной период выращивания озимой пшеницы (с апреля по июль 2017 г.); 3) выявить закономерности пространственной и временной динамики запасов продуктивной влаги.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования выполнены в 2017 г. Ключевой участок «Перелески» находится в Зеленоградском районе Калининградской области, в пределах Самбийской моренной равнины. Поле имеет холмисто-волнистый рельеф, сформировавшийся под влиянием последнего Валдайского оледенения. Диагностика почв проводилась согласно классификации 1977 г. [6].

Запасы продуктивной влаги во многом зависят от геоморфологических особенностей. Поэтому бурение проводилось на 12 полигонах, включающих по четыре ареала почв из трех групп: 1) буроземы на вершинах холмов; 2) буроземы на склонах; 3) дерново-глеевые почвы в понижениях.

Режим влажности почв изучался буровым методом с послойным отбором проб каждые 10 см. Определялись следующие показатели: полевая влажность термостатно-весовым способом, плотность сложения методом режущих колец, плотность твердой фазы – пикнометрическим методом. Запасы продуктивной влаги рассчитывались как разница между полевой влагоемкостью и влажностью завядания, оценка проведена по рекомендованной в отечественном почвоведении шкале [7, с. 151]. Пробные снопы озимой пшеницы убирались в фазу полной спелости на всех ареалах бурения с площадок 1 м<sup>2</sup> в четырехкратной повторности. Статистическая и графическая обработка экспериментальных данных выполнена в программе Excel.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Преобладающими почвообразующими породами являются глубоко выщелоченные моренные валунные легкие опесчаненные суглинки и супеси с прослойками средних и тяжелых суглинков в пределах двухметровой толщи отложений. В понижениях породы часто слоистого характера: суглинки, супеси, линзы глин на участках, где располагались локальные ледниковые водоемы. Карбонаты выщелочены на глубину около 1 м. Почвенный покров представлен типичными для западной части региона комбинациями: сочетаниями - мозаиками. На автономных позициях рельефа (вершины холмов) располагаются буроземы окультуренные неоглеенные и глееватые по причине наличия прослоек тяжелых пород или заиленных горизонтов [8]. Для замкнутых понижений типичны дерново-глеевые среднесуглинистые почвы. Оглеенные почвы на поле осушаются системой закрытого дренажа со сбросом вод в открытые каналы К10(20) и К7(17). Глубина заложения гончарного дренажа на склонах 80 – 110, в понижениях – 40–60 см. Обследование показало, что устьевые оголовки закрытого дренажа в откосах каналов в настоящее время засыпаны. Это блокирует сток из закрытых осушителей в магистральные каналы. В 2012-2013 гг. по территории поля был проложен газопровод, что вызвало частичное нарушение дренажа. Таким образом, мелиоративное состояние поля неудовлетворительное. Проведенные исследования установили, что в весенний период в метровой толще буроземов на склонах образуются верховодки. Дерново-глеевые почвы в понижениях подвергались поверхностному заболачиванию до середины мая 2017 г. [9].

В период исследований на поле выращивалась озимая пшеница сорта Скипетр по интенсивной технологии, включавшей комплексную химическую защиту посевов (пять обработок за весь цикл выращивания), предпосевное

внесение удобрений  $N_{24}P_{45}K_{90}$  и три подкормки: в период возобновления вегетации (аммонийная селитра  $N_{70}$ ), конец кушения (полифоска 21  $N_{21}Mg_4S_{35}$ ), флаговый лист (аммонийная селитра  $N_{52}$ ). Уборка проводилась в первой декаде августа. Поэтому основной период водопотребления культуры пришелся на апрель - июль.

По информации метеостанции г. Калининграда в 2017 г. выпало 1090 мм осадков, при том, что средняя многолетняя норма составляет 781 мм [10]. Год выдался экстремально влажным. Однако с апреля по июль количество осадков составило 250 мм, что близко к средним многолетним данным (1949 - 2013 гг.) за этот же период – 242 мм. Самым засушливым месяцем оказался май (табл. 1).

Таблица 1. Распределение осадков и температуры воздуха в период вегетации озимой пшеницы с апреля по июль 2017 г.

Table 1. Distribution of precipitation and air temperature during the growing season of winter wheat from April to July 2017

Месяц	Среднемесячная температура, °С	Количество осадков, мм
Апрель	6,2	67
Май	12,9	9,5
Июнь	16,0	61
Июль	17,0	112

Пространственная и временная динамика запасов продуктивной влаги в трех группах почв отражена на рис. 1 – 3.

В буроземах на вершинах холмов в апреле запасы влаги в пахотном горизонте (0 - 20 см) удовлетворительные (20 – 40 мм) и хорошие (более 40 мм). Снижение запасов началось со второй половины мая, что связано с биологическим иссушением почвы. Этот период продолжался полтора месяца. Увеличение запасов продуктивной влаги вызвали выпавшие в первой половине июля осадки (рис. 1).

В буроземах, расположенных на склонах холмов, наблюдались такие же закономерности, как и в почвах вершин. Худшими запасами влаги отличался ареал бурозема супесчаного с подстиланием песками (П110) ввиду неудовлетворительных водно-физических свойств.

Избыточные запасы влаги выявлены в ареалах дерново-глеевых почв, расположенных на пониженных элементах рельефа, что показано на рис. 3. В этих почвах, несмотря на сухие периоды, запасы влаги не опускались ниже отметки в 20 мм, являющейся критической. Влажность пахотного слоя находилась в диапазоне от наименьшей до полной влагоемкости, что приводило к неудовлетворительному водно-воздушному режиму.

Перейдем к изучению запасов продуктивной влаги в метровой толще. Весной в группе почв вершин, в зависимости от гранулометрического состава, их количество составило 185 – 230 мм. На протяжении периода вегетации озимой пшеницы запасы продуктивной влаги в данных ареалах не опускались ниже 80 мм (рис. 2).

В группе почв склонов в апреле запасы влаги были избыточными – выше 200 мм. Плохие запасы здесь обнаружили только в ареале бурозема супесчаного с подстиланием песком в период, когда наблюдалось биологическое иссушение

почвы. В остальных почвах в это время запасы оценивались как хорошие и удовлетворительные.

В ареалах дерново-глеевых почв, расположенных в замкнутых понижениях и подверженных длительному переувлажнению, на протяжении всего периода вегетации в метровой толще запасы продуктивной влаги были оценены как избыточные. В открытых понижениях (ареал 534) такие запасы влаги наблюдались лишь с апреля по май, а начиная с июня, они перешли в категорию хороших и очень хороших (рис. 3).

Обильное минеральное питание пшеницы способствовало формированию густого стеблестоя и интенсивному водопотреблению на буроземах. Однако повышенная кислотность этих почв (средняя величина  $pH_{KCl}$  4,5) не позволила реализовать продукционный потенциал сорта [9]. Тем не менее в условиях оптимального увлажнения экологически пластичный сорт Скипетр показал хорошую урожайность (табл. 2). Худшие показатели отмечались на буроземах супесчаного состава с подстиланием песком, расположенных на склонах, подверженных водной эрозии. Особенно ярко снижение урожайности проявляется на фоне повышенного содержания обменного алюминия в пахотном горизонте (ареал П110). Средняя урожайность (по данным ручного обмолота) на буроземах вершин холмов составила  $5,6 \pm 0,6$  т/га, на доминирующих глееватых почвах склоновых поверхностей  $4,9 \pm 0,8$  т/га. В замкнутых понижениях произошла полная гибель посевов из-за осенне-весеннего поверхностного заболачивания. Только на отдельных ареалах дерново-глеевых почв в открытых понижениях урожайность составила в среднем 2,1 т/га за счет стимулирования роста культуры вследствие миграции нитратного азота с повышений и склонов.

Таблица 2. Урожайность озимой пшеницы на буроземах

Table 2. Winter wheat yield on burozems

Рельеф, почва, номер площадки	Буроземы вершин холмов				Буроземы склонов			
	511	486	514	510	П110	532	515	483
Урожай, т/га	4,5	5,7	5,3	7,0	1,9	3,9	5,6	5,8

## ВЫВОДЫ

1. Основным фактором дифференциации почвенного покрова в холмисто-моренных ландшафтах является рельеф. Поэтому для таких полей типичен сложный гидрологический режим почв.

2. В почвенном покрове агроландшафтов западной части Калининградской области доминируют буроземы. В замкнутых понижениях располагаются дерново-глеевые почвы. Большинство почв поля оглеены и осушаются системой закрытого дренажа, который в настоящее время частично нарушен. Поэтому развивается грунтовое и поверхностное переувлажнение.

3. К началу возобновления вегетации озимой пшеницы запасы продуктивной влаги в пахотном слое буроземов на вершинах холмов и склонах были удовлетворительными и хорошими. В ареалах дерново-глеевых почв наблюдалось поверхностное заболачивание, что привело к гибели посевов.

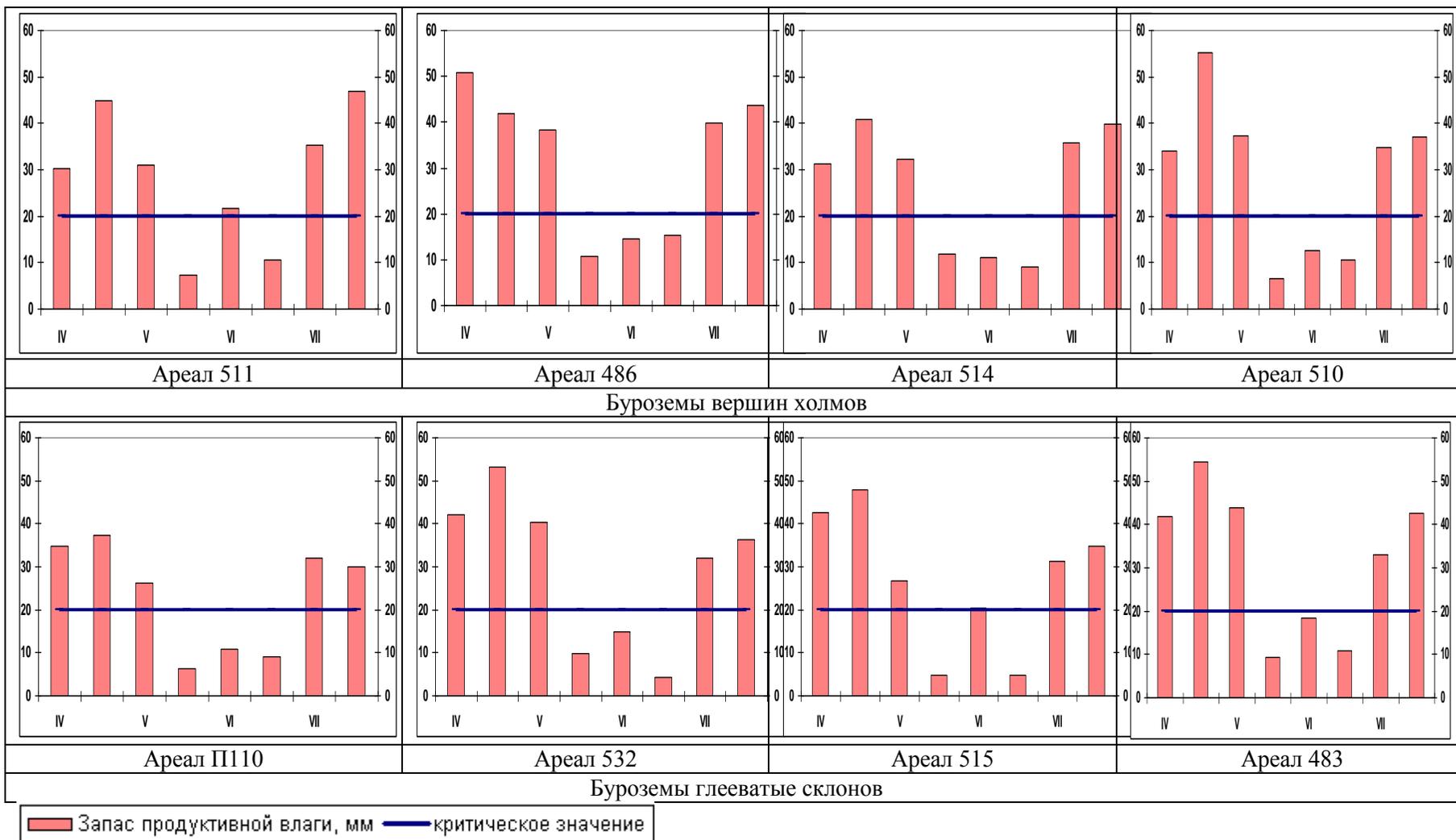


Рис. 1. Запасы продуктивной влаги с апреля по июль 2017 г. в буроземах (пахотный слой 0 – 20 см)

Fig. 1. Productive moisture reserves from April to July 2017 in burozems (arable layer 0-20 cm)

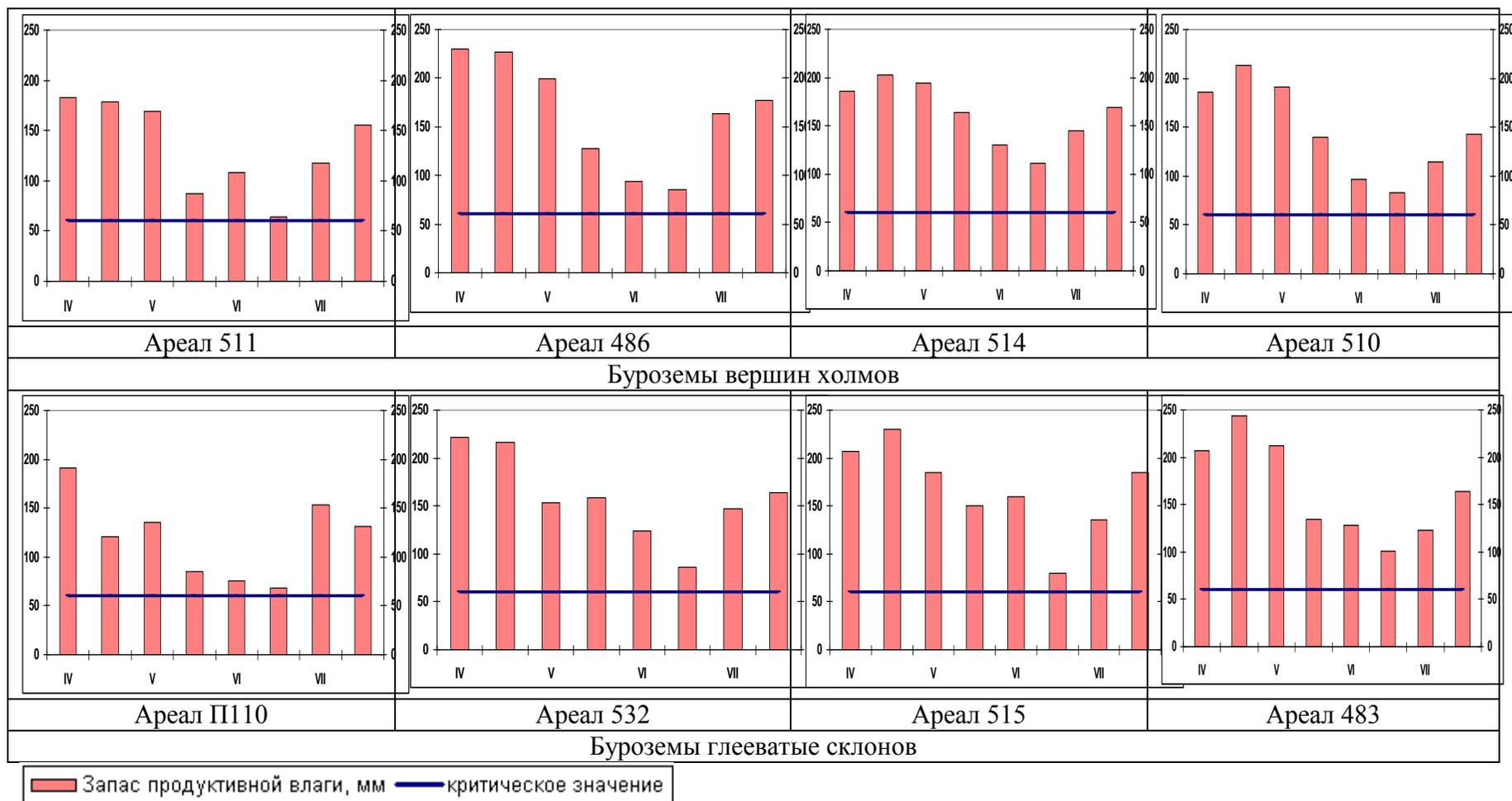


Рис. 2. Запасы продуктивной влаги с апреля по июль 2017 г. в буроземах (слой 0 – 100 см)  
 Fig. 2. Productive moisture reserves from April to July 2017 in burozems (layer 0 - 100 cm)

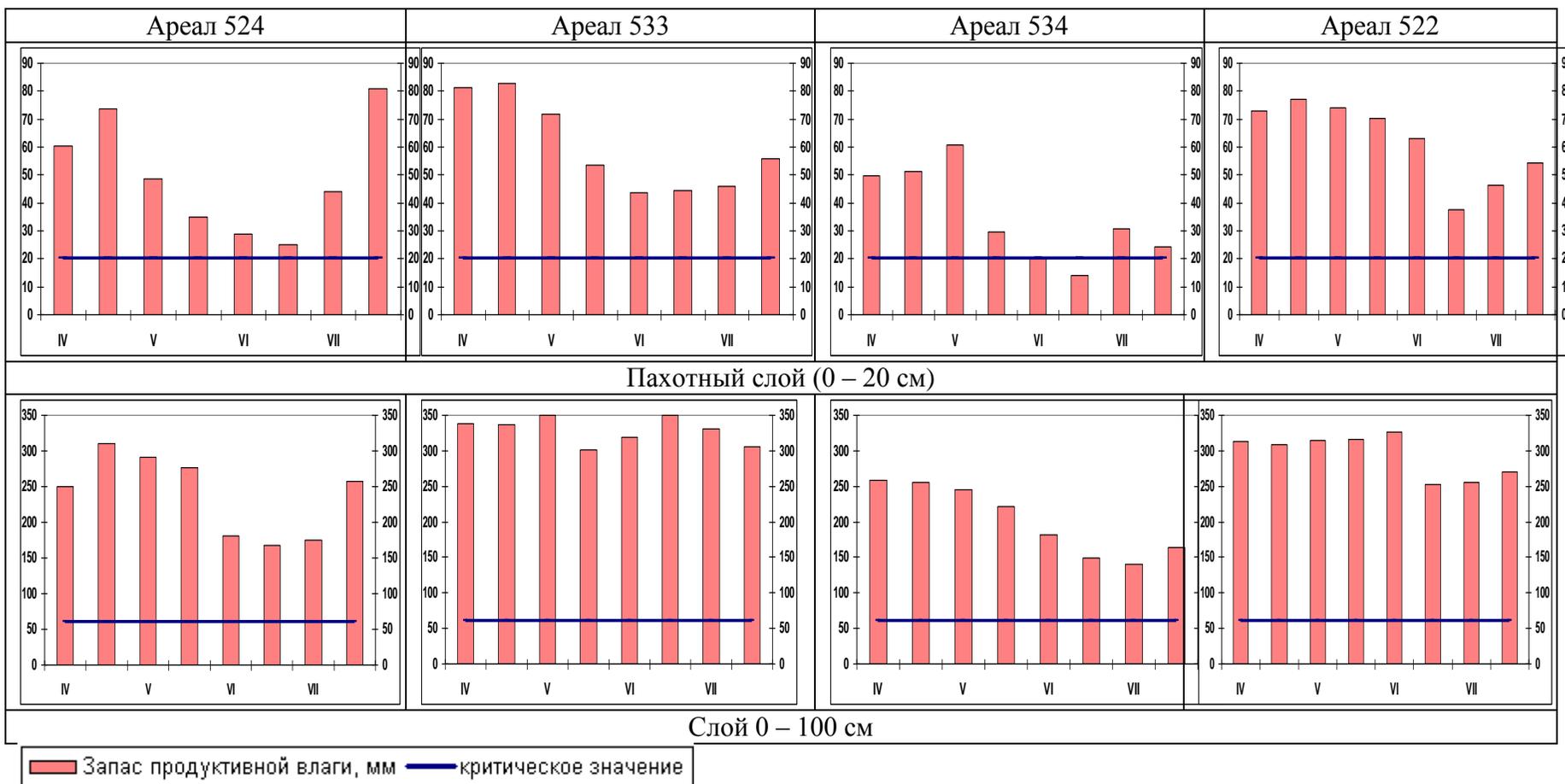


Рис. 3. Запасы продуктивной влаги с апреля по июль 2017 г. в дерново-глеевых почвах

Fig. 3. Productive moisture reserves from April to July 2017 in sod-gley soils

4. Интенсивное минеральное питание озимой пшеницы способствует усиленному водопотреблению и быстрому иссушению пахотного слоя в буроземах. Дефицит влаги (ниже 20 мм) продолжался со второй половины мая до конца июня. Однако запасы продуктивной влаги в слое 0 – 100 см были оптимальными для формирования высоких урожаев культуры.

5. Бурозем эродированный супесчаный с подстиланием песком имеет худшую влагообеспеченность. Но запасы продуктивной влаги в этом ареале не опускались ниже критической отметки 60 мм для слоя 0 – 100 см, а период плохих влагозапасов (60 – 90 мм) составил около 40 дней. Резкое снижение урожайности озимой пшеницы было связано с высокой кислотностью почвы.

6. В дерново-глеевых почвах замкнутых депрессий пахотный слой до конца мая имел очень высокую влажность. Запасы продуктивной влаги в этих почвах оцениваются как избыточные в слое 0 – 100 см с апреля по июль (свыше 200 мм).

7. Установлена пространственная контрастность запасов продуктивной влаги на поле. Это приводит к недобору урожая в почвах понижений. Необходимо регулирование поверхностного стока для предотвращения осеннего и весеннего заболачивания и улучшения состояния дерново-глеевых почв.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Вериго, С. А. Почвенная влага (применительно к запросам сельского хозяйства) / С. А. Вериго, Л. А. Разумова. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1973. – 328 с.

2. Twerdoff, D. A. Soil water regimes of rotationally grazed perennial and annual forages. / D. A Twerdoff, D. S. Chanasyk, M. A. Naeth, V.S. Baron // Can. J. Soil Sci. 79. – 1999. P. 627–637.

3. Da Silva, A.P. Characterization of the least limiting water range of soils / A.P. . Da Silva, B.D. Kay, E. Perfect // Soil Sci. Soc. Am. J. 1994. № 58. P. 1775 – 1781.

4. Лебедева, В. М. Основы сельскохозяйственной метеорологии. Т. II. Методы расчетов и прогнозов в агрометеорологии. Кн. 2. Оперативное агрометеорологическое прогнозирование / В. М. Лебедева, А. И. Страшная; под ред. А. Д. Клещенко, И. Г. Грингофа. – Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2012. – 216 с.

5. Агроклиматический справочник по Калининградской области. – Ленинград: Гидрометеорологическое изд-во, 1961. – 130 с.

6. Классификация и диагностика почв СССР / сост. В. В. Егоров [и др.]. – Москва: Колос, 1977. – 224 с.

7. Вадюнина, А. Ф. Методы исследования физических свойств почв / А. Ф. Вадюнина, З. А. Корчагина. – Москва, 1986. – 335 с.

8. Анциферова, О. А. Причины различий гидрологического режима буроземов на автономных позициях рельефа в условиях Самбийской равнины /

О. А. Анциферова // Известия Калининградского государственного технического университета. – 2016. - № 43. – С. 154 – 166.

9. Анциферова, О. А. Продуктивность озимой пшеницы на фоне лимитирующих почвенных факторов / О. А. Анциферова, Е. Д. Самарина // Известия Калининградского государственного технического университета. – 2018. – № 49. – С. 172-183.

10. Барина, Г. Н. Калининградская область. Климат / Г. Н. Барина. – Калининград, 2002. – 196 с.

## REFERENCES

1. Verigo S. A., Razumova L. A. *Pochvennaya vlaga (primenitel'no k zaprosam sel'skogo hozyajstva)* [Soil moisture (in relation to the requests of agriculture)]. Leningrad Gidrometeoizdat, 1973. 328 p.

2. Twerdoff, D. A., Chanasyk D. S., Naeth M. A., Baron V. S. Soil water regimes of rotationally grazed perennial and annual forages. *Can. J. Soil Sci*, 79, 1999, pp. 627–637.

3. Da Silva, A. P., Kay B. D., Perfect E. Characterization of the least limiting water range of soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 1994, no 58, pp. 1775–1781.

4. Lebedeva V. M., Strashnaya A. I. *Osnovy sel'skohozyajstvennoj meteorologii. T. II. Metody raschetov i prognozov v agrometeorologii. Kn. 2. Operativnoe agrometeorologicheskoe prognozirovanie* [Basics of agricultural meteorology. V. II. Methods of calculations and forecasts in agrometeorology. Book. 2. Operational agrometeorological forecasting]. Obninsk, FGBU "VNIIGMI-WDC", 2012, 216 p.

5. *Agroklimaticheskij spravochnik po Kaliningradskoj oblasti* [Agroclimatic reference book on the Kaliningrad region]. Leningrad, Gidrometeorologicheskoe izd-vo, 1961. 130 p.

6. *Klassifikaciya i diagnostika pochv SSSR* [Classification and diagnostics of the soils of the USSR]. Sost. V.V. Egorov et al. Moscow, Kolos, 1977. 224 p.

7. Vadjunina A. F., Korchagina Z. A. *Metody issledovaniya fizicheskikh svojstv pochv* [Methods for studying the physical properties of soils]. Moscow, Agropromizdat, 1986, 335 p.

8. Antsiferova O. A. Prichiny razlichij gidrologicheskogo rezhima burozemov na avtonomnyh pozitsiyah rel'efa v usloviyah Sambijskoj ravniny [The reasons for the differences in the hydrological regime of the burozems in autonomous positions of relief in the Sambian plain]. *Izvestiya KGTU*, 2016, no. 43, pp. 154 - 166.

9. Antsiferova O. A., Samarina E. D. Produktivnost' ozimoy pshenicy na fone limitiruyushchih pochvennyh faktorov [Productivity of winter wheat against the background of limiting soil factors]. *Izvestiya KGTU*, 2018, no. 49, pp. 172–183.

10. Barinova G. N. *Kaliningradskaya oblast'. Klimat* [Kaliningrad region. Climate]. Kaliningrad, 2002, 196 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

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

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

*Самарина Елизавета Денисовна* – Калининградский государственный технический университет; студентка

*Samarina Elizaveta Denisovna* – Kaliningrad State Technical University; student

УДК 631.4: 633.2.03

ВЛИЯНИЕ ДОЛГОЛЕТНЕГО СЕНОКОСНО-ПАСТБИЩНОГО  
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НА ДИНАМИКУ ГУМУСА И КИСЛОТНОСТЬ ПОЧВ

Т. Н. Троян, А. А. Кондрацкая

INFLUENCE OF LONG-TERM MOWING AND GRAZING USE ON HUMUS  
DYNAMICS AND SOIL ACIDITY

T. N. Troyan, A. A. Kondratskaya

В статье рассмотрены понятие, основные причины и виды деградации почв. Приводятся данные деградации почв на планетарном уровне. Отмечается, что в результате интенсивности и длительности использования пастбищ имеется риск развития деградационных процессов. Мониторинг почвенного покрова таких территорий актуален в современном мире, поскольку механическое интенсивное использование кормовых угодий, перевыпас, низкий уровень химизации неизбежно влияют на химические свойства почв. В связи с этим существует необходимость экологической реставрации кормовых угодий, которая диктуется тем, что часть пастбищ, сосредоточенных в области, из-за несоответствия их ёмкости и нагрузки, нерабочей мелиоративной системы, плохого культуртехнического состояния и нерационального использования имеют признаки деградации, в том числе и пастбищной дигрессии, и нуждаются в восстановлении продуктивности лугов. Особое внимание уделено изучению динамики гумуса и кислотности почвенного покрова при долголетнем сенокосно-пастбищном использовании. Приводится культуртехническая характеристика кормового угодья, расположенного в Полесском районе, граничащего с автотрассой регионального значения А190 Калининград-Полесск (с юга), железной дорогой федерального значения (с севера), польдерными землями (с запада) и населенным пунктом (с востока). Почвенный покров участка представлен четырьмя гомогенными элементарными почвенными ареалами с характеристикой размеров, форм и изрезанности границ. Выделяются признаки дегумификации почв в зависимости от интенсивности и способов использования кормового угодья.

*кормовые угодья, экологический мониторинг, пастбища, культурное пастбище, почвы, агрохимические свойства почв, деградация, гумус, кислотность, динамика*

The article describes the concept, the main causes and types of soil degradation. Data on soil degradation at the planetary level are presented. It is noted that as a result of the intensity and duration pasture use, there is a risk of degradation processes. Monitoring of soil cover of such areas is of great relevance in the modern world, because the mechanical intensive use of forage, overgrazing, and low use of chemicals inevitably affects chemical properties of soils. In this regard, there is a need for

ecological restoration of forage lands, which is dictated by the fact that the proportion of pastures concentrated in the region due to the discrepancy between the capacity of the pasture and the load on the pasture, non-working reclamation system, poor cultural condition and irrational use of land, have signs of degradation, including pasture digression, and need to restore meadow productivity. Special attention is paid to the study of humus dynamics and soil cover acidity under long-term mowing-grazing use. The cultural characteristics are provided of the forage land located in the Polesskiy district, bordering the highway of regional importance A190 Kaliningrad-Polessk (from the South), the railway of federal importance (from the North), polder lands (from the West) and the settlement (from the East). The soil cover of the site is represented by four homogeneous elementary soil areas, with the characteristics of size, shape and rugged boundaries. The contours of the land with signs of soils dehumification are distinguished. The relationship of these causes with the intensity and grasslands uses is shows.

*forage lands, ecological monitoring, pastures, cultivated pasture, soils, agrochemical properties of soils, degradation, humus, acidity, dynamics*

#### ВВЕДЕНИЕ

По данным глобальной оценки деградации почв (Global Assessment of Soil Degradation) на планетарном уровне, установлено, что 15% земель деградированы [1] и исключены из сельскохозяйственного использования [2, 3].

Под деградацией почв понимают устойчивое ухудшение их свойств, а также снижение плодородия в результате воздействия природных или антропогенных факторов (табл. 1).

Таблица 1. Основные причины деградации почв

Table 1. Main causes of soil degradation

Естественные	Антропогенные
Климатические, гидрогеологические, морфодинамические, фитозоогенные	Нерациональное ведение богарного и орошаемого земледелия; чрезмерный выпас; уничтожение почвенно-растительного покрова промышленным, коммунально-бытовым, ирригационным строительством; горные разработки; технологические и аварийные промышленные выбросы; сбросы сточных и дренажных вод; истощающее землепользование; уплотнение техникой; подтопление; внесение органических и минеральных удобрений

На сегодняшний день деградация охватила около 33% почвенных ресурсов в мире вследствие эрозии, истощения, подкисления, засоления, уплотнения и химического загрязнения [4].

Деградация почв может быть физической (ухудшение гидрофизических свойств почвы, нарушение почвенного профиля), химической (ухудшение химических свойств почвы, истощение запасов питательных элементов, вторичное засоление, вторичное осолонцевание, загрязнение ксенобиотиками) и биологической (снижение видового разнообразия, нарушение оптимального соотношения различных видов почвенной мезофауны и микроорганизмов, загрязнение почвы патогенными и другими не свойственными ей микроорганизмами, ухудшение санитарно-эпидемиологических показателей и др.) [5].

Мониторинг состояния почв часто ограничивают регулярными наблюдениями за химическим загрязнением почв. Однако помимо загрязнения, имеется большой перечень других видов деградации (сельскохозяйственная деятельность, перевыпас, сведение лесов, эрозия и др.) [2, 6, 7], которые также являются объектами почвенно-экологического мониторинга.

В результате интенсивности и длительности использования пастбищ имеется риск развития деградационных процессов. Мониторинг почвенного покрова таких территорий актуален, поскольку механическое интенсивное использование кормовых угодий, превышение нагрузки пастбища его ёмкости [8], низкий уровень химизации земледелия неизбежно влияют на химические свойства почв пастбищ.

Снижение же плодородия почв, запасов гумуса ведёт к необратимым изменениям состава почвы [9-12]. Наиболее губительным является процесс дегумификации.

#### ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ

Объект исследования - почвенный покров культурного пастбища долголетнего использования.

Исследуемый участок общей площадью в 111 га является культурным пастбищем, созданным на рубеже 70-80-х годов XX в. при Калининградской государственной областной опытной станции. Кормовое угодье является прифермским и располагается в Полесском районе (в 48 км от областного центра г. Калининграда и в 13,7 км от районного центра г. Полесска); граничит с автотрассой регионального значения А190 Калининград-Полесск (с юга), железной дорогой федерального значения (с севера), польдерными землями (с запада) и населенным пунктом (с востока).

Государственное агрохимическое обследование почв пастбища ведется с 1982 г. (архивное дело № 8 ОПХ «Славянское» Полесского района) ФГБУ «Центр агрохимической службы "Калининградский"». Интервал наблюдений составляет шесть лет.

Назначение данного земельного участка не менялось. По данным кадастрового номера землепользования, он является пастбищем.

Территориально объект расположен в первом агроклиматическом районе Ia. Здесь сумма температур выше 10°C за вегетационный период колеблется в пределах 2100–2250°C; сумма отрицательных температур за холодный период года изменяется от 145 до 250°C, увеличиваясь к северо-востоку.

Количество осадков за вегетационный период не превышает 350 мм, а величина гидротермического коэффициента в этом подрайоне наименьшая (1,5).

Заморозки весной в среднем прекращаются в западной части района в конце апреля, а в восточной - в начале мая. Осенние заморозки в среднем появляются во второй декаде октября (12-20.10), причем в западной части района позже, чем в восточной. Соответственно этому продолжительность безморозного периода увеличивается с востока на запад (170-180 дней) [13].

Исследуемый участок расположен в Полесской моренной низменности, которая имеет польдерный характер. Морфологическое описание почвенного покрова территории пастбища проводили по материалам почвенного обследования 1975-1976 гг. (рис. 1).

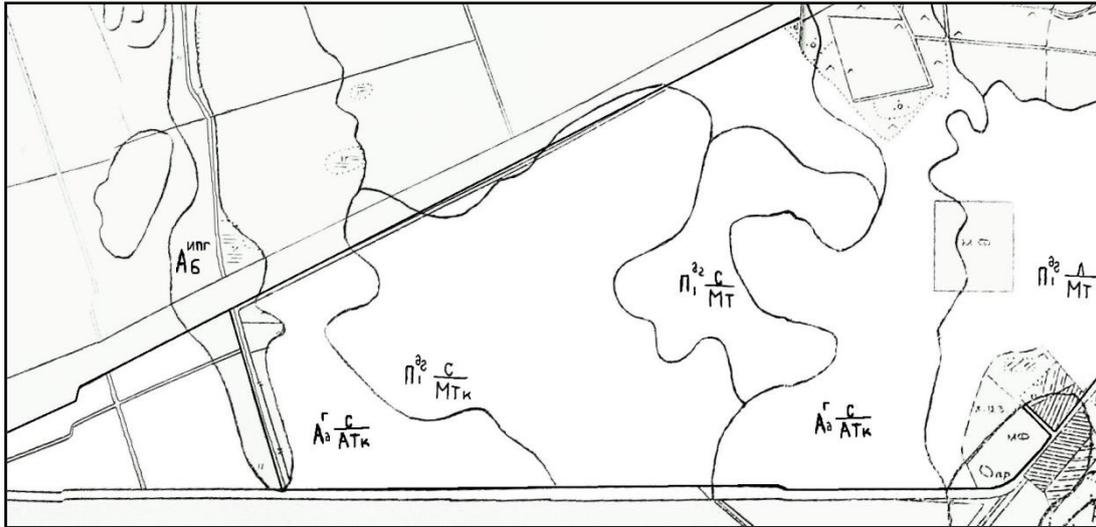


Рис. 1. Фрагмент почвенной карты Калининградской государственной областной сельскохозяйственной опытной станции 1975-1976 гг.

Fig. 1. The fragment of the soil map of the Kaliningrad state regional agricultural experimental station 1975-1976

Агрохимические показатели почв определялись в соответствии с ГОСТами РФ [14-16]: водная и солевая вытяжки ( $pH_{H_2O}$  и  $pH_{KCl}$ ) по методу ЦИНАО, ГОСТ 26483-85; гумус по Тюрину в модификации ЦИНАО, ГОСТ 26213-91; обменный кальций и подвижный магний методами ЦИНАО (с Поправкой), ГОСТ 26487-85; подвижные соединения фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО, ГОСТ Р 54650-2011; сумма обменных оснований по методу Каппена, ГОСТ 27821-88; гидролитическая кислотность по методу Каппена в модификации ЦИНАО, ГОСТ 26212-91. Степень насыщенности основаниями по Каппену-Гильковицу рассчитывается по формуле.

При анализе агрохимических свойств почв применялась методика, широко используемая при почвенном мониторинге [17]).

Математическая обработка данных проводилась при использовании статистических и графических обработок данных в программе Excel.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате исследований установлено, что кормовое угодье имеет смешанный тип использования - сенокосно-пастбищный, а структурная организация территории носит загонный характер.

В соответствии со степенью нагрузки использования территории кормового угодья и удаленности контуров угодья (КУ) от фермы территория разделена на три сектора (рис. 2).

Наиболее удаленный - I сектор, включает семь КУ и располагается в пологом понижении; граничит с польдерным участком, разделенным крупным мелиоративным каналом. Удаленность составляет 1,3 км.

Сектор II представляет собой среднеудаленную часть кормового угодья; состоит из шести КУ; средняя удаленность от фермы - 0,9 км.

Сектор III - восточная прифермская часть угодья, включает семь КУ.

Почвенный покров участка представлен четырьмя гомогенными элементарными почвенными ареалами (ЭПА) (табл. 2).

Таблица 2. Структура почвенного покрова участка

Table 2. Structure of the land cover

Почвенный индекс	Почвенная разновидность	Размер ЭПА	Форма ЭПА	Изрезанность границ
$\frac{П_1^{дс}}{Мт}$	Дерново-слабоподзолистая глееватая среднесуглинистая почва, подстилающая порода – моренные карбонатные суглинки	Крупно-контурные	Вытянутые	Слаборасчлененные
$\frac{П_1^{дс}}{Мт}$	Дерново-слабоподзолистая глееватая среднесуглинистая почва, подстилающая порода – моренные слабовалунные суглинки	Средне-контурные	Вытянутые	Слаборасчлененные
$\frac{А_д^гс}{Атк}$	Аллювиальная дерновая глеевая среднесуглинистая почва, подстилающая порода – аллювиальные карбонатные суглинки	Крупно-контурные	Разветвленные асимметричные	Слаборасчлененные
$А_Б^{ипг}$	Пойменная иловато-перегнойно-глеевая перегнойная почва, подстилающая порода – древние аллювиальные отложения	Крупно-контурные	Вытянутые	Слаборасчлененные

Участок  $А_Б^{ипг}$  (пойменная иловато-перегнойно-глеевая почва) не вошел в аналитику агрохимических туров, так как данный ЭПА имеет вытянутую форму и резко отличающийся тип почвы, располагается на границе кормового угодья и польдерных земель.

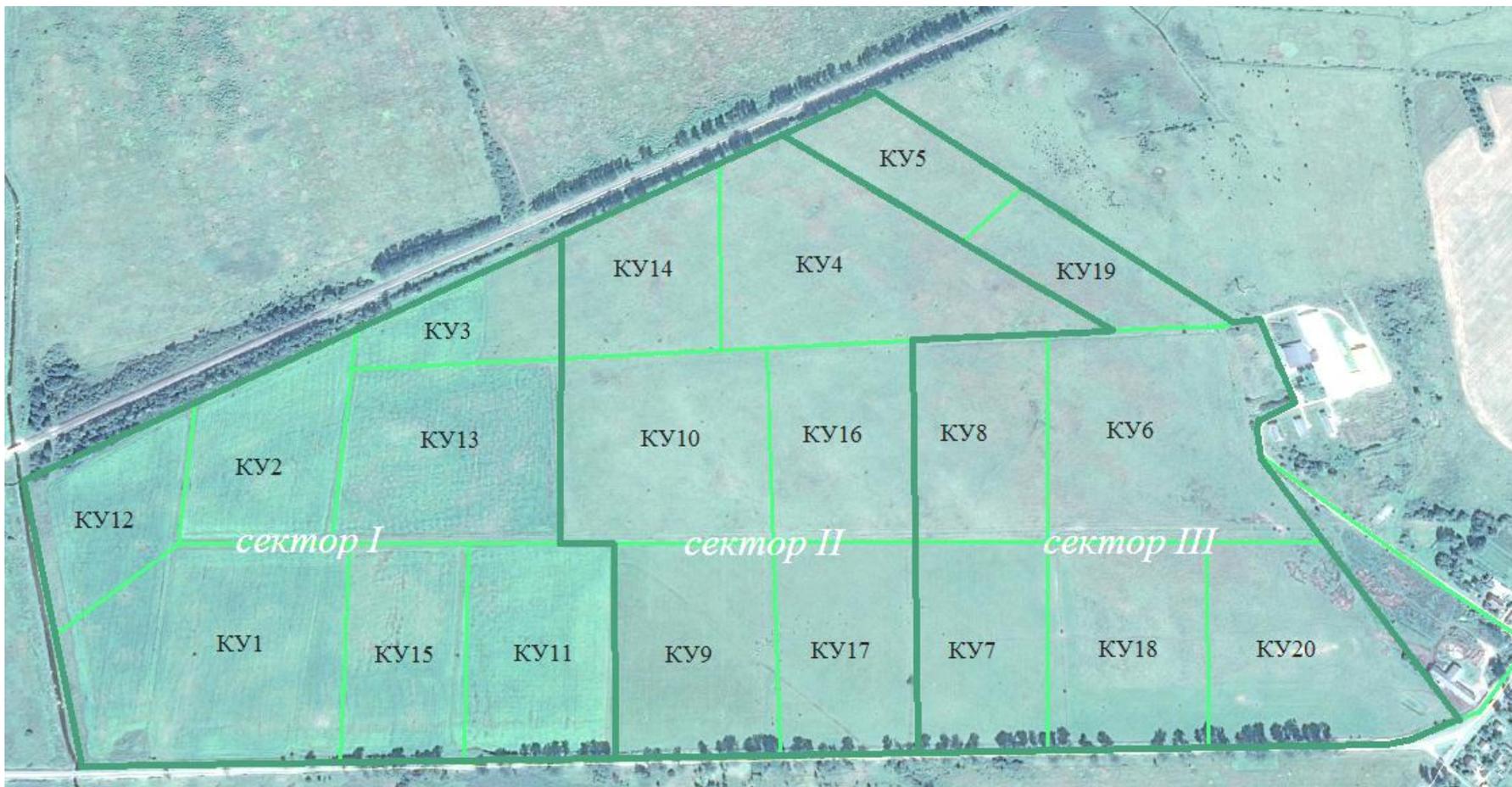


Рис. 2. Карта-основа оценки влияния долготелетнего сенокосно-пастбищного использования кормовых угодий на агрохимические свойства почв

Fig. 2. Map-the basis for assessing the impact of long-term mowing and grazing use of forage on agrochemical properties of soils

Почвенные комбинации представлены литогенными мозаиками, обусловленными наличием карбонатных и бескарбонатных почвообразующих (материнских) пород.

Почвы диагностированы как дерново-слабоподзолистые глееватые и локально аллювиальные дерновые глеевые различного гранулометрического состава. Почвообразующими породами являются моренные слабовалунные и карбонатные суглинки. Преобладающая дерново-слабоподзолистая глееватая среднесуглинистая почва сформирована на моренной подстилающей породе. Единично встречающаяся аллювиальная дерновая глеевая почва располагается близко к каналу мелиоративной сети.

Основным, формирующим эти почвы является процесс биогенной аккумуляции (дерновый). Наиболее существенная особенность этого процесса почвообразования - накопление гумуса и питательных веществ, а также создание водорочной структуры в верхнем, достаточно мощном, аккумулятивно-гумусовом горизонте. Важным условием аккумуляции гумуса служит наличие в почве оснований в количестве, достаточном для нейтрализации и осаждения гумусовых кислот [18].

Основания поступают в почву либо из органических остатков, либо из почвообразующей породы.

Гумусовый слой почвенного покрова составляет 20-23 см. Наличие перегнойного горизонта служит наглядным доказательством того, что под влиянием травянистой растительности дерновый процесс доминирует над подзолообразовательным.

Согласно результатам агрохимического обследования содержание гумуса в 1990 г. было в основном *высоким* –  $4,41 \pm 0,09\%$ . *Повышенным* процентным содержанием отличались КУ9, КУ17, КУ20, КУ5 (3,0-3,6 %) (рис. 3).

За период исследований наблюдалась динамика снижения значения по данному показателю, которая имеет отличительные особенности по выделенным секторам. Так, наиболее сильные изменения отмечены в *секторе I* - по шести контурам из семи. Пределы понижения составляют 0,4-1,1% и являются наиболее значительными. Среднее содержание гумуса на наиболее отдаленном участке пастбища составило  $3,67 \pm 0,17\%$ .

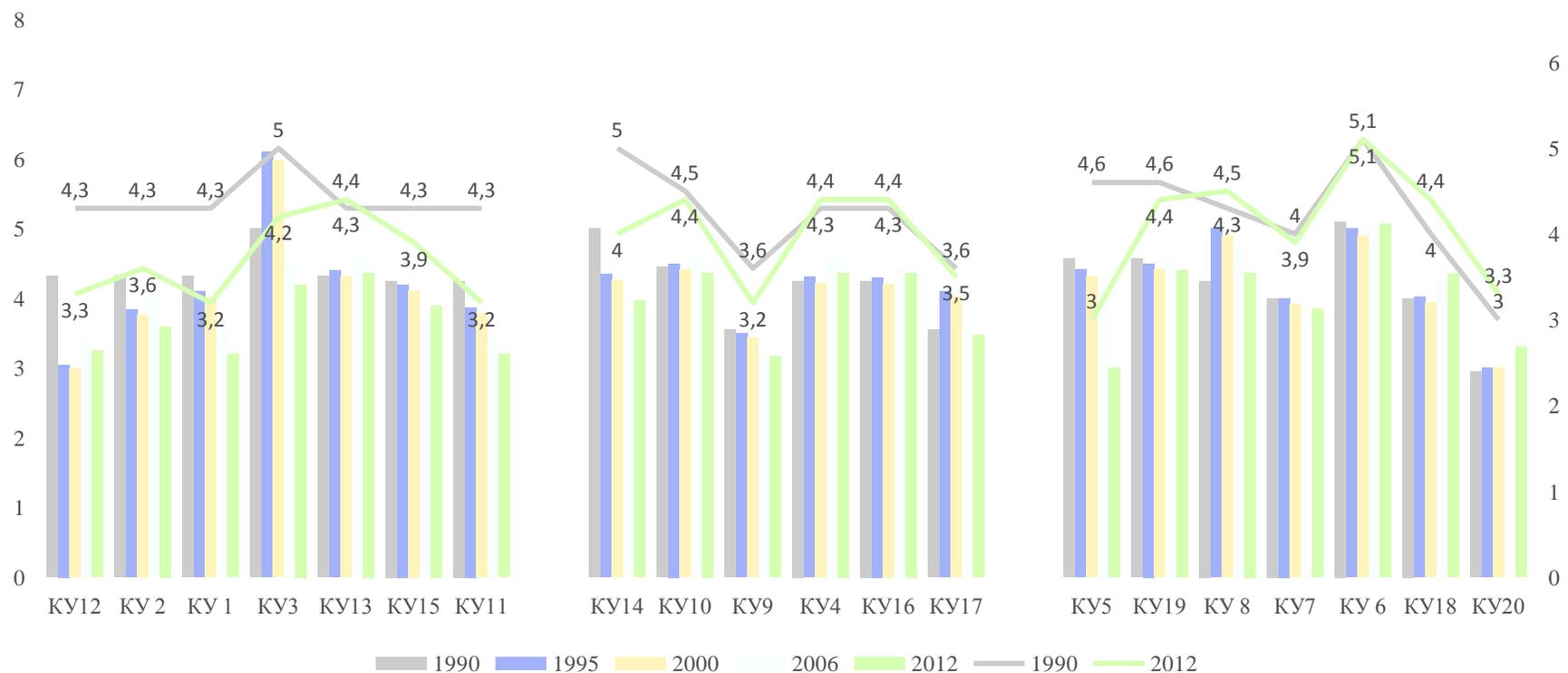
В *секторе II* динамика снижения гумуса незначительная, в среднем 0,1-0,4%, по состоянию на 2012 г. –  $3,95 \pm 0,20$ ; тогда как в 1990 г. она составила  $4,25 \pm 0,22$ .

В *секторе III* снижения по контурам минимальные (0,1-0,4%) с  $4,25 \pm 0,25\%$  ( $V=15,8$ ) до  $4,05 \pm 0,27\%$  ( $V=17,7$ ), а вариация слабая –  $V=1,9$ . Максимальная потеря гумуса на КУ5 составила 1,6%.

Стабильная динамика в течение всего периода отмечена в III секторе. На КУ8 зафиксирована тенденция увеличения значений по гумусу на 0,2%.

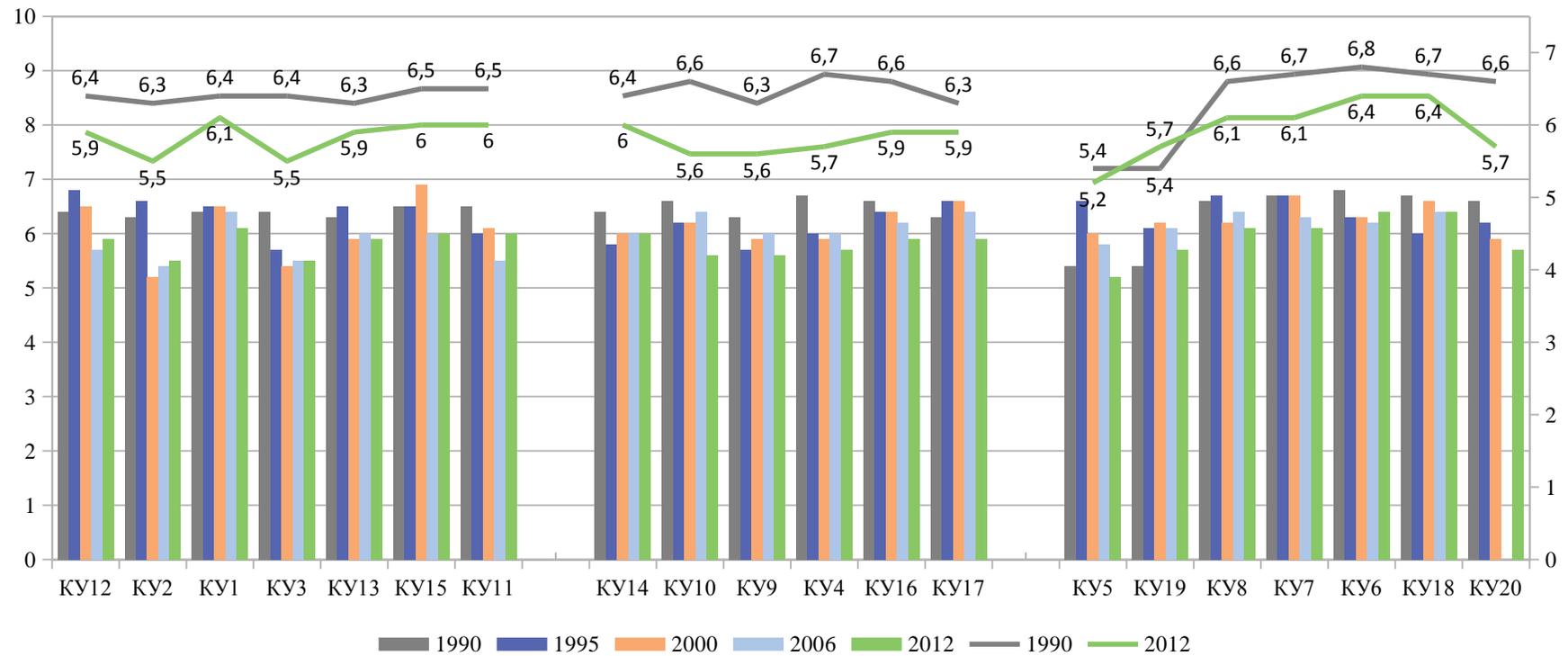
При изучении динамики кислотности почвенного покрова угодья отмечено *подкисление* почв по всей площади, за исключением КУ19 (рис. 4).

За 22 года пользования кормовым угодьем почвы из категории «нейтральные» перешли в категорию «близкие к нейтральным» по всем трём секторам. Так, при сравнительной оценке значений 1990 и 2012 гг. по секторам I, II, III отмечена динамика снижения с  $6,4 \pm 0,03$  до  $5,84 \pm 0,09$ , с  $6,48 \pm 0,07$  до  $5,78 \pm 0,07$ , с  $6,35 \pm 0,21$  до  $5,9 \pm 0,17$  соответственно. Почвы по секторам подкислились на 0,56 (*сектор I*), 0,7 (*сектор II*), 0,45 (*сектор III*).



Шкала оценки: низкое – < 2,0; среднее – 2,01-3,00; повышенное – 3,01-4,00; высокое – > 4,00

Рис. 3. Динамика содержания гумуса в пахотном слое почв кормового угодья, %  
 Fig. 3. Dynamics of humus content in arable soil layer of the forage land, %



очень сильнокислые – < 4,0;  
слабокислые – 5,1-5,5;

сильнокислые – 4,1-4,5;  
близкие к нейтральным – 5,6-6,0;

среднекислые – 4,6-5,0;  
нейтральные – > 6,0

Рис. 4. Кислотность почв ( $pH_{KCl}$ ) в динамике  
Fig. 4. Soil acidity ( $pH_{KCl}$ ) in dynamics

При этом большее подкисление почв на секторе II связано с большей динамикой снижения степени насыщенности основаниями на этом участке по сравнению с другими секторами.

Изучив графическую интерпретацию по кислотности и степени насыщенности основаниями почв, можно предположить, что в период 1994–1995 гг. проводилось известкование последних.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Большую роль в плане высокого содержания гумуса и нейтральной почвенной среды по состоянию на 1990 г. сыграла высокая культура земледелия (обязательная химизация почв, внесение органических удобрений), поддерживаемая вплоть до 1991 г.

Существующая система использования кормового угодья не направлена на воспроизводство почвенного плодородия и носит нерациональный характер использования земельных ресурсов, что является причиной ухудшения агрохимических показателей почв. Сохранение тенденции приведет к снижению важных агрохимических характеристик почв и продуктивности многолетних кормовых видов.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. La dégradation des terres et ses facteurs. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.un.org/popin/fao/centafriq/frentex3.htm> (дата обращения 06.06.18).
2. Мотузова, Г. В. Экологический мониторинг почв: учебник / Г. В. Мотузова, О. С. Безуглова. – Москва: Академический проект; Гаудеамус, 2007. – 237 с.
3. Тимофеев, Л. П. Деградация земель России / Л. П. Тимофеев // Аграрное и земельное право. Деградация земель России. 2007. [Электронный ресурс]. – URL: <http://naukarus.com/degradatsiya-zemel-rossii> (дата обращения 03.06.18).
4. La FAO rappelle que la gestion durable des sols est vitale pour la santé des écosystèmes. [Электронный ресурс]. – URL: <https://news.un.org/fr/story/2014/07/293332-la-fao-rappelle-que-la-gestion-durable-des-sols-est-vitale-pour-la-sante-des> (дата обращения 07.06.18).
5. EdwART. Словарь терминов МЧС, 2010. [Электронный ресурс]. – URL: <http://endic.ru/mchs/Degradacija-pochv-3188.html> (дата обращения 06.06.18).
6. Троян, Т. Н. Мониторинг состояния почв культурного пастбища при долголетнем использовании / Т. Н. Троян, А. А. Кондрацкая // Калининград: Изд-во КГТУ // Вестник молодежной науки. – 2018. – № 14.
7. Dégradation des sols et désertification [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.who.int/globalchange/ecosystems/desert/fr/#content> (дата обращения 06.06.18).
8. Троян, Т. Н. Экологическое состояние лугового кормопроизводства в Калининградской области / Т. Н. Троян // Экология России: на пути к инновациям: межвуз. сб. науч. тр. – Астрахань: Изд-во Нижневолжского экоцентра, 2016. – Вып. 13. – С. 20-22.

9. Троян, Т. Н. Мониторинг агрохимических свойств почв при долголетнем пастбищном использовании кормовых угодий / Т. Н. Троян, А. А. Кондрацкая // Экологические проблемы природных и урбанизированных территорий: IX Междунар. науч.-практ. конф.: материалы (24-25 мая 2018 г., г. Астрахань) / сост. Т.В. Дымова. – Астрахань: Издательский дом «Астраханский университет», 2018. – С. 22-25.
10. Engraisser à l'herbe: comment optimiser le pâturage? [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.produire-bio.fr/articles-pratiques/engraisser-a-lherbe-optimiser-paturage/> (дата обращения 06.06.18).
11. La relation entre l'action de pâturage, le sol, et l'animal. [Электронный ресурс]. – URL: <http://paturesens.com/la-relation-entre-laction-de-paturage-le-sol-et-lanimal/> (дата обращения 08.06.18).
12. Паракшина, Э. М. Эрозия почв Казахстана / Э. М. Паракшина, А. С. Сапаров, Э. К. Мирзакеев / КазНИИПА им. У.У. Успанова. – Алматы. – 2010. – 367 с.
13. Материалы по составлению районной геоботанической карты Полесского района. Северо-Западный государственный проектный институт по землеустройству, Калининградский филиал «Севзапгипрозем». Госагропром РСФСР, объединение «Росземпроект» (дата обращения 19.04.18).
14. Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. [Электронный ресурс]. – URL: <http://docs.cntd.ru> (дата обращения 26.05.18).
15. Информационная система Меганорм. [Электронный ресурс]. – URL: <http://meganorm.ru> (дата обращения 26.05.18).
16. Конспект-онлайн. [Электронный ресурс]. – URL: <http://webkonspect.com> (дата обращения 26.05.18).
17. Методические указания по проведению комплексного мониторинга земель сельскохозяйственного назначения. – Москва: ФГНУ «Росинформагротех», 2003. – 240 с.
18. Почвы таежно-лесной зоны. Хелпикс. Орг-Интернет помощник. [Электронный ресурс]. – URL: <http://helpiks.org/9-7450.html> (дата обращения 25.04.18).

## REFERENCES

1. La dégradation des terres et ses facteurs. Available at: <http://www.un.org/popin/fao/centafriq/frentex3.htm> (Accessed 06 June 2018).
2. Motuzova G.V. *Ekologicheskij monitoring pochv: uchebnik* [Environmental monitoring of soils: a textbook]. Moscow, Akademicheskij proekt, Gaudeamus, 2007, 237 p.
3. Timofeev L. P. *Degradaciya zemel' Rossii* [Land degradation in Russia]. Gosudarstvo i pravo. Yuridicheskie nauki, 2007, Available at: <http://naukarus.com/degradatsiya-zemel-rossii> (Accessed 03 June 2018).
4. La FAO rappelle que la gestion durable des sols est vitale pour la santé des écosystèmes. Available at: <https://news.un.org/fr/story/2014/07/293332-la-fao-rappelle-que-la-g> (Accessed 06 June 2018).
5. Slovar' terminov MCHS. EdwART. [Dictionary of MOE terms]. 2010, Available at: <http://endic.ru/mchs/Degradaciya-pochv-3188.html> (Accessed 06 June 2018).

6. Troyan T. N., Kondrackaya A. A. Monitoring sostoyaniya pochv kul'turnogo pastbishcha pri dolgoletnem ispol'zovanii [Monitoring of the soils condition of the cultivated grassland under long-term use]. Kaliningrad, KGTU, *Vestnik molodezhnoj nauki*, 2018, no. 14.

7. Dégénération des sols et désertification. Changement climatique et santé humaine. Available at: <http://www.who.int/globalchange/ecosystems/desert/fr/#content> (Accessed 06 June 2018).

8. Troyan T. N. Ekologicheskoe sostoyanie lugovogo kormoproizvodstva v Kaliningradskoj oblasti [Ecological status of meadow fodder production in the Kaliningrad region]. *Ekologiya Rossii: na puti k innovatsiyam. Mezhdvuz. sb. nauch. tr.*, Astrakhan, Izdatel'stvo Nizhnevolzhskogo ehkocentra, 2016, iss. 13, pp. 20-22.

9. Troyan T. N., Kondrackaya A. A. Monitoring agrohimicheskikh svoystv pochv pri dolgoletnem pastbishchnom ispol'zovanii kormovyh ugodij [Monitoring of agrochemical properties of soils under long-term pasture use of forage lands]. *Ekologicheskie problemy prirodnyh i urbanizirovannyh territorij. Materialy IX Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii - 24-25 May 2018.* sost. T. V. Dymova. Astrakhan. Izdatel'skiy dom "Astrahanskiy universitet", 2018, pp. 22-25.

10. Engraisser à l'herbe: comment optimiser le pâturage? Available at: <https://www.produire-bio.fr/articles-pratiques/engraisser-a-lherbe-optimiser-paturage/> (Accessed 06 June 2018).

11. La relation entre l'action de pâturage, le sol, et l'animal. Available at: <http://paturesens.com/la-relation-entre-laction-de-paturage-le-sol-et-lanimal/> (Accessed 08 June 2018).

12. Parakshina E. M., Saparov A. S., Mirzabaev E. K. *Eroziya pochv Kazahstana* [Soil erosion of Kazakhstan]. KazNIIPA im. U.U. Uspanova, Almaty, 2010, 367 p.

13. Materialy po sostavleniyu rajonnoj geobotanicheskoy karty Polesskogo rajona. Severo-Zapadnyj gosudarstvennyj proektnyj institut po zemleustrojstvu, Kaliningradskij filial «Sevzapgiprozem» [Materials for drafting regional geobotanical maps of the Polesskiy district. North-West state design Institute for land management, Kaliningrad branch "Sevzapprom"]. Gosagroprom RSFSR, obединenie "Roszemproekt" (Accessed 19 April 18).

14. Elektronnyj fond pravovoj i normativno-tehnicheskoy dokumentacii [Electronic Fund of legal and reference documentation]. Available at: <http://docs.cntd.ru> (Accessed 26 May 2018).

15. Informacionnaya sistema Meganorm [Meganorm Information system]. Available at: <http://meganorm.ru> (Accessed 26 May 2018).

16. Konspekt-onlajn [Abstract-online]. Available at: <http://webkonspekt.com> (Accessed 26 May 2018).

17. *Metodicheskie ukazaniya po provedeniyu kompleksnogo monitoringa zemel' sel'skohozyajstvennogo naznacheniya* [Guidelines on carrying out complex monitoring of agricultural lands]. Moscow, FGNU, Rosinformagrotekh, 2003, 240 p.

18. Pochvy taehno-lesnoj zony [Soils of taiga-forest zone]. Available at: <http://helpiks.org/9-7450.html> (Accessed 25 April 2018).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

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

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

*Кондрацкая Алина Анатольевна* – Калининградский государственный технический университет; студент; E-mail: alabat.79@mail.ru

*Kondrackaya Alina Anatolievna* – Kaliningrad State Technical University; student; E-mail: alabat.79@mail.ru

**СУДОСТРОЕНИЕ, МАШИНОСТРОЕНИЕ И ЭНЕРГЕТИКА**



УДК 536.22

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТЕХНИЧЕСКИ ВАЖНЫХ  
ОРГАНИЧЕСКИХ РАБОЧИХ ВЕЩЕСТВ.  
НОРМАЛЬНЫЙ ТЕТРАДЕКАН (C<sub>14</sub>H<sub>30</sub>)

И. С. Александров, А. А. Герасимов

THERMODYNAMIC PROPERTIES OF TECHNICALLY IMPORTANT ORGANIC  
WORKING SUBSTANCES. NORMAL TETRADECANE (C<sub>14</sub>H<sub>30</sub>).

I. S. Alexandrov, A. A. Gerasimov

Произведен критический анализ и отбор экспериментальных работ о термодинамических свойствах технически важного вещества – нормального тетрадекана. Отобраны наиболее надежные, согласующиеся между собой данные, пригодные для совместной обработки. На основе достоверного массива экспериментальных точек разработано уравнение состояния n-тетрадекана, применимое в диапазоне от температуры тройной точки до 700 К и при давлениях до 150 МПа. Представленное фундаментальное уравнение состояния описывает безразмерную удельную энергию Гельмгольца и содержит пять полиномиальных членов, пять экспоненциальных членов и пять термов Гаусса. Количество членов в уравнении, их структура – полиномиальные, экспоненциальные и члены Гаусса, а также показатели степени при температуре и плотности оптимизированы в процессе нелинейной итерационной процедуры. В ходе разработки уравнения также контролировалась кривизна изолиний посредством включения различных производных термодинамического потенциала в минимизируемый функционал. Для повышения устойчивости уравнения в экспериментально плохо исследованных областях параметров состояния к обработке привлекались расчетные данные и данные молекулярного моделирования, полученные в этой работе. Молекулярное моделирование плотности n-тетрадекана производилось методом Монте-Карло на основе оптимизированного потенциала межмолекулярного взаимодействия. В статье представлены результаты сравнения расчетных значений термодинамических свойств с имеющимися экспериментальными данными, а также диаграммы состояния, построенные по разработанному уравнению для различных свойств и позволяющие сделать вывод о его хороших экстраполяционных возможностях. Предлагаемое уравнение удовлетворяет критическим условиям, правилу Максвелла и позволяет рассчитывать все термодинамические свойства n-тетрадекана в пределах погрешности экспериментального исследования.

*уравнение состояния, температура, плотность, давление, теплоемкость*

Literary data on the thermodynamic properties of a technically important substance - normal tetradecane has been collected and critically analyzed. The most reliable data suitable for cooperative processing have been chosen. Based on the reliable experimental data, the equation of state of n-tetradecane, applicable in the temperature range

from a triple point up to 700 K and at pressures up to 150 MPa, has been developed. The presented fundamental equation of state describes the dimensionless specific Helmholtz energy and contains five polynomial terms, five exponential terms and five Gauss terms. The number of terms in the equation, as well as the temperature and density exponents, is optimized during the nonlinear iterative procedure. During the development of the equation, the curvature of various isolines was controlled by means of including various derivatives of the thermodynamic potential in the minimized functionality. To increase the stability of the equation in regions with a lack of experimental data, calculation data and molecular simulation data were included in the fitting process. Molecular simulation of the density of n-tetradecane was performed by the Monte Carlo method based on the optimized intermolecular interaction potential. The article presents the results of comparison with available experimental data, as well as state diagrams calculated for various properties. The presented diagrams allow us to draw a conclusion about good extrapolation possibilities of the developed equation. The proposed equation satisfies the critical conditions, the Maxwell rule, and allows calculating all thermodynamic properties of n-tetradecane with deviations close to the error of the experimental investigations.

*equation of state, temperature, density, pressure, heat capacity*

## ВВЕДЕНИЕ

Нормальный тетрадекан входит в состав нефти и газовых конденсатов, а также является моделирующим компонентом моторных топлив. Кроме того, этот представитель гомологического ряда n-алканов используется при производстве синтетических жирных кислот, а также в других процессах. Широкое применение n-алканов в промышленности требует наличия достоверных данных об их термодинамических свойствах. Наряду с этим, сведения об указанных свойствах чистых веществ и их растворов имеют и большой научный интерес.

Нами представлен результат нашей разработки – уравнение состояния нормального тетрадекана, позволяющее производить расчет любых термодинамических свойств данного вещества в широком диапазоне параметров состояния.

## УРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ

В настоящей работе приведены результаты разработки уравнения состояния, которое описывает все термодинамические свойства в диапазоне от температуры тройной точки до 700 K при давлениях до 150 МПа, включая критическую область. Свободная энергия Гельмгольца представлена в виде суммы идеально-газовой и избыточной частей:

$$\frac{a(T, \rho)}{RT} = \frac{a^0(T, \rho) + a^r(T, \rho)}{RT} = \alpha^0(\tau, \delta) + \alpha^r(\tau, \delta), \quad (1)$$

где  $a(T, \rho)$  – свободная энергия Гельмгольца;  $\alpha^0(\tau, \delta)$  – идеальная часть;  $\alpha^r(\tau, \delta)$  – избыточная часть;  $\delta = \rho/\rho_r$ ;  $\tau = T_r/T$ ;  $\rho_r, T_r$  – опорные значения плотности и температуры (принимались критические значения:  $T_c = 692,97$  K и  $\rho_c = 1,1806$  кмоль/м<sup>3</sup>).

Критические свойства n-тетрадекана принимались по данным [1].

Идеальная часть определяется по соотношению

$$\alpha^0(\tau, \delta) = \frac{h_0^0 \tau}{RT_c} - \frac{s_0^0}{R} - 1 + \ln \frac{\delta \tau_0}{\delta_0 \tau} - \frac{\tau}{R} \int_{\tau_0}^{\tau} \frac{c_p^0}{\tau^2} d\tau + \frac{1}{R} \int_{\tau_0}^{\tau} \frac{c_p^0}{\tau} d\tau, \quad (2)$$

где  $\delta_0 = \rho_0/\rho_c$  – приведенная идеально-газовая плотность при  $p_0 = 101325$  Па и температуре  $T_0 = 298,15$  К;  $\tau_0 = T/T_0$ ;  $H_0^0$  – идеально-газовая энтальпия в опорной точке;  $S_0^0$  – идеально-газовая энтропия в опорной точке.

Для расчета функции  $\alpha^0(\delta, \tau)$  необходимы данные об изобарной теплоемкости в состоянии идеального газа  $c_p^0$ , которые были аппроксимированы уравнением (3).

$$\frac{c_p^0}{R} = m_1 + \sum_{k=2}^3 m_k \left( \frac{\Theta_k}{T} \right)^2 \frac{e^{(\Theta_k/T)}}{(e^{(\Theta_k/T)} - 1)^2}, \quad (3)$$

где  $R = 8,314472$  Дж/(моль·К) – универсальная газовая постоянная. Значения коэффициентов  $c_i$  для н-тетрадекана представлены в табл. 1.

Таблица 1. Коэффициенты уравнения (3)

Table 1. Coefficients of the equation (3)

$m_1$	27,132155	$\theta_1$	-
$m_2$	29,81567	$\theta_2$	2902,6832
$m_3$	53,073532	$\theta_3$	1368,0279

Для описания термодинамических свойств н-тетрадекана мы использовали уравнение индивидуальной формы вида (4) для избыточной части свободной энергии, коэффициенты и показатели степени которого представлены в табл. 2.

$$\alpha^r(\delta, \tau) = \sum_{i=1}^5 N_k \delta^{d_k} \tau^{t_k} + \sum_{i=6}^{10} N_k \delta^{d_k} \tau^{t_k} \exp(-\delta^{l_k}) + \sum_{i=11}^{15} N_k \delta^{d_k} \tau^{t_k} \exp(-\eta_k(\delta - \varepsilon_k)^2 - \beta_k(\tau - \gamma_k)^2) \quad (4)$$

Таблица 2. Коэффициенты и показатели степени уравнения (4)

Table 2. Coefficients and exponents of the equation (4)

$i$	$n_k$	$t_k$	$d_k$	$l_k$	$\eta_k$	$\beta_k$	$\gamma_k$	$\varepsilon_k$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	$0,4534137032446 \cdot 10^{-1}$	0,644	4	0				
2	$0,1406031022051 \cdot 10^1$	0,191	1	0				
3	$-0,2397702216581 \cdot 10^1$	1,569	1	0				
4	-0,4393420594075	1,374	2	0				
5	0,1754236051888	2,436	3	0				
6	$-0,1038500968758 \cdot 10^1$	3,848	1	2				
7	-0,4029650631767	6,125	3	2				
8	0,8206038859950	1,343	2	1				

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
9	-0,2750840034472	1,196	2	2				
10	-0,2487232001099·10 <sup>-1</sup>	2,579	7	1				
11	0,8319057092297	4,122	1	-	1,0132	0,4598	1,1324	0,7126
12	-0,3102459764005	4,276	1	-	1,3982	1,5388	0,6422	0,8997
13	-0,1179424071184	2,01	3	-	0,9401	0,7216	0,4965	0,6784
14	-0,6041461765470	3,981	3	-	4,6462	77,8936	1,2605	0,7722
15	-0,3556559331752·10 <sup>-2</sup>	2,521	3	-	7,5575	6,3966	1,7241	1,8154

Количество членов, показатели степени при температуре и коэффициенты уравнения (4) определялись на основе разнородных экспериментальных данных посредством нелинейной оптимизационной процедуры [2].

Сложность разработки фундаментального уравнения состояния н-тетрадекана заключается в том, что это вещество относится к так называемым «тяжелым» углеводородам с высокой температурой кипения ( $T_b = 526,73$  К), в результате имеющиеся экспериментальные данные о термодинамических свойствах относятся только к жидкой фазе. Поэтому для обеспечения устойчивости уравнения и хороших экстраполяционных его качеств были использованы расчетные данные, полученные различными методами. Применялись как хорошо проверенные обобщенные методы расчета, разработанные в рамках теории термодинамического подобия, так и модельные расчеты, выполненные методом Монте-Карло и представленные в следующем разделе.

### МОЛЕКУЛЯРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Помимо различных расчетных методик, восполнить дефицит экспериментальных данных о свойствах н-тетрадекана возможно с помощью методов молекулярного моделирования, которые получили широкое распространение в связи с серьезным развитием компьютерной техники. В этом случае основное содержание компьютерной модели составляет только информация о потенциале взаимодействия молекул (силовом поле).

Методом Монте-Карло нами был получен массив значений плотности для 30 состояний, равномерно распределенных в однофазной области. Для каждого состояния производилось моделирование для 256 молекул в течение 25000 циклов в изобарно-изотермическом ансамбле. В качестве силового поля был выбран оптимизированный потенциал TraPPE (Transferable Potentials for Phase Equilibria), предложенный Сипманом в [3]. В общем виде потенциальная энергия системы записывалась как сумма деформационных вкладов валентных связей и углов, торсионных и плоскостных напряжений и ван-дер-ваальсовских взаимодействий атомов. Форма и параметры потенциала представлены ниже.

$$U(r) = U_{NB}(r_{ij}) + U_{BEND} + U_{TORS}, \quad (5)$$

где невалентные взаимодействия определялись вкладом

$$U_{NB}(r_{ij}) = 4\varepsilon_{ij} \left[ \left( \frac{\sigma_{ij}}{r_{ij}} \right)^{12} - \left( \frac{\sigma_{ij}}{r_{ij}} \right)^6 \right]. \quad (6)$$

В формуле (6) параметры потенциала Леннарда-Джонса имеют следующие значения: для псевдоатома  $\text{CH}_3$ :  $\sigma = 3.75 \text{ \AA}$ ,  $\varepsilon/k_B = 98 \text{ К}$ ; для псевдоатома  $\text{CH}_2$ :  $\sigma = 3.95 \text{ \AA}$ ,  $\varepsilon/k_B = 46 \text{ К}$ . Межатомное расстояние принималось равным  $1,54 \text{ \AA}$ .

Деформационный вклад валентных связей и углов описывается соотношением (7)

$$U_{BEND} = k_\theta (\theta - \theta_0^2) / 2, \quad (7)$$

где  $k_\theta / k_B = 62500 \text{ К/рад}^2$ ;  $\theta_0 = 114^\circ$ ;

вклад от торсионных и плоскостных напряжений – соотношением (8)

$$U_{TORS} = c_1 [1 + \cos\phi] + c_2 [1 - \cos(2\phi)] + c_3 [1 + \cos(3\phi)], \quad (8)$$

где  $c_1 / k_B = 355,03 \text{ К}$ ;  $c_2 / k_B = -68,19 \text{ К}$ ;  $c_3 / k_B = 791,32 \text{ К}$ .

Данные о плотности, полученные указанным выше методом, приведены в табл. 3.

Таблица 3. Данные о плотности, полученные методом Монте-Карло

Table 3. Data on the density obtained by the Monte Carlo method

Р, МПа	Т, К	$\rho$ , кмоль/м <sup>3</sup>	Р, МПа	Т, К	$\rho$ , кмоль/м <sup>3</sup>
49,667	353,15	3,823	79,961	550	3,472
49,6119	423,15	3,639	9,871	550	2,993
120,032	423,15	3,856	120,099	550	3,623
80,034	423,15	3,745	79,899	600	3,372
80,037	463,15	3,656	119,929	600	3,538
5,0166	463,15	3,272	49,978	600	3,203
20,061	463,15	3,380	150,139	600	3,638
39,892	473,15	3,463	79,839	650	3,278
79,943	473,15	3,634	119,944	650	3,459
120,084	473,15	3,761	149,972	650	3,565
160,977	473,15	3,866	40,043	650	3,008
50,008	500	3,445	39,720	750	2,775
80,028	500	3,576	60,072	750	2,968
10,091	500	3,180	100,178	750	3,221
119,965	500	3,712	149,900	750	3,432

На рис. 1 показан характер отклонений для данных молекулярного моделирования (табл. 3). Среднее относительное отклонение (COO) составляет 1.69 %.

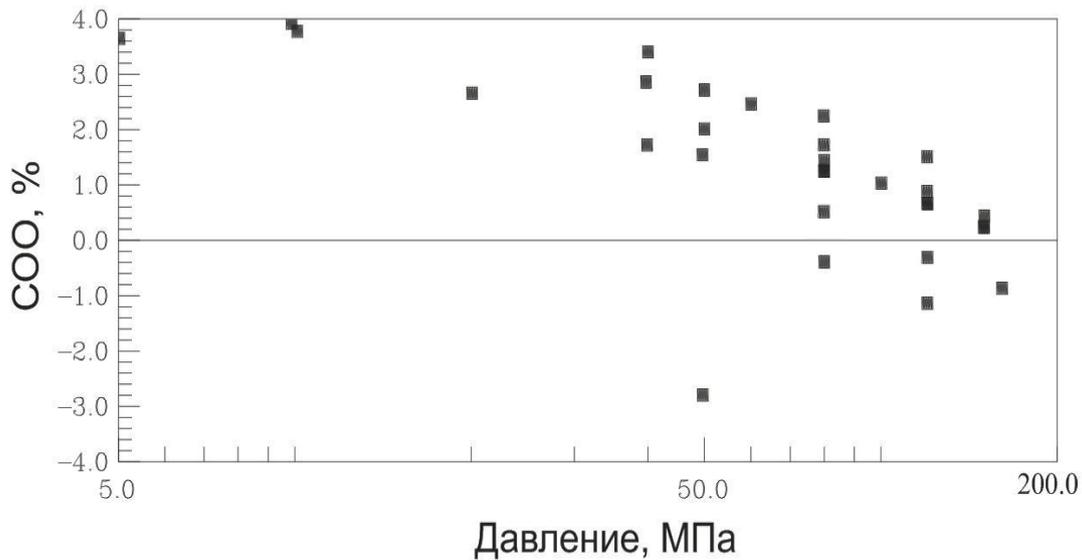


Рис. 1. Сравнение данных молекулярного моделирования с уравнением (1)  
 Fig. 1. Comparison of molecular modeling data with the equation (1)

#### СРАВНЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ И РАСЧЕТНЫХ ДАННЫХ С РЕЗУЛЬТАТАМИ, ПОЛУЧЕННЫМИ ПО УРАВНЕНИЮ СОСТОЯНИЯ

В этом разделе проведено сравнение экспериментальных и расчетных данных с результатами, полученными по уравнению состояния (1). Как уже было сказано выше, для обеспечения устойчивости уравнения применялись расчетные значения различных термодинамических свойств. Для давления паров при температурах выше нормальной точки кипения экспериментальные данные отсутствуют, поэтому использовались расчетные – среднее арифметическое между значениями, полученными по методике [4] и методике [2]. Для плотности насыщенной жидкой фазы при температурах, превышающих 400 К, расчетные данные определялись как среднее между значениями, рассчитанными по формуле Филиппова [5] и методике [6]. Для плотности насыщенной газовой фазы в диапазоне приведенной плотности  $\rho/\rho_c < 0.25$  расчет производился по вириальным уравнениям состояния, как авторским, так и литературным [7]. Принималось среднее значение. При  $\rho/\rho_c > 0.25$  расчет осуществлялся по формуле Филиппова [5]. Для  $P, V, T$  – данных в критической области – он выполнялся в диапазоне  $|\rho/\rho_c - 1| < 0.5$  по двум обобщенным кроссоверным уравнениям состояния [8, 9]. Принимались средние значения. Для плотности жидкой фазы в диапазоне 450 – 430 К при  $\rho/\rho_c > 2$  расчет производился по обобщенному уравнению, разработанному для углеводородов и нефтепродуктов и обладающему высокой точностью [10], а в газовой фазе в диапазоне 550 – 630 К при  $\rho/\rho_c < 0.25$  – по вириальным уравнениям состояния. Для плотности при атмосферном давлении расчет выполнен по интерполяционному уравнению, описывающему с высокой точностью имеющиеся многочисленные экспериментальные данные в диапазоне температур 280 – 380 К. Для теплоемкости на линии насыщения жидкой фазы – по обобщенному уравнению, разработанному для n-алканов [11] и описывающему

с высокой точностью данные на линии насыщения жидкой фазы в диапазоне от температуры тройной точки до  $0,99 \cdot T_c$ . Для теплоемкости на линии насыщения газовой фазы расчет произведен по обобщенному уравнению, разработанному для *n*-алканов [12].  $C_p$ -данные в критической области рассчитаны в диапазоне  $|\rho/\rho_c - 1| < 0,5$  по двум обобщенным кроссоверным уравнениям состояния [8, 9]. Принимались средние значения.

Отклонения экспериментальных данных, а также спрогнозированных по различным обобщенным методикам значений термодинамических свойств от рассчитанных по функциональному уравнению состояния (ФУС) представлены в табл. 4. Результаты свидетельствуют о термодинамической согласованности и надежности расчетных и экспериментальных значений. Несмотря на то, что уравнение (1) разработано на достаточно ограниченном наборе данных, оно характеризуется хорошим экстраполяционным поведением. Это видно из диаграммы состояния, рассчитанной по разработанному уравнению состояния *n*-тетрадекана и представленной на рис. 2.

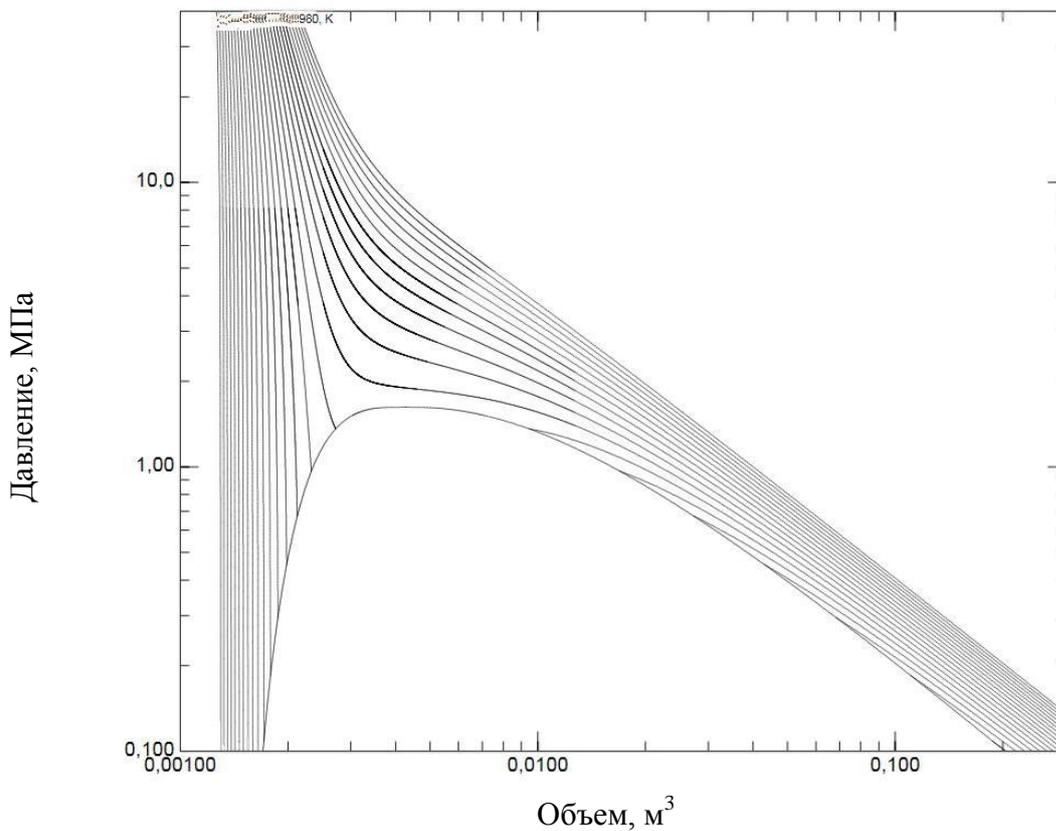


Рис. 2. Диаграмма “давление-объем” для *n*-тетрадекана, рассчитанная по уравнению (1)

Fig. 2. "Pressure-volume" diagram for *n*-tetradecane, calculated by the equation (1)

Таблица 4. Сравнение экспериментальных и расчетных данных о термодинамических свойствах n-тетрадекана с расчетными значениями по уравнению (1)  
 Table 4. Comparison of experimental and calculated data on thermodynamic properties of n-tetradecane with the equation (1)

Год	Авторы, источник	Точк и	Интервал по температуре и давлению		Среднее относительное отклонение, %		
			T, К	p, МПа	жид.	газ	крит.
<b>P, V, T – данные</b>							
1978	Гоуэл [13]	90	298,15-393,15	5,17-40,63	0,241		
1970	Шнайдер [14]	117	298,15-358,12	0,1-366,8	0,903		
2009	Валенсия [15]	56	283,15-323,15	0,1-60,0	0,087		
2011	Казирнови [16]	21	323,2-422,7	1,05-8,0	0,297		
2012	Норузих [17]	24	294,4-447,6	5,03-9,47	0,180		
2015	Занг [18]	30	313,13-353,66	10,04-19,1	0,106		
2017	Расчет [10]	29	450,0-630,0	0,1-80,0	1,168		
2017	Расчет [8,9]	41	700,0-750,0	1,4-3,6			0,993
<b>Давление насыщенных паров</b>							
1955	Камин [19]	11	428,0-527,3			0,145	
1987	Книзи [20]	24	404,85-524,98			0,543	
1994	Морган [21]	16	373,05-588,1			0,239	
1996	Витон [22]	34	284,01-467,16			0,763	
2013	Бензиан [23]	9	373,15-453,15			0,318	
2017	Расчет [4,2]	44	279,2-340			0,088	
<b>Плотность насыщенной газовой фазы</b>							
2017	Расчет [5,6]	25	500-692			0,280	
<b>Плотность насыщенной жидкой фазы</b>							
1981	Эйкарт [24]	4	298,14-333,13		0,095		
2001	Пардо [25]	4	288,15-308,15		0,038		
2002	Гарсия [26]	4	288,15-318,15		0,084		
1990	Асфур [27]	4	293,15-313,14		0,044		
1994	Аминабхави [28]	9	298,15-323,13		0,081		
2017	Расчет [5,6]	24	380,0-692,0		0,037		
<b>Теплоемкость по линии насыщения <math>C_s</math></b>							
1954	Финке [29]	11	282,7-302,75		0,693		
<b>Изобарная теплоемкость <math>C_p</math></b>							
2001	Пардо [25]	3	288,15-308,15	Насыщ.	0,565		
1984	Григорьев [30]	8	296,2-433,22	0,1	1,242		
2017	Расчет [11]	25	439,96-679,95	Насыщ.	1,964		
2017	Расчет [12]	20	499,96-689,95	Насыщ.		1,02	
2017	Расчет [8,9]	40	699,95-759,92	1,4-3,6			2,590
<b>Скорость звука</b>							
2001	Хасаншин [31]	51	303,15-433,15	0,1-49,13	0,982		
2000	Даридон [32]	251	293,15-373,15	0,1-149,5	0,810		
2004	Хасаншин [33]	48	303,15-433,15	0,1-80,1	0,973		

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Информация о термодинамических свойствах широко используется в инженерной практике. Одним из надежных источников такой информации является уравнение состояния. Разработанное в данной статье фундаментальное уравнение состояния является экспериментально обоснованным, удовлетворяет правилу Максвелла и критическим условиям и позволяет с высокой точностью рассчитывать все термодинамические свойства  $n$ -тетрадекана в диапазоне от температуры тройной точки до 700 К при давлениях до 150 МПа. Погрешность расчета термодинамических свойств составляет: для плотности – 0,15 – 0,3 %; изобарной теплоемкости – 0,5 – 1,2 %; скорости звука – 0,5 – 0,8 %; давления насыщенных паров и плотности насыщенной жидкой фазы – 0,05 – 0,15 %. Разработанное уравнение также обеспечивает приемлемую точность расчетов в критической области, которая определяется диапазоном по плотности  $1,3 \geq \rho/\rho_c \geq 0,7$  и температуре  $0,98 \cdot T_c \leq T \leq 1,02 \cdot T_c$ .

*Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 17-08-00135-а.*

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Frenkel, M., Chirico R. D., Diky V., Muzny C., Lemmon E. W., Yan X., Dong Q. NIST Standard Reference Database 103, NIST ThermoData Engine, version 3.0; Standard Reference Data, National Institute of Standards and Technology. - Gaithersburg, MD, 2008.
2. Lemmon, E. W. Critical Properties and Vapor Pressure Equation for Alkanes  $C_nH_{2n+2}$ : Normal Alkanes With  $n \leq 36$  and isomers for  $n = 4$  Through  $n = 9$  / E.W. Lemmon, A.R.H. Goodwin // J. Phys. Chem. Ref. Data. – 2000. – Vol. 29, № 1. – P. 1 – 39.
3. Martin, M. Transferable Potentials for Phase Equilibria. 1. United-Atom Description of  $n$ -Alkanes / M. Martin, I. Siepmann // J. Phys. Chem. B. – 1998. – Vol. 102, № 14. – P. 2569–2577.
4. Чмыхало, П. А. Методика расчетного определения давления насыщенного пара  $n$ -алканов (C1 – C100) и водорода на линии кипения. ДССДД 7-2005 / П. А. Чмыхало. – Киев: Держспоживстандарт Украины, 2005. – 34 с.
5. Филиппов, Л. П. Методы расчета и прогнозирования свойств веществ / Л. П. Филиппов. – Москва: Изд-во МГУ, 1988. – 252 с.
6. Чмыхало, П. А. Методика расчетного определения плотности жидких  $n$ -алканов (C1 – C94) и водорода на линии кипения. ДССДД 10-2006 / П. А. Чмыхало. – Киев: Держспоживстандарт Украины, 2006. – 92 с.
7. Reid, R. C. The properties of gases and liquids / Reid R. C., Prausnitz J. M., Sherwood T. K. – New York: McGraw-Hill, 1977. – 688 p.
8. Герасимов, А. А. Обобщенное кроссоверное уравнение состояния в широкой окрестности критической точки / А. А. Герасимов, Б. А. Григорьев // Теплофизика высоких температур. – 1993. – Т. 31, № 2. – С. 25–33.

9. Герасимов, А. А. Новое обобщенное кроссоверное уравнение состояния в широкой окрестности критической точки / А. А. Герасимов // Известия КГТУ. – 2003. – № 3. – С. 30–37.
10. Григорьев, Б. А. Теплофизические свойства и фазовые равновесия газовых конденсатов и их фракций / Б. А. Григорьев, А. А. Герасимов, Г. А. Ланчаков; под общ. ред. Б. А. Григорьева. – Москва: Издательский дом МЭИ, 2007. – 344 с.
11. Герасимов, А. А. Новые обобщенные уравнения для расчета изобарной теплоемкости углеводородов на линии насыщения / А. А. Герасимов, Б. А. Григорьев, М. А. Кузнецов // ТВТ. – 2001. – Т. 39, № 3. – С. 426–433.
12. Изобарная теплоемкость нормальных алканов C7 ... C11 в паровой фазе / А. А. Герасимов [и др.] // ИФЖ. – 1991. – Т. 11, № 3. – С. 165 - 166.
13. Gouel, P. Density of alkanes (C6 to C16) cyclics and alkyl-benzenes / P. Gouel // Bull. Cent. Rech. Explor.– Prod. Elf-Aquitaine. – 1978. – Vol. 2. P. 211–225.
14. Snyder, P. S. The Pressure, Volume and Temperature Properties of Liquid n-Alkanes at Elevated Pressures / P. S. Snyder, J. Winnick // Proc. 5th Symp. Thermophys. Prop. – 1970. – Vol. 5. – P. 115–129.
15. Valencia, J. L. Thermophysical Characterization of Liquids Using Precise Density and Isobaric Heat Capacity Measurements As a Function of Pressure / J.L. Valencia, D. Gonzalez-Salgado, J. Troncoso, J. Peleteiro, E. Carballo, L. Romani // J. Chem. Eng. Data. – 2009. – Vol. 54. – P. 904–915.
16. Kariznovi, M. Measurement and Modeling of Liquid Saturated Properties (Solubility, Density, and Viscosity) of (Ethane + n-Tetradecane) Binary Systems / M. Kariznovi, H. Nourozieh, J. Abedi // J. Chem. Eng. Data. – 2011. – Vol. 56. – P. 3669–3672.
17. Nourozieh, H. Vapor–liquid equilibrium measurement and thermodynamic modeling of binary systems (methane + n-tetradecane) /H. Nourozieh, M. Kariznovi, J. Abedi // J. Fluid Phase Equilib. – 2012. – Vol. 318. – P. 96–101.
18. Zhang, Y. (p,  $\rho$ , T) Behavior of CO<sub>2</sub> + Tetradecane Systems: Experiments and Thermodynamic Modeling / Y. Zhang, W. Jian, Y. Song, W. Liu, M. Yang, J. Zhao, Y. Liu, Y. Zhao //J. Chem. Eng. Data. – 2015. – Vol. 60. – P. 1476–1486.
19. Camin, D. L. Physical Properties of 14 American Petroleum Institute Research Hydrocarbons, C(9) to C(15) / D. L. Camin, F. D. Rossini // J. Phys. Chem. – 1955. – Vol. 59. – P. 1173 – 1179.
20. Kneisi, P. Vapor pressure, liquid density, and the latent heat of vaporization as functions of temperature for four dipolar aprotic solvents / P. Kneisi, J.W. Zondio // J. Chem. Eng. Data. – 1987. – Vol. 32. – P. 11–18.
21. Morgan, D. L. Direct Vapor Pressure Measurements of Ten n-Alkanes in the C(10)-C(28) Range / D. L. Morgan, R. Kobayashi // Fluid Phase Equilib. – 1994. – Vol. 97. – P. 211 – 242.
22. Viton, C. Vapor Pressure of Normal Alkanes from Decane to Eicosane at Temperatures from 244 K to 469 K and Pressures from 0.4 Pa to 164 kPa / C. Viton,

M. Chavret, E. Behar, J. Jose // *Int. Electron. J. Phys.-Chem. Data.* – 1996. – V.2. – P. 215–224.

23. Benziane, M. Isothermal Vapor–Liquid Equilibria of n-Tetradecane + Ethyl Hexanoate, Ethyl Decanoate, and Ethyl Tetradecanoate / M. Benziane, K. Khimeche, I. Mokbel, A. Dahmani, J. Jose // *J. Chem. Eng. Data.* – 2013. – Vol. 58. – P. 492–498.

24. Aicart, E. Isothermal compressibility of cyclohexane-n-decane, cyclohexane-n-dodecane, and cyclohexane-n-tetradecane / E. Aicart, G. Tardajos, P.M. Diaz // *J. Chem. Eng. Data.* – 1981. – Vol. 26, № 1. – P. 22 – 26.

25. Pardo, J. M. Thermophysical Properties of the Binary Mixtures Diethyl Carbonate + (n-Dodecane or n-Tetradecane) at Several Temperatures / J. M. Pardo, C. A. Tovar, D. Gonzalez, E. Carballo, L. Romani // *J. Chem. Eng. Data.* – 2001. – Vol. 46. – P. 212–216.

26. Garcia, B. Thermophysical behavior of methylbenzoate + n-alkanes mixed solvents. Application of cubic equations of state and viscosity models / B. Garcia, R. Alcalde, S. Aparicio, J.M. Leal // *Ind. Eng. Chem. Res.* – 2002. – V.41. – P. 4399 – 4408.

27. Asfour, A. A. Density-composition data for eight binary systems containing toluene or ethylbenzene and C8-C16 n-alkanes at 293.15, 298.15, 308.15, and 313.15 K / A. A. Asfour, M. H. Siddique // *J. Chem. Eng. Data.* – 1990. – Vol. 35. – P. 192–198.

28. Aminabhavi, T. M. Densities, viscosities, refractive indices, and speeds of sound of the binary mixtures of bis (2-methoxyethyl) ether with nonane, decane, dodecane, tetradecane, and hexadecane at 298.15, 308.15, and 318.15 K / T. M. Aminabhavi, B. Gopalakrishna // *J. Chem. Eng. Data.* – 1994. – Vol. 39. – P. 529–534.

29. Finke, H. L. Low-temperature thermal data for the nine normal paraffin hydrocarbons from octane to hexadecane / H. L. Finke // *J. Am. Chem. Soc.* – 1954. – Vol. 76. – P. 333 – 341.

30. Григорьев, Б. А. Исследование изобарной теплоемкости n-парафиновых углеводородов при атмосферном давлении / Б. А. Григорьев, Р. А. Андоленко // *Известия вузов. Нефть и газ.* – 1984. – № 2. – С. 60–62.

31. Хасаншин, Т. С. Скорость звука в жидких n-алканах / Т. С. Хасаншин, А. П. Щемелев // *ТВТ.* – 2001. – Т. 39, № 1. – С. 64–71.

32. Daridon, J. L. Ultrasonic velocity of liquid tridecane and tetradecane as a function of temperature and pressure / J. L. Daridon, B. Lagourette // *High Temperatures-High Pressures.* – 2000. – Vol. 32. – P. 83–87.

33. Хасаншин, Т. С. Экспериментальное исследование скорости звука в жидком n-тетрадекане при температурах 303,15 – 433,15 К и давлениях до 100 МПа / Т. С. Хасаншин, О. Г. Поддубский, А. П. Щемелев // *Инженерно-физический журнал.* – 2004. – Т. 77, № 1. – С. 152–154.

REFERENCES

1. Frenkel M., Chirico R. D., Diky V., Muzny C., Lemmon E. W., Yan X., Dong Q. NIST Standard Reference Database 103, NIST ThermoData Engine, version 3.0; Standard Reference Data, National Institute of Standards and Technology. Gaithersburg, MD, 2008.
2. Lemmon E. W., Goodwin A. R. H. Critical Properties and Vapor Pressure Equation for Alkanes  $C_nH_{2n+2}$ : Normal Alkanes With  $n \leq 36$  and isomers for  $n = 4$  Through  $n = 9$ . *J. Phys. Chem. Ref. Data*, 2000, Vol. 29, no 1, pp. 1–39.
3. Martin M., Siepmann I. Transferable Potentials for Phase Equilibria. 1. United-Atom Description of n-Alkanes. *J. Phys. Chem. B.*, 1998, vol. 102, no. 14, pp. 2569–2577.
4. Chmyhalo P. A. *Metodika raschetnogo opredeleniya davleniya nasyshchennogo para n-alkanov (S1 – S100) i vodoroda na linii kipeniya* [Procedure for calculating the pressure of saturated vapor of n-alkanes (C1-C100) and hydrogen on the boiling line]. DSSDD 7-2005. Kiev, Derzhspozhivstandart Ukrainy, 2005, 34 p.
5. Filippov L. P. *Metody rascheta i prognozirovaniya svojstv veshchestv* [Methods for calculating and predicting the properties of substances]. Moscow, Izd-vo MGU, 1988, 252 p.
6. Chmyhalo P. A. *Metodika raschetnogo opredeleniya plotnosti zhidkih n-alkanov (S1 – S94) i vodoroda na linii kipeniya* [Procedure for calculating the density of liquid n-alkanes (C1-C94) and hydrogen on the boiling line]. DSSDD 10-2006. Kiev, Derzhspozhivstandart Ukrainy, 2006, 92 p.
7. Reid R. C., Prausnitz, J. M., Sherwood T. K. *The properties of gases and liquids*. New York: McGraw-Hill, 1977, 688 p.
8. Gerasimov A. A., Grigor'ev B. A. Obobshchennoe krossovernoe uravnenie sostoya-niya v shirokoj okrestnosti kriticheskoj tochki [Generalized crossover equation of state in a wide vicinity of the critical point]. *Teplofizika vysokih temperatur*, 1993, vol. 31, no. 2, pp. 25–33.
9. Gerasimov A. A. Novoe obobshchennoe krossovernoe uravnenie sostoyaniya v shirokoj okrestnosti kriticheskoj tochki [A new generalized crossover equation of state in a wide vicinity of the critical point]. *Izvestiya KGTU*, 2003, no. 3, pp. 30–37.
10. Grigor'ev B. A., Gerasimov A. A., Lanchakov G. A. *Teplofizicheskie svojstva i fazovye ravnovesiya gazovyh kondensatov i ih frakcij* [Thermophysical properties and phase equilibria of gas condensates and their fractions]. Moscow, Izdatel'skij dom MEI, 2007, 344 p.
11. Gerasimov A. A., Grigor'ev B. A., Kuznecov M. A. Novye obobshchennye uravneniya dlya rascheta izobarnoj teploemkosti uglevodorodov na linii nasyshcheniya [New generalized equations for calculating the isobaric heat capacity of hydrocarbons at the saturation line]. *Teplofizika vysokih temperatur*, 2001, vol. 39, no. 3, pp. 426–433.
12. Gerasimov A. A., Kuznecov M. A., Harin V. E., Grigor'ev B. A. Izobarnaya teploemkost' normal'nyh alkanov C7 ... C11 v parovoj faze [Isobaric heat capacity of

normal alkanes C7 ... C11 in the vapor phase]. *Inzhenerno-fizicheskij zhurnal*, 1991, vol. 11, no. 3, pp. 165–166.

13. Gouel P. Density of alkanes (C6 to C16) cyclics and alkylbenzenes. *Bull. Cent. Rech. Explor.- Prod. Elf-Aquitaine*, 1978, vol. 2, pp. 211–225.

14. Snyder P. S., Winnick J. The Pressure, Volume and Temperature Properties of Liquid n-Alkanes at Elevated Pressures. *Proc. 5th Symp. Thermophys. Prop.*, 1970, vol. 5, pp. 115–129.

15. Valencia J. L., Gonzalez-Salgado D., Troncoso J., Peleteiro J., Carballo E., Romani L. Thermophysical Characterization of Liquids Using Precise Density and Isobaric Heat Capacity Measurements As a Function of Pressure. *J. Chem. Eng. Data*, 2009, vol. 54, pp. 904–915.

16. Kariznovi M., Nourozieh H., Abedi J. Measurement and Modeling of Liquid Saturated Properties (Solubility, Density, and Viscosity) of (Ethane + n-Tetradecane) Binary Systems. *J. Chem. Eng. Data*, 2011, vol. 56, pp. 3669–3672.

17. Nourozieh H., Kariznovi M., Abedi J. Vapor–liquid equilibrium measurement and thermodynamic modeling of binary systems (methane + n-tetradecane). *J. Fluid Phase Equilib*, 2012, Vol. 318, pp. 96–101.

18. Zhang Y., Jian W., Song Y., Liu W., Yang M., Zhao J., Liu Y., Zhao Y. (p,  $\rho$ , T) Behavior of CO<sub>2</sub> + Tetradecane Systems: Experiments and Thermodynamic Modeling. *J. Chem. Eng. Data*, 2015, vol. 60, pp. 1476–1486.

19. Camin D. L., Rossini F. D. Physical Properties of 14 American Petroleum Institute Research Hydrocarbons, C(9) to C(15). *J. Phys. Chem.*, 1955, vol. 59, pp. 1173–1179.

20. Kneisi P., Zondio J. W. Vapor pressure, liquid density, and the latent heat of vaporization as functions of temperature for four dipolar aprotic solvents. *J. Chem. Eng. Data*, 1987, vol. 32, pp. 11–18.

21. Morgan D. L., Kobayashi R. Direct Vapor Pressure Measurements of Ten n-Alkanes in the C(10)-C(28) Range. *Fluid Phase Equilib.*, 1994, vol. 97, pp. 211–242.

22. Viton C., Chavret M., Behar E., Jose J. Vapor Pressure of Normal Alkanes from Decane to Eicosane at Temperatures from 244 K to 469 K and Pressures from 0.4 Pa to 164 kPa. *Int. Electron. J. Phys. Chem. Data*, 1996, vol. 2, pp. 215–224.

23. Benziane M., Khimeche K., Mokbel I., Dahmani A., Jose J. Isothermal Vapor–Liquid Equilibria of n-Tetradecane + Ethyl Hexanoate, Ethyl Decanoate, and Ethyl Tetradecanoate. *J. Chem. Eng. Data*, 2013, vol. 58, pp. 492–498.

24. Aicart E., Tardajos G., Diaz P. M. Isothermal compressibility of cyclohexane-n-decane, cyclohexane-n-dodecane, and cyclohexane-n-tetradecane. *J. Chem. Eng. Data*. 1981, vol. 26, no. 1, pp. 22–26.

25. Pardo J. M., Tovar C. A., Gonzalez D., Carballo E., Romani L. Thermophysical Properties of the Binary Mixtures Diethyl Carbonate + (n-Dodecane or n-Tetradecane) at Several Temperatures. *J. Chem. Eng. Data*, 2001, vol. 46, pp. 212–216.

26. Garcia B., Alcalde R., Aparicio S., Leal J. M. Thermophysical behavior of methylbenzoate + n-alkanes mixed solvents. Application of cubic equations of state and viscosity models. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 2002, vol. 41, pp. 4399–4408.

27. Asfour A. A., Siddique M. H. Density-composition data for eight binary systems containing toluene or ethylbenzene and C8-C16 n-alkanes at 293.15, 298.15, 308.15, and 313.15 K. *J. Chem. Eng. Data*, 1990, vol. 35, pp. 192–198.

28. Aminabhavi T. M., Gopalakrishna B. Densities, viscosities, refractive indices, and speeds of sound of the binary mixtures of bis(2-methoxyethyl) ether with nonane, decane, dodecane, tetradecane, and hexadecane at 298.15, 308.15, and 318.15 K. *J. Chem. Eng. Data*, 1994, vol. 39, pp. 529–534.

29. Finke H. L. Low-temperature thermal data for the nine normal paraffin hydrocarbons from octane to hexadecane. *J. Am. Chem. Soc.*, 1954, vol. 76, pp. 333–341.

30. Grigor'ev B. A., Andolenko P. A. Issledovanie izobarnoj teploemkosti n-parafinovykh uglevodorodov pri atmosfernom davlenii [Investigation of the isobaric heat capacity of n-paraffin hydrocarbons at atmospheric pressure]. *Izv. VUZov. Neft' i gaz*, 1984, no. 2, pp. 60–62.

31. Hasanshin T. S., Shchemelev A. P. Skorost' zvuka v zhidkih n-alkanah [Sound velocity in liquid n-alkanes]. *Teplofizika vysokih temperatur*, 2001, vol. 39, no. 1, pp. 64–71.

32. Daridon J. L., Lagourette B. Ultrasonic velocity of liquid tridecane and tetradecane as a function of temperature and pressure. *High Temperatures-High Pressures*, 2000, vol. 32, pp. 83–87.

33. Hasanshin T. S., Poddubskij O. G., Shchemelev A. P. Eksperimental'noe issledovanie skorosti zvuka v zhidkom n-tetradekane pri temperaturah 303,15 – 433,15 K i davleniyah do 100 Mpa [Experimental study of the sound velocity in liquid n-tetradecane at temperatures of 303.15 – 433.15 K and pressures up to 100 MPa]. *Inzhenerno-fizicheskij zhurnal*, 2004, vol.77, no. 1, pp. 152–154.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Александров Игорь Станиславович* – Калининградский государственный технический университет; кандидат технических наук, доцент кафедры “Теплогазоснабжение и вентиляция”; E-mail: alexandrov\_kgrd@mail.ru

*Alexandrov Igor Stanislavovich* – Kaliningrad State Technical University; PhD in Technical Sciences, associate professor of the Department of heat and gas supply and ventilation; E-mail: alexandrov\_kgrd@mail.ru

*Герасимов Анатолий Алексеевич* – Калининградский государственный технический университет; доктор технических наук, профессор; зав. кафедрой “Теплогазоснабжение и вентиляция”; E-mail: aager\_kstu@mail.ru

*Gerasimov Anatoly Alekseevich* – Kaliningrad State Technical University; Doctor of Technical Sciences, professor; head of the Department of heat and gas supply and ventilation; E-mail: aager\_kstu@mail.ru

УДК 624.042: 629.5.024

МЕТОД ПРИВЕДЕНИЯ КАК ИНСТРУМЕНТ ФИЛЬТРАЦИИ РЕЗОНАНСНЫХ  
ЧАСТОТ КОРПУСНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

В. И. Сутырин, Е. И. Короткая

REDUCTION METHOD AS A FILTERING TOOL FOR RESONANT  
FREQUENCIES OF SHIPBOARD STRUCTURES

V. I. Sutyurin, E. I. Korotkaya

Поиски путей к снижению вибрации и улучшению условий обитаемости на судах продолжают оставаться актуальными. Для предупреждения вибрации важно определить значения частот свободных колебаний различных конструктивных элементов корпуса. Причем сделать это необходимо на начальной стадии конструирования, поскольку меры по снижению вибрации на построенных судах требуют больших затрат труда и денежных средств. В статье речь идет о расчетных методах предупреждения вибрации, основанных на определении частот собственных колебаний корпуса судна с применением конечно-элементных моделей. В частности, рассматривается метод приведения, разработку которого посвящена известная работа Ю. А. Шиманского «Динамический расчет судовых конструкций». Статья содержит алгоритм преобразований расчетной схемы путем приведения жесткости и массы конструкции к ограниченному числу узлов конечно-элементного разбиения, а также примеры реализации предложенного алгоритма. Рассматриваются варианты преобразованных расчетных схем, а также вычисляются погрешности в определении резонансных частот при расчетах балочных и пластинчатых моделей корпусной конструкции транспортного судна. Время расчета резонансных частот корпуса методом приведения сопоставлено со временем модального анализа, проведенного по традиционной схеме метода конечных элементов.

*корпусные конструкции, расчетное проектирование, метод конечных элементов, метод приведения (конденсации)*

Seeking the ways to reduce vibration and improve living conditions on ships is still of great relevance. To prevent vibration, it is important to determine the values of free oscillation frequencies of various structural elements of a ship hull. Moreover, this needs to be done at the initial stage of construction, as vibration reduction measures on the already built vessels require large amounts of labor and money. The article deals with the calculation methods of vibration prevention based on determination of the frequencies of natural vibrations of a ship hull using finite element models. In particular, the reduction method is considered, after being discussed in the well-known work "Dynamic calculation of ship structures" by Yu. A. Shimansky. The article contains an algorithm for transforming the design scheme by reducing the stiffness and mass of the construction to a limited number of nodes of the finite element

decomposition, as well as examples of implementing the proposed algorithm. The variants of the transformed calculation schemes are considered, and the errors in determination of the resonant frequencies are being found in the calculation of beam and plate models of the ship hull structure. The time of calculating the resonant frequencies of the hull by the reduction method is compared with the time of the modal analysis, carried out according to the traditional scheme of the finite element method.

*ship hull structures, design, finite element method, reduction method*

Известная монография академика Ю. А. Шиманского «Динамический расчет судовых конструкций», опубликованная в 1941 г., продолжает привлекать внимание инженеров-судостроителей, являясь своеобразным пособием по теории и расчетной практике [1].

Судовые корпусные конструкции как большие системы характеризуются бесконечным числом степеней свободы. В этом смысле процесс приближения математической модели к реальной конструкции также оказывается бесконечным. В своей книге Ю. А. Шиманский предлагает инженерам сосредоточиться на поиске «разумной достаточности» модели с учетом потребностей конкретного расчетного исследования. В качестве эффективного инструмента он рассматривает метод преобразования расчетной схемы, согласно которому массы и жесткости судовой конструкции приводятся к отдельным узловым точкам, концентрируются в них. В результате поиск собственных частот, необходимых для ухода от резонансных колебаний конструкции в процессе ее проектирования, существенно упрощается. К примеру, поиск первой резонансной частоты колебаний может сводиться в итоге к исследованию осциллятора с приведенными жесткостью  $K_{пр}^1$  и массой  $M_{пр}^1$ .

Аналитический путь определения приведенных характеристик Ю. А. Шиманский поясняет вводом в рассмотрение функции координат точек тела, определяющей форму колебания, –  $f(x,y,z)$  (для простоты лишь поступательного; значение  $f(x,y,z)$  в точке приведения равно 1) и функции распределения масс –  $m(x,y,z)$ .

В случае гармонического колебательного движения уравнение движения точки приведения примет вид:  $u_{пр} = u_{пр}^0 \sin(\omega t)$ , где  $u_{пр}^0$  – амплитуда точки приведения;  $\omega$  – частота колебаний, а уравнение колебательного движения упругого тела можно записать следующим образом:

$$u(x,y,z) = u_{пр} f(x,y,z) = u_{пр}^0 f(x,y,z) \sin(\omega t). \quad (1)$$

Осциллятор должен обладать такой же кинетической энергией, как и упругое тело ( $\Omega$ ). В этом случае:

$$(1/2) M_{пр}^1 (\partial u_{пр} / \partial t)^2 = (1/2) \int_{\Omega} m (\partial u / \partial t)^2 d\Omega \quad (2)$$

или

$$(1/2) (u_{пр}^0)^2 \omega^2 \cos^2(\omega t) = (1/2) (u_{пр}^0)^2 \omega^2 \cos^2(\omega t) \int_{\Omega} m f^2 d\Omega;$$

$$M_{пр}^1 = \int_{\Omega} m f^2 d\Omega. \quad (3)$$

Таким образом, приведенная масса равна сумме произведений масс всех рассматриваемых узловых точек на квадрат перемещений, которые они получают

при единичном перемещении точки приведения. Приведенный коэффициент жесткости  $C_{пр}^1$ , как следует из его определения, равен удвоенной потенциальной энергии деформаций узловых точек тела при единичном смещении точки приведения. Низшая резонансная частота  $\omega^1$  и период колебаний тела  $\tau^1$ , соответствующие функции формы колебаний  $f$ , определяются следующими выражениями:

$$\omega^1 = (C_{пр}^1 / M_{пр}^1)^{1/2}; \quad \tau^1 = 2\pi / \omega^1. \quad (4)$$

Изложенный подход позволяет формировать матрицы масс  $\|M_{пр}\|$  и жесткости  $\|R_{пр}\|$  для ряда точек приведения конструкции с последующим определением резонансных частот путем решения обобщенной системы однородных уравнений следующего вида:

$$\text{Det} (\|R_{пр}\| - \omega^2 \|M_{пр}\|) = 0. \quad (5)$$

Частоты  $\omega$  определяются пошаговыми либо итерационными методами [2], среди которых в случае расчета больших систем предпочтение отдается, как правило, методу Ланцоша [3]. Если резонансные частоты определены, то можно определить соответствующие им формы колебаний  $\{\psi_{пр}\}$ , решая систему уравнений следующего вида:

$$\|R_{пр} - \omega^2 M_{пр}\| \{\psi_{пр}\} = \{0\}. \quad (6)$$

Во времена Ю. А. Шиманского уравнения колебаний решались с помощью логарифмической линейки, вследствие чего возможности использования метода приведения в качестве инструмента проектирования судовых корпусных конструкций были весьма ограниченными. Сегодня для решения задач подобного рода могут применяться программные САЕ-комплексы (Computer-aided engineering: ANSYS, FEMAP with NX NASTRAN и др.), реализующие метод суперэлементов (External Superelements) и имеющие весьма впечатляющие количественные возможности. Благодаря компьютерам четвертого поколения появилась возможность анализировать конечно-элементные расчетные модели с несколькими миллионами степеней свободы. В указанных условиях следование принципу «разумной достаточности» значительно повышает эффективность расчетного проектирования конструкции. В задачах особой сложности переход к преобразованным расчетным схемам становится единственно возможным путем анализа динамики конструкции. Особое значение при этом приобретает эффективная алгоритмизация вычислений.

В операциях, связанных с понижением размерности разрешающей системы уравнений, принято различать расчетные (s) и исключаемые (n) перемещения, что приводит к четырехблочному представлению исходных матриц массы и жесткости системы:

$$\|M\| = \begin{Bmatrix} M_{ss} & M_{sn} \\ M_{ns} & M_{nn} \end{Bmatrix}, \quad \|R\| = \begin{Bmatrix} R_{ss} & R_{sn} \\ R_{ns} & R_{nn} \end{Bmatrix}. \quad (7)$$

Приведение жесткостей и масс обычно выполняется на основе алгоритма, предложенного Айронсом и Гайяном [4]:

$$\|R_{пр}\| = \|A\| \|R\| \|A\|^T, \quad (8)$$

$$\|M_{пр}\| = \|A\| \|M\| \|A\|^T; \quad \|A\| = \|E L^T\|, \quad (9)$$

где  $E$  – единичная матрица порядка  $s$ ;  $\|L\| = - \|R_{nn}\|^{-1} \|R_{ns}\|$ .

Однако непосредственное программирование (18) и (19) затруднено большим порядком исходных матриц масс  $\|M\|$  и жесткости  $\|R\|$  конструкции. Перемножая блоки указанных матриц с учетом того, что  $\|M_{nn}\| = \|M_{nn}\|^{1/2} \|M_{nn}\|^{1/2}$ , получим следующее равенство для определения приведенных масс и жесткостей сложной системы [5, 6]:

$$\begin{aligned} \|M_{pp}\| &= \|M_{ss}\| + \|R_{sn}\| \|R_{nn}\|^{-1} \|M_{nn}\| \|R_{nn}\|^{-1} \|R_{ns}\| - \\ &- \|M_{sn}\| \|R_{nn}\|^{-1} \|R_{ns}\| - \|R_{sn}\| \|R_{nn}\|^{-1} \|M_{ns}\| = \\ \|M_{ss}\| &+ \|Q\| + \|Q\|^T + \|G\| \cdot \|G\|^T, \end{aligned} \quad (10)$$

где

$$\begin{aligned} \|Q\| &= \|L\|^T \|M_{ns}\|; \quad \|G\| = -\|L\|^T \|M_{nn}\|^{1/2}; \\ \|R_{pp}\| &= \|R_{ss}\| + \|R_{sn}\| \|L\|. \end{aligned} \quad (11)$$

Опыт программирования (10) показал, что глобальную систему следует редуцировать построчно. При этом матрицы  $\|M_{nn}\|$  и  $\|R_{nn}\|$  становятся коэффициентами, а операции обращения и тем более возведения матрицы в дробную степень отпадают. В специализированной расчетной программе [7], реализующей матрично-векторные равенства (10) и (11), нами применено сочетание модифицированной процедуры Гаусса с фронтальным методом решения системы уравнений (рис. 1) [8].

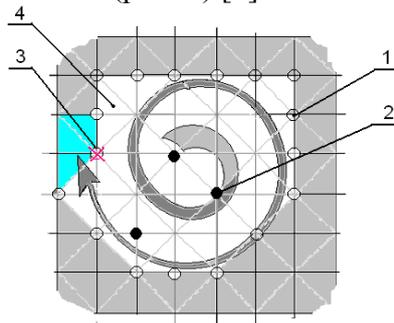


Рис. 1. Фронтальная (вихревая) схема исключения неизвестных системы при приведении жесткости и массы системы к расчетным узлам: 1 – узлы фронта исключения; 2 – сохраняемые расчетные узлы (узлы приведения) конструкции; 3 – исключаемый узел, в котором фрагментарно стыкуются конечные элементы модели; 4 – исключенная (обработанная) область системы

Fig. 1. The frontal (vortex) scheme for excluding the unknown quantities of the system when the rigidity and mass of the system is reduced to the calculated nodes: 1 – nodes of the elimination front; 2 – stored calculation nodes (nodes of reduction) of the structure; 3 – excluded node, in which the final elements of the model are fragmentarily joined; 4 – excluded (processed) area of the system

Можно отметить, по крайней мере, пять существенных преимуществ фронтального способа приведения жесткостей и масс:

1. Фронтальная схема позволяет удерживать в памяти компьютера лишь те коэффициенты, на которые распространяется влияние исключаемых степеней свободы глобальной системы. Положительный эффект возникает здесь в связи с независимостью объемов задействованной памяти от общего порядка системы.

Расчет выполняется, как правило, в основной памяти и не требует продолжительной по времени зонной обработки системы разрешающих уравнений с выносом промежуточной информации во внешнюю память компьютера.

2. В процессе фронтальной обработки появляется возможность сохранения шлейфа произвольно расположенных узлов приведения, формирующих подструктуры преобразованных расчетных схем конструкции (ПРС). Процесс приведения (редукции) системы становится управляемым.

3. Фронтальная схема эффективна, поскольку, с одной стороны, исключает построение глобальной модели, а с другой – оптимизирует вычислительную процедуру редукции. Блок-матрица исключаемых степеней свободы модели при фронтальной схеме расчета сокращается до одного коэффициента, а размерность блок-матрицы сохраняемых степеней свободы – остается минимально возможной на протяжении всего расчета.

4. Фронтальная схема эффективно программируется, поскольку рабочие матрицы оказываются в расчете ограниченными по порядку, симметричными и плотно упакованными.

5. Фронтальная схема образует вихревую вычислительную процедуру, инвариантную по отношению к внешней (не пройденной) части модели. Появляется возможность мультифронтальной обработки системы с применением многопроцессорных вычислительных средств.

Применение указанного алгоритма иллюстрируется следующим расчетным примером. На рис. 2 приведена пространственная (3-D) стержневая (балочная) модель трех центральных грузовых отсеков транспортного рефрижератора пр.1337. Судно имеет длину 108,4, ширину 13,7, высоту борта 8,7 м, водоизмещение 920 т. Миделевое сечение конструкции корпуса судна показано на рис. 3. Длина отсека расчетной модели составляет 15,6, длина модели 46,8 м, масса металлоконструкций 521,4 т. Угловые точки палубных вырезов подкреплены пиллерсами.

Модель составлена из 3478 элементов типа Beam, состыкованных в 2162 узлах. Общее число степеней свободы модели 12966. При выборе геометрии стержневых конечных элементов учтены рекомендации Ю. А. Шиманского по выбору присоединенных поясков обшивки и настилов палуб [9].

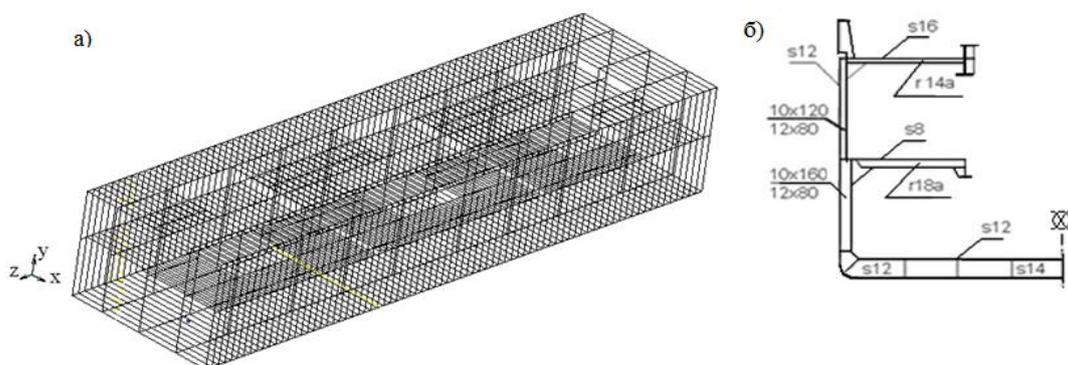


Рис. 2. Пространственная (3D) балочная расчетная модель средней части корпуса (а) и мидель-шпангоут (б) транспортного рефрижератора

Fig. 2. Spatial (3D) beam design model of the intermediate part of the ship hull (a) and midship-frame (b) of the transport refrigerator

Преобразование расчетной схемы представляет стратификацию реальной системы (конструкции корпуса). По сути, ПРС является фильтром резонансных частот и форм колебаний сложной конструкции. Причем модальную фильтрацию можно настраивать, выбирая количество и местоположение узлов приведения. На рис. 3 показана стержневая конечно-элементная аппроксимация нижней палубы средней части корпуса судна с узлами приведения (расчетными узлами), назначенными в точках пересечения бимсов и карлингсов палубы центрального грузового отсека. Преобразованная расчетная схема конструкции (ПРС1) включает 66 расчетных узлов. Общее число степеней свободы ПРС1 – 396.

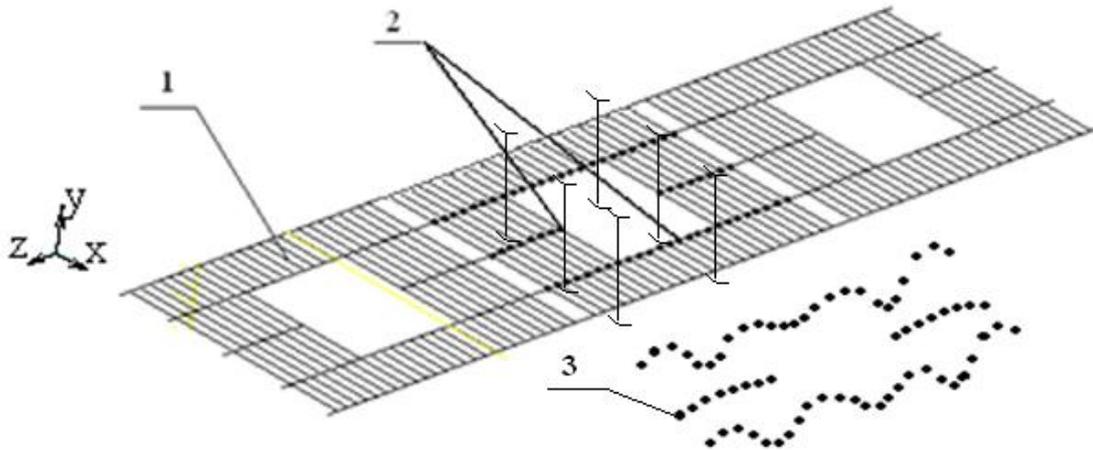


Рис. 3. Выбор преобразованной расчетной схемы (ПРС1) конструкции:  
 1 – расчетная модель нижней палубы в составе модели средней части корпуса судна (показаны места установки пиллерсов); 2 – узлы приведения нижней палубы среднего грузового отсека; 3 – форма колебаний узлов ПРС1 на резонансной частоте 12,6 Гц

Fig. 3. The choice of the converted design scheme (ПРС1) of the structure: 1 – analysis model of the lower deck within the model of the middle part of the hull (the pillar locations are shown); 2 – reduction nodes of the lower deck of the intermediate cargo compartment; 3 – oscillation form of the nodes of ПРС1 at the resonant frequency of 12.6 Hz

Рассматриваемая расчетная модель выявляет балочные частоты и формы резонансных колебаний корпусной конструкции (см. 3 на рис. 3). Подобные модели можно обоснованно назвать классическими, поскольку они вошли в учебники по строительной механике и многие годы обеспечивали и продолжают обеспечивать сегодня потребности проектирования морской техники. Однако в результате модального анализа стержневой модели многочисленные формы колебаний пластин и оболочек корпусных конструкций остаются, как говорится, «за кадром». К тому же рекомендации по назначению присоединенных поясков стержневых конечных элементов в моделях указанного типа (требования по жесткости) входят в противоречия с требованиями по массе, поскольку пояски разнонаправленного набора неизбежно перекрывают друг друга. Поэтому массы поясков стержневого набора модели приходится заменять узловыми массами, собранными с прилегающих площадей обшивки и настилов. Во многих случаях

подобный подход является весьма грубым приближением, поскольку приведение масс должно осуществляться с учетом жесткостей конструкции. В случае стержневой модели указанное требование нарушается.



Рис. 4. Собственные частоты балочной модели корпуса и ПРС1 в диапазоне от 0 до 70 Гц

Fig. 4. Eigen frequencies of beam model of the hull and ПРС1 in the range from 0 to 70 Hz

На рис. 4. Приводятся результаты модального анализа балочной модели, а также ПРС1. Частоты, определяемые при помощи преобразования расчетной схемы, на рис. 6 обозначены квадратными маркерами. Погрешности в определении соответствующих частот показаны на рис. 5.

Построение ПРС1 приводит к исключению отдельных степеней свободы конструкции и, как следствие, к некоторому искажению формы колебаний. Характер искажений трудно оценить априори. Парадокс состоит в том, что сегодня критерием правильности выбора ПРС могут служить результаты уточненного расчета динамики судового корпуса как пространственной системы большого порядка. Указанная модель, которая все чаще формируется сегодня в целях расчетного проектирования (конструирования) корпусной конструкции, может использоваться для обоснования корректности выбора ПРС и определения погрешности результата. Откорректированная ПРС может многократно использоваться в дальнейшем в практике расчетного проектирования конструкции.

В наиболее наглядном виде подобный вывод можно проиллюстрировать расчетом с применением САЕ-комплекса пластинчатой модели центральной части корпуса рассматриваемого судна (рис. 6.), обеспечивающей наиболее полную информацию о динамике реальной корпусной конструкции. В расчетной модели объединены 253374 конечных элемента (типа Plate), количество узлов стыковки 340093, общее число степеней свободы – 1440160, масса – 521,4 т.

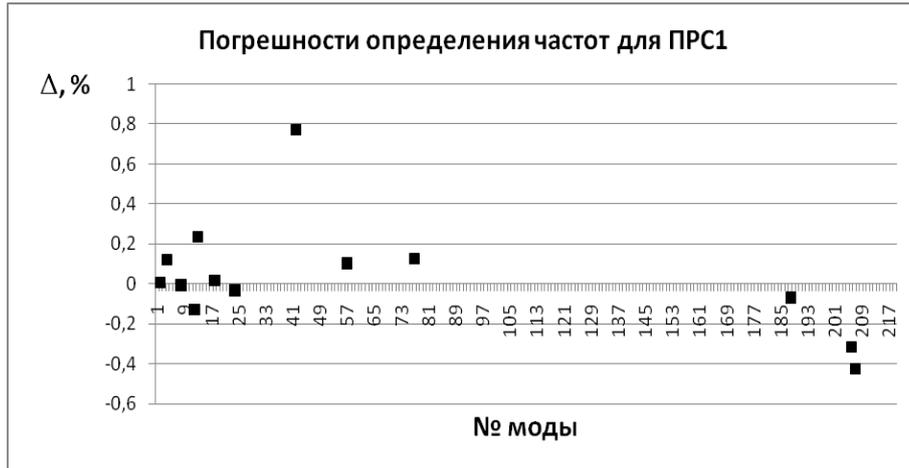


Рис. 5. Погрешности в определении резонансных частот балочной модели с применением ПРС1  
 Fig. 5. Errors in the determination of the resonant frequencies of the beam model using ПРС1

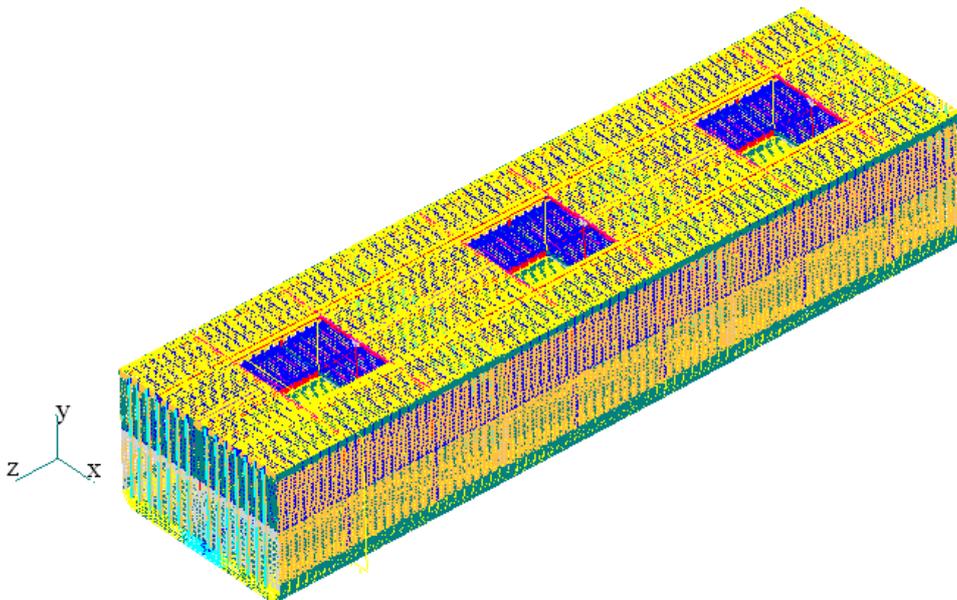


Рис. 6. Пространственная (3D) пластинчатая модель грузовых трюмов транспортного рефрижератора пр.1337  
 Fig. 6. Spatial (3D) plate model of cargo holds of a transport refrigerator

Спектр резонансных частот пластинчатой модели конструкции корпуса судна оказывается исключительно плотным. Достаточно сказать, что модель обеспечила выявление 1500 мод в диапазоне (0- 70 Гц) (рис. 7). Поэтому выбор данных, относящихся к конкретному фрагменту конструкции, например, к палубному перекрытию, оказывается затрудненным.

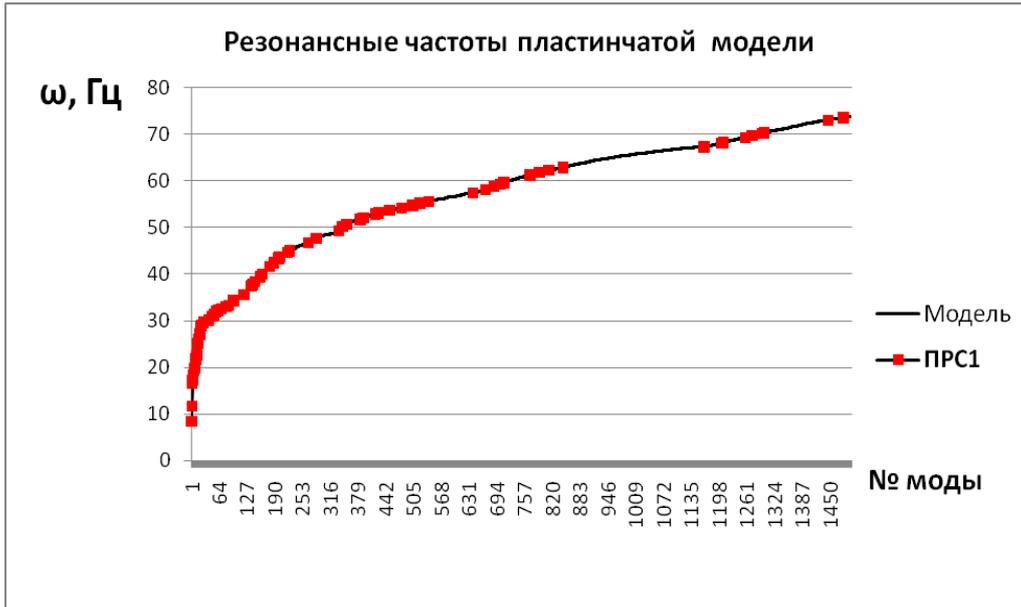


Рис. 7. Собственные частоты пластинчатой модели и ПРС1 в диапазоне от 0 до 70 Гц  
 Fig. 7. Eigen frequencies of the plate model and ПРС1 in the range from 0 to 70 Hz



Рис. 8. Погрешности в определении резонансных частот пластинчатой модели с помощью ПРС1  
 Fig. 8. Errors in determining the resonance frequencies of the plate model using ПРС1

Построение ПРС1 значительно повышает производительность модального анализа палубы в составе корпуса и сокращает число определяемых мод до 300. Погрешности приведения показаны на рис. 8.

Полный модальный расчет конструкции в указанном диапазоне с использованием типового компьютера, оснащенного 4-ядерным процессором Intel Core i3 с объемом оперативной памяти 16 Гбт, продолжался 20 ч 40 мин. При такой продолжительности расчета вариантный поиск оптимальной конструктивной схемы конструкции становится практически невозможным. Резервы расчетного времени, возникающие при оперировании ПРС1, оказываются весьма значительными. На рис. 9 иллюстрируется время модального анализа ПРС1 в сравнении с анализом всей пластинчатой модели. На графике время расчета мод (Т) отнесено ко времени однократного статического расчета прочности конструкции ( $T_1$ ). Указанное отношение, находящееся в диапазоне от 4 до 5, характеризует относительное время приведения матриц жесткости и массы к расчетным узлам (т. е. время построения ПРС1 при нулевом количестве рассчитанных мод).

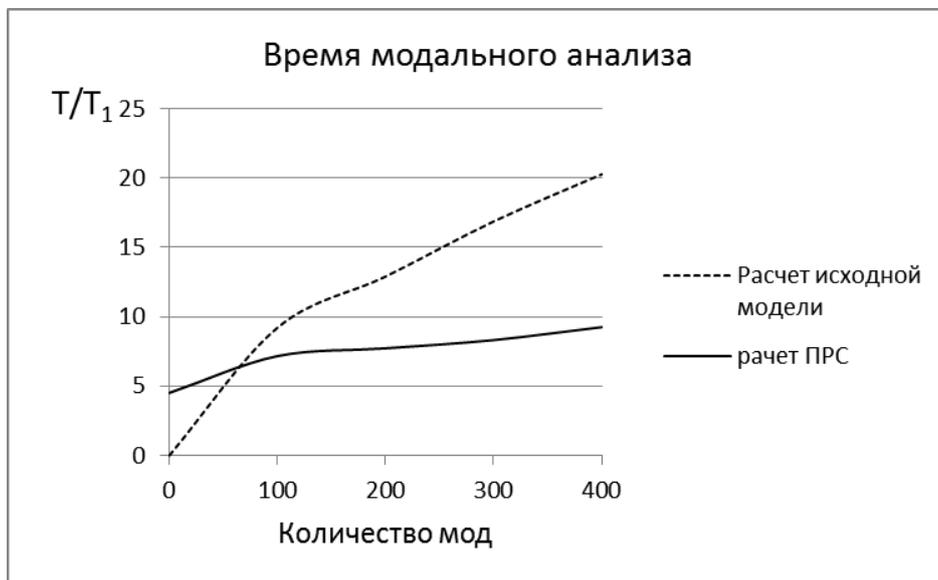


Рис. 9. Сопоставление времени расчетного анализа резонансных частот и форм пластинчатой пространственной (3D) расчетной модели грузовых трюмов судна, а также ПРС1, построенной на ее основе

Fig. 9. Comparison of the time of calculation analysis of resonance frequencies and forms of the three-dimensional (3D) model of the cargo holds of the ship, as well as the ПРС1 built on its basis

Результаты модального анализа пластинчатой модели конструкции корпуса судна показали, что формы ее собственных колебаний оказываются сложными (много связными) (рис. 10). Поэтому расчеты резонансных частот с использованием моделей фрагментов корпусных конструкций (например, отдельных палубных перекрытий и др.) без учета жесткостных и инерционных граничных условий влекут за собой риски появления значительных погрешностей.

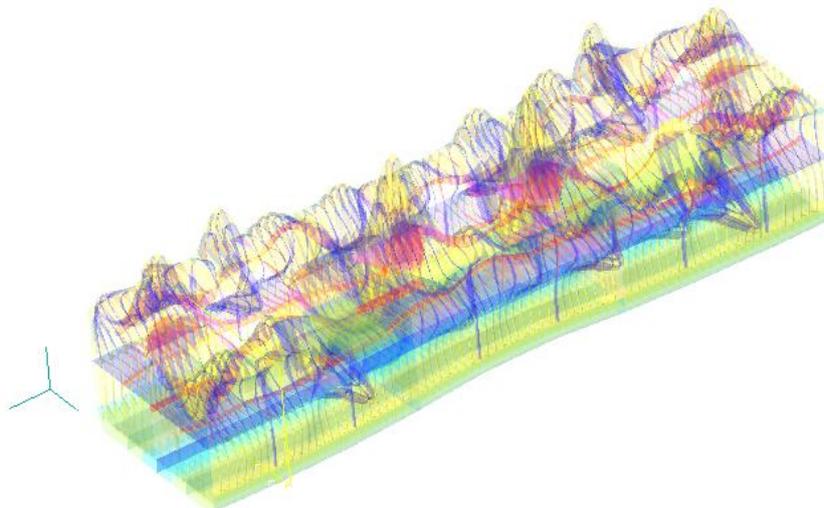


Рис. 10. Мода № 40 пластинчатой модели корпусной конструкции  
(форма собственных колебаний конструкции на резонансной частоте 30,05 Гц)

Fig. 10. Mode № 40 of the plate model of the hull structure  
(the form of the hull vibrations at the resonance frequency of 30,05 Hz)

Необходимые граничные условия могут быть получены путем приведения жесткостей и масс к граничным узлам анализируемой корпусной конструкции. Таким образом отслеживается влияние общей вибрации конструкции на местную вибрацию и наоборот. Кроме этого, ввод в расчет фрагмента с новой конструктивной схемой не приводит в указанной ситуации к пересчету глобальной задачи, что повышает производительность расчетного проектирования. Наконец, процедуры структуризации могут выполняться параллельно для ряда конструктивных фрагментов, что поддерживает коллективные формы работы над проектом.

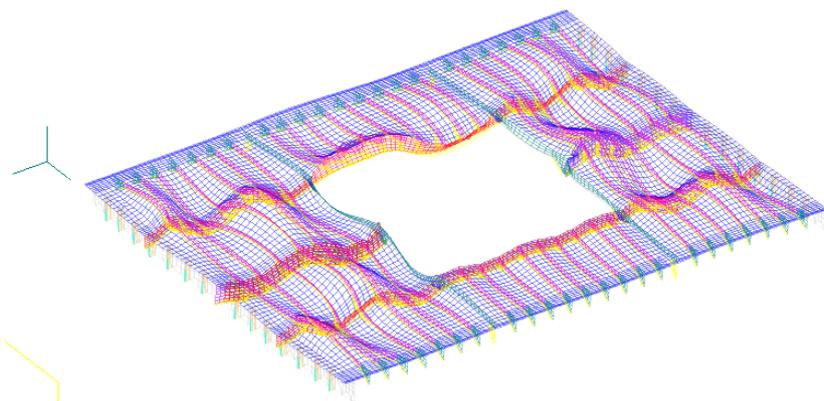


Рис. 11. Мода PPC2 пластинчатой модели нижней палубы центрального  
грузового трюма корпуса транспортного рефрижератора пр.1337  
(форма колебаний при резонансной частоте 30,1 Гц)

Fig. 11. Mode PPC2 of the plate model of the lower deck of the central cargo hold  
of the hull of the transport refrigerator 1337 (the form of the vibrations at a resonant  
frequency of 30.1 Hz)

Следует также подчеркнуть тот факт, что с формированием ПРС проблема граничных условий при оценке местной вибрации конструкции решается автоматически. В качестве примера на рис. 11 показана уточненная форма резонансных колебаний палубного настила и набора, полученная на основе ПРС2, объединяющей в качестве расчетных все узлы стыковки пластинчатых конечных элементов настила и подкрепляющего набора нижней палубы центрального грузового трюма корпуса.

## ВЫВОДЫ

1. Метод приведения, который реализуется в современных САЕ-комплексах в форме внешнего суперэлемента (External SuperElement), можно рекомендовать в качестве эффективного инструмента расчетного проектирования, предназначенного для выявления резонансных частот судовых корпусных конструкций.

2. Если во времена Ю. А. Шиманского ПРС служила средством сокращения числа разрешающих уравнений, выполняемых для последующего использования доступного инструмента вычислений (логарифмической линейки), то сегодня парадигма ее применения претерпела серьезные изменения.

3. Благодаря современным вычислительным средствам ПРС можно с успехом применять:

- в качестве эффективного средства структурирования больших (3D) расчетных моделей корпусных конструкции, формируемых в целях расчетного проектирования (конструирования) как альтернативы «проектирования по правилам»;

- для высокопроизводительного расчетного анализа вибрации фрагментов корпусной конструкции;

- в качестве средства расчетного проектирования (синтеза) новых судовых корпусов с учетом спектра возможных резонансных частот;

- для организации эффективной коллективной работы над проектом.

4. При расчетах 3D-моделей корпусных конструкций наблюдаются сложные (многосвязные, многоволновые) формы резонансных колебаний. Спектр собственных частот корпуса судна оказывается исключительно плотным. Плотность спектра возрастает с увеличением числа анализируемых степеней свободы расчетной модели. Выбор резонансных частот и форм колебаний отдельных фрагментов корпуса из общей вибрационной картины является актуальной задачей.

5. ПРС можно рассматривать в качестве фильтра частот корпусной конструкции, который необходимо настроить путем корректного выбора количества и местоположения узлов приведения.

6. Собственные частоты, определяемые на основе традиционных балочных моделей судовых перекрытий, могут существенно отличаться от частот, определяемых с применением 3D-моделей корпусов вследствие неопределенности жесткостных и инерционных граничных условий. Построение ПРС автоматически устраняет указанную проблему.

7. Средством контроля правильности выбора ПРС может служить разовый уточненный численный модальный анализ, а также инструментальный анализ натурной конструкции.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Шиманский, Ю. А. Динамический расчет судовых конструкций / Ю. А. Шиманский. – Ленинград: Судпромгиз, 1948. – 408 с.
2. Голуб, Дж. Матричные вычисления / Дж. Голуб, Ч. Ван. Лоун. – Москва: Мир, 1999. – 546 с.
3. Grimes, R. G. A Shifted Block Lanczos Algorithm for Solving Sparse Symmetric Generalized Eigenproblems / R. G. Grimes, J. G. Lewis, H. D. Simon // *SIAM Journal Matrix Analysis Applications*. – 1994. – Vol.15 (1). – Pp.228-272.
4. Guyan, R. J. Reduction of Stiffness and Mass Matrices / R. J. Guyan // *JAIAA*. – 1965. – № 3. – P. 380.
5. Сутырин, В. И. Применение способа фронтальной конденсации в расчетах динамики судовых корпусных конструкций / В. И. Сутырин // *Судостроение*. – 1996. – № 7. – С.10-14.
6. Сутырин, В. И. Методология конечно-элементного анализа конструкций при их проектировании / В. И. Сутырин // *Проблемы кораблестроения и океанотехники: сб. трудов НГТУ им. П. Е. Алексеева*. – 2010. – № 2. – С.171-177.
7. Сутырин, В. И. Программа для расчета амплитуд установившихся колебаний конструкции с применением структуризации квазистатической модели / В. И. Сутырин, Е. И. Короткая // *Труды Нижегородского государственного технического университета им. П. Е. Алексеева*. – 2013. – №3 (100). – С. 175-181.
8. Trons, W. M. A frontal solution for finite element analysis / W. M. Trons // *International Journal for Numerical Mathematical Engineering*. – 1970. – № 2.
9. Шиманский, Ю. А. Справочник по строительной механике корабля / Ю. А. Шиманский. – Ленинград: Судпромгиз, 1960. – 627 с.

#### REFERENCES

1. Shimanskij Ju. A. *Dinamicheskij raschet sudovyh konstrukcij* [Dynamic calculation of ship structures]. L., Sudpromgiz, 1948, 408 p.
2. Golub Dzh., Ch. Van. Loun. *Matrichnye vychislenija* [Matrix Computing]. Moscow, Mir, 1999, 546 p.
3. Grimes R. G., Lewis J. G., Simon H. D. A Shifted Block Lanczos Algorithm for Solving Sparse Symmetric Generalized Eigenproblems, *SIAM Journal Matrix Analysis Applications*, 1994, vol. 15 (1), pp. 228-272.
4. Guyan R. J. Reduction of Stiffness and Mass Matrices. *JAIAA*, 1965, no. 3, 380 p.
5. Sutyurin V. I. Primenenie sposoba frontal'noj kondensacii v raschetah dinamiki sudovyh korpusnyh konstrukcij [Application of the method of front condensation in calculations of the dynamics of ship hull structures]. *Sudostroenie*, 1996, no. 7, pp. 10-14.
6. Sutyurin V. I. Metodologija konechno-jelementnogo analiza konstrukcij pri ih proektirovanii [Methodology of finite element analysis of structures in their design]. *Cb.*

*trudov NGTU im. R. E. Alekseeva "Problemy korablestroenija i okeanotehniki"*, 2010, no. 2, pp. 171-177.

7. Sutyryn V. I., Korotkaja E. I. Programma dlja rascheta amplitud ustanovivshijsja kolebanij konstrukcii s primeneniem strukturizacii kvazistaticheskoj modeli [A programme for calculating the amplitudes of steady-state structural oscillations using the structuring of a quasi-static model]. *Cb. trudov NGTU im. R. E. Alekseeva*, 2013, no. 3 (100), pp. 175-181.

8. Trons W. M. A frontal solution for finite element analysis. *International Journal for Numerical Mathematical Engeeniring*, 1970, no. 2,

9. Shimanskij Ju. A. *Spravochnik po stroitel'noj mehanike korablja* [Handbook of ship mechanics]. L., Sudpromgiz, 1958, 627 p.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Сутырин Валерий Игоревич* – Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Инженерно-технический институт; доктор технических наук, профессор кафедры машиноведения и технических систем; E-mail: vsutyryn@mail.ru

*Sutyryn Valeriy Igorevich* – I. Kant Baltic Federal University; Institute of Engineering and Technology; Doctor of Engineering, Professor of the Department of machine science and technical systems; E-mail: vsutyryn@mail.ru

*Короткая Елена Ивановна* – Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота ФГБОУ ВО «КГТУ»; доцент кафедры технической механики; E-mail: Ekkat82@gmail.com

*Korotkaya Elena Ivanovna* – Baltic Fishing Fleet State Academy of KSTU; Associate professor of the Department of engineering mechanics; E-mail: Ekkat82@gmail.com

## **ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ АПК**



УДК 332.1

АНАЛИЗ СИСТЕМЫ СТРАХОВАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РИСКОВ  
С ГОСУДАРСТВЕННЫМ УЧАСТИЕМ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ  
ПО ЕЕ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ

В. А. Малий

ANALYSIS OF THE INSURANCE SYSTEM AGAINST AGRICULTURAL RISKS  
WITH STATE PARTICIPATION AND PROPOSALS ON ITS IMPROVEMENT

V. A. Maliy

Агропромышленный комплекс представляет особый интерес для государства в связи с тем, что именно данная отрасль обеспечивает продовольственную безопасность всей страны. Так, с целью оказания государственной помощи сельхозтоваропроизводителям применяется система страхования сельскохозяйственных рисков с государственным участием. В статье проведен анализ данного механизма, использующегося в Российской Федерации в настоящее время, выявлены основные проблемы, препятствующие эффективному развитию страхового рынка, разработаны мероприятия по улучшению текущей ситуации. Кроме того, в работе исследуется негативная тенденция снижения количества организаций, участвующих в процессе страхования агропромышленных рисков. Проанализирована динамика страхования урожая с государственным участием, а также выявлено количество хозяйств, получивших субсидии по страховым случаям в 2012-2016 гг. Таким образом, данное исследование преследует цель по выявлению недостатков существующей системы страхования, а также разработке комплекса мероприятий по решению указанных проблем. В статье проанализированы тенденции последних лет в сфере сельскохозяйственного страхования, в том числе включение сельскохозяйственных субсидий в единую субсидию, а также рассмотрены мероприятия государства по реформированию данной системы, сделаны выводы об их недостаточности. Кроме того, в исследовании раскрыта сущность страхования как механизма государственной поддержки сельского хозяйства, выделено направление развития данного инструмента в Российской Федерации. Анализ, проведенный в данном исследовании, построен на статистических данных об участии организаций в процессе страхования сельскохозяйственных рисков; также нами рассматриваются мнения сельхозтоваропроизводителей по эффективности данной системы, ее основных недостатков. В статье сделан вывод о необходимости совершенствования системы агрострахования. Результатом исследования является комплекс мероприятий, направленных на модернизацию действующей системы страхования сельскохозяйственных рисков, реализация которых может способствовать росту инвестиционной привлекательности отрасли, количеству организаций, участвующих в системе страхования, и их экономической стабильности.

*Страхование рисков в сельском хозяйстве, агрострахование с государственной поддержкой, государственная поддержка сельского хозяйства, общества взаимного страхования, единое общероссийское объединение страховщиков, «единая субсидия»*

The agro-industrial complex is of interest to the state because this sector ensures the food security of the entire country. Thus, in order to provide state assistance to agricultural producers, a system of agricultural risk insurance with state participation is used. This article analyzes the mechanism, which is currently used in the Russian Federation, identifies the main problems that impede the effective development of the insurance market. A number of measures have been developed to improve the current situation. In addition, the paper studies a negative tendency to reduce the number of organizations involved in the process of insurance against agro-industrial risks. The dynamics of crop insurance with state participation has been analyzed, as well as the number of farms that received subsidies for insured events in 2012-2016. Thus, this study aims to identify shortcomings of the existing insurance system, as well as to develop a set of measures to address these problems. The article analyzes the trends of recent years in agricultural insurance, including the inclusion of agricultural subsidies in a single subsidy, as well as the government measures to reform the system, and conclusions about their insufficiency. In addition, the study reveals the essence of insurance as a mechanism for state support to agriculture, the direction of development of this tool in the Russian Federation is outlined. The analysis in this study is based on the statistical data on participation of organizations in the process of agricultural risks insurance, and the article considers the opinions of agricultural producers on the effectiveness of this system and its main shortcomings. The article concludes that it is necessary to improve the system of agricultural insurance. The result of the study is a set of measures aimed at modernizing the current agricultural risk insurance system, implementation of which can contribute to the growth of the investment attractiveness of the industry, the number of organizations participating in the insurance system and their economic stability.

*Insurance against risks in agriculture, agri-insurance with state support, mutual insurance companies, state support of agriculture, all-Russian association of insurers, "single subsidy"*

## ВВЕДЕНИЕ

В связи с тем, что одной из основных функций агропромышленного комплекса Российской Федерации является обеспечение продовольственной безопасности страны, данная отрасль представляет особый интерес для государства.

Еще большую актуальность развитие агропромышленного комплекса приобретает в условиях действия международных санкций и обострения политической ситуации в мире. Значительная роль агропромышленного комплекса в экономике Российской Федерации обуславливает необходимость решения проблем отрасли, так как они затрагивают интересы общества и страны в целом.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Анализ современного состояния, а также перспектив развития сельхозтоваропроизводителей позволяет сделать вывод о достаточно сложной ситуации, сложившейся в отрасли, даже несмотря на некоторое улучшение финансового состояния предприятий и увеличение объёма годового производства продукции. Природно-климатические условия России непредсказуемы и суровы, поэтому сельское хозяйство в стране относится к категории наиболее рискованных отраслей экономики. Данный факт обуславливает высокий уровень риска потерь урожая и, соответственно, снижение инвестиционной привлекательности отрасли.

Огромные территории Российской Федерации относятся к категории зон рискованного земледелия. Это в первую очередь связано с влиянием природно-климатических факторов, воздействие человека на которые практически невозможно. Стоит отметить, что только на территории Калининградской области в 2017 г. дважды вводился режим чрезвычайной ситуации в связи с повреждением и гибелью посевов из-за обильных осадков. После экспертизы, проведенной Министерством сельского хозяйства России, подтвержденные данные по ущербу аграриям Калининградской области составили 302 млн. руб. [1].

Природно-климатические риски, характеризующие отрасль сельского хозяйства, в совокупности приводят к общему снижению рентабельности аграриев. Именно это обуславливает необходимость исследования и использования эффективных механизмов страховой защиты сельхозтоваропроизводителей, а также непосредственного участия государства в данном процессе.

Несмотря на участие государства в развитии механизма страхования сельского хозяйства и наличия форм страхования с государственной поддержкой, общее количество производителей, участвующих в страховании урожая с государственной поддержкой, посадок многолетних насаждений, а также сельскохозяйственных культур, по данным Министерства сельского хозяйства Российской Федерации в 2016 г., по сравнению с 2015, сократилось на 66,8% (табл.) [2]. Кроме того, данный показатель является минимальным за последние пять лет и составляет 913 хозяйств (рис. 1). Еще более существенное снижение количества полученных субсидий по договорам страхования урожая с государственным участием зафиксировано у малых форм хозяйствования (индивидуальных предпринимателей и фермерских хозяйств), где показатель 2016 г. на 84,5% ниже аналогичного в предшествующем году [2].

Проведенный анализ позволяет сделать вывод об актуальности изучения выявленной тенденции по сокращению числа сельскохозяйственных организаций, участвующих в процессе страхования урожая. Кроме того, необходима разработка предложений по изменению текущей ситуации в будущих периодах.

Развитие инструментов страхования является перспективным механизмом устойчивого экономического развития и поддержки агропромышленного комплекса, в том числе в связи со вступлением Российской Федерации во Всемирную торговую организацию. Данный инструмент относится к мерам «зелёной корзины», не противоречит международным обязательствам и не относится к мерам, связанным с формированием цен на продукцию.

Таблица. Статистические данные по страхованию урожая сельскохозяйственных культур и многолетних насаждений с государственной поддержкой в 2012–2016 гг.

Table. Statistical data on insurance of crop yields and perennial plantations with government support in 2012-2016

№ п/п	Наименование показателя	Годы					
		2012	2013	2014	2015	2016	2016 г. к 2015, %
1	Количество организаций, заключивших договоры страхования, подлежащие субсидированию - всего	5 145	4 663	5 827	2 751	913	33,2
	В том числе % сельхозорганизации	3 158	2 701	3 442	1 854	774	41,7
	Крестьянские (фермерские) хозяйства	1 987	1 962	2 385	897	139	15,5
2	Посевная (посадочная) площадь – всего, млн га	72,8	74,7	75,0	75,9	76,2	100,4
3	Посевная (посадочная) площадь по договорам страхования, млн га	12,9	11,7	12,8	8,3	3,8	45,8
4	Удельный вес посевной площади застрахованных культур, %	18,5	16,3	17,7	10,9	5,0	45,9
5	Количество субъектов Российской Федерации, принявших участие в страховании	60	60	62	56	40	71,4
6	Количество страховых организаций, осуществлявших страхование урожая сельскохозяйственных культур и посадок многолетних насаждений с государственной поддержкой	36	42	44	43	21	48,8
7	Страховая сумма, млн руб.	175 473	183 128	212 584	155 707	114 782	73,7
8	Сумма уплаченных страховых взносов, млн руб.	9 699,9	10 653,0	12 265,2	8 709,7	5 657,7	65,0
9	Субсидии, перечисленные сельскохозяйственным товаропроизводителям за счет средств федерального бюджета Российской Федерации, млн руб.	4 106,7	4 566,0	4 892,0	3 877,6	2 342,5	64,9
10	Субсидии, перечисленные сельскохозяйственным товаропроизводителям из бюджетов субъектов Российской Федерации, млн руб.	766,3	690,0	1 141,1	401,1	172,6	43,0
11	Доля фактической компенсации уплаченной страховой премии из бюджетов всех уровней, %	50,2	49,3	49,2	49,1	44,5	96,8
12	Сумма страхового возмещения, млн руб.	2 181,5	1 454,5	1 561,1	1 072,9	629,6	58,7
13	К страховой премии, %	22,5	13,7	12,7	12,3	11,1	90,5



Рис. 1. Количество хозяйств, получивших субсидии по договорам страхования урожая сельскохозяйственных культур и посадок многолетних насаждений с государственным участием в 2012-2016 гг.

Fig. 1. The number of farms that received subsidies under crop insurance contracts and planting perennial plantations with government participation in 2012-2016

Рассмотрим более подробно систему агрострахования, действующую в Российской Федерации на сегодняшний день. Под страхованием сельскохозяйственных рисков понимается имущественная защита специальными страховыми организациями (страховщиками) интересов сельхозтоваропроизводителей в случае наступления страхового события. Денежный фонд для покрытия страховых рисков формируется путем прямых страховых взносов от предприятий (страховых премий).

Страховые компании предоставляют следующие виды страховых услуг для аграриев [3]:

- страхование спецтехники;
- страхование основных фондов;
- страхование урожая;
- страхование сельскохозяйственных животных;
- страхование объектов аквакультуры.

В целях формирования цивилизованного рынка агрострахования, а также содействия эффективному использованию средств, выделяемых из государственного бюджета на поддержку страхования, на рынке агрострахования действует общероссийское объединение страховщиков – Союз «Единое объединение страховщиков агропромышленного комплекса – Национальный союз агростраховщиков» (НСА). Страховые компании, предоставляющие услуги по сельскохозяйственному страхованию с государственным участием, обязаны являться членами данного объединения. По состоянию на 16.02.2018 НСА включает в себя 19 страховых организаций [4].

Действующий механизм страхования с государственным участием выглядит следующим образом. Сельхозтоваропроизводитель заключает со страховой организацией договор и оплачивает 50% страховой премии, после этого производителю необходимо сформировать пакет документов и направить уведомление в орган управления агропромышленным комплексом своего региона [5].

По результатам рассмотрения заявления и документов и в случае их соответствия требованиям действующего законодательства орган управления агропромышленного комплекса субъекта Российской Федерации принимает решение об удовлетворении заявки, после чего переводит оставшиеся 50% страховой премии страховой организации, которая заключала договор с сельхозтоваропроизводителем. Указанная субсидия формируется за счет средств регионального и федерального бюджета. При этом на органы управления агропромышленным комплексом по субъектам Российской Федерации накладываются обязательства по предоставлению отчета об использовании средств в Министерство сельского хозяйства Российской Федерации по окончании страхового периода.

Несмотря на то, что в последние годы государство уже не раз проводило реформы по совершенствованию системы страхования сельскохозяйственных рисков с государственным участием, некоторые проблемы до сих пор остаются нерешенными [6]. Это, в свою очередь, приводит к неэффективному расходованию бюджетных средств, а также к росту недоверия у сельскохозяйственных товаропроизводителей к данному механизму поддержки.

Кроме того, проведенный анализ Федерального закона от 25.07.2011 № 260-ФЗ «О государственной поддержке в сфере сельскохозяйственного страхования и о внесении изменений в федеральный закон «О развитии сельского хозяйства» (далее – Федеральный закон) выявил ряд неоднозначных положений, наличие которых приводит к дискриминации прав страхователей, в первую очередь представляя интересы страховщиков. Данные особенности Федерального закона также приводят к снижению заинтересованности организаций в использовании механизмов страхования, а значит, основная цель данного нормативно-правового акта – развитие сферы инструментов страховой защиты сельхозтоваропроизводителей – остается недостигнутой [7].

Рассмотрим выявленные в Федеральном законе диспропорции более подробно. Преференции, которые представляет закон, в первую очередь нацелены на страховые организации. Данная взаимосвязь обусловлена наличием у страховщиков коммерческого интереса при оказании услуг по страхованию, в связи с чем страховые организации недобросовестно подходят к ведению дел, так как не заинтересованы в осуществлении страховых выплат.

Стоит обратить внимание на сформулированный в Федеральном законе статус страховщика: страховщик – страховая организация, предоставляющая услуги по сельскохозяйственному страхованию, а также являющаяся членом Единого общероссийского объединения страховщиков. Следовательно, интересы страховщика находятся под защитой данного объединения, которое обладает значительным административным ресурсом и способно лоббировать интересы страховых организаций. Это еще раз подтверждает более выгодные организационные условия страховщиков перед сельхозтоваропроизводителями.

Таким образом, аграриям отводится пассивная, второстепенная роль, в то время как законодательство в первую очередь обслуживает интересы бизнеса и страховых организаций.

Это приводит к росту недоверия аграриев к страховым организациям. Несмотря на сформулированные в законодательстве правила по предоставлению сельскохозяйственного страхования, развитию института независимых экспертов,

а также совершенствованию Федерального закона в пользу сельскохозяйственных организаций, многие производители сельскохозяйственной продукции не готовы заплатить даже 50% страховых взносов.

На рис. 2 проиллюстрирован порядок предоставления страховой премии, однако больший интерес для анализа имеют требования Федерального закона к страхователю и страховщику. Рассмотрим их подробнее.



Рис. 2. Порядок формирования страховой премии по договорам сельскохозяйственного страхования с государственной поддержкой  
 Fig. 2. Procedure for forming an insurance premium under agricultural insurance contracts with state support

Во-первых, сельскохозяйственные организации, использующие инструмент агрострахования, используют запланированные величины урожайности и, соответственно, уплачивают в страховую премию в размере, равном или пропорциональном стоимости запланированного урожая. При этом для признания наступившего убытка страховым случаем необходимо выполнение следующего обстоятельства: так, потеря фактического урожая в сравнении с запланированным должна быть не меньше 20% [5]. В случае же если потеря или недополучение урожая составляет менее 20%, страхователь не сможет получить страховую выплату, так как данный случай не будет являться страховым. Наличие такого ограничения является одной из причин снижения заинтересованности аграриев в применении механизмов страхования с государственным участием, так как, заплатив в страховую премию, они не могут гарантированно рассчитывать на получение страховых выплат даже в случае наступления гибели и потери урожая.

Кроме того, данный факт обуславливает возникновение следующего риска. Сельхозтоваропроизводитель, потерявший 15 - 18% урожая, может добровольно уничтожить ещё 5%, чтобы не потерять и страховую выплату, и урожай.

Во-вторых, согласно п. 6 ст. 4 Федерального закона, сельскохозяйственное страхование с государственным участием осуществляется на основании договоров страхования только при наличии следующих условий: размер

страховой суммы, указанный в договоре агрострахования, не может быть установлен меньше, чем стоимость 80 % застрахованного урожая, сельскохозяйственных животных, посадок многолетних насаждений [8]. Данная особенность для страхователя означает, что 20% урожая или животных могут оставаться незастрахованными.

Более того, согласно п. 2а ст. 4 Федерального закона, производители сельскохозяйственной продукции не обладают возможностью застраховать лишь часть посевных площадей, что также является причиной снижения количества предприятий, участвующих в страховании с государственной поддержкой [9]. Например, в случае, когда сельхозтоваропроизводитель выращивает различные культуры на участках с разным уровнем риска, применение механизма страхования с государственной поддержкой обязывает его страховать всю площадь вне зависимости от того, обладает она признаками риска или нет. В совокупности с тем, что большинство сельхозтоваропроизводителей работают в условиях дефицита финансовых ресурсов, лишь малая их часть будет в состоянии страховать площади, обладающие низким уровнем риска.

Наконец, безусловная франшиза в соответствии с п. 7 ст. 4 Федерального закона предусматривает выполнение следующего условия. В случае необходимости заключения договора сельскохозяйственного страхования с установлением агрегатной или безусловной франшизы их размер не может превышать 30% от страховой суммы [10].

Другими словами, это означает, что производители сельскохозяйственной продукции могут рассчитывать на получение страховой выплаты только в том случае, если убыток застрахованного имущества после всех проведенных мероприятий по доказыванию данного показателя будет превышать 30% от заявленной страховой суммы [11]. Однако помимо данного ограничения стоит не забывать о 20%-ном барьере, рассмотренном выше (имевшее место в период действия договора сельскохозяйственного страхования снижение фактического урожая сельскохозяйственной культуры, в том числе урожая многолетних насаждений, по сравнению с запланированным урожаем на двадцать пять и более процентов) и необходимым, чтобы потеря урожая или гибель животных (которая для страхователя всегда является убытком) считалась страховым случаем.

Кроме того, страхование рисков сельскохозяйственных организаций обладает и другими слабыми сторонами. К таким проблемам и негативным сторонам агрострахования с государственной поддержкой можно отнести [7]:

– недостаточность объемов субсидирования, непрозрачность и недостаточную гибкость процессов субсидирования (основными негативными сторонами агрострахования участники данного рынка считают недостаточность ставок и объемов субсидирования, непрозрачность и недостаточную гибкость процессов субсидирования, отсутствие баланса между объемом и ставками субсидирования, с одной стороны, и уровнем рисков для сельского хозяйства в субъектах РФ, - с другой);

– недостаточные знания о возможностях агрострахования, на этапе заключения договора зачастую неверно оценивается уровень страхового покрытия (до сих пор большое количество производителей сельскохозяйственной продукции имеют недостаточные знания о возможностях агрострахования. На

этапе заключения договора зачастую неверно оценивается уровень страхового покрытия. В итоге получаем, что сумма не равна реальным потерям);

– отсутствие необходимых и эффективных средств защиты интересов и прав агропроизводителей в отношениях со страховщиками.

Помимо прочего, сложность существующей системы по получению страховой субсидии из государственного бюджета, а также проблемы, возникающие при заключении страховых договоров, в первую очередь связанные с широким перечнем документов, необходимых для его заключения, приводят к недовольству со стороны сельхозтоваропроизводителей, так как организациям, особенно впервые обратившимся к данному инструменту, сложно разобраться в условиях и особенностях заключения договоров со страховыми компаниями.

Еще одним минусом действующей программы по поддержке агрострахования является большая сфокусированность на отрасли растениеводства при фактически полном игнорировании аквакультуры и животноводств. Данный факт подтверждается тем, что субсидии, выделяемые на растениеводство, практически в 5 раз превышают денежные средства, выделяемые на животноводство [12].

Фактором, способным оказать влияние на количество организаций, участвующих в процессе страхования сельскохозяйственных рисков с государственным участием, является включение субсидий, направленных на поддержку аграриев, в состав единой субсидии. Данное решение было принято Министерством сельского хозяйства Российской Федерации в 2016 г. и сразу вызвало бурное обсуждение среди участников экспертного сообщества, а также недовольство многих организаций. Данная поправка наделяет регион правом самостоятельно перераспределять полученные средства под те или иные виды субсидий.

Указанные правила распределения субсидий из Федерального бюджета, направленных на достижение целевых показателей программ развития сельского хозяйства, были утверждены Постановлением Правительства Российской Федерации от 30 декабря 2016 г.

В результате образовался серьёзный пробел в нормативно-правовой базе, не были сформированы четкие правила взаимодействия страховщиков и страхователей, органов управления агропромышленным комплексом субъектов, а также других участников системы страхования на региональном уровне. Кроме того, нерешенными остаются вопросы, связанные с принципами, на которых построена система планирования агрострахования региона. Всё это привело к снижению устойчивости системы агрострахования в Российской Федерации.

Серьезными оказались последствия от включения в «единую субсидию» средств, выделяемых для поддержки агрострахования производителей сельскохозяйственной продукции в тех регионах, которые в первую очередь ориентированы на финансирование текущих производственных задач в сфере сельского хозяйства, т. е. посевных и уборочных работах, так как денежных средств, выделяемых в рамках «единой» субсидии, недостаточно для финансирования всех вышеуказанных задач. Кроме того, многие регионы испытывают сложности с предоставлением льготного кредитования для аграриев, так как финансирование данного инструмента также включено состав «единой субсидии».

Стоит отметить, что включение агропромышленных субсидий в состав единой субсидии привело к тому, что часть регионов Российской Федерации стала выделять денежные средства на поддержку сельхозтоваропроизводителей по остаточному принципу, в то время как другие регионы и вовсе отказались в 2017 г. выделять бюджетные средства на данный вид поддержки аграриев. Такая тенденция наблюдается даже несмотря на то, что подобные действия противоречат целевым программам по поддержке сельхозтоваропроизводителей и влекут наложение административных штрафов на регионы [12].

Таким образом, существующая в настоящее время система страхования сельскохозяйственных рисков с участием государства, несмотря на ее роль и перспективы в вопросе поддержки аграриев, имеет ряд нерешенных проблем, которые приводят к неэффективному развитию данного инструмента, а также снижению количества производителей, использующих механизмы страхования.

В первую очередь данные проблемы связаны с тем, что действующие в настоящее время инструменты и методики по поддержке сельхозтоваропроизводителей не могут в полной мере покрыть ущерб от возникающих у производителей потерь. Поэтому актуальной задачей в 2018 и 2019 годах является разработка новых подходов, направленных на решение выявленных проблем с целью обеспечения эффективного и устойчивого развития сельскохозяйственной отрасли.

Построение системы страхования сельскохозяйственных рисков необходимо производить на базе инструментов по кредитованию производителей, а также с использованием и выработкой механизмов по повышению его эффективности. Таким образом, система, основанная на кредитовании, позволит рассматривать страховой полис как в качестве инструмента по обеспечению безопасности залогового имущества, так и как самостоятельный высоколиквидный залоговый инструмент. Данная особенность позволяет сделать вывод о необходимости разработки отдельной программы государственной поддержки сельскохозяйственной отрасли с учетом использования кредитного механизма регулирования агропромышленного производства.

Кроме того, отдельно стоит отметить такой инструмент страховой защиты, как взаимное страхование. Применение данного инструмента в сельскохозяйственной сфере позволит снизить стоимость страховых услуг при сохранении качества, тем самым достигая одну из основных целей – предоставление доступных и качественных услуг по страхованию сельскохозяйственных рисков с целью обеспечения надежной и комплексной защиты будущего урожая [13]. Данный вид страхования может надежно и полностью покрыть большинство рисков, присущих агропромышленному комплексу.

Использование этого инструмента будет выгодно как для страховых компаний, так и для сельхозпроизводителей, для которых указанный способ является привлекательной альтернативой защиты результатов их труда. В то же время страховые компании, представляющие интересы обществ взаимного страхования, зарабатывают авторитет среди производителей, тем самым получая возможность закрепить свои позиции на рынке агрострахования в регионе.

Стоит отметить, что построение эффективной системы страхования сельскохозяйственных рисков возможно лишь в случае использования

страховщиками системы перестрахования рисков. Данный инструмент дает возможность обеспечить комплексность системы страхования, а также повысить ее надежность. Кроме того, использование перестрахования позволит разработать секторальную перестраховочную систему с формированием федерального фонда страховых резервов.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Также для эффективного развития системы страхования, для повышения уровня оказываемых услуг и снижения их стоимости могут быть использованы следующие инструменты и методы:

- выделение агропромышленных субсидий из состава единой субсидии;
- пересмотр нижней границы показателя потери урожая при страховании с государственным участием;
- ранжирование регионов по степени возникновения рисков в сельском хозяйстве и построение на данной основе гибких программ по страхованию;
- использование механизма государственно-частного партнерства [14];
- использование современных технологий, таких как нейросети и Big Data, при прогнозировании рисков и учете данных показателей при заключении страховых договоров.

Использование указанных выше предложений позволит увеличить эффективность агропромышленного страхования, а также повысит заинтересованность аграриев в применении данного инструмента государственной поддержки.

Стоит отметить, что лишь при учете мнения всех субъектов, принимающих участие в процессе страхования сельскохозяйственных рисков, а именно государства, страховщиков и страхователей, можно построить стабильную систему страхования, отвечающую всем требованиям современного рынка. В данном случае при построении системы необходимо найти баланс между интересами указанных выше лиц, а также проводить мероприятия по эффективному распределению прав и обязанностей сторон. Так, интерес страхователей заключается в получении услуг надлежащего качества по приемлемой цене, интерес страховщиков – в оказании страховых услуг с приемлемым уровнем рентабельности, а государства – в построении эффективной системы страхования агропромышленных рисков и, как следствие, устойчивом развитии агропромышленного комплекса в условиях ограниченности государственного бюджета.

Стоит отметить, что для построения эффективной системы страхования необходимо не только участие государства, но и взаимодействие обществ взаимного страхования и кредитования, страховых и кредитных организаций, сельхозпроизводителей и агрохолдингов.

Предложенные в статье мероприятия позволят модернизировать существующую систему страхования агропромышленных рисков, обеспечив ее устойчивое и эффективное развитие. Кроме того, данные предложения могут способствовать снижению расходов государственного бюджета, выделяемых на

поддержание сельскохозяйственной отрасли. В свою очередь, эффективная система страхования будет способствовать росту финансовой стабильности сельхозтоваропроизводителей, количества предприятий, использующих механизмы страховой защиты, и, как следствие, приведет к повышению инвестиционной привлекательности сельскохозяйственной отрасли и обеспечению продовольственной безопасности Российской Федерации в целом.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Официальный сайт Министерства сельского хозяйства Калининградской области [Электронный ресурс]. – URL: <http://mcx39.ru/> (дата обращения: 17.06.2018)
2. Доклад о состоянии рынка сельскохозяйственного страхования, осуществляемого с государственной поддержкой, в Российской Федерации в 2016 году [Электронный ресурс] // Федеральное агентство по государственной поддержке страхования в сфере агропромышленного производства. – URL: <http://fagps.ru/sites/default/files/доклад.pdf> (дата обращения: 15.06.2018)
3. Официальный сайт федерального агентства по государственной поддержке страхования в сфере агропромышленного производства [Электронный ресурс] // URL: <http://fagps.ru/> (дата обращения: 15.06.2018)
4. Союз «Единое объединение страховщиков агропромышленного комплекса - Национальный союз агростраховщиков» [Электронный ресурс] // Официальный сайт Национального союза агростраховщиков. – URL: <http://www.naai.ru/> (дата обращения: 17.06.2018)
5. Федеральный закон от 25.07.2011 № 260-ФЗ «О государственной поддержке в сфере сельскохозяйственного страхования и о внесении изменений в федеральный закон «О развитии сельского хозяйства»
6. Мнацаканян, А. Г. Анализ российского и зарубежного опыта поддержки производителей агропромышленного комплекса / А.Г. Мнацаканян, В.А. Малий // V Международный Балтийский морской форум: материалы. – Калининград, 2017. – С. 1001-1009.
7. Малий, В. А. Совершенствование системы страхования рисков в сельском хозяйстве в Российской Федерации / В. А. Малий // Гуманитарные, социально-экономические и общественные науки. – 2018. - № 6. – С. 206-209.
8. Бермас, Е. А. Страхование в России: тенденции, проблемы и перспективы развития / Е. А. Бермас // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2016. – № 8. – С. 126-130.
9. Борхунов, Н. А. Перспективы развития агрострахования / Н. А. Борхунов, А. С. Шибалкин // АПК: экономика, управление. – 2016. – № 3. – С. 49-52.
10. Бадртдинова, И. И. Агрострахование с государственной поддержкой в Российской Федерации: состояние, проблемы, перспективы развития / И. И. Бадртдинова // Продовольственная политика и безопасность. – 2016. – Т.3, № 1. – С. 41-60.
11. Логвинова, И. Л. О взаимосвязи государственного и взаимного страхования / И. Л. Логвинова // Страховое дело. – 2010. – № 1.

12. Старкова, О. Я. Результативность государственной поддержки агрострахования /О. Я. Старкова // Агрэкономика: экономика и сельское хозяйство. – 2017. – №5 (17). – С. 22-26.

13. Малий, В. А. Организация обществ взаимного страхования как способ развития системы страхования сельскохозяйственных рисков / В. А. Малий // Гуманитарные, социально-экономические и общественные науки. Краснодарский край. – 2018. № 5. – С. 272-276.

14. Мнацаканян, А. Г. Государственно-частное партнерство как форма развития агропромышленного комплекса Российской Федерации / А. Г. Мнацаканян, В. А. Малий // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 3: Экономика, экология. – Волгоградский государственный университет. – 2017. – № 4. – С. 62-69.

#### REFERENCES

1. Ofitsial'nyy sayt Ministerstva sel'skogo khozyaystva Kaliningradskoy oblasti [Official website of the Ministry of Agriculture of the Kaliningrad region]. Available at: <http://mcx39.ru/> (Accessed 17 June 2018).

2. Doklad o sostoyanii rynka sel'skokhozyaystvennogo strakhovaniya, osushchestvlyayemogo s gosudarstvennoy podderzhkoy, v Rossiyskoy Federatsii v 2016 godu. Federal'noye agentstvo po gosudarstvennoy podderzhke strakhovaniya v sfere agropromyshlennogo proizvodstva [Report on the state of the market of agricultural insurance, carried out with state support, in the Russian Federation in 2016]. Available at: <http://fagps.ru/sites/default/files/doklad.pdf> (Accessed 15 June 2018).

3. Ofitsial'nyy sayt federal'nogo agentstva po gosudarstvennoy podderzhke strakhovaniya v sfere agropromyshlennogo proizvodstva [Official site of the federal agency for state support of insurance in the field of agro-industrial production]. Available at: <http://fagps.ru/> (Accessed 15 June 2018).

4. Soyuz «Edinoye ob'yedineniye strakhovshchikov agropromyshlennogo kompleksa - Natsional'nyy soyuz agrostrakhovshchikov». Ofitsial'nyy sayt Natsional'nogo soyuza agrostrakhovshchikov [Union «Unified Association of Insurers of the Agro-Industrial Complex - National Union of Agricultural Insurance»]. Available at: <http://www.naai.ru/> (Accessed 17 June 2018).

5. Federal'nyy zakon ot 25.07.2011 № 260-FZ. O gosudarstvennoy podderzhke v sfere sel'skokhozyaystvennogo strakhovaniya i o vnesenii izmeneniy v federal'nyy zakon O razvitii sel'skogo khozyaystva [Federal Law No. 260-FZ of 25.07.2011. On State Support in the Sphere of Agricultural Insurance and on Amending the Federal Law» On the Development of Agriculture].

6. Mnatsakanyan A. G., Maliy V. A. *Analiz rossiyskogo i zarubezhnogo opyta podderzhki proizvoditeley agropromyshlennogo kompleksa* [Analysis of Russian and foreign experience in support of producers of the agro-industrial complex]. V Mezhdunarodnyy baltiyskiy morskoy forum, materialy foruma. Kaliningrad, 2017, pp. 1001-1009.

7. Maliy V. A. Sovershenstvovaniye sistemy strakhovaniya riskov v sel'skom khozyaystve v Rossiyskoy Federatsii [Improvement of the risk insurance system in agriculture in the Russian Federation]. *Gumanitarnyye, sotsial'no-ekonomicheskiye i obshchestvennyye nauki*, 2018, no. 6, pp. 206-209.

8. Bermas E. A. Strakhovaniye v Rossii: tendentsii, problemy i perspektivy razvitiya [Insurance in Russia: Trends, Problems and Prospects for Development]. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2016, no. 8, pp. 126 - 130.
9. Borkhunov N., SHibalkin A. Perspektivy razvitiya agrostrakhovaniya [Prospects for the development of agricultural insurance]. *APK: ekonomika, upravleniye*, 2016, no. 3, pp. 49-52.
10. Badrtdinova I. I. Agrostrakhovaniye s gosudarstvennoy podderzhkoy v Rossiyskoy Federatsii: sostoyaniye, problemy, perspektivy razvitiya [Agroinsurance with state support in the Russian Federation: state, problems, development prospects]. *Prodovol'stvennaya politika i bezopastnost'*, 2016, no. 1, pp. 41-60.
11. Logvinova I. L. O vzaimosvyazi gosudarstvennogo i vzaimnogo strakhovaniya [On the relationship between state and mutual insurance]. *Strakhovoye delo*, 2010, no. 1.
12. Starkova O. Ya. Rezul'tativnost' gosudarstvennoy podderzhki agrostrakhovaniya [Effectiveness of state support for agri-insurance]. *Agroekonomika: ekonomika i sel'skoye khozyaystvo*, 2017, no. 5 (17), pp. 22-26.
13. Maliy V. A. Organizatsiya obshchestv vzaimnogo strakhovaniya kak sposob razvitiya sistemy strakhovaniya sel'skokhozyaystvennykh riskov [Organization of mutual insurance societies to develop an agricultural risk insurance system]. *Gumanitarnyye, sotsial'no-ekonomicheskiye i obshchestvennyye nauki*, 2018, no. 5, pp. 272-276.
14. Mnatsakanyan A. G., Maliy V. A. Gosudarstvenno-chastnoye partnerstvo kak forma razvitiya agropromyshlennogo kompleksa Rossiyskoy Federatsii [Public-private partnership as a form of development of the agro-industrial complex of the Russian Federation]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 3: Ekonomika, ekologiya. Volgogradskiy gosudarstvennyy universitet*, 2017, no. 4, pp. 62-69.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

*Малий Виктор Андреевич* – Калининградский государственный технический университет; аспирант кафедры отраслевых и корпоративных финансов;  
E-mail: 9052474127vm@gmail.com;

*Maliy Victor Andreevich* – Kaliningrad State Technical University; post-graduate student of the Department of industry-based and corporate finance;  
E-mail: 9052474127vm@gmail.com;

## ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ ЖУРНАЛА «ИЗВЕСТИЯ КГТУ»

### Общие требования

Журнал публикует оригинальные неопубликованные ранее статьи, удовлетворяющие критериям высокого научного качества по научным направлениям: естественно-научные и математические, биологические и сельскохозяйственные, технические, экономические науки, промышленное рыболовство. Срок сдачи статей в редакцию – за два месяца до выхода журнала «в свет», график выхода: 1 февраля, 1 мая, 1 августа, 1 ноября. Все присланные статьи проходят проверку системой «Антиплагиат».

### В редакцию журнала авторы представляют:

– **распечатку рукописи**, подписанную всеми авторами, и ее электронную версию. Текст рукописи должен полностью соответствовать тексту электронного варианта;

– **внешнюю или внутреннюю рецензию доктора наук** (на стандартном бланке), заверенную подписью и печатью ученого секретаря со словами: «Подпись рецензента такого-то заверяю, должность заверяющего, фамилия, роспись, число». Бланк рецензии можно скачать на сайте университета в разделе «Наука и инновации – Научный журнал». Рецензент должен являться признанным специалистом по тематике рецензируемого материала и иметь в течение последних трех лет публикации по тематике рецензируемой статьи;

– **экспертное заключение** с печатью о степени секретности сведений, содержащихся в статье.

В дальнейшем с автором заключается **Лицензионный договор** и оформляется **Акт передачи – приемки рукописи**.

### Объем статьи

Объем статьи составляет от пяти до десяти страниц текста, включая рисунки, таблицы и список литературы.

### Структура статьи

– **Введение** (состояние проблемы, задачи исследования) по центру, прописными буквами, кегль 12, шрифт не жирный);

– **Основная часть** (постановка задачи, методы и результаты исследования, их обсуждение – прописными буквами, кегль 12, шрифт обычный). Основную часть рекомендуется разбивать на разделы с названиями, отражающими их содержание;

– **Заключение** (выводы – прописными буквами, кегль 12, шрифт обычный).

### Составные части статьи и порядок их следования

1. **Индекс** по универсальной десятичной классификации (УДК) размещается в левом верхнем углу без отступа (прописными буквами, кегль 12, шрифт обычный).

2. Через один интервал по центру – **название статьи** (прописными буквами, кегль 12, шрифт обычный).

3. Через один интервал по центру – **инициалы и фамилия (и) автора (ов)** (кегель 12, шрифт обычный).

4. Через один интервал по центру – **название статьи на английском языке** (прописными буквами, кегль 12, шрифт обычный).

5. Через один интервал по центру – **инициалы и фамилия (и) автора (ов) на английском языке** (кегель 12, шрифт обычный).

6. Через два интервала с отступом Tab. 1,27 – **аннотация** (кегель 12, шрифт обычный, слово «Аннотация» не указывается).

Рекомендуемый объем аннотации 1000-2000 знаков (200-250 слов). В начале не повторяется название статьи, аннотация не разбивается на абзацы. Аннотация должна быть полноценной и информативной, не содержать общих слов, отражать содержание статьи и результаты исследований, строго следовать структуре статьи. Следует избегать использования вводных слов и оборотов, лишних вводных фраз, например, «автор статьи рассматривает...», не нужно подчеркивать личный вклад автора. Исторические справки, если они не составляют основное содержание документа, описание ранее опубликованных работ и общеизвестные положения в аннотации не приводятся. В тексте аннотации следует применять значимые слова из текста статьи, избегать сложных грамматических конструкций. Вводная часть минимальна, место исследования уточняется до области (края). Изложение результатов содержит конкретные сведения (выводы, рекомендации и т.п.). Допускается введение сокращений в пределах аннотации (понятие из 2-3 слов заменяют на аббревиатуру из соответствующего количества букв, в первый раз дается полностью, сокращение – в скобках, далее используется только сокращение). Числительные, если не являются первым словом, передаются цифрами. Нельзя использовать аббревиатуры (например, названий учреждений) без расшифровки и сложные элементы форматирования (например, верхние и нижние индексы). Категорически не допускаются вставки через меню «Символ», знак разрыва строки, знак мягкого переноса, автоматический перенос слов. Значения  $t^{\circ}$  обозначать как «град. С», в английском варианте – как «deg C».

7. С новой строки с отступом Tab. 1,27 – **ключевые слова** со строчной, через запятую (кегель 12, шрифт обычный, курсив, фраза «Ключевые слова» не указывается, точка в конце не ставится).

8. Через два интервала с отступом 1,27 – **аннотация на английском языке** (кегель 12, обычный, слово «Аннотация» не указывается).

Недопустимо использование машинного перевода, вместо десятичной запятой используется точка. Все русские аббревиатуры передаются в расшифрованном виде, если у них нет устойчивых аналогов в английском языке (допускается: ВТО – WTO, ФАО – FAO и т.п.). Безличные конструкции переводятся с использованием пассива.

9. С новой строки с отступом Tab. 1,27 – **ключевые слова на английском языке** со строчной через запятую (кегель 12, шрифт обычный, курсив, фраза «Ключевые слова» не указывается, точка в конце не ставится).

10. Через два интервала с отступом – **текст статьи** (кегель 12), включающий в себя обязательные структурные элементы (см. Структура статьи). **Нельзя использовать в текстах формулы-картинки и прочие искусственно вставленные символы.**

11. Через два интервала после текста статьи по центру **список использованных литературных источников** (прописными буквами, кегль 12, шрифт обычный). Список литературы в научных публикациях обязателен (оформляется по ГОСТ 7.1-2003 «Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления», ГОСТ Р 7.0.5-2008 «Библиографическая ссылка. Правила составления»). Список литературы должен содержать все цитируемые и упоминаемые в тексте работы. В список включаются только те работы, на которые автор ссылается в тексте. Источники в списке литературы нумеруются и располагаются в порядке их упоминания в тексте (в порядке цитирования). Для размещения статьи в международной базе Agris (по рекомендации редактора рубрики) требуется не менее 7-ми источников, среди них должны быть зарубежные авторы.

### **Образцы оформления списка использованных литературных источников:**

#### **Монография**

1. Агеев, В. В. Грузопассажирские суда в военных конфликтах: моногр. / В. В. Агеев. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «КГТУ», 2013. – 106 с.
2. Бухановский, А. В. Моделирование нелинейных систем в сложных динамических средах: моногр. / А. В. Бухановский, С. В. Иванов, Ю. И. Нечаев. – Санкт-Петербург: Издательский центр НИУ ИТМО, 2013. – 263 с.

#### **Книга**

##### ***Книги одного - трех авторов***

1. Розенштейн, М. М. Методы оптимизации проектных характеристик орудий рыболовства: моногр. / М. М. Розенштейн. – Калининград: ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2013. – 185 с.
2. Новикова, А. М. Универсальный экономический словарь / А. М. Новикова, Н. Е. Новиков, К. А. Погосов. – Москва: Экономика, 1995. – 135 с.

##### ***Книги более трех авторов***

- Религии мира: пособие для преподавателей / Я. Н. Шапов [и др]. – Санкт-Петербург: Питер, 1996. – 496 с.

##### ***Книги, не имеющие индивидуальных авторов (под редакцией)***

- Сборник задач по физике: учеб. пособие для вузов / под ред. С. М. Павлова. – 2-е изд., доп. – Москва: Высшая школа, 1995. – 347 с.

#### **Статья в журнале**

1. Толкачева, О. В. Влияние барьерных факторов на стойкость пресервов / О. В. Толкачева, Б. Л. Нехамкин, В. И. Шендерюк // Рыбная промышленность. – 2006. – №2. – С. 14-16.
2. Байдалинова, Л. С. Перспективы использования растительных антиоксидантов для стабилизации гидролитических и окислительных процессов в препаратах полиненасыщенных жирных кислот / Л. С. Байдалинова, С. В. Андропова // Известия Калининградского государственного технического университета. – 2013. – № 29. – С. 74-80.

### Статья в электронном журнале

1. Белоус, Н. А. Прагматическая реализация коммуникативных стратегий в конфликтном дискурсе / Н. А. Белоус // Мир лингвистики и коммуникации: электронный научный журнал. – 2006. – № 4 [Электронный ресурс]. – URL: [http://www.tverlingua.by.ru/archive/005/5\\_3\\_1.htm](http://www.tverlingua.by.ru/archive/005/5_3_1.htm) (дата обращения: 15.12.2007).
2. Орехов, С. И. Гипертекстовый способ организации виртуальной реальности / С.И. Орехов // Вестник Омского государственного педагогического университета: электронный научный журнал. – 2006 [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.omsk.edu/article/vestnik-omgpru-21.pdf> (дата обращения: 10.01.2007).

### Статья, опубликованная в сборниках научных трудов вузов, материалах конференций и семинаров

1. Авдеева, Е. В. Биоразнообразие паразитов рыб и ее особенности в бассейне Вислинского залива (Балтийское море) / Е. В. Авдеева, Е. Б. Евдокимова, С. К. Заостровцева // I Всерос. науч. интернет-конф. (12 февр. 2013): материалы. – Казань, 2013. – С. 52-56.
2. Александров, Ю. П. Измерение динамической твердости титановых сплавов / Ю. П. Александров // Инновации в науке, образовании и бизнесе – 2013: XI Междунар. науч. конф. (25-27 сент.): тр.: к 100-летию высш. рыбохоз. образования в России: в 2 ч. / Федер. Агентство по рыболовству; ФГБОУ ВО «КГТУ». – Калининград: ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2013. – Ч. 2. – С. 29-32.

### Диссертация или автореферат диссертации

1. Данилов, Г. В. Как же быть?: дис. ... канд. экон. наук: 05.13.10 / Данилов Геннадий Петрович; МАИ. – Москва, 1999. – 138 с.
2. Манилов, А. В. Кто виноват?: автореф. дис. ... канд. юрид. наук: 05.13.10 / Манилов Алексей Владимирович; МЮИ. – Москва, 1999. – 16 с.

### Переводная книга

1. Себехей, В. Теория орбит: ограниченная задача трех тел / В. Себехей: пер. с англ. / под ред. Г. Н. Дубошина. – Москва: Наука, 1982. – 656 с. [Victor G. Szebehely. Theory of Orbits: the Restricted Problem of Three Bodies. New York: Academic Press, 1967].
2. Дейт, К. Дж. Введение в системы баз данных / К. Дж. Дейт: пер. с англ. – Москва: Вильямс, 2006. – 1328 с. [Date C. J. An Introduction to Database Systems. 8th ed. Addison-Wesley, 2003. – 1024 p.].

Ссылки на все приведенные в списке литературы источники в тексте заключаются в квадратные скобки, например: [2], [4–7], [1, 18, 25]. Если в тексте есть прямая цитата, заключенная в кавычки, то обязательно должна быть указана страница, на которой эта цитата находится в цитируемом источнике. Например: [7, с. 28]. Ссылки на неопубликованные работы и работы, находящиеся в печати, не допускаются.

12. Через строку по центру – список литературы на латинице (должен быть озаглавлен – **references**, прописными буквами, кегль 12, шрифт обычный). Транслитерировать список литературы можно автоматически, зайдя на сайт <http://translit.ru> и выбрав режим BGN (**транслитерируют только после оформления списка по образцу**).

### **Образцы оформления ссылок:**

#### **Монография, книга**

1. Shorygin A. A. *Pitanie i pishchevye vzaimootnosheniia ryb Kaspiiskogo moria* [Diet and food relations of fish in the Caspian Sea]. Moscow, Pishchepromizdat Publ., 1952, 268 p.

2. Latyshev V. N., *Tribologiya rezaniya. Kn. 1: Friksionnye protsessy pri rezanie metallov* [Tribology of Cutting, Vol. 1: Frictional Processes in Metal Cutting], Ivanovo, Ivanovskii Gos. Univ., 2009.

#### **Статья в журнале**

1. Zagurenko A. G., Korotovskikh V. A., Kolesnikov A. A., Timonov A. V., Kardymon D.V. Techno-economic Optimization of the Design of Hydraulic Fracturing [Tekhniko-ekonomicheskaya optimizatsiya dizaina gidrorazryva plasta]. *Neftyanoe khozyaistvo*, 2008, no.11, pp. 54-57.

2. Sokolov L. I. Pitanie sibirskogo osetra *Acipenser baerii* Brandt r. Leny [Diet of the Siberian sturgeon of the river Lena]. *Voprosy ikhtiologii*, 1966, vol. 6, iss. 3 (40), pp. 550–560.

#### **Статья в электронном журнале**

1. Ivanova A. E. Problemy smertnosti v regionakh Tsentral'nogo federal'nogo okruga [Problems of mortality in regions of the Central Federal Okrug]. *Sotsial'nye aspekty zdorov'ya naseleniya*, 2008, no. 2, available at: <http://vestnik.mednet.ru/content/view/54/30/> (Accessed 19 September 2008).

#### **Статья, опубликованная в материалах конференций**

1. Usmanov T. S., Gusmanov A. A., Mullagalin I. Z., Muhametshina R. Ju., Chervyakova A. N., Sveshnikov A. V. Osobennosti proektirovaniya razrabotki mestorozhdeniy s primeneniem gidrorazryva plasta [Features of the Design of Field Development with the Use of Hydraulic Fracturing]. *Trudy 6 Mezhdunarodnogo Simpoziuma "Novye resursosberegayushchie tekhnologii nedropol'zovaniya i povysheniya neftegazootdachi"* [Proc. 6th Int. Technol. Symp. "New Energy Saving Subsoil Technologies and the Increasing of the Oil and Gas Impact"]. Moscow, 2007, pp. 267-272.

#### **Диссертация и автореферат**

1. Turkovskaia O. V. *Biologicheskie i tekhnologicheskie aspekty mikrobnoy 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*. 4<sup>th</sup> ed. New York, Wiley, 1974. 521 p. (Russ. Ed.: Timoshenko S.P., Iang D.Kh., Uiver U. *Kolebaniia v inzhenernom dele*. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1985, 472 p.).

13. Через два интервала по центру – **информация об авторе (ах)** (прописными буквами, кегль 12, шрифт обычный). Через интервал по центру дается следующая информация: *Фамилия, имя, отчество автора (курсивом)*, далее прямой шрифт – место работы; научная степень, ученое звание; должность; E-mail (для всех данных кегль 12, точка в конце не ставится); телефон (лучше мобильный, остаётся в редакции, нужен на случай, если у редактора возникнут вопросы по тексту). Через интервал по центру информация дублируется на английском языке.

Образец:

#### **ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ**

*Петров Иван Иванович* – ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»; доктор технических наук, профессор;  
зав. кафедрой пищевых и холодильных машин;  
E-mail: petrov@mail.ru; тел. 8(905)32-33-333

*Petrov Ivan Ivanovich* – Kaliningrad State Technical University; Doctor of Technical Sciences, Professor; Head of the Department of Food and Refrigeration Machines;  
E-mail: petrov@mail.ru

*Кужлева Елизавета Петровна* – Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта (г. Калининград); аспирант кафедры  
машиноведения и технических систем;  
E-mail: roza@bk.ru; тел. 8(952)32-33-654

*Kuzhleva Elizaveta Petrovna* – Immanuel Kant Baltic Federal University (Kaliningrad);  
Post-graduate student; Department of Engineering Science and Technical Systems;  
E-mail: roza@bk.ru

#### **Правила оформления рукописей**

- формат бумаги: А4;
- ориентация: книжная;
- поля сверху, слева, справа – 3 см, снизу – 3,5 см;
- гарнитура шрифта: Times New Roman;
- кегль – 12;

- абзац с отступом Tab. 1,27;
- межстрочный интервал – одинарный;
- при наборе текста:
  - не допускается: применять стили при формировании текста; вносить изменения в шаблон или создавать свой для формирования текста; ставить пробелы перед знаками препинания; применять любые разрядки слов;
  - необходимо: слова внутри абзаца разделять одним пробелом; набирать текст без принудительных переносов; установить автоматическую расстановку переносов (путь: меню СЕРВИС → подменю ЯЗЫК → пункт РАССТАНОВКА ПЕРЕНОСОВ → поставить галочку в открывшемся окне «автоматическая расстановка переносов»).

**Таблицу**, в зависимости от ее размера, помещают под текстом, в котором впервые дана ссылка на нее, или на следующей странице. Допускается помещать таблицу вдоль длинной стороны листа, при этом нумеруют арабскими цифрами графы и строки первой части таблицы. Слово «Таблица» указывают один раз слева (без отступа) над первой частью таблицы, после номера ставят точку, следом с прописной идет название таблицы, точку в конце не ставят; над другими частями пишут: «Продолжение таблицы», с указанием номера таблицы. Таблица должна быть вставлена автоматически (через «Таблица: Добавить таблицу»). Название таблицы дублируют на английском языке под русским названием, и наоборот, если статья на английском языке (Таблица 1. Table 1.).

**Рисунки.** Допускаются только черно-белые четкие рисунки, выполненные средствами компьютерной графики или сканированные (сканированные необходимо распечатывать на лазерном или струйном принтере). Рисунки могут быть введены в текст статьи или выполнены в виде отдельных графических файлов. В последнем случае необходимо указать место расположения рисунка, написав на полях рукописи после абзаца, в котором он впервые упоминается: Рис. 1. и т. д. Все рисунки должны быть пронумерованы (Рис. 1. и т. д.) и иметь подрисуночные подписи. Номер рисунка и подрисуночная подпись располагаются под рисунком. Название рисунка дублируют на английском языке под русским названием, и наоборот, если статья на английском языке (Рис. 1. Fig. 1.). Точка в конце подрисуночной подписи не ставится.

Все обозначения на рисунке должны соответствовать обозначениям в тексте. Фотографии должны быть сделаны с хорошего негатива контрастной печатью. Ссылки на все рисунки в тексте обязательны. Ширина рисунка не должна быть больше ширины полосы набора текста.

**Если в статье один рисунок или одна таблица, они не нумеруются.**

**Не допускается заканчивать статью рисунком или таблицей.**

**Все рисунки и таблицы должны быть расположены по центру полосы набора.**

**Формулы.** Все формулы набираются в формульном редакторе, нумеруются, на них должны быть ссылки в тексте в круглых скобках. Формулы выносятся отдельной строкой после ссылки с отступом два Таб. Номер формулы вводится в круглые скобки и выравнивается вправо. При наборе формул рекомендуется использовать следующие кегли шрифтов: основной – 11; крупный индекс – 7; мелкий индекс – 5; крупный символ – 14; мелкий символ – 10.

Гарнитура шрифта Times New Roman. Для набора математических формул используют буквы латинского алфавита (светлый курсив), греческого алфавита (светлый прямой шрифт) и готический шрифт (светлый прямой). Индексы формул, обозначенные буквами латинского алфавита, набирают курсивом ( $m_i$  – масса  $i$ -го элемента), а обозначенные буквами русского алфавита – прямым шрифтом ( $l_p$  – длина разбега;  $V_{\text{пос}}$  посадочная скорость). Сокращенные обозначения физических величин и единиц измерения (кВт, Ф/м, W/m) – светлым прямым без точек. Числа и дроби в формулах должны быть набраны светлым прямым шрифтом. Прямым шрифтом набирают также некоторые математические обозначения (sin, tg; max, min; const; log, det, exp и т. д.). Векторные величины следует обозначать жирным курсивом, а не надсимвольной чертой:  $\mathbf{e}$  не  $\bar{e}$ . Перенос в формулах допускается делать в первую очередь на знаках (=, », <, > и др.), во вторую очередь – на отточии (...), на знаках сложения и вычитания (+, –), в последнюю – на знаке умножения в виде крестика (×). Перенос на знаке деления не допускается. Математический знак, на котором разрывается формула при переносе, обязательно должен быть повторен в начале второй строки. При переносе формул нельзя отделять выражения, содержащиеся под знаком интеграла, логарифма, суммы, произведения, от самих знаков. Небольшие формулы, не имеющие самостоятельного значения, набираются внутри строк текста. Наиболее важные формулы, все нумерованные формулы, а также длинные и громоздкие формулы, содержащие знаки суммирования, произведения и т. п., набирают отдельными строками. Отбивка до и после строки с формулой в этом случае – 6 пунктов. Вместо выражения вида  $\frac{a}{b}$  рекомендуется писать a/b. Отдельные элементы математических формул, вынесенные в текст, набираются по приведенным выше правилам (прямой шрифт в формуле – прямой шрифт в тексте, курсив в формуле – курсив в тексте).

**Химические символы** (Ag, Cu) набирают прямым шрифтом. Для набора рекомендуется использовать редактор Chem Window.

**Единицы физических величин** следует приводить в международной системе СИ по ГОСТ 8.417-2002. ГСИ. Единицы величин.

**Все аббревиатуры** в тексте должны быть расшифрованы. Разрешаются лишь общепринятые сокращения названий мер, физических, химических и математических величин.

### **Электронный вариант материалов**

Текст статьи, рефераты, ключевые слова и сведения об авторе(ах) размещаются в одном файле. Материалы должны быть оформлены с применением средств Microsoft Office 2003 (расширение текстового файла \*.doc). Для передачи информации подойдут любые электронные носители.

**Редакция журнала оставляет за собой право производить сокращения и редакционные изменения рукописи.**

**Статьи, не соответствующие вышеперечисленным требованиям, могут быть возвращены автору(ам) для доработки.**

**Рукописи статей, принятых к публикации, авторам не возвращаются.**

Публикации статей бесплатные. Рукописи статей сотрудников ФГБОУ ВО «КГТУ» направляются в редакционную коллегию журнала по рекомендациям научно-методических семинаров кафедр. Все статьи проходят обязательное внешнее или внутреннее рецензирование. Автор самостоятельно или в соавторстве может представить в номер не более одной статьи. Статьи публикуются на русском или английском языке. Страницы не нумеровать.

Адрес редакции:

236022, г. Калининград, Советский проспект, 1,  
ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»

Тел. (4012) 99-59-74

E-mail: [svetlana.suprunova@klgtu.ru](mailto:svetlana.suprunova@klgtu.ru)

<http://klgtu.ru/science/magazine/index.php>

Издание зарегистрировано в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор),  
Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС77-47915  
от 22.12.2011 г.

*Редакторы:* Е. В. Билко, И. В. Голубева, Г. А. Смирнова, Г. Е. Смирнова

---

Издательство ФГБОУ ВО «КГТУ»  
236022, г. Калининград, Советский проспект, 1  
Лицензия № 05609 от 14.08.2001  
Подписано в печать 31.07.2018. Выход в свет 01.08.2018. Формат 60 x 88 (1/8)  
Печ. л. 25,8. Уч.-изд. л. 16,5. Тираж 1000 экз. Заказ № 52