

УДК 57.017.55

ПОЛУЧЕНИЕ ПОЛОВЫХ РЕВЕРСАНТОВ У ЛОСОСЕЙ  
*ONCORHYNCHUS MYKISS* (WALBAUM, 1792)

К. В. Метальникова

OBTAINING SEX REVERTANTS IN SALMONS  
*ONCORHYNCHUS MYKISS* (WALBAUM, 1792)

K. V. Metalnikova

В России работы по регуляции вторичных половых признаков у рыб начаты в 1974 г. Впервые они были проведены с тилапией, а затем продолжены в 1978-1996 гг. с радужной форелью, стальноголовым лососем, гибридной форелью, местной формой радужной форели (на Украине с бестером) с использованием тестостерон-пропионата и метилтестостерона. Наблюдавшиеся изменения в гонадах экспериментальных самок – результат более интенсивного обмена веществ, что отразилось не только на строении гонад, но и на всем экстерьере реверсантов. Процессы реверсии пола у обработанных аналогами тестостерона рыб продолжались и после окончания скармливания им гормонов. Экспериментальным получением форели с реверсией гонад, после купания эмбрионов форели без генеративных признаков в растворе метилтестостерона (в р/х «Ишхан» Черновицкой области, Украина), доказали нейрогуморальный путь определения вторичных половых признаков у этого вида. В статье дается описание естественных процессов при получении у *O. mykiss* реверсантов и потомства от них. Реверсантов при скрещивании с обычными самками можно использовать несколько лет для получения однополого потомства из самок. В Краснодарском крае и Калининградской области получали потомство от реверсантов лососей не менее двух лет. Его не обрабатывали гормонами. В Калининградской области получили второе поколение от потомства реверсантов, доказав негенетический характер используемого метода. Можно использовать потомство для восстановления популяций и применять криоконсервированную сперму с геномом самок от реверсантов [1].

*реверсанты, регуляция, вторичные, половые, признаки, лососи, сперма, геном, самки, гормоны, метилтестостерон, тестостерон-пропионат, потомство, однополое, криоконсервация, воспроизводство*

In Russia works on the regulation of secondary sexual characteristics of fish was initiated in 1974. Research was first carried out with tilapia, and then in 1978-1996 with rainbow trout, steelhead salmon, hybrid trout (a local form of rainbow trout in Ukraine), and with bester using testosterone-propionate and methyltestosterone. The changes observed in the gonads of the experimental females were the result of more intensive metabolism, which was reflected not only on the structure of the gonads, but on the exterior of revertants as well. The processes of sex reversion among treated with

analogs of testosterone fish continued after the end of fish feeding with hormones. BY experimental obtaining of trout with the gonads reversion, after bathing of trout embryos without generative traits in methyltestosterone solution ("Ishkhan" farm, the Chernovitskaya region, Ukraine) proved neurohumoral way of identification of secondary sexual characteristics of trout. The article gives a description of the natural processes upon receipt from *O. mykiss* of revertants and offspring from them. Revertants, when crossed with normal females, you can use a few years to obtain same-sex offspring from females. In the Krasnodar and Kaliningrad region offspring from revertants salmon have been obtained for at least two years. The offspring was not treated with hormones. The second generation of offspring from revertants has been obtained in the Kaliningrad region, proving non-genetic nature of the method used. One can use the offspring to restore populations and use cryopreserved sperm with the genome of the females from revertants [1].

*revertants, regulation, secondary, sexual, characteristics, salmon, sperm, genome, females, hormones, methyltestosterone, testosterone propionate, offspring, unisexual, cryopreservation, reproduction*

#### ВВЕДЕНИЕ

Целью работы было получение у лососевых однополого стада (самок) без гормональных препаратов. Для достижения цели решали задачи:

1) создание методов получения реверсантов лососевых рыб в разных климатических зонах с прижизненным использованием их в течение нескольких нерестовых сезонов;

2) получение потомства от реверсантов лососевых рыб без применения гормонов, преимущественно самок (до 100 %).

Реверсанты рыб, полученные с использованием андрогенов из генотипических самок (XX), имеют функции обычных самцов. Скрещивание реверсантов (из самок) с обычными самками дает в потомстве преимущественно самок [1-3]. Реверсантов получают при воздействии аналогов тестостерона в индифферентный период развития рыб, наличии стрессовых факторов при оптимальных условиях содержания рыб.

#### МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Материалом для исследований послужили разновидности лососевых рыб: *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792), *Salmo gairdneri* (Richardson, 1836), *Salmo gairdneri irideus*, а также местные и гибридные формы форели, *Salmo salar* (L., 1758), из осетровых: *Huso huso* x *Acipenser ruthenus* (F<sub>2</sub>) (бестер из второго поколения), табл. 1. Способы и сроки обработки рыб метилтестостероном (МТ) или тестостерон-пропионатом (ТП), дозы этих препаратов в разных климатических областях страны были различные в зависимости от вида рыбы, условий её культивирования [1, 4-8], табл. 1.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В табл. 1, в последнем столбце, приведены результаты исследования по всем климатическим областям и видам рыб.

Таблица 1. Схема исследовательских работ и их результаты  
Table 1. The scheme of research and results

Наименование рыбы, место проведения работы *****	Дозы МТ <sup>1</sup> , мг/кг корма	Дозы ТП <sup>2</sup> , мг/кг корма	Выход рыбы с реверсией гонад, в среднем в варианте, %
<i>Salmo gairdneri irideus</i> , радужная форель, оз.Селигер	Не применяли	1	88,2
	Не применяли	6	83,3
	Не применяли	16	100,0
<i>Huso huso x Acipenser ruthenus</i> (F <sub>2</sub> ), бестер из F <sub>2</sub> , Донецкая область	Нет	1 (в масле)	+*
	Нет	16 (в масле)	-
	Нет	32 (в масле)	+
<i>Oncorhynchus mykiss</i> (W.), стальноголовый лосось, Краснодарский край	3	3	81,8/66,8**
	6	6	77,8/77,8***
Гибридная форель, Калининградская область	3 (после гиногенеза***** и купания икры в р-ре МТ/л Н <sub>2</sub> О)	Нет*****	100,0
	6	Нет	92,8
	Нет	6	83,3
Гибридная форель, Калининградская область	5	Нет	75,0
<i>Salmo salar</i> (L., 1758), семга, Заполярье, Верхне-Тулумский ЛРЗ <sup>3</sup>	3 (после купания в р-ре МТ/л Н <sub>2</sub> О эмбрионов при вылуплении)	Нет	83,0
	6	Нет	85,7
<i>Oncorhynchus mykiss</i> , местная форель, Украина, р/х «Ишхан»	0,5 мг МТ/л Н <sub>2</sub> О, 2 ч, эмбрионы	Нет	Более 72,9

Примечания: МТ<sup>1</sup> - метилтестостерон, ТП<sup>2</sup> - тестостерон-пропионат; +\* есть признаки реверсии; - не обнаружено признаков реверсии; \*\* в числителе - выход самок с реверсией при обработке молоди метилтестостероном, в знаменателе - при обработке молоди стальноголового лосося тестостерон-пропионатом; \*\*\* - то же, что и в предыдущем столбце; \*\*\*\* - нет, т. е. не проводили; \*\*\*\*\* - гиногенез осуществлял С.А. Горшков [9]; ЛРЗ<sup>3</sup> – лососевый рыбозаводный завод.

Длительность обработки комбикормом с гормонами составляла не менее 800 градусо-дней [8]. Начало обработки гормонами рассчитывали индивидуально по каждому виду рыб в зависимости от температуры воды; в контроле соотношение полов было 1:1 в конце опыта.

В субтропическом климате Краснодарского края потомство от одних и тех же реверсантов получали дважды, всего проверили 11 реверсантов, табл. 2.

Таблица 2. Количество самок в потомстве у реверсантов стальноголового лосося в Краснодарском крае

Table 2. The number of female offsprings from revertants of steelhead salmon in the Krasnodar region

Год	Варианты реверсантов										
	1*а**	1б	1в	1г	1д	1е	2а	2б	4а	4б	4в
	Выход самок, в %***										
1-й	100,0	83,0	100,0	83,0	0	100,0	75,0	100,0	100,0	100,0	0
2-й	100,0	93,6	0****	0	100,0	0	0	83,0	100,0	100,0	100,0

Примечания: \* - номер варианта реверсанта (например: 1-3мг МТ/кг корма; 2 – 6 мг МТ/кг корма, 4- 6 мг ТП/кг корма), \*\*- шифр реверсанта (самца из самки ХХ), \*\*\*- к общему количеству выращенных потомков в варианте, \*\*\*\*- работу не проводили.

В приморском климате Калининградской области получали потомство от реверсантов трижды, причем каждый раз от новых, т. е. за три года проверили девять реверсантов, табл. 3.

Таблица 3. Количество самок в потомстве реверсантов по вариантам в Калининградской области за три года

Table 3. The number of females in the offspring of revertants according to the types in the Kaliningrad region for three years

Годы	Варианты реверсантов			
	1 - 3МТ	2 - 3МТ <sub>г</sub> *	3 – 6МТ	4 - Контроль
Выход самок, в %**				
1-й	75,0	80,0	92,8	61,5
2-й	64,1	61,6	90,9	53,8
3-й	67,6	69,7	73,4	53,8

Примечания: \* – метилтестостерон на гиногенетической форели, \*\* - к общему количеству выращенных потомков в варианте.

В ходе работ впервые выявлены биологический и тканевый механизмы при получении реверсантов в результате воздействия на рыб синтетическими аналогами тестостерона (метилтестостерона и тестостерон-пропионата), а именно: а) высокий энергетический обмен у будущих реверсантов, рис. 1 [10];

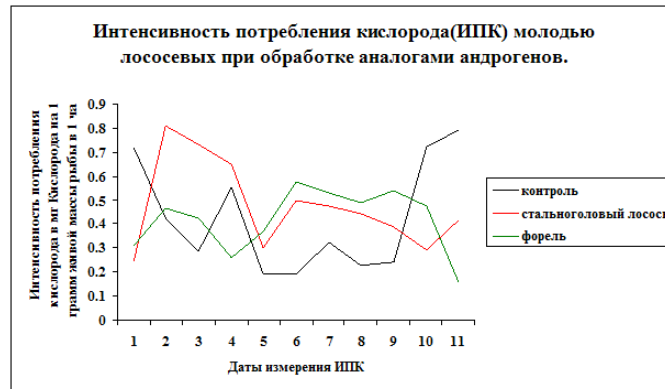


Рис. 1. Интенсивность потребления кислорода в среднем по разным регионам у стальноголового лосося и радужной форели в мг  $O_2$ /на грамм живой массы рыбы в 1 ч (по методу Н.С. Строганова [11])

Fig. 1. Average intensity of oxygen consumption by steelhead salmon and rainbow trout in different regions, in mg  $O_2$ /gram of live weight of fish in 1 hour (according to the method Stroganoff N.S. [11])

б) опережающее по сравнению с нормальным при данной температуре воды и оптимальных гидрохимических условиях развитие гонад у самок согласно генотипу, рис. 2.

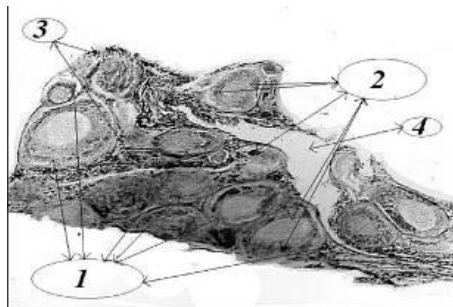


Рис. 2. Срез гонады стальноголового лосося из варианта 1, получавшего 3 мг метилтестостерона на 1 кг корма, в возрасте 122 дня от вылупления, пос. Большой Утриш Краснодарского края. Микроскоп МБИ-6, фотонасадка с фотоаппаратом «Зоркий», на плёнке «Микрат-300». 1 – дегенерирующие ооциты на 3-й ступени фазы протоплазматического роста, 2 – дегенерирующие ооциты на 4-й ступени фазы протоплазматического роста с чётким желточным ядрышком в цитоплазме, идет активный фагоцитоз ооцитов, 3 – размножение гоний в межовариальных пространствах, 4 – овариальный проток. Увеличение  $\times 400$

Fig. 2. Slice of steelhead salmon gonads from option 1, treated with 3 mg of methyltestosterone per 1 kg of feed at the age of 122 days from hatching in the Krasnodar region. Microscope MBI-6, photonic with a camera "Zorki" on tape "Mikrut-300". 1 – degenerating oocytes at stage 3 phase protoplasmic growth, 2 – degenerating oocytes at stage 4 phase of protoplasmic growth with a clear yolk nucleus in the cytoplasm, there is an active phagocytosis of oocytes, 3 – reproduction gamete, 4 – ovarian duct. Magnification  $\times 400$

в) дегенеративные изменения в гонадах самок, рис. 2;

г) в месте овариальной ткани размножение гониальных клеток, специализация их и развитие по типу сперматогоний [2, 4] за счет увеличения энергетического обмена в организме рыб вследствие воздействия на них стероидными андрогенами с анаболическим эффектом, табл. 1, рис.1;

д) формирование семенных ампул из делящихся сперматогоний, мейотические деления которых провоцируются избытком стероидного гормона, как известно [3], являющегося «провокатором» мейотических преобразований при гаметогенезе, как у самок, так и у самцов (рис. 3), а высокий энергетический обмен (в 1,5-2,5 раза выше нормы) [10] вызывает череду дополнительных делений гониальных клеток и не позволяет им вступать в период протоплазматического роста, как это свойственно гаметам самок вследствие более низкого энергетического обмена у них в норме, а также образование сперматоцитов I, II порядков с дальнейшими их преобразованиями до формирования сперматозоидов;

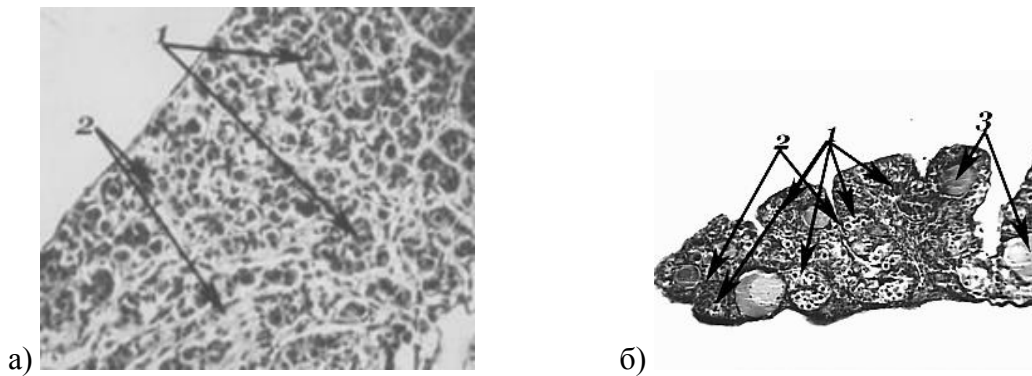


Рис. 3

а) Сагиттальный срез семенника у реверсанта стальноголового лосося, получавшего 6 мг ТП/кг корма, в возрасте 1+, Краснодарский край.

б) Сагиттальный срез гонады будущего реверсанта (интерсекса) форели после однократной иммерсии в водно-спиртовом растворе метилтестостерона (МТ) в возрасте годовика, Украина [1].

а, б) 1 – сперматоциты II порядка в семенных ампулах, 2 – соединительнотканые прослойки, 3 – резорбирующиеся ооциты. Микроскоп Leica DC. Увеличение а, б) x200

Fig. 3

(a) Sagittal slice of the testis of steelhead salmon revertants treated with 6 mg of TP/kg of feed, at the age of 1+, the Krasnodar region.

в) Sagittal slice of the future gonads of trout revertants (intersex) after a single immersion in aqueous-alcoholic solution of methyltestosterone (MT), 1.0, Ukraine [1].

а, в) 1 – spermatocytes of the second order in seed ampules, 2 – layer of connective tissue 3 – rezorbiuetsa oocytes. Microscope Leica DC. Magnification а, в) x200

е) замещение тестикулярной тканью всей гонады в кранио-каудальном направлении, рис. 4



Рис. 4. Реверсанты в возрасте 2+. Стальноголовые лососи, получавшие при обработке метилтестостероном 3мг МТ/кг корма в течение 104 дней при оптимальных условиях содержания. Гипертрофия правого семенника и нарушение его анатомического строения за счет изменения формы, при этом отмечены удлинненные семяпроводы, через которые медленно, каплями поступает зрелая сперма к генитальному отверстию и наружу. Краснодарский край.

Фотоаппарат «Смена»

Fig. 4. Revertants aged 2+. Steelhead salmon obtained while processing of methyltestosterone 3mg MT/kg of feed for 104 days under optimum conditions. Hypertrophy of the right testis and a breakdown of the anatomical structure of the testis are due to changes in shape, with extra long hoses through which slowly comes mature sperm to the genital opening and the outside. The Krasnodar region. "Smena" camera

Для получения самцов (здесь и далее реверсантов) из генетических самок необходимо использовать универсальную схему:

I этап: самок (XX) и самцов (XY) обрабатывают аналогом выбранного андрогена и получают самцов (XX), самцов (XY), интерсексов (XX), стерильных рыб;

II этап: проводят визуальную идентификацию самцов (XX) (реверсантов) по диагностическим признакам в конституционном строении экстерьера и скрещивание их с необработанными гормоном самками (XX). Гормон не применяют. Выращивают потомство каждого реверсанта в отдельной рыбоводной емкости, чтобы идентифицировать реверсантов по потомству;

III этап: отобранных реверсантов (самцов XX) скрещивают с самками (XX) в произвольной сочетаемости и массово выращивают потомство преимущественно самок (XX) без гормональной обработки, т.е. потомство реверсантов чистое;

IV этап: потомство реверсантов самок (XX) обрабатывают андрогеном и получают F<sub>2</sub> реверсантов (XX) для сокращения этапа II. Этих реверсантов (XX) скрещивают с обычными не обработанными гормонами самками (XX);

V этап: далее схему воспроизводства реверсантов и самок повторяют с этапа I для проведения необходимой селекции с целью избежать получение гомозигот.

Для получения реверсантов необходимо:

1) начинать обработку молоди гормоном в индифферентный период развития гонад в зависимости от видовой принадлежности рыбы, высчитывая сроки начала обработки гормоном от оплодотворения икры с учетом условий содержания будущих реверсантов и генетического происхождения объектов обработки: чистые линии, гибриды, дикие особи и пр.;

2) сроки обработки андрогенами не должны быть меньше 800 градусо-дней [8];

3) гормон, дозы и способы обработки рыбы (купание в растворе гормона, кормление диетой с гормоном (без доступа естественной кормовой базы водоема и др.)) определяются в зависимости от видовой принадлежности и условий выращивания рыбы по нашему способу [5, 12, 13].

Дозы могут колебаться от 0,5 мг гормона на 1 кг корма (у некоторых лососевых) до 31 мг гормона на 1 кг корма для бестера F<sub>2</sub>, от 0,485 мг гормона на один литр воды до 1580 мг гормона на один литр воды для некоторых рыб сем. Цихлиды (Cichlidae). Так как сперма реверсантов отличается высокой оплодотворяющей способностью, характеризующейся длительностью поступательного движения спермиев, оплодотворением икры до 100 %, количество реверсантов, даже для репродуктора, не должно превышать 100 шт. Отход молоди лососевых рыб андрогенами в начале обработки не более 30% [13].

ПРИМЕР. Для получения у лососевых рыб однополых особей 10 тыс. самок потребуется: 90 тыс. шт. икринок от 45 самок оплодотворить спермой 45 реверсантов (самцами (XX) из самок), которых надо получить из 257 рыб смешанной половой определенности (самки, самцы, интерсексы, стерильные особи и реверсанты) до двухлетнего возраста. Для этого необходимо обработать андрогеном 675 экземпляров индифферентной молоди с разным половым генотипом (самок и самцов в смеси с соотношением полов 1:1). Норму кормления рассчитывают в зависимости от массы выращиваемой рыбы с учетом оптимальной температуры воды, превышая нормативную, как мы предлагаем на основании собственных исследований, в 2-2,5 раза. За счет высокого энергетического обмена у будущих реверсантов потребности в корме с гормоном возрастают. Отбирать реверсантов необходимо, используя анализирующие скрещивания с обычными самками (не обработанными гормонами) с последующим выращиванием потомства реверсантов (с выживанием до 95% от оплодотворенной икры) до массы, позволяющей определить пол потомства реверсантов визуально при вскрытии молоди, отдельно от каждого реверсанта в первый его репродуктивный год [4, 5, 12]. В последующие годы – на усмотрение рыбовода. Мы предлагаем на основании собственных исследований потомство реверсантов анализировать на соотношение полов, отбирая из потомства каждого реверсанта по 50 шт. молоди при массе около 1,5 – 2,5 г, позволяющей определить пол при вскрытии рыбы визуально, контролируя визуальные наблюдения за соотношением полов у потомства каждого реверсанта гистологическим методом: не менее чем у десяти экземпляров потомства от каждого реверсанта из каждой выборки при условии её однородности при визуальном наблюдении [1]. Существует прижизненный генетический способ отбора реверсантов по Y-детерминируемому локусу у самцов рыб, при отсутствии у самцов рыб такого локуса самца определяют как реверсанта с генотипом «XX» [14, 15]. Для этого отрезают кусочек плавника и проводят анализ. Нами проверено, что реверсантов необходимо использовать для нереста не менее трех нерестовых сезонов в отличие от существующей во всем мире практики однократного использования интерсексов [2]. Потомство реверсантов, преимущественно самок с геномом самок в первом поколении, рекомендуется использовать с учетом этого фактора, а именно: у потомства реверсантов (из самок) наличие генома только самок (XX) в F<sub>1</sub>. Сперму реверсантов можно криоконсервировать для сохранения геномов самок [16]. По данной теме оформлен наш патент в соавторстве с



Ю.А. Привезенцевым, предложившим использовать рассмотренный метод в производстве реверсантов для нужд народного хозяйства [13].

### ВЫВОДЫ

Так как в потомстве реверсантов, состоящих преимущественно из самок, не используются гормоны, описанные методики можно рекомендовать для искусственного и естественного воспроизводства, для пополнения популяций самками, для товарного получения лососевой икры.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Метальникова, К. В. Сохранение разнообразия редких видов рыб при использовании аналогов / К. В. Метальникова. – Саарбрюккен: Изд-во LAP LAMBERT Academic Publishing является торговой маркой Omni Scriptum GmbH&Co/KG, 2015. – 121с.
2. Гаабер, Е. С. Сперматогенез и его регуляция / Е. С. Гаабер [и др.]. – Москва: Наука, 1983. – 232 с.
3. Персов, Г. М. Дифференцировка пола у рыб / Г. М. Персов. - Ленинград: Изд-во ЛГУ, 1975. - 14 8с.
4. Метальникова, К. В. Влияние синтетических аналогов тестостерона на гаметогенез у *Oncorhynchus mykiss* (Walb.) / К. В. Метальникова // Рыбное хозяйство. - 1995. - №2. - С. 40-42.
5. Метальникова, К. В. Влияние синтетических аналогов тестостерона на передифференцировку пола у стальноголового лосося (*Oncorhynchus mykiss* (Walb.)): автореф. дисс. ... канд. биол. наук. – Москва: Изд-во ВНИРО, 1992. – 16 с.
6. Метальникова, К. В. Получение потомства форели от реверсантов в нерестово-выростном хозяйстве «Прибрежное» (Калининградская обл.) / К. В. Метальникова, В. А. Голубев // Рыбное хозяйство. Сер. Пресноводная аквакультура. - Москва: Изд-во ВНИИЭРХ, 2000. - Вып. 4. - С. 19-24.
7. Метальникова, К. В. Регуляция формирования вторичных половых признаков при искусственной маскулинизации у некоторых лососевых рыб / К. В. Метальникова // Аквакультура Европы и Азии: реалии и перспективы развития и сотрудничества: Международная научно-практическая конференция: материалы. - Тюмень: Госрыбцентр. – 2011. - с. 126-129.
8. Ashby K. R. The effect of steroid hormones on the brown trout (*Salmo gairdneri trutta* L.) during the period of gonadal differentiation // J.Embr.anim.External Morphol., 1957, 5N3, pp.225-250.
9. Gorshkov S. A. et al. //The Rainbow Trout. The proceeding of the first aquaculture sponsored Symposium held at the Institute of Aquaculture. University of Sterling. Scotland 4-7 September 1990/Ed. By G.A. Gall. USA, Amsterdam-London-New York- Tokyo, 1992, p. 99-100.
10. Шентякова, К. В. Влияние стероидных гормонов на баланс энергии молоди стальноголового лосося [Influence of steroid hormone on the energy balance of young steelhead salmon] / К. В. Шентякова // Тезисы докладов на совещании 15-17 апреля 1986 г. в г. Суздаль. - Москва: Изд-во ВНИРО, 1986. - С. 7.

11. Строганов, Н. С. Экологическая физиология рыб / Н. С. Строганов. - Москва: Изд-во МГУ, 1962. – 443 с.
12. Метальникова, К. В. Методические рекомендации по получению однополого женского потомства у стальноголового лосося / К. В. Метальникова, И. А. Бурцев, А. Г. Слизченко. - Москва: Изд-во ВНИРО, 1989. – 14 с.
13. Пат. на изобретение № 2402203. Способ получения многократно используемых реверсантов у рыб / К. В. Метальникова, Ю. А. Привезенцев. - Заявка № 2009116285, приоритет изобретения 30 апреля 2009 г., зарегистрирован в государственном реестре изобретений Российской Федерации 27 октября 2010 г., срок действия патента до 30 апреля 2029 г.
14. Brunnelli Joseph P., Craig A. Steel, Gary H. Thorgaard. Deep divergence and apparent sex-biased dispersal revealed by a Y-linked marker in rainbow trout.//Molecular Phylogenetics and Evolution, 2010, 56, p.983-990.
15. Slukvin, A.M., Metalnikova, K.V., Kostousov, V.G., Koneva, O. Yu., Rovba, E.A. The first experiment to obtain sex reversed rainbow trout in RAS conditions in the Republic of Belarus, In: Lengyel, P., Gal, D., Gyalog, G., and Jozsa, V. Recirculation technologies in indoor and outdoor systems. Handbook. Based on the presentations of the AQUAREDPOТ workshop held in Vilnius, Lithuania on 13-14 May 2013. Research Institute for Fisheries, Aquaculture and Irrigation, Szarvas, 2013, pp.49-77.
16. Ананьев, В. И. Возможности применения методов реверсии пола и криоконсервации спермы для сохранения генетического разнообразия рыб / В. И. Ананьев, К. В. Метальникова, М. С. Манохина // Рыбное хозяйство [Fisheries]. - Сер. Аквакультура. - Вып. 1. - 1999. - С. 30-34.

#### REFERENCES

1. Metal'nikova K. V. *Sokhranenie raznoobraziya redkikh vidov ryb pri ispol'zovanii analogov* [Conservation of diversity of rare fish species while using analogues]. Germaniya, izdatel'stvo LAP LAMBERT Academic Publishing, 2015, 121 p.
2. Gaaber E. S., Raytsina S. K., Rott N. N. i dr. *Spermatogenez i ego regulyatsiya* [Spermatogenesis and its regulation]. Moscow, Nauka, 1983, 232 p.
3. Persov G. M. *Differentsirovka pola u ryb* [Sex differentiation with fish]. Leningrad, LGU, 1975, 148 p.
4. Metal'nikova K. V. Vliyanie sinteticheskikh analogov testosterona na gametogenez u *Oncorhynchus mykiss* (Walb.) [Influence of synthetic analogues of testosterone on gametogenesis of *Oncorhynchus mykiss* (Walb.)]. *Rybnoe khozyaystvo* [Fisheries], 1995, no. 2, pp. 40-42.
5. Metal'nikova K. V. *Vliyanie sinteticheskikh analogov testosterona na peredifferentsirovku pola u stal'nogolovogo lososya (Oncorhynchus mykiss (Walb.))*. Avtoreferat diss. kand. biol. nauk [Influence of synthetic analogues of testosterone on overdifferentiation of sex with steelhead salmon (Walb.). Abstract of dis. cand. boil. sci]. Moscow, 1992, 16 p.
6. Metal'nikova K. V., Golubev V. A. Poluchenie potomstva foreli ot reversantov v nerestovo-vyrastnom khozyaystve «Pribrezhnoe» (Kaliningradskaya obl.) [Producing offspring of trout with revertants in fish farm “Pribrezhnoe”]. *Rybnoe khozyaystvo* [Fisheries], 2000, no. 4, pp. 19-24.

7. Metal'nikova K. V. Regulyatsiya formirovaniya vtorichnykh polovykh priznakov pri iskusstvennoy maskulinizatsii u nekotorykh lososevykh ryb [Regulation of secondary sexual characteristics formation under artificial masculinization with some salmonid fishes]. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Akvakul'tura Evropy i Azii: realii i perspektivy razvitiya i sotrudnichestva»* [Proceedings of International scientific conference “Aquaculture of Europe and Asia: reality and prospects for development and cooperation”], Tyumen', Gosrybtsentr, 2011, pp. 126-129.

8. Ashby K. R. The effect of steroid hormones on the brown trout (*Salmo gairdneri trutta* L.) during the period of gonadal differentiation. *J. Embr. anim. External Morphol.*, 1957, no. 3, pp. 225-250.

9. Gorshkov S. A. et al. The Rainbow Trout. The proceeding of the first aquaculture sponsored Symposium held at the Institute of Aquaculture. University of Sterling. Scotland 4-7 September 1990. Ed. By G.A. Gall. USA, Amsterdam-London-New York- Tokyo, 1992, pp. 99-100.

10. Shentyakova K. V. Vliyanie steroidnykh gormonov na balans energii molodi stal'nogolovogo lososya [Influence of steroid hormone on the energy balance of young steelhead salmon]. *Tezisy doklada na soveshchaniy 15-17 aprelya 1986 g., g. Suzdal'* [Abstract from the meeting on April 15-17, 1986, Suzdal]. Moscow, VNIRO, 1986, 7 p.

11. Stroganov N. S. *Ekologicheskaya fiziologiya ryb* [Ecological physiology of fish]. Moscow, MGU, 1962, 443 p.

12. Metal'nikova K. V., Burtsev I. A., Slizchenko A. G. *Metodicheskie rekomendatsii po polucheniyu odnopologo zhenskogo potomstva u stal'nogolovogo lososya* [Guidelines for obtaining unisexual female offspring with steelhead salmon]. Moscow, VNIRO, 1989, 14 p.

13. Metal'nikova K. V., Privezentsev Yu. A. Sposob polucheniya mnogokratno ispol'zuemykh reversantov u ryb [Method for production of reusable revertants with fish]. Patent na izobretenie №2402203, zayavka №2009116285, prioritet izobreteniya 30 aprelya 2009 g., zaregistririvan v gosudarstvennom reestre izobreteniy Rossiyskoy Federatsii 27 oktyabrya 2010 g., srok deystviya patenta do 30 aprelya 2029 g.

14. Brunnelli Joseph P., Craig A. Steel, Gary H. Thorgaard. Deep divergence and apparent sex-biased dispersal revealed by a Y-linked marker in rainbow trout. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 2010, no. 56, pp. 983-990.

15. Slukvin A. M., Metalnikova K. V., Kostousov V. G., Koneva O. Yu., Rovba E. A. The first experiment to obtain sex reversed rainbow trout in RAS conditions in the Republic of Belarus, In: Lengyel, P., Gal, D., Gyalog, G., and Jozsa, V. *Recirculation technologies in indoor and outdoor systems. Handbook. Based on the presentations of the AQUARED POT workshop held in Vilnius, Lithuania on 13-14 May 2013.* Research Institute for Fisheries, Aquaculture and Irrigation, Szarvas, 2013, pp. 49-77.

16. Anan'ev V. I., Metal'nikova K. V., Manokhina M. S. Vozmozhnosti primeneniya metodov reversii pola i kriokonservatsii spermy dlya sokhraneniya geneticheskogo raznoobraziya ryb [Application of methods for sex transformation and cryopreservation of sperm for conservation of genetical diversity]. *Rybnoe khozyaystvo* [Fisheries], no.1, 1999, pp. 30-34.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

*Метальникова Ксения Владимировна* – Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО); кандидат биологических наук, старший научный сотрудник;

E-mail: ksenia@vniro.ru, ksunu@yandex.ru

*Metalnikova Kseniya Vladimirovna* – Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (VNIRO); PhD, senior researcher;

E-mail: ksenia@vniro.ru, ksunu@yandex.ru

УДК 591.524.12(261.245/.246)

ВИДОВОЕ РАЗНООБРАЗИЕ ВЕТВИСТОУСЫХ РАКООБРАЗНЫХ  
(CRUSTACEA: BRANCHIOPODA: CLADOCERA Latreille, 1829)  
ЭСТУАРИЕВ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ (ОБЗОР)

Е. Н. Науменко, С. А. Судник

SPECIES DIVERSITY OF CLADOCERANS (CRUSTACEA: BRANCHIOPODA:  
CLADOCERA Latreille, 1829) OF THE KALININGRAD REGION ESTUARIES  
(REVIEW)

E. N. Naumenko, S. A. Sudnik

Представлен аналитический обзор литературы по видовому составу ветвистоусых ракообразных (CRUSTACEA: BRANCHIOPODA: CLADOCERA Latreille, 1829) Куршского и Вислинского заливов Балтийского моря, которые являются крупнейшими эстуариями Калининградской области.

Подробные исследования видового состава кладоцер Куршского и Вислинского заливов были проведены учеными Кенигсбергского университета в начале XX в. Тогда в сообщество ветвистоусых ракообразных Куршского залива входили 38 видов, которые относились к 25 родам. В современный период кладоцеры представлены 34 видами, относящимися к 23 родам. В результате исследований обнаружены восемь видов и подвидов кладоцер, которые ранее не были указаны в составе сообщества ветвистоусых ракообразных Куршского залива. В то же время, по сравнению с данными кенигсбергских ученых в составе зоопланктона не регистрировались 13 видов и подвидов кладоцер.

Ветвистоусые ракообразные Вислинского залива, по данным немецких ученых, были представлены 22 видами и подвидами, относившимися к 16 родам. В настоящее время к кладоцерам причислены 17 видов и подвидов, принадлежащих к 12 родам. Было обнаружено три таксона ниже рода кладоцер, которые ранее в данном водоеме не регистрировались. По сравнению с данными вековой давности исчезли 11 видов и подвидов ветвистоусых ракообразных.

Отмечена тенденция динамики видового состава кладоцер в эстуариях Калининградской области, связанная с сокращением числа и преобладанием мелких видов. Вселение *Cercopagis pengoi* в Вислинский залив и натурализация его привели к структурно-функциональным изменениям в сообществе зоопланктона и повлияли на кормовую базу рыб.

*ветвистоусые ракообразные, Куршский залив, Вислинский залив, Балтийское море, Cercopagis pengoi*

An analytical review of the literature on species composition of cladocerans (CRUSTACEA: BRANCHIOPODA: CLADOCERA Latreille, 1829) of the Curonian and Vistula Lagoons of the Baltic Sea, which are the largest estuaries of the Kaliningrad region, is presented.

Detailed investigations of the cladocerans species composition in the Curonian and Vistula Lagoons were carried out by the scientists of the University of Königsberg

in the early XX century. During that period the cladocerans community of the Curonian Lagoon was characterized by a great variety and represented by 38 species which belonged to 25 genera. At the present day, cladocerans is represented by 34 species belonging to 23 genera. As a result of the investigations, 8 species and subspecies of cladocerans, which had not been previously indicated in the rotifer community composition of the Curonian Lagoon, were found. At the same time, compared with the data of the Königsberg scientists, 13 species and cladocerans subspecies did not occur as a part of the zooplankton composition.

According to the German scientists, the cladocerans inhabiting the Vistula Lagoon were represented by 22 species and subspecies belonging to 16 genera. Nowadays cladocerans is represented by 17 species and subspecies belonging to 12 genera. 3 taxa lower than rotifers genus that had never been recorded previously in this basin were found. At the same time, compared to the data of the last century, 11 species and subspecies of cladocerans have disappeared.

There is a general trend of the species composition dynamics of cladocerans in the estuaries of the Kaliningrad region, associated with the reduction in prey species and predominance of small species. The invasion of the large predatory crustacean *Cerropagis pengoi* in the Vistula Lagoon led to the restructuring of the zooplankton community.

*cladocerans, the Curonian Lagoon, the Vistula Lagoon, the Baltic Sea, Cerropagis pengoi*

## ВВЕДЕНИЕ

В пределах Калининградской области расположены два крупных эстуария Балтийского моря – Куршский и Вислинский заливы. Они находятся в юго-восточной части Балтийского моря и отделены от моря песчаной косой. Оба водоема позиционируются как эстуарии лагунного типа [1]. Куршский залив имеет слабый водообмен с Балтийским морем и представляет собой закрытый эстуарий лагунного типа [2]. Вислинскому заливу, особенно в российской части, свойственен высокий водообмен с морем, что позволяет считать его полузакрытым эстуарием лагунного типа [3]. Оба эстуария характеризуются высоким уровнем первичной продукции и являются эвтрофными водоемами. Основные показатели гидрологического и гидрохимического режимов заливов характерны для эвтрофных водоемов [4, 5]. Оба эстуария имеют большое рыбохозяйственное значение для Калининградской области и испытывают высокую антропогенную нагрузку. Ветвистоусые ракообразные являются важным компонентом планктона как кормовая база рыб и активно участвуют в самоочищении водоёмов. В то же время сохранение экосистем и видового разнообразия – две взаимосвязанные проблемы, которые рассматривать отдельно не представляется возможным.

Изучение зоопланктона и ветвистоусых ракообразных эстуариев ведется с начала XX в. Это исследования профессоров Кенигсбергского университета [6-8], польских [9], литовских [10-13] и российских ученых [14-20].

Цель работы – анализ изменений в видовой структуре сообщества ветвистоусых ракообразных эстуариев Калининградской области. Для того чтобы избежать синонимии, таксономические списки из литературных источников были приведены в соответствие с современной таксономией, заимствованной из Integrated Taxonomic Information System (ITIS) (<http://www.itis.gov/>). Синонимия отсутствовавших в списке ITIS видов клadoцер принималась авторами по

Е. Ф. Мануйловой [21], в тексте они отмечены символом\*. Полужирным шрифтом выделены виды, обнаруженные в период последних исследований и ранее для данных эстуариев не указывавшиеся.

#### ВИДОВОЙ СОСТАВ CLADOCERA КУРШСКОГО ЗАЛИВА

Первые и подробные сведения о видовом составе ветвистоусых ракообразных Куршского залива приведены в монографии [7]. В начале XX в. клadoцеры были представлены 38 таксонами ниже рода, которые относились к 25 родам. В настоящее время к ветвистоусым ракообразным причисляют 34 вида, относящиеся к 23 родам (табл. 1). Литовские ученые проводили исследования зоопланктона только северной части Куршского залива. В результате фауна клadoцер была увеличена на три вида [10-13]. Дальнейшие регулярные исследования зоопланктона и ветвистоусых ракообразных были продолжены только российскими учеными [14, 15, 17-19]. В результате выявлены 34 вида и подвида клadoцер, из которых восемь ранее не указывались в Куршском заливе. Это *Alona quadrangularis* (O. F. Müller, 1776); *Chydorus ovalis* Kurz, 1874; *Eubosmina coregoni thersites* Poppe, 1887; *Ilyocryptus acutifrons* G. O. Sars, 1862; *Leydigia leydigii* (Leydig, 1860); *Moina rectirostris* (Leydig, 1860); *Pleuroxus aduncus* (Jurine, 1820); *Simocephalus vetulus* (O.F. Müller, 1776). Причем *E. coregoni thersites* была обнаружена в 2014 г. на станциях, расположенных вдоль Куршской косы.

По сравнению с данными начала XX в. в составе зоопланктона в современный период не встречались 13 таксонов ниже рода ветвистоусых ракообразных (табл. 1). Это относится к таким видам, как *Bosmina coregoni lilljeborgii* Baird, 1862\*; *B. reflexa* Selige, 1907\*; *B. longirostris cornuta* Jurine, 1820\*; *B. l. curvirostris* Fischer, 1854\*; *B. l. pellucida* Stingelin, 1897\*; *Ceriodaphnia pulchella* G.O.Sars, 1862; *Diaphanosoma brachyurum frontosa* Lill., 1900\*; *D. leuchtenbergianum* Fischer, 1854; *Latona setifera* (O. F. Müller, 1776); *Monospilus dispar* G. O. Sars, 1861; *Paralona pigra* (G. O. Sars, 1862); *Pseudochydorus globosus* (Baird, 1843); *Simocephalus expinosus* (DeGeer, 1778).

В составе доминантов у клadoцер также отмечены изменения. В начале XX в. Н. Schmidt-Ries [7] указал среди преобладающих видов клadoцер *C. sphaericus*, *E. coregoni*, представителей рода *Ceriodaphnia*. В настоящее время доминирующими видами стали *E. coregoni*, *C. sphaericus*, *D. Longispina*. Прослеживается тенденция снижения численности видов ракообразных рода *Ceriodaphnia*.

#### ВИДОВОЙ СОСТАВ ЗООПЛАНКТОНА ВИСЛИНСКОГО ЗАЛИВА

Исследования видового разнообразия зоопланктона и ветвистоусых ракообразных Вислинского залива обобщены в [8] и относятся к 1845 г. Кладoцеры были представлены 22 таксонами рангом ниже рода, относящимися к 16 родам (табл. 2). Последующее подробное изучение видового разнообразия клadoцер Вислинского залива связано с именем польского ученого Зофии Рожаньской [9]. В результате в польской части Вислинского залива список видов был удлинен на 12 таксонов ниже рода (табл. 2). Дальнейшие регулярные исследования фауны зоопланктона и клadoцер осуществлялись российскими учеными [14, 16-18, 20]. В современный период ветвистоусые ракообразные представлены 17 видами и подвидами, относящимися к 12 родам.

Таблица 1. Видовое разнообразие ветвистоусых ракообразных (Cladocera) Куршского залива

Table 1. Species diversity of cladocerans (Cladocera) of the Curonian Lagoon

Таксон	[7]	[10-13]	[19]	[17]
1	2	3	4	5
<i>Acroperus harpae</i> (Baird, 1834)	+		+	+
<i>Alona affinis</i> Leydig, 1860	+	+		
<b><i>Alona quadrangularis</i> (O.F. Müller, 1776)</b>			+	+
<i>Alonella excisa</i> (Fischer, 1854)	+			
<i>Alonopsis elongata</i> Sars, 1862		+		
<i>Bosmina coregoni lilljeborgii</i> Baird, 1862*	+			
<i>Bosmina longirostris</i> (O.F. Müller, 1776)	+	+	+	+
<i>Bosmina longirostris cornuta</i> Jurine, 1820*	+			
<i>Bosmina longirostris curvirostris</i> Fischer, 1854*	+			
<i>Bosmina longirostris pellucida</i> Stingelin, 1897*	+			
<i>Bosmina obtusirostris</i> Sars, 1861		+	+	+
<i>Bosmina reflexa</i> Selige, 1907*	+			
<i>Camptocercus rectirostris</i> Schoedler, 1862	+		+	
<i>Ceriodaphnia pulchella</i> G.O. Sars, 1862	+			
<i>Ceriodaphnia quadrangula</i> (O.F. Müller, 1785)	+		+	
<i>Ceriodaphnia reticulata</i> (Jurine, 1820)	+	+	+	+
<b><i>Chydorus ovalis</i> Kurz, 1874</b>			+	
<i>Chydorus sphaericus</i> (O.F. Mueller, 1785)	+	+	+	+
<i>Daphnia cristata</i> Sars, 1862*		+	+	+
<i>Daphnia cucullata</i> G.O. Sars, 1862	+	+	+	+
<i>Daphnia hyalina</i> (Leydig.)	+		+	+
<i>Daphnia longispina</i> (O.F. Mueller, 1785)	+	+	+	+
<i>Daphnia pulex</i> Leydig, 1860	+		+	
<i>Diaphanosoma brachyurum frontosa</i> Lill., 1900*	+			
<i>Diaphanosoma brachyurum</i> (Liévin, 1848)	+	+	+	+
<i>Diaphanosoma leuchtenbergianum</i> Fischer, 1854	+			
<i>Eubosmina coregoni</i> (Baird, 1857)	+	+	+	+
<b><i>Eubosmina coregoni thersites</i> Poppe, 1887*</b>				+
<i>Eubosmina maritima</i> (P.E. Müller, 1867)	+	+	+	+
<i>Eurycercus lamellatus</i> O.F. Mueller, 1776)	+		+	
<i>Evadne nordmanni</i> Lovén, 1836		+		
<i>Graptoleberis testudinaria</i> (Fischer, 1848)	+		+	
<b><i>Ilyocryptus acutifrons</i> G.O. Sars, 1862</b>			+	
<i>Latona setifera</i> (O.F. Müller, 1776)	+			
<i>Leptodora kindtii</i> (Focke, 1844)	+	+	+	+
<b><i>Leydigia leydigi</i> (Leydig, 1860)</b>			+	+
<b><i>Moina rectirostris</i> (Leydig, 1860)</b>			+	



Окончание табл. 1  
The end of tabl. 1

Таксон	[7]	[10-13]	[19]	[17]
<i>Monospilus dispar</i> G.O. Sars, 1861	+			
<i>Paralona pigra</i> (G.O. Sars, 1862)	+			
<i>Peracantha truncata</i> (O.F. Muller, 1785)*	+		+	+
<i>Pleopsis polyphemoides</i> (Leuckart, 1859)	+	+	+	+
<b><i>Pleuroxus aduncus</i> (Jurine, 1820)</b>			+	
<i>Pleuroxus trigonellus</i> (O.F. Müller, 1776)	+		+	
<i>Pleuroxus uncinatus</i> Baird, 1850		+	+	+
<i>Polyphemus pediculus</i> (Linnaeus, 1761)	+		+	
<i>Pseudochydorus globosus</i> (Baird, 1843)	+			
<i>Rhynchotalona falcata</i> (G.O. Sars, 1861)		+		
<i>Rhynchotalona rostrata</i> (Koch)*	+	+	+	+
<i>Scapholeberis mucronata</i> (O.F. Müller, 1776)	+		+	
<i>Sida crystallina</i> (O.F. Müller, 1776)	+		+	+
<i>Simocephalus expinosus</i> (DeGeer, 1778)	+			
<b><i>Simocephalus vetulus</i> (O.F. Müller, 1776)</b>			+	
<b>Итого</b>	<b>38</b>	<b>18</b>	<b>33</b>	<b>21</b>

Авторами было зарегистрировано три таксона ниже рода кладоцер, которые ранее в данном водоеме не регистрировались (табл. 2). Это *Cercopagis pengoi* (Ostroumov, 1891); *Eubosmina coregoni thersites* Poppe, 1887; *Moina* sp. В то же время, по сравнению с данными столетней давности исчезли 11 видов и подвидов кладоцер, которые в современный период в составе зоопланктона российской части не регистрируются. В основном это зарослевые виды *Acroperus harpae* (Baird, 1834); *Alona quadrangularis* (O. F. Müller, 1776); *A. costata* G. O. Sars, 1862; *Eurycercus lamellatus* (O. F. Mueller, 1776); *Peracantha truncata* (O.F.Muller 1785)\*; *Pseudochydorus globosus* (Baird, 1843); *Scapholeberis mucronata* (O.F. Müller, 1776); *S. aurita* (Fischer, 1849); *Sida crystallina* (O. F. Müller, 1776); *Simocephalus serrulatus* (Koch, 1841); *S. vetulus* (O.F. Müller, 1776).

Следует отметить, что состав доминирующих видов кладоцер не изменился. Как и прежде, в их число входят *D. Brachyurum*. Успешная натурализация в планктонное сообщество Вислинского залива хищной кладоцеры *Cercopagis pengoi* повлекла существенные изменения в структуре и функционировании зоопланктона [22]. Увеличилась численность мелких видов коловраток *Filinia longiseta*, *Keratella cochlearis*, *Brachionus angularis*, которые являются седиментаторами и питаются мелкими фракциями сестона. Это привело к изменениям в кормовой базе рыб.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ литературных данных показал, что фауна ветвистоусых ракообразных в эстуариях Калининградской области имеет общие черты с таковой других эстуариев Балтийского моря. Пресноводный комплекс кладоцер в российской части Куршского залива, который является закрытым эстуарием лагунного типа, отличается большим разнообразием по сравнению с солоновато-водным комплексом Вислинского залива, имеющего значительный

Таблица 2. Видовое разнообразие Cladocera Вислинского залива  
Table 2. Species diversity of Cladocera of the Vistula Lagoon

Вид	[20]	[14]	[9]	[8]
<i>Acroperus harpae</i> (Baird, 1834)				+
<i>Alona costata</i> G.O. Sars, 1862				+
<i>Alona quadrangularis</i> (O.F. Müller, 1776)				+
<i>Alona</i> sp. Baird, 1850			+	
<i>Alonella excisa</i> (Fischer, 1854)			+	
<i>Bosmina longirostris</i> (O.F. Müller, 1776)	+	+	+	+
<b><i>Cercopagis pengoi</i> (Ostroumov, 1891)</b>	+			
<i>Ceriodaphnia pulchella</i> G.O. Sars, 1862			+	
<i>Ceriodaphnia quadrangula</i> (O.F. Müller, 1785)	+		+	
<i>Ceriodaphnia reticulata</i> (Jurine, 1820)	+	+		
<i>Chydorus sphaericus</i> (O.F. Mueller, 1785)	+	+	+	
<i>Daphnia cristata</i> Sars, 1862*	+	+		
<i>Daphnia cucullata</i> G.O. Sars, 1862	+	+	+	+
<i>Daphnia longispina</i> (O.F. Mueller, 1785)	+	+		+
<i>Diaphanosoma brachyurum</i> (Liévin, 1848)	+	+	+	+
<i>Eubosmina coregoni</i> (Baird, 1857)	+	+		+
<b><i>Eubosmina coregoni thersites</i> Poppe, 1887*</b>	+			
<i>Eubosmina maritima</i> (P.E. Müller, 1867)	+		+	+
<i>Eurycercus lamellatus</i> (O.F. Mueller, 1776)				+
<i>Evadne nordmanni</i> Lovén, 1836	+	+		+
<i>Leptodora kindtii</i> (Focke, 1844)	+	+	+	+
<b><i>Moina</i> sp. Baird, 1850</b>	+			
<i>Peracantha truncate</i> (O.F. Muller, 1785)*				+
<i>Pleopsis polyphemoides</i> (Leuckart, 1859)	+	+	+	+
<i>Pleuroxus truncatus</i> (O.F. Müller, 1785)				+
<i>Pleuroxus uncinatus</i> Baird, 1850	+		+	+
<i>Pseudochydorus globosus</i> (Baird, 1843)				+
<i>Scapholeberis aurita</i> (Fischer, 1849)				+
<i>Scapholeberis mucronata</i> (O.F. Müller, 1776)				+
<i>Sida crystallina</i> (O.F. Müller, 1776)				+
<i>Simocephalus serrulatus</i> (Koch, 1841)				+
<i>Simocephalus vetulus</i> (O.F. Müller, 1776)				+
<i>Streblocerus</i> sp. G.O. Sars, 1862			+	
<b>Итого</b>	<b>17</b>	<b>11</b>	<b>13</b>	<b>22</b>

водообмен с морем, что тоже характерно и для других эстуариев Балтийского моря [23]. Изменения в видовом богатстве коловраток отражают общую тенденцию, которая наблюдается и в других эстуариях Балтийского моря. Так, постепенное повышение трофического статуса Куршского и Вислинского заливов привело к увеличению доли мелкодисперсной фракции в sestone [24, 25]. Успешная натурализация хищной кладоцеры *C. pengoi* повлекла структурные и функциональные изменения в сообществе зоопланктона Вислинского залива в

целом. Данное явление послужило причиной структурных изменений в сообществе кладоцер эстуариев Калининградской области в сторону увеличения мелких видов, которые являются тонкими фильтраторами, а также снижения числа хищных видов.

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

#### БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают искреннюю благодарность профессору Р.Н. Буруковскому, который сделал ряд ценных замечаний по формированию заключения.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Шибин, А. И. Обзор определений лагунных систем и подходов к классификации прибрежных водоемов / А. И. Шибин, Б. В. Чубаренко // Ученые записки Русского географического общества (Калининградское отделение). – Калининград, 2003. – Т. 2. – CD-ROM версия – 12С-1 – 12С-32.
2. Gasiūnaitė Z. R. The Curonian Lagoon / Z. R. Gasiūnaitė, D. Daunys, S. Olenin, A. Razinkovas // Transboundary waters and basins in the South-East Baltic. – Kaliningrad: Terra Baltica. 2008. – P. 58-67.
3. Chubarenko B. V. The Vistula Lagoon / B. V. Chubarenko // Transboundary waters and basins in the South-East Baltic. – Kaliningrad: Terra Baltica. 2008. – P. 37-57.
4. Науменко, Е. Н. Общая характеристика Куршского залива / Е. Н. Науменко, Ю. М. Сенин, В. А. Смыслов // Закономерности гидробиологического режима водоемов разного типа / под ред. А. Ф. Алимова, М. Б. Ивановой. – Москва: Научный мир, 2004. – С. 15-17.
5. Сенин, Ю. М. Общая характеристика Вислинского залива / Ю. М. Сенин, В. А. Смыслов, М. М. Хлопников // Закономерности гидробиологического режима водоемов разного типа. – Москва: Научный мир, 2004. – С. 17-18.
6. Riech F. Faunistische und experimentell-biologische Untersuchungen über die Tierwelt, insbesondere die Parasiten des Frischen Haffes (Eine Preisarbeit). Schriften der Königsbergen Gelehrten Gesellschaft. Naturwissenschaftliche Klasse, 1927. – 4 (8). – P. 126-171.
7. Schmidt-Ries H. Untersuchungen zur Kenntnis des Pelagials eines Strangewassers (Kurisches Haff) // Zeitschriften für Fischerei und deren Hilfswissenschaften. – 1940. – Bd. 6, H. 2. – P. 183-322.
8. Vanhöffen E. Die niedere Tierwelt des Frischen Haffs / E. Vanhöffen // Sitzungsbericht der Gesellschaft Naturforschender Freunde zu Berlin. – 1917. – №2. – P. 113-147.
9. Róžańska Z. Zooplankton Zalewu Wislanego / Z. Rozanska // Zeszyty Naukowe Wysej Szkoły Rolniczej w Olsztynie. – 1963. – Т. 16. – N 278. – S. 41-57.
10. Киселите, Т. Зоопланктон залива Куршю Марес / Т. Киселите // Куршю Марес. Итоги комплексного исследования / под ред. К. Янкевичюса. – Вильнюс: Мокслас, 1959. – С. 169-190.
11. Мажейкайте, С. И. Видовой состав, численности и биомассы зоопланктона в северной части залива Куршю Марес в условиях антропогенного загрязнения

ния / С. И. Мажейкайте // Физико-биохимические основы развития планктонных организмов в северной части залива Куршю Марес. – Вильнюс, 1978. – С. 87-111.

12. Мажейкайте, С. И. Зоопланктон северной части залива Куршю Марес в 1974 и 1975 годах / С. И. Мажейкайте // 1. Сезонные изменения численности и видового состава многочисленного зоопланктона // Труды АН ЛитССР. Серия Б. – Вильнюс, 1978. – № 4(84). – С. 55-58.

13. Печюлене, О. Зоопланктон Балтийского моря у берегов Литвы и его связь с северной частью залива Куршю Марес / О. Печюлене // Гидробиология и ихтиология внутренних водоемов Прибалтики. – Рига, 1963. – № 7. – С. 58-63.

14. Крылова, О. И. Функционирование планктона и бентоса Куршского и Вислинского заливов Балтийского моря в связи с их экологическими различиями / О. И. Крылова; АтлантНИРО. – Калининград, 1985. – 225 с. – Деп. в ЦНИИТЭИРХ. 21.10.85; № 714-рх.

15. Науменко, Е. Н. Куршский залив. Зоопланктон / Е. Н. Науменко // Закономерности гидробиологического режима водоемов разного типа / под ред. А. Ф. Алимова, М. Б. Ивановой. – Москва: Научный мир, 2004 а. – С. 124-129.

16. Науменко, Е. Н. Вислинский залив. Зоопланктон / Е. Н. Науменко // Закономерности гидробиологического режима водоемов разного типа / под ред. А. Ф. Алимова, М. Б. Ивановой. – Москва: Научный мир, 2004 б. – С. 141-146.

17. Науменко, Е. Н. Видовой состав зоопланктона Куршского и Вислинского заливов Балтийского моря / Е. Н. Науменко // Труды зоологического института РАН. – 2008. – Т. 312, № 1/2. – С. 155-164.

18. Науменко, Е. Н. Зоопланктон в эстуариях разного типа (на примере Куршского и Вислинского заливов Балтийского моря) / Е. Н. Науменко // Биология внутренних вод, № 1. – 2009. – С. 76-85.

19. Науменко, Е. Н. Зоопланктон прибрежной части Куршского залива: монография / Е. Н. Науменко. – Калининград: Атлант. НИИ рыб. хоз-ва и океанографии, 2006. – 178 с.

20. Науменко, Е. Н. Структурно-функциональная организация зоопланктона Вислинского залива Балтийского моря: монография / Е. Н. Науменко. – Калининград: Атлант. НИИ рыб. хоз-ва и океанографии, 2010. – 198 с.

21. Мануйлова, Е. Ф. Ветвистоусые рачки фауны СССР / Е. Ф. Мануйлова. – Москва-Ленинград: Наука, 1964. – 327 с.

22. Науменко, Е. Н. Влияние вида-вселенца *Cercopagis pengoi* (Ostroumov) на структуру и функционирование зоопланктона Вислинского залива Балтийского моря / Е. Н. Науменко, И. В. Телеш // Известия Самарского научного центра РАН. – Т. 10, № 5/1, 2008.- С. 244-252.

23. Телеш, И. В. Влияние биологических инвазий на разнообразие и функционирование сообществ зоопланктона в эстуарных экосистемах Балтийского моря (обзор) / И. В. Телеш / Изв. Самарского НЦ РАН, 2006. – Т. 8, №3. – С. 220-232.

24. Чечко, В. А. Особенности седиментации в эстуариях лагунного типа (на примере Вислинской и Куршской лагун Балтийского моря) / В. А. Чечко // Закономерности гидробиологического режима водоемов разного типа / под ред. А. Ф. Алимова, М. Б. Ивановой. – Москва: Научный мир, 2004. – С. 172-175.

25. Chechko V. A. Spatial structure and evolution of bottom sediments in the Vistula Lagoon / V. A. Chechko//Transboundary waters and basins in the South-East Baltic. – Kaliningrad: Terra Baltica. 2008. – P. 244-249.

REFERENCES

1. Shibin A. I., Chubarenko B. V. Obzor opredelenij lagunnyh sistem i podhodov k klassifikacii pribrezhnyh vodoemov [Review of definitions of lagoon systems and approaches to classification of coastal water bodies]. *Uchenye zapiski Russkogo geograficheskogo obshhestva (Kaliningradskoe otdelenie)*. Kaliningrad, 2003, vol. 2, CD-ROM versija – 12S-1 – 12S-32.
2. Gasiūnaitė Z. R., Daunys D., Olenin S., Razinkovas A. The Curonian Lagoon. *Transboundary waters and basins in the South-East Baltic*. Kaliningrad, Terra Baltica, 2008, pp. 58-67.
3. Chubarenko B. V. The Vistula Lagoon. *Transboundary waters and basins in the South-East Baltic*. Kaliningrad, Terra Baltica, 2008, pp. 37-57.
4. Naumenko E. N., Senin Ju. M., Smyslov V. A. Zakonomernosti gidrobiologicheskogo rezhima vodoemov raznogo tipa [Patterns of hydrobiological regime of different water bodies]. Moscow, *Nauchnyj mir*, 2004, pp. 15-17.
5. Senin Ju. M., Smyslov V. A., Hlopnikov M. M. Zakonomernosti gidrobiologicheskogo rezhima vodoemov raznogo tipa [Patterns of hydrobiological regime of different water bodies]. Moscow, *Nauchnyj mir*, 2004, pp. 17-18.
6. Riech F. Faunistische und experimentell-biologische Untersuchungen über die Tierwelt, insbesondere die Parasiten des Frischen Haffes (Eine Preisarbeit). *Schriften der Königsberger Gelehrten Gesellschaft. Naturwissenschaftliche Klasse*, 1927, 4 (8), pp. 126-171.
7. Schmidt-Ries H. Untersuchungen zur Kenntnis des Pelagials eines Strangewassers (Kurisches Haff). *Zeitschriften für Fischerei und deren Hilfswissenschaften*. 1940, bd. 6, h. 2, pp. 183-322.
8. Vanhöffen E. Die niedere Tierwelt des Frischen Haffs. *Sitzungsbericht der Gesellschaft Naturforschender Freunde zu Berlin*. 1917, no. 2, pp. 113-147.
9. Róžańska Z. Zooplankton Zalewu Wislanego. *Zeszyty Naukowe Wysej Szkoły Rolniczej w Olsztynie*. 1963, vol. 16, no. 278, pp. 41-57.
10. Kiselite T. Zooplankton zaliva Kurshju Mares [Zooplankton of Kuršių marios]. *Kurshju Mares. Itogi kompleksnogo issledovaniya, pod red. K. Jan-kevichjusa*. Vil'njus, Mokslas, 1959, pp. 169-190.
11. Mazhejkajte S. I. *Fiziko-biohimicheskie osnovy razvitiya planktonnyh organizmov v severnoj chasti zaliva Kurshju Mares* [Physico-biochemical basics of plankton evolution in the northern part of Kuršių marios]. Vil'njus, 1978, pp. 87-111.
12. Mazhejkajte S. I. *Zooplankton severnoj chasti zaliva Kurshju Mares v 1974 i 1975 godah* [Zooplankton of the northern part of Kuršių marios in 1974 and 1975] *Trudy AN LitSSR. Serija B. Vil'njus*, 1978, no. 4(84), pp. 55-58.
13. Pechjulene O. *Gidrobiologija i ihtiologija vnutrennih vodoemov Pribaltiki* [Hydrobiology and ichthyology of the inland water bodies of the Baltic states]. Riga, 1963, no. 7, pp. 58-63.
14. Krylova. O. I. *Funkcionirovanie planktona i bentosa Kurshskogo i Vislinskogo zalivov Baltijskogo morja v svjazi s ih jekologicheskimi razlichijami* [Activity of plankton and benthos of the Curonian and Vistula Lagoons of the Baltic Sea given their ecological difference]. Kaliningrad, AtlantNIRO, 1985, 225 p.

15. Naumenko E. N. Zakonomernosti gidrobiologicheskogo rezhima vodoemov raznogo tipa [Patterns of hydrobiological regimes of different water bodies]. Moscow, *Nauchnyj mir*, 2004, pp. 124-129.

16. Naumenko E. N. Zakonomernosti gidrobiologicheskogo rezhima vodoemov raznogo tipa [Patterns of hydrobiological regimes of different water bodies]. Moscow, *Nauchnyj mir*, 2004, pp. 141-146.

17. Naumenko E. N. Vidovoj sostav zooplanktona Kurshskogo i Vislinskogo zalivov Baltijskogo morja [Species composition of the zooplankton of the Curonian and Vistula Lagoons of the Baltic Sea]. *Trudy zoologicheskogo instituta RAN*, vol. 312, no. 1(2), 2008, pp. 155-164.

18. Naumenko E. N. Zooplankton v jestuarijah raznogo tipa (na primere Kurshskogo i Vislinskogo zalivov Baltijskogo morja) [Zooplankton in the estuaries of different types (by the example of the Curonian and Vistula Lagoons of the Baltic Sea)]. *Biologija vnutrennih vod*, 2009, no. 1, pp. 76-85.

19. Naumenko, E. N. *Zooplankton pribrezhnoj chasti Kurshskogo zaliva* [Zooplankton of the coastal part of the Curonian Lagoon]. Kaliningrad, Atlant. NII ryb. hoz-va i okeanografii, 2006, 178 p.

20. Naumenko E. N. *Strukturno-funkcional'naja organizacija zooplanktona Vislinskogo zaliva Baltijskogo morja* [Structural-functional organization of zooplankton of the Vistula Lagoon of the Baltic Sea]. Kaliningrad: Atlant. NII ryb. hoz-va i okeanografii, 2010, 198 p.

21. Manujlova E. F. *Vetvistousye rachki fauny SSSR* [Cladocerans of USSR fauna]. Moscow-Leningrad, Nauka, 1964, 327 p.

22. Naumenko E. N., Telesh I. V. Vlijanie vida-vselenca *Sercopagis pengoi* (Ostroumov) na strukturu i funkcionirovanie zooplanktona Vislinskogo zaliva Baltijskogo morja [Influence of the invading species *Sercopagis pengoi* (Ostroumov) on the structure and activity of zooplankton of the Vistula Lagoon of the Baltic Sea]. *Izvestija Samarskogo nauchnogo centra RAN*, vol. 10, no. 5(1), 2008, pp. 244-252.

23. Telesh I. V. Vlijanie biologicheskikh invazij na raznoobrazie i funkcionirovanie soobshhestv zooplanktona v jestuarnyh jekosistemah Baltijskogo morja (obzor) [Influence of biological invasions on diversity and activity of the zooplankton communities in the estuary ecosystems of the Baltic Sea (review)]. *Izvestija Samarskogo NC RAN*, 2006, vol. 8, no. 3, pp. 220-232.

24. Chechko V. A. Zakonomernosti gidrobiologicheskogo rezhima vodoemov raznogo tipa [Patterns of hydrobiological regime of different water bodies]. Moscow, *Nauchnyj mir*, 2004, pp. 172-175.

25. Chechko V. A. *Transboundary waters and basins in the South-East Baltic*. Kaliningrad: Terra Baltica. 2008, pp. 244-249.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Науменко Елена Николаевна* – Калининградский государственный технический университет; доктор биологических наук, доцент, заведующая кафедрой ихтиопатологии и гидробиологии; E-mail: elenan.naumenko@gmail.com

*Naumenko Elena Nikolaevna* – Kaliningrad State Technical University;  
Doctor of Biological Sciences, associated professor, head of the department  
of ichthyopathology and hydrobiology; E-mail: elenan.naumenko@gmail.com

*Судник Светлана Александровна* – Калининградский государственный  
технический университет; кандидат биологических наук, доцент кафедры  
ихтиопатологии и гидробиологии; E-mail: lanasudnik@mail.ru

*Sudnik Svetlana Alexandrovna* – Kaliningrad State Technical University; Candidate of  
Biological Sciences, associated professor of the department of ichthyopathology  
and hydrobiology; E-mail: lanasudnik@mail.ru

УДК 591.134:597.552.51:577

ИССЛЕДОВАНИЕ БИОХИМИЧЕСКИХ И МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКИХ  
ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТЕМПА РОСТА ИСКУССТВЕННО ВЫРАЩИВАЕМОЙ  
ФОРЕЛИ (*PARASALMO MYKISS*, WALB)

М. В. Чурова, О. В. Мещерякова, А. М. Александрова, Н. Н. Немова

INVESTIGATION OF SEVERAL BIOCHEMICAL AND MOLECULAR-GENETIC  
PARAMETERS OF GROWTH RATE OF FARMED RAINBOW TROUT  
(*PARASALMO MYKISS*, WALB)

M. V. Churova, O. V. Meshcheryakova, A. M. Aleksandrova, N. N. Nemova

В последнее десятилетие исследования темпов роста искусственно выращиваемых рыб направлены на поиск точных и информативных маркеров, позволяющих за сравнительно короткое время выявить изменения в росте. К числу таких маркеров относятся биохимические и молекулярно-генетические показатели, связанные с процессами синтеза белка в мышцах. С целью исследования взаимосвязи этих показателей с темпами роста искусственно-выращиваемой форели (*Parasalmo mykiss*, Walb.) провели сравнительный анализ активности ферментов энергетического обмена цитохром *c*-оксидазы (ЦО), лактатдегидрогеназы (ЛДГ) и уровня экспрессии гена тяжелой цепи миозина (*MyHC*) в мышцах особей, различающихся темпами роста. Оценили возможность применения данных показателей для определения темпов роста рыб при смене рациона. Исследовали двухлеток (1+) форели, выращенных на форелевом хозяйстве (оз. Ладожское, Сортавальский р-н, Республика Карелия). Для оценки влияния рациона на темпы роста форели сравнивали две группы двухлеток: крупные («быстрорастущие») и мелкие («медленнорастущие»), которых кормили разным количеством корма (100 и 80%). По результатам анализа установлено, что у крупных особей значение активности ЦО и ЛДГ и уровень экспрессии гена *MyHC* выше, чем у мелких. У рыб, питающихся меньшим количеством корма, значение исследуемых показателей было ниже по сравнению с группой рыб, питающихся полным объемом корма. По изменению значений исследуемых показателей у рыб при смене рациона уже на десятые сутки, можно было судить об изменении в темпах роста, в то время как достоверные изменения по массе были установлены на 50-е сутки. На основании результатов исследования можно сделать выводы о возможности использования показателей активности ферментов ЦО и ЛДГ и уровня экспрессии гена тяжелой цепи миозина для разработки метода оценки темпов роста рыб по биохимическим и молекулярно-генетическим показателям.

*радужная форель, темпы роста, ферменты энергетического обмена, экспрессия гена миозина*



The search of convenient, precise and informative markers allowing to indicate growth rate changes over a short period of time is of primary importance in investigation of growth processes. Biochemical and molecular-genetic parameters associated with protein synthesis in muscles are among such markers. The study was performed to assess the relationship between energy metabolism enzymes activities (cytochrome *c* oxidase, COX, lactate dehydrogenase, LDH) myosin gene expression (*MyHC*) and growth rate of rainbow trout (*Parasalmo mykiss*, Walb). The objectives of this study were: to compare parameters studied between two groups of fish with different growth rate; to test these indices in monitoring of growth rate of trout fed with different quantity of feed. The yearlings (1+) of trout were reared on fish farm on Onego Lake (Sortavala, the Republic of Karelia, Russia). The groups of large fast-growing and small slow-growing trouts were studied within the first objective. Two groups of trout fed with recommended quantity of feed (100%) and 80% of this amount was compared to study the effect of diet on growth rate. The COX, LDH and *MyHC* gene expression were higher among fast-growing fish than in slow-growing. These parameters indicated faster growth rate of trout in response to change of the feed quantity. The results allow suggesting that COX and LDH activities and myosin gene expression could be used as indicators of the growth rate.

*rainbow trout, growth rate, energy metabolism enzymes, myosin gene expression*

#### ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время контроль роста и развития форели в садковом рыбоводстве осуществляется, главным образом, по линейно-весовым характеристикам рыб. Однако оценка темпов роста с использованием линейно-весовых показателей требует довольно большого периода времени для установления факта их изменения. В последнее десятилетие исследования темпов роста искусственно выращиваемых рыб направлены на поиск более точных и информативных маркеров, позволяющих за сравнительно короткое время выявить изменения в росте. К числу таких маркеров относятся биохимические и молекулярно-генетические показатели, связанные с процессами синтеза белка в мышцах и регуляцией мышечного роста [1-3]. Эти показатели являются достаточно чувствительными к различным факторам среды и позволяют оценить изменения в метаболических процессах, определяющих темпы роста рыб, за более короткие сроки, задолго до того, как обнаруживаются изменения линейно-весовых характеристик.

У рыб мышцы составляют большую часть тела и, таким образом, определяют темпы роста всего тела рыбы и играют важную роль в обмене веществ всего организма [3]. Для интенсивного синтеза мышечного белка и полноценного роста мышечной ткани требуется большое количество энергии. Поэтому в исследованиях взаимосвязи биохимических параметров с размерными характеристиками рыб большое внимание уделяется изучению активности ферментов энергетического обмена в мышцах, участвующих в процессах аэробного и анаэробного синтеза АТФ. Ранее была представлена взаимосвязь этих показателей с размерно-весовыми характеристиками и темпами роста рыб разных видов [2-6]. Другим важным параметром для оценки темпов роста рыб является уровень экспрессии гена миозина, основного белка мышц. Было отмечено, что

экспрессия гена тяжелой цепи миозина коррелирует с темпами роста некоторых видов искусственно выращиваемых рыб [1-3].

Одним из важных условий для подбора показателей темпов роста рыб является то, что они должны достоверно и точно отражать темпы роста искусственно выращиваемой форели при изменении условий выращивания различного характера. Важным вопросом в аквакультуре является правильный выбор рациона и режима питания форели. В этом плане актуальны исследования по влиянию количества корма, а также частоты кормления на рост и состояние искусственно выращиваемых рыб [3, 7]. Количество корма в сутки, частота и время кормления являются ключевыми параметрами в выработке режима питания, влияющими на рост рыб и усвоение корма [7].

В связи с этим целью исследования было изучение взаимосвязи активности цитохром *c*-оксидазы (ЦО), лактатдегидрогеназы (ЛДГ) и уровня экспрессии тяжелой цепи миозина (*MyHC*) в мышцах с темпами роста искусственно выращиваемой форели (*Parasalmo mykiss*, Walbaum, 1792). Были поставлены следующие задачи: во-первых, провести сравнительное исследование показателей у крупных «быстрорастущих» и мелких «медленнорастущих» двухлеток (1+) форели в летний период; во-вторых, оценить темпы роста и данные показатели у форели при изменении объема используемого корма.

#### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследовали две группы двухлеток (1+) форели (крупные и мелкие), выращенных на форелевом хозяйстве (оз. Ладожское, Сортавальский р-н, Республика Карелия). Двухлетки форели изначально выращивались в одном садке, но впоследствии были отсортированы и разделены по размерам в разные садки. Так, в разных садках оказались рыбы разные по темпам роста. Поскольку рыб изначально содержали в одинаковых условиях, а затем разделили на группы по размерам, мы их условно обозначили как «медленно»- и «быстрорастущие». Для биохимического и молекулярно-генетического анализа отбирали особей в летний период, в июле и августе (таблица). Абсолютный прирост по массе за весь исследуемый период составил 554 г для крупных двухлеток и 296,7 г для мелких.

Таблица. Средняя масса двухлеток (1+) форели

Table. Mean mass of yearling (1+) trout

Дата	Масса, г (M±m)	
	«Быстрорастущие» (n=12)	«Медленнорастущие» (n=12)
Июль	720,5 ± 52,1	262,2 ± 31,59
Август	1273,7 ± 111,1	558,9 ± 71,59

Для оценки влияния рациона на темпы роста форели исследовали две группы рыб, которых кормили разным объемом корма. Изначально одинаковых по весу двухлеток форели (1+) разделили на два садка. Рыбы из двух садков получали корм одинакового состава, но в разном количестве: одной группе рыб давали на 20% меньше корма. Пробы для биохимического и молекулярно-

генетического анализа рыб отбирали на десятый день после начала эксперимента ( $n=12$ ). В день отбора проб средняя масса рыб составляла  $198\pm 15$  в садке 1, где корм давался в полном объеме (100%), и  $193\pm 25$  – в садке 2 (80% корма).

Каждую особь измеряли и взвешивали, кусочки тканей замораживали в жидком азоте и далее их хранили при минус  $80^{\circ}\text{C}$  до начала анализа.

Для определения активности ферментов ткань изначально гомогенизировали в 0.01 М трис-НСl буферном растворе (рН 7.5). Активность цитохром *c*-оксидазы (ЦО, КФ 1.9.3.1.) и лактатдегидрогеназы (ЛДГ, 1.1.1.27) в мышцах определяли по общепринятым методикам на спектрофотометре [8, 9].

Уровень экспрессии гена тяжелой цепи миозина (*MyHC*) определяли в белых мышцах методом полимеразной цепной реакции в режиме реального времени (ПЦР-РВ). Тотальную РНК выделяли из белых мышц с помощью реагента «ExtractRNA» (ЗАО «Евроген», Москва), обрабатывали ДНКазой (10 ед./мл) (Силекс, Россия). Комплементарную ДНК (кДНК) синтезировали из препарата тотальной РНК с использованием MMLV-обратной транскриптазы и случайных гексонуклеотидов (набор реактивов MMLV RT kit, Евроген, Россия). Амплификацию проводили на приборе *i-Cycler* с оптической приставкой IQ5 (BioRad) с использованием готовой смеси для ПЦР qPCRmix-*HS SYBR* (Евроген, Россия). Концентрацию матричной РНК в виде кДНК определяли по стандартной кривой [10]. Уровень экспрессии гена миозина нормализовали по уровню экспрессии референсного гена *Ef-1*. Данные выражали как отношение концентрации мРНК исследуемого гена к концентрации мРНК *Ef-1*.

Для статистической обработки данных применяли методы с использованием пакетов программ MS Excel и StatGraphics 2.5 for Windows. Сравнение выборок проводили с применением непараметрического критерия Вилкоксона-Манна-Уитни.

Исследования выполнены с помощью Центра коллективного пользования научным оборудованием ИБ КарНЦ РАН.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

При сравнении крупных и мелких двухлеток форели установлено, что у крупных особей значение активности ЦО и ЛДГ, а также уровень экспрессии гена тяжелой цепи миозина *MyHC* выше, чем у мелких (рис. 1). Различия между группами наблюдались и в июле, и в августе.

Активность цитохром *c*-оксидазы, ключевого фермента дыхательной цепи митохондрий, указывает на уровень аэробного синтеза АТФ (аэробного метаболизма). Согласно результатам исследования, у крупных быстрорастущих особей двухлеток форели данный уровень в мышцах выше, чем у мелких особей. Как известно, интенсивно идущие процессы синтеза структурных, функциональных и запасных соединений в мышцах должны быть обеспечены необходимым количеством энергии, что требует высокого уровня аэробного синтеза АТФ. Наши результаты хорошо согласуются с данными ранее проведенных исследований на заводской молодежи лосося [11]. Авторы отмечают высокую положительную корреляцию между уровнем аэробного обмена, активностью цитохром *c*-оксидазы и темпом роста искусственно выращиваемой молодежи лосося.

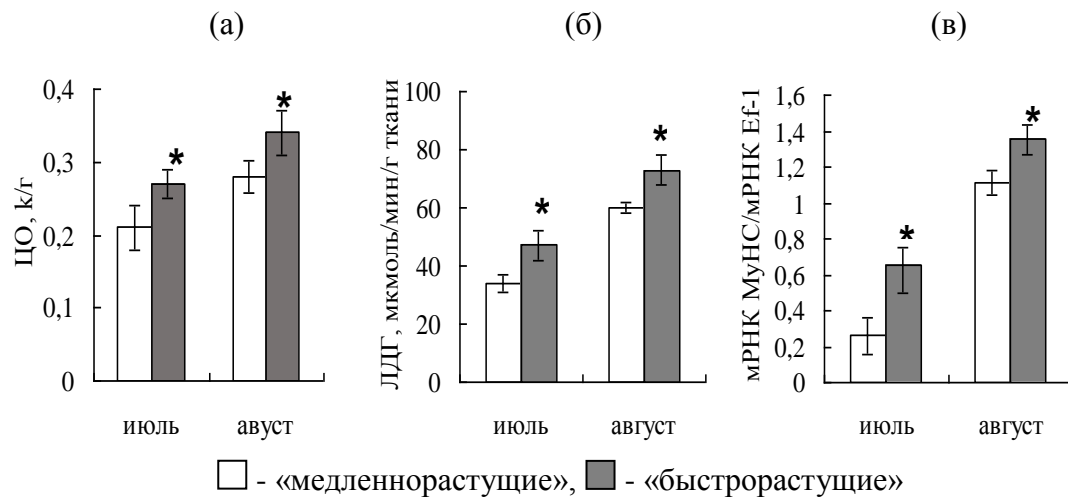


Рис. 1. Активность ферментов ЦО (к/г) (а), ЛДГ, мкмоль/мин/г ткани (б), уровень экспрессии гена *MyHC* (в) в мышцах «медленнорастущих» и «быстрорастущих» особей двухлеток форели в июле и августе

\*- различия между группами достоверны ( $p < 0.05$ )

Fig. 1. Activities of COX, IU/g tissue (a), LDH, IU/g tissue (б), and relative *MyHC* gene expression level (mRNA *MyHC*/mRNA *Ef-1*) (в) in muscles of slow-growing and fast-growing trout in July and in August

\*- significant differences between slow-growing and fast-growing trout,  $p < 0.05$

Активность фермента лактатдегидрогеназы в белых мышцах рыб связана преимущественно с его участием в гликолизе, который является главным процессом энергообеспечения этих типов мышц при интенсивных сокращениях. Взаимосвязь активности ЛДГ с темпами роста свидетельствует о наличии положительной взаимосвязи между высоким уровнем энергетического обмена в скелетных мышцах и скоростью прироста мышечной ткани. Это объясняется тем, что при высокой физической активности особей, характеризующейся быстрыми сокращениями белых мышц, в энергообеспечении которых главную роль играет анаэробный метаболизм, значительно усиливается синтез сократительных белков в мышце и увеличивается объем мышечной массы [12]. Таким образом, высокая активность ЛДГ у быстрорастущих особей согласуется с высокими темпами прироста их мышечной массы. Согласно данным литературы, корреляция активности ЛДГ в белых мышцах с темпами роста и размерами была установлена для атлантической трески, пятнистой зубатки и молоди сайды [2, 4].

Миозин является одним из основных белков в мышцах и составляет 50% от количества всех мышечных белков. Расположение и обильность этого белка в белой мышце делает его подходящим маркером для оценки темпов роста рыб. Более высокий уровень экспрессии гена *MyHC* у крупных рыб указывает на значительные темпы прироста мышечной массы у быстрорастущих особей [1-3].

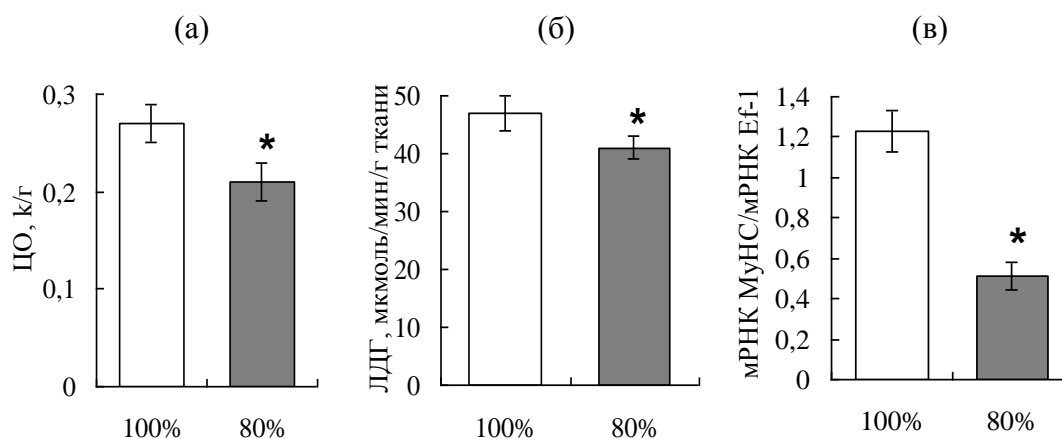


Рис. 2. Активность ферментов ЦО (κ/г) (а), ЛДГ, мкмоль/мин/г ткани (б), уровень экспрессии гена *MyHC* (в) в мышцах особей форели, питающихся разным количеством корма (садок 1- 100%, садок 2 – 80%)

\*- различия между группами достоверны (p<0.05)

Fig. 2. The activity of COX, IU/g tissue (a), LDH, IU/g tissue (b), and relative *MyHC* gene expression level (mRNA *Cox*/mRNA *EF-1*) (c) in muscles of trout fed with different feed quantity (pond 1- 100% and pond 2-80%)

\*- significant differences between groups are accurate, p<0.05

Чтобы оценить возможность использования показателей активности ЦО и ЛДГ и уровня экспрессии гена миозина в оценке темпов роста форели при изменении условий выращивания, провели определение этих показателей в мышцах рыб, питающихся разным количеством корма. На десятый день после того как рыбы из двух садков начали получать разное количество корма, были установлены различия в исследуемых показателях. Активность ЦО и ЛДГ, а также уровень экспрессии гена миозина был выше у рыб в садке 1, которых кормили полным объемом корма (рис. 2). Большие значения этих показателей указывают на высокий уровень аэробного и анаэробного обмена и усиление процессов синтеза веществ у рыб из первого садка. Через 50 дней после начала анализа были установлены достоверные различия по массе между садками: рыбы из первого садка были крупнее рыбы из второго, получающей меньшее количество корма. Таким образом, по уровню активности ЦО, ЛДГ и уровню экспрессии гена миозина уже в первый месяц исследования (на десятые сутки) можно сделать вывод, что темпы роста рыб при использовании большего количества корма выше.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании результатов анализа выявлена взаимосвязь активности ферментов аэробного и анаэробного обмена (ЦО и ЛДГ) и уровня экспрессии гена тяжелой цепи миозина с темпами роста искусственно выращиваемой форели. Установлено, что значения исследуемых показателей выше у крупных быстрорастущих особей по сравнению с мелкими медленно растущими. По результатам исследования влияния рациона питания на рост форели отмечено, что биохимические и молекулярно-генетические показатели позволяют установить

изменения в темпах роста форели при изменении количества употребляемого корма в более ранние сроки (уже на десятые сутки), чем проявятся различия по массе между сравниваемыми группами.

На основании результатов исследования можно сделать выводы о возможности использования показателей активности ферментов ЦО и ЛДГ и уровня экспрессии гена тяжелой цепи миозина в качестве индикаторов темпов роста рыб и в дальнейшем для разработки метода оценки темпов роста рыб по биохимическим и молекулярно-генетическим показателям.

*Работа выполнена при финансовой поддержке грантов Президента РФ МК-3025.2014.4 и НШ-1410.2014.4 и из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания № 0221-2014-0003.*

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Dhillon, R. S. Using molecular tools to assess muscle growth in fish: Applications for aquaculture and fisheries management / R. S. Dhillon, Y. Wang, B. L. Tufts // *Comparative Biochemistry and Physiology. Part C: Toxicology and Pharmacology*. – 2008. – V. 148. – P. 452.
2. Imsland, A. K. Myosin expression levels and enzyme activity in juvenile spotted wolfish (*Anarhichas minor*) muscle: a method for monitoring growth rates / A. K. Imsland, N. R. Le Francois, S. G. Lammare et al. // *Can J. Fish Aquat. Sci.* – 2006. – V. 63. – P. 1959–1967.
3. Overturf, K. Myosin expression levels in trout muscle: a new method of monitoring specific growth rates for rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum) on varied planes of nutrition / K. Overturf, R. Hardy // *Aquat. Res.* – 2001. – V. 32. – P.315-322.
4. Couture, P. Biochemical correlates of growth and condition in juvenile Atlantic cod (*Gadus morhua*) from Newfoundland / P. Couture, J.-D. Dutil, H. Guderley // *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* – 1998. – V. 55. – P. 1591–1598.
5. Чурова, М. В. Соотношение роста и некоторых биохимических показателей рыб на примере микижи *Parasalmo mykiss* Walb. / М. В. Чурова [и др.] // *Известия РАН. Сер. Биол.* – 2010. – № 3. – С. 289 – 299.
6. Чурова, М. В. Взаимосвязь активности ферментов энергетического обмена с темпами роста и размерами рыб / М. В. Чурова, О. В. Мещерякова, Н. Н. Немова // *Ученые записки ПетрГУ.* – 2011. – № 4. – С. 31-37.
7. Dediu, L. The effect of feeding frequency on growth performance of rainbow trout fingerlings reared in recirculating system / L. Dediu, V. Cristea, M. Mocanu et al. // *AAFL Bioflux.* – 2011. – Т. 4. – №. 2. – С. 141-145.
8. Smith, L. Spectrophotometric assay of cytochrome c oxidase / L. Smith // *Methods in Biochem. Analysis.* – 1995. – V. 2. – P. 427–434.
9. Кочетов, Г. А. Практическое руководство по энзимологии / Г. А. Кочетов. – Москва: Высшая школа, 1980. – 272с.
10. Gahr, S. A. Effects of short-term growth hormone treatment on liver and muscle transcriptomes in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) / S. A. Gahr, R. L. Vallejo, G. M. Weber et al. // *Physiol Genomics.* – 2008. – V. 32. – P. 380–392.

11. Nathanailides, C. Activity of cytochrome c oxidase and lactate dehydrogenase in muscle tissue of slow growing (lower modal group) and fast growing (upper modal group) Atlantic salmon / C. Nathanailides, N.C. Stickland // J. Fish Biol. – 1996. – V. 48. – P. 549–551.

12. Ellerby, D. J. Spatial variation in fast muscle function of the rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* during fast-starts and sprinting / D. J. Ellerby, J. D. Altringham // J Exp Biol. –2001. – V. 204. – P. 2239–2250.

## REFERENCES

1. Dhillon R. S., Wang Y., Tufts B. L. Using molecular tools to assess muscle growth in fish: Applications for aquaculture and fisheries management. Comparative Biochemistry and Physiology. Part C: Toxicology and Pharmacology. 2008, vol. 148, 452 p.

2. Imsland A. K., Le Francois N. R., Lammare S. G. et al. Myosin expression levels and enzyme activity in juvenile spotted wolffish (*Anarhichas minor*) muscle: a method for monitoring growth rates. Can J. Fish Aquat. Sci. 2006, vol. 63, pp. 1959-1967.

3. Overturf K., Hardy R. Myosin expression levels in trout muscle: a new method of monitoring specific growth rates for rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum) on varied planes of nutrition. Aquat. Res. 2001, vol. 32, pp.315-322.

4. Couture P., Dutil J.-D., Guderley H. Biochemical correlates of growth and condition in juvenile Atlantic cod (*Gadus morhua*) from Newfoundland. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 1998, vol. 55, pp. 1591-1598.

5. Churova M. V., Meshherjakova O. V., Nemova N. N., Shatunovskij M. I. Sootnoshenie rosta i nekotoryh biohimicheskikh pokazatelej ryb na primere mikizhi *Parasalmo mykiss* Walb. [Correlation between fish growth and several biochemical characteristics as in the case of the steelhead *Parasalmo mykiss* Walb.]. *Izvestija RAN. Ser. Biol.* 2010, no. 3, pp. 289-299.

6. Churova M. V., Meshherjakova O. V., Nemova N. N. Vzaimosvjaz' aktivnosti fermentov jenergeticheskogo obmena s tempami rosta i razmerami ryb [Interrelation between the activity of energy metabolism enzymes, growth rate and size of fish]. *Uchenye zapiski PetrGU*, 2011, no. 4, pp. 31-37.

7. Dediu L., Cristea V., Mocanu M. et al. The effect of feeding frequency on growth performance of rainbow trout fingerlings reared in recirculating system. *AAFL Bioflux*. 2011. vol. 4, no. 2, pp. 141-145.

8. Smith L. Spectrophotometric assay of cytochrome c oxidase. *Methods in Biochem. Analysis*. 1995, vol. 2, pp. 427-434.

9. Kochetov G. A. *Prakticheskoe rukovodstvo po jenzimologii* [ Practical Guide in Enzymology]. Moscow, Vysshaja shkola, 1980, 272 p.

10. Gahr S. A., Vallejo R. L., Weber G. M. et al. Effects of short-term growth hormone treatment on liver and muscle transcriptomes in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Physiol Genomics*. 2008, vol. 32, pp. 380-392.

11. Nathanailides C., Stickland N. C. Activity of cytochrome c oxidase and lactate dehydrogenase in muscle tissue of slow growing (lower modal group) and fast growing (upper modal group) Atlantic salmon. *J. Fish Biol.* 1996, vol. 48, pp. 549-551.

12. Ellerby D. J., Altringham J. D. Spatial variation in fast muscle function of the rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* during fast-starts and sprinting. J Exp Biol. 2001, vol. 204, pp. 2239-2250.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Чурова Мария Викторовна* – Институт биологии Карельского научного центра Российской Академии наук; кандидат биологических наук, научный сотрудник;  
E-mail: mchurova@yandex.ru

*Churova Maria Viktorovna* – Institute of Biology, Karelian Research Center of Russian Academy of Sciences; PhD, researcher;  
E-mail: mchurova@yandex.ru

*Мещерякова Ольга Владимировна* – Институт биологии Карельского научного центра Российской Академии наук; кандидат биологических наук, заместитель директора по науке; E-mail: o-mesch@yandex.ru

*Meshcheryakova Olga Vladimirovna* – Institute of Biology, Karelian Research Center of Russian Academy of Sciences; PhD, deputy director of science;  
E-mail: o-mesch@yandex.ru

*Александрова Анастасия Михайловна* – Петрозаводский государственный университет; студент; E-mail: nastyaalexandrova@mail.ru

*Aleksandrova Anastasyia Mikchailovna* – Petrozavodsk State University; student,  
E-mail: nastyaalexandrova@mail.ru

*Немова Нина Николаевна* – Институт биологии Карельского научного центра Российской Академии наук; доктор биологических наук, директор;  
E-mail: nemova@krc.karelia.ru

*Nemova Nina Nikolaevna* – Institute of Biology, Karelian Research Center of Russian Academy of Sciences; DSc (Biology), Corresponding Member of RAS, director;  
E-mail: nemova@krc.karelia.ru



УДК 597.5(470.261.24)(06)

РОСТ СИГА (*COREGONIS LAVARETUS*, L.) КУРШСКОГО ЗАЛИВА

Л. В. Шибает, С. В. Шибает, А. В. Мычкова

GROWTH RATE OF WHITEFISH (*COREGONUS LAVARETUS*, L.)  
IN THE CURONIAN LAGOON

L. V. Shibaev, S. V. Shibaev, A. V. Mychkova

Представлены результаты исследования роста сига популяции Куршского залива на основе наблюдаемых данных и обратных расчислений роста. Проблема исследования роста связана с тем, что в заливе присутствует только нерестовая часть популяции в возрасте 4-10 лет, поэтому рост младших возрастных групп, который необходимо знать для выращивания сига в искусственных условиях при осуществлении его искусственного воспроизводства, неизвестен. Линейный и весовой рост по наблюдаемым данным сходен для самок и самцов, его незначительное замедление происходит по мере старения. Максимальный возраст самцов составляет восемь лет при длине 47.7 см и массе 1399 г, самок – 10 лет при длине 57 см и массе 2498 г. Установлены параметры уравнения «длина-масса» ( $W = 0.0055L^{3.2479}$ ), «длина-радиус чешуи» ( $R = 9.6724L + 1.5153$ ) и параметры уравнения Бергаланфи для линейного ( $L = 95.1(1 - e^{-0.081(t-0.15)})$ ) и весового ( $W = 18148(1 - e^{-0.070(t-0.11)})^3$ ) роста. Большие значения  $L_{\infty}$  и  $W_{\infty}$  объясняются специфическим набором исходных данных, в которых не представлены особи старше 10 лет. Обратные расчисления проведены с использованием специальной методики, позволяющей исключить влияние феномена Розы Ли. Рост сига различных поколений в целом сходен, отличия в длине одновозрастных групп не превышают 1-2 см. В целом рост сига Куршского залива сходен с аналогичными показателями популяций сига в водоемах Южной Балтики. Показано, что годовики сига достигают веса 8 г, что коррелирует с массой, получаемой при искусственном выращивании молоди в течение около 180 дней. Результаты могут быть использованы для оценки оптимальной навески выпускаемой в залив молоди, полученной при искусственном выращивании.

*сиг, Курский залив, индивидуальный рост, искусственное воспроизводство, обратные расчисления*

The article presents results of the study of individual growth rate of the whitefish in the Curonian Lagoon. The investigations were based on the observed length-age data and back calculation of growth. The problem of studying the growth is related to the fact that in the Lagoon whitefish is represented with only spawning part of the population aged 4-10 years, so the growth rate of the younger age groups is unknown. However, it is necessary to know its growth rate for artificial breeding of whitefish and artificial reproduction. Linear and weight growth parameters according to the obtained data is similar for males and females, and the growth curve is almost linear. The maximum

age of males is eight years with the length of 47.7 cm and weight of 1399 g, for females the maximum age is 10 years with length of 57 cm and weight of 2498 g. Parameters have been estimated for the following equations: «length–weight» ( $W = 0.0055L^{3.2479}$ ), «length – scale radius» ( $R = 9.6724L + 1.5153$ ) and Bertalanffy equation for the linear ( $L = 95.1(1 - e^{-0.081(t-0.15)})$ ) and weight ( $W = 18148(1 - e^{-0.070(t-0.11)})^3$ ) growth. Large values of  $L_\infty$  and  $W_\infty$  depend on specific set of input data, which is not represented with species older than 10 years. Back calculations have been performed by means of special methodology which allows to eliminate the influence of the Rosa Lee phenomenon. In general, growth rate of all generations of whitefish is very similar, the differences in the length of the same age groups do not exceed 1-2 cm. Comparative analysis shows that the growth of whitefish in the Curonian Lagoon is similar to those of other populations of whitefish in the waters of the southern Baltic. It is shown that one-year old whitefish reach 8 g of weight, which correlates with weight obtained in conditions of artificial breeding of fry for about 180 days. The results can be used to estimate optimal time of release of artificially brought fry into the Curonian Lagoon that was obtained in conditions of artificial reproduction.

*whitefish, the Curonian Lagoon, individual growth rate, artificial reproduction, back calculations*

## ВВЕДЕНИЕ

Балтийский сиг являлся важным объектом промышленного рыболовства в Куршском заливе в течение всего послевоенного периода вплоть до начала 1980-х годов, когда запасы и уловы его начали резко снижаться. В связи с этим, начиная с 1985 г., был введен мораторий на специализированный промысел сига, который, однако, не привел к заметному увеличению его численности. С целью восстановления запаса на Куршской косе в 2009 г. был запущен в эксплуатацию экспериментальный рыбоводный цех ФГБУ «Запбалтрыбвод» с плановой мощностью 150 тыс. шт. подрощенной молоди [1]. Технологический процесс основывался на инкубации икры и выращивании молоди в установке замкнутого водоснабжения (УЗВ) с подпиткой из подземного источника.

Предполагалось, что выпуск будет осуществляться по достижении навески сига от 2 до 10 г. Однако как первая, так и вторая цифры не были подкреплены никакими биологическими данными. Это связано с тем, что в Куршском заливе сиг присутствует только в течение короткого нерестового периода (ноябрь–декабрь) и представлен исключительно половозрелыми особями в возрасте более четырех лет [2], составляющими нерестовое стадо. Размеры младших рыб неизвестны, как не установлены и точный возраст и размеры, при которых сиг покидает залив и мигрирует в Балтийского море. Имеются лишь отрывочные сведения 1960-х годов о единичном случае поимки сеголетков длиной 8.7 см, массой 7.1 г и двухлетков длиной 19.1 см в литовской части залива [3].

В связи с этим появилась необходимость изучения индивидуального роста сига не только для его биологической характеристики, но и для оценки размерно-весовых показателей младших возрастных групп сига и определения оптимальной навески выпускаемой при искусственном воспроизводстве молоди.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Материалом для настоящей работы послужили исследования, проведенные в период 2008-2014 гг. в Куршском заливе. Лов рыбы осуществлялся во время заготовки производителей сига на нерестилищах с использованием ставных жаберных сетей из мононити с шагом ячеи 50-55 м. После использования в рыбоводных целях рыба подвергалась полному биологическому анализу с взятием чешуи для определения возраста и проведения обратных расчислений. Общий объем собранного материала – 1026 экз.

Оценка размерно-весовых показателей младших возрастных групп (до четырех лет), которые не присутствуют в уловах, осуществлялась методом обратных расчислений по методике С. В. Шибаева [4], суть которой заключается в следующем. Принимается, что зависимость между радиусом чешуи ( $R$ ) и длиной рыбы ( $L$ ) описывается линейным уравнением вида

$$R = a + bL, \quad (1)$$

параметры уравнения ( $a$ ,  $b$ ) легко находятся методом наименьших квадратов.

Параллельно с определением общего радиуса чешуи у каждой рыбы проводится измерение радиусов всех годовых колец, по которым с помощью уравнения (1) можно ретроспективно рассчитать длину рыбы в каждом возрастном периоде.

Проблема прямого использования данного уравнения заключается в том, что в полевых условиях, как правило, невозможно взять чешую каждой рыбы точно на одном и том же участке тела (обычно под спинным плавником выше боковой линии), и оказывается, что рыбы одного и того же размера могут иметь чешую разного диаметра. Это приводит к тому, что в ряде случаев расчет по уравнению (1) длины младших рыб дает отрицательные значения, что невозможно.

Решение данной проблемы может быть следующим. Примем, что изменение радиуса чешуи проходит прямо пропорционально линейному росту рыбы, т. е. коэффициент  $b$  является некоторой константой. Тогда для каждой особи, исходя из радиуса ее чешуи, взятой для проведения обратных расчислений, определяется индивидуальная величина коэффициента  $a'$ :

$$a' = R - bL, \quad (2)$$

которая затем используется при расчете длины в каждом возрасте  $t$  по радиусу соответствующего годового кольца  $R_t$ :

$$L_t = \frac{R_t - a'}{b}. \quad (3)$$

Данный подход позволяет не только нивелировать влияние вариабельности радиуса чешуи у одноразмерных особей, но и снижает влияние феномена Розы Ли. Заметим, что в специальных исследованиях роста сига с помощью обратных расчислений использовались другие виды зависимостей «длина-радиус чешуи», например, степенной [5, 6], однако это не имеет принципиального значения для расчетов, так как адекватный вид функции должен подбираться исходя из получаемого значения коэффициента корреляции.

Оценка роста сига в искусственных условиях проводилась путем контрольных взвешиваний в процессе выращивания. С этой целью использовались рыбоводные показатели работы экспериментального рыбоводного цеха за период 2012-2014 гг.

В расчетах применялись промысловая длина  $L$  (от конца рыла до конца чешуйного покрова на хвостовом плавнике) и общая масса  $W$ . Измерение годовых колец для последующих обратных расчислений проводились по переднему радиусу чешуи.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Натурные наблюдения, проведенные в период заготовки производителей, показывают, что нерестовое стадо сига Куршского залива представлено особями возрастом от четырех до десяти лет, длиной от 31 до 57 см и массой от 532 до 2498 г (табл. 1). В целом рост происходит по закону, близкому к линейному без обычного для рыб заметного замедления приростов в старших возрастах (рис. 1). Данное обстоятельство, очевидно, связано с коротким возрастным рядом, который подвергался исследованиям. Поэтому можно считать, что представленные данные в целом характеризуют не собственно линейный или весовой рост, а лишь размерно-возрастные показатели некоторых возрастных групп. Такая ситуация является типичной для полупроходного сига бассейна Балтийского моря [8, 11]. Максимальный возраст самцов составляет восемь, самок – 10 лет. Заметного различия в темпе как линейного, так и весового роста самок и самцов до восьмилетнего возраста не отмечено. Это позволяет в дальнейшем использовать одно и то же уравнение роста без разделения по полам.

Зависимость длина-масса сига ( $LWR$ ) описывается обычной степенной функцией

$$W = w_0 L^{w_1}, \quad (4)$$

параметры которой равны  $w_0 = 0.0055$  и  $w_1 = 3.2479$  ( $r = 0,99$ ) (рис. 2, а) и в дальнейшем будут использованы для пересчета. Заметим, что значения их определены на основе аппроксимации данных, полученных из двух источников - биологического анализа особей, отловленных в процессе заготовки производителей, и анализа мелких рыб, выращенных в искусственных условиях. Таким образом, эти коэффициенты отражают связь «длина-масса» для всего онтогенеза, что было бы невозможно при использовании только материалов контрольных обловов.

Аппроксимация зависимости «длина-радиус чешуи» по уравнению (1) показала высокую силу связи при значениях коэффициентов  $a = 0.0836$ ,  $b = 0.0978$  и коэффициенте линейной корреляции  $R = 0.97$  (рис. 2, б).

Таблица 1. Размерно-весовые характеристики сига Куршского залива по наблюдаемым данным

Table 1. Length and weight characteristics of whitefish in the Curonian Lagoon according to the observed data

Возраст	Длина, см			Масса, г			Кол-во, шт.
	x	a	std	W	A	std	
1	2	3	4	5	6	7	8
Самки							
4	34,0	0,00	0,00	962	0	0	1

Окончание табл. 1  
The end of tabl. 1

1	2	3	4	5	6	7	8
5	36,7	0,42	1,48	787	26	94	49
6	40,3	0,29	2,07	967	30	212	197
7	43,9	0,46	2,68	1194	45	263	131
8	48,9	0,76	2,27	1687	119	353	34
9	51,6	0,85	1,44	1926	201	340	11
10	57,0	0,00	0,00	2498	0	0	1
Самцы							
4	31,1	0,80	1,16	478	111	161	8
5	36,8	0,20	1,29	733	18	114	154
6	39,6	0,15	1,41	868	15	136	331
7	42,0	0,41	2,03	1059	51	251	92
8	47,7	2,58	2,94	1399	96	110	5
Оба пола							
4	31,5	0,94	1,45	532	140	215	9
5	36,8	0,19	1,40	748	16	119	211
6	39,9	0,16	1,90	903	15	174	526
7	43,1	0,34	2,63	1142	35	270	227
8	48,7	0,79	2,55	1661	111	358	40
9	49,4	2,71	4,78	1771	248	439	12
10	57,0	0,00	0,00	2498	0		1

Обозначения:  $\bar{x}$  – средняя длина;  $a$  – доверительный интервал ( $P=0.95$ );  $std$  – стандартное отклонение.

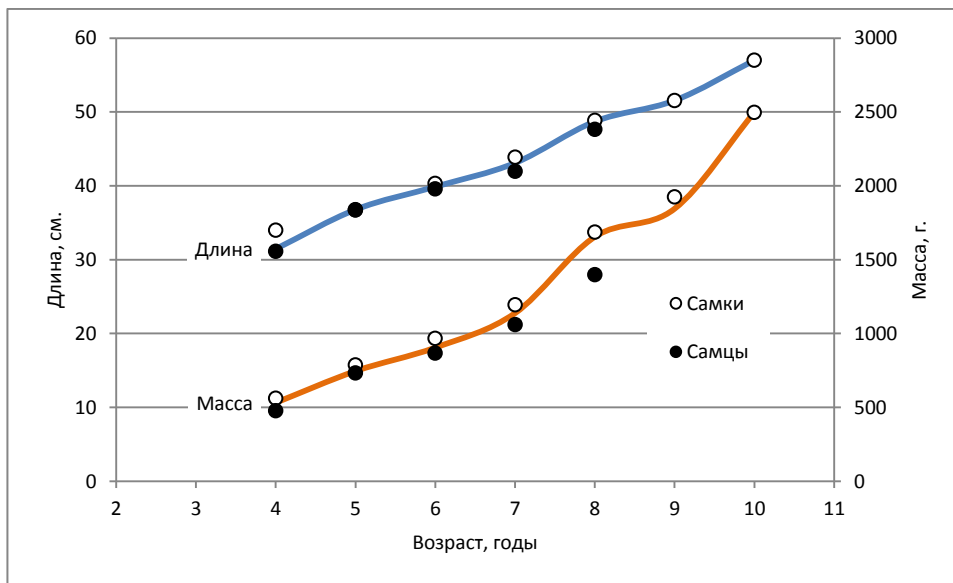


Рис. 1. Линейный и весовой рост сига по наблюдаемым данным  
Fig. 1. Linear and weight growth of whitefish in the Curonian Lagoon

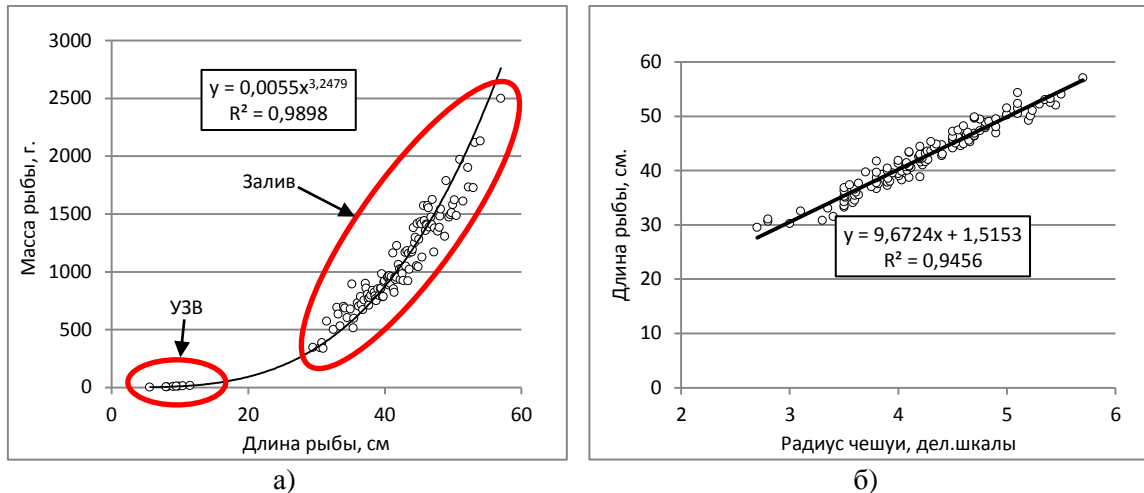


Рис. 2. Зависимость «длина-масса» (а) и «радиус чешуи-длина» (б) для сига Куршского залива

Fig. 2. Correlation «length–weight» (a) and «scale radius–body length» (b) for the whitefish of the Curonian Lagoon

### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Полученные параметры уравнений были использованы для проведения обратных расчислений роста сига в процессе онтогенеза. При этом весь набор данных был сгруппирован по поколениям и определены средние значения длины для каждой возрастной группы (табл. 2). Установлено, что ретроспективно в среднем годовики сига достигали длины 9.0 см с колебаниями для разных поколений от 8 до 10 см. С возрастом длина рыб увеличивается со сравнительно небольшим замедлением и к десяти годам достигает 55 см. Обращает на себя внимание тот факт, что для всех поколений характер роста очень сходен: различия в длине одновозрастных особей составляют всего 2-3 см для младших возрастных групп и 3-5 – для старших. Более высокий темп роста наблюдался для поколений 2000-2004, низкий – 2005-2008 годов рождения. Причина этого может быть связана с различными термическими условиями конкретного года, однако для ее изучения нужны более длинные ряды наблюдений.

Полученные результаты роста поколений были использованы для определения параметров линейного роста уравнения Бергаланфи (VBE):

$$L = L_{\infty}(1 - e^{-K(t-t_0)}). \quad (5)$$

Расчет дал довольно неожиданные значения коэффициентов:  $L_{\infty} = 95.1$ ;  $K = 0.081$ ;  $t_0 = 0.15$ , а именно, предельной длины  $L_{\infty}$ . Данное значение ни в коей мере не отражает фактическую максимальную длину сига в естественных водоемах, как это полагают многие исследователи. Константа  $L_{\infty}$  есть лишь асимптота уравнения, полученная на основании аппроксимации фактических значений длин рыбы в различных возрастах [7]. Первичные данные свидетельствуют о том, что рост сига близок к линейному с очень небольшим замедлением в процессе старения, что и обуславливает получение столь большого значения коэффициента  $L_{\infty}$ .

Несмотря на это, уравнение Берталанфи хорошо аппроксимирует эмпирические данные с ошибкой не более 1.8%.

Таблица 2. Линейный рост поколений сига по данным обратных расчислений, см Table 2. Linear growth rate of different generations of whitefish according to the data of back calculation, cm

Поколение, годы	Возраст, лет									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1995	9,4	15,6	22,2	28,8	35,3	40,0	44,6			
1996	9,7	15,5	22,0	28,4	34,6	40,0				
2000	10,8	16,7	22,8	29,8	35,5	40,6	45,3	48,7		
2001	10,1	16,0	22,8	29,3	35,0	40,4	44,8			
2002	10,0	15,8	22,3	28,6	34,5	40,1	42,6	46,4	49,8	55,0
2003	10,3	16,3	22,8	29,3	34,8	37,9	42,6	46,5	51,5	
2004	9,0	15,0	21,1	27,5	33,2	38,7	42,8	47,9	50,5	
2005	8,7	14,7	20,6	26,8	32,6	37,5	41,1	47,0		
2006	8,6	14,8	20,9	27,3	33,1	38,0	40,8	46,0		
2007	8,8	15,0	21,1	27,0	32,8	37,2	40,4			
2008	8,8	15,0	21,7	28,1	33,9	38,7				
2009	10,2	16,9	23,4	29,8	35,9					
Среднее	9,0	15,1	21,4	27,6	33,4	38,2	42,0	47,2	50,1	55,0

Используя параметры уравнения связи (4) «длина-масса», данные по линейному росту были преобразованы в значения весового роста, по которым определены многолетние значения массы особи в каждой возрастной группе для различных поколений (табл. 3). Как видно, в среднем годовики достигают массы 8,5 г с колебаниями от 6,0 до 12,3 г.

С целью теоретического анализа весового роста сига серия полученных кривых для поколений была аппроксимирована уравнением Берталанфи

$$W = W_{\infty} (1 - e^{-K(t-t_0)})^3. \quad (6)$$

Получены следующие значения коэффициентов:  $W_{\infty}=18148$  г;  $K=0,070$ ;  $t_0=-0,11$ ; ошибка аппроксимации – 1.2%. Нетрудно заметить, что на графике (рис. 3) кривая весового роста сига имеет форму восходящей кривой без заметного перегиба в зоне возрастов, близких к наступлению половозрелости. Этим и объясняется значение предельной массы, значительно превышающее реально наблюдаемые в природе величины. Как было описано выше, применительно к линейному росту, данная особенность связана со спецификой исходных данных.

Следует обратить внимание еще на одну особенность полученных коэффициентов уравнения Берталанфи. Теоретически коэффициенты  $K$  и  $t_0$  должны быть одинаковы для линейного и весового роста. Однако это справедливо только в случае наличия кубической зависимости «длина-масса». Для сига Куршского залива данная зависимость несколько отличается от изометрической, и степенной коэффициент в уравнении (4) равен 3,24. В результате коэффициенты уравнения Берталанфи получены различные.

Таблица 3. Весовой рост поколений сига по данным обратных расчислений, г  
 Table 3. Weight growth rate of different generations of whitefish according to the data of back calculation, g

Поколение, годы	Возраст, лет									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1995	8,0	41	130	301	587	877	1251			
1996	8,9	41	126	29 0	547	882				
2000	12,3	51	141	337	595	925	1319	1661		
2001	10,2	45	141	318	570	905	1265			
2002	9,7	43	131	296	541	883	1078	1422	1790	2471
2003	10,8	47	141	320	560	738	1078	1429	1996	
2004	7,0	37	110	260	481	788	1095	1575	1873	
2005	6,2	34	101	239	451	715	956	1483		
2006	6,0	35	107	255	474	743	937	1383		
2007	6,4	36	110	245	459	694	909			
2008	6,4	36	120	278	514	787				
2009	10,5	54	155	338	619					
Среднее	8,5	42	126	290	533	812	1099	1492	1886	2471

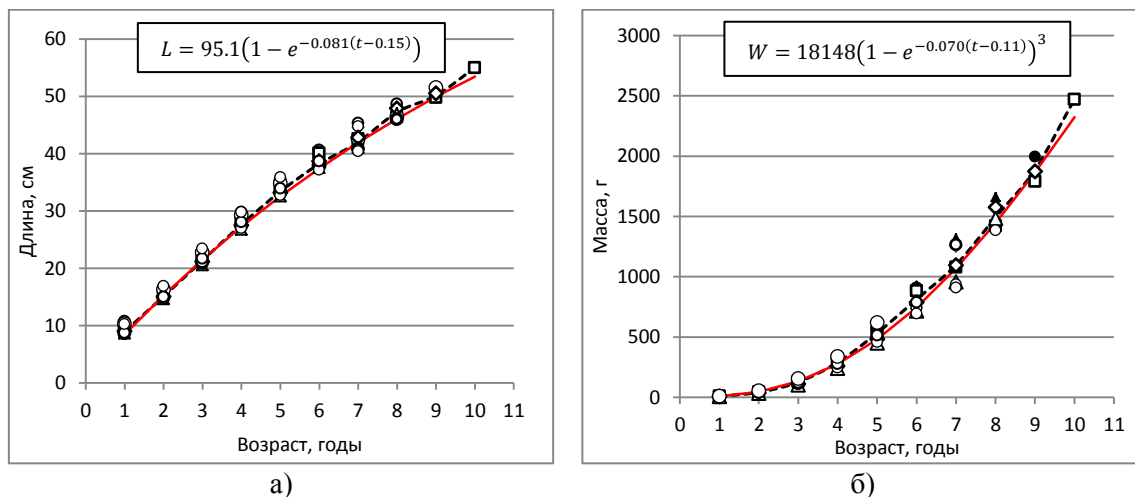


Рис. 3. Параметры уравнения Берталанфи для линейного (а) и весового (б) роста сига Куршского залива

Fig. 3. Bertalanffy's equation for linear (a) and weight (b) growth rate of whitefish from the Curonian Lagoon

С целью установления популяционного статуса сига Куршского залива проведем сравнительный анализ особенностей роста проходного сига в водоемах Южной Балтики. Исследования роста сига в процессе онтогенеза проводились рядом авторов применительно к водоемам Польши [8-11], однако в их исследованиях использовалась общая длина рыбы ( $L_z$ ). С целью получения возможности сопоставления длин, нами были определены параметры уравнения зависимости между промысловой и общей длиной ( $L_z = 1.0372L + 3.6628$ ;  $R = 0.98$ ) и все данные приведены к общей длине (табл. 4). Как видно из таблицы, несмотря на довольно



большие колебания, рост сига достаточно сходен во всех водоемах Южной Балтики, лишь размерные показатели эстуария Одера значительно превосходят остальные. На наш взгляд, это может быть связано со спецификой методики определения возраста, но не собственно с характером роста сига.

Таким образом, сравнительный анализ показывает, что результаты обратных расчислений отражают реальные закономерности роста сига Куршского залива, который в целом сходен с данной характеристикой в других водоемах.

Таблица 4. Линейный рост сига в различных водоемах Польши [8] и Куршском заливе (общая длина), см

Table 4. Linear growth rate of whitefish in Polish lakes [8] and the Curonian lagoon (total length), cm

Водоем	Возраст, годы									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Goldopiwo	13,7	27,5	35,5	39,6	42,6					
Wielewskie	12,1	18,8	25,1	31,1	35,6	39,5	42,6			
Zagananie	11,2	18,5	24,2	28,7	31,6	34,6	36,6	35,9		
Brzezno	13,1	20,2	30,0	35,6	38,5					
Dgal Wielki	14,9	27,0	35,0	40,8						
Gorzyn	10,9	19,1	27,1	35,5	39,6	42,6				
Tuczno	14,8	23,5	31,0	35,0	39,0	43,0				
Wdzydze	11,9	20,8	26,6	31,6	34,3	37,7	39,2	40,9		
Pomeranian Bay	18,0	29,8	38,2	44,5	48,5					
Oder estuary	22,4	32,4	41,2	48,6	55,0	60,6	64,7	68,6		
Куршский залив (наши данные)	13,0	19,3	25,9	32,3	38,3	43,3	47,2	52,7	55,7	60,7

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные характеристики линейного и весового роста сига Куршского залива позволяют не только установить его общие закономерности и получить параметры уравнения роста Берталанфи, но и решить прикладную задачу, касающуюся определения оптимальной навески выпускаемой молоди при искусственном воспроизводстве.

Согласно обратным расчислениям роста, сиг возрастом один год может иметь длину от 8,7-10,8 см (в среднем 9,0 см) и массу 6,0-12,3 г (в среднем 8,5 г). Сравнивая эти результаты с приведенными выше данными И. Манюкаса [3], можно сделать два вывода: 1) данные обратных расчислений очень хорошо совпадают с результатами прямых наблюдений; 2) установленная нормативная навеска выпускаемой молоди, равная 10 г, является явно завышенной, так как превосходит массу особи, при которой сиг естественным путем мигрирует из Куршского залива в Балтийское море. Достижение этой навески при искусственном выращивании требует около 180 дней, т. е. до сентября. В этот период сеголетки сига естественного нереста уже находятся в море или в районе Клайпедско-

го пролива. Следовательно, выпуск молоди навеской 10 г хотя теоретически и повышает промысловый возврат, но не согласуется с биологией данного вида рыбы.

Принятая в настоящее время навеска выпускаемой молоди, равная 1-2 г, в большей степени соответствует естественному ходу развития сига. Данной массы при выращивании в искусственных условиях в УЗВ особи достигают к маю-июню, поэтому после выпуска у молоди имеется достаточное время для адаптации к условиям залива и миграции в направлении моря вместе с сеголетками естественного нереста [12].

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Осадчий, В. М. О состоянии естественного и искусственного воспроизводства европейского сига в Куршском заливе Балтийского моря / В. М. Осадчий, О. А. Поляков, Л. В. Шибаев // Рыбное хозяйство. – 2011. – №6. – С. 72-73.
2. Шибаев, Л. В. Характеристика нерестового стада сига (*Coregonus lavaretus* L.) Куршского залива / Л. В. Шибаев, Е. В. Шпокайте // Известия Калининградского государственного технического университета. – 2014. – №32. – С. 91-98.
3. Манюкас, И. Ихтиофауна, состояние запасов и промысел рыб в заливе Куршю Марес / И. Манюкас // Куршю Марес. – Вильнюс, 1959. – С. 293-402.
4. Шибаев, С. В. Рост, баланс энергии и обеспеченность пищей леща Чесбоксарского водохранилища / С. В. Шибаев // Сб. науч. трудов ГосНИОРХ. – 1987. – Вып. 267. – С. 93-109.
5. Зубова, Е. М. Морфология чешуи и роста сига *Coregonus lavaretus* (*Coregonidae*) Йокостровской Имандры / Е. М. Зубова, Н. А. Кашулин // Вестник МГТУ. – 2014. – № 17. – С. 139-152.
6. Зубова, Е. М. Линейный рост европейского сига *Coregonus lavaretus* (L.) в антропогенно-модифицированных водоемах европейской субарктики (на примере Мурманской области): дис... канд. биол. наук: 03.02.08 / Зубова Елена Михайловна. – Пермь, 2015. – 223 с.
7. Шибаев, С. В. Промысловая ихтиология / С. В. Шибаев. – Калининград: ООО «Аксиос», 2014. – 535 с.
8. Czerniejewski, P; Rybczyk, A. Growth rate and condition of a population of migratory common whitefish, *Coregonus lavaretus* (L.), from Oder estuary waters // Arch. Pol. Fish., 2010. - 18: 25-32.
9. Szczepkowski M., Szczepkowska B., Krzywosz T., Wunderlich K., Stabinski R. Growth rate and reproduction of a brood stock of European whitefish (*Coregonus lavaretus* L.) from Lake Ga<sup>3</sup>aduoie under controlled rearing conditions // Arch. Pol. Fish., 2010. - 18: 3-11.
10. Falkowski S., Wo<sup>3</sup>os A. 2007 – Whitefish, *Coregonus lavaretus* (L.), in the fisheries management of Lake Go<sup>3</sup>dopiwo (Northeastern Poland) from 1950 to 2005 – Arch. Pol. Fish. 15: 103-116.
11. Martyniak A., Hliwa P., Kozłowski J., Wziatek B., Heese T., Sobocki M. Some aspects of the anadromous population of whitefish (*Coregonus lavaretus lavaretus*) from lake Lebsko (Northern Poland) // Arch. Pol. Fish., 2004. - 12: 51-59.

12. Шибаев, Л. В. Нерестовый ход сига в Куршском заливе и влияние на него температурных условий года / Л. В. Шибаев, С. В. Шибаев // Рыбное хозяйство. – 2012. – С. 79-81.

#### REFERENCES

1. Osadchij V.M., Poljakov O.A., Shibaev L.V. O sostojanii estestvennogo i iskusstvennogo vosproizvodstva evropejskogo siga v Kurshskom zalive Baltijskogo morja [On natural and artificial reproduction of European whitefish in the Curonian Lagoon of the Baltic Sea]. *Rybnoe hozjajstvo*, 2011, no. 6, pp. 72-73.

2. Shibaev L.V., Shpokajte E.V. Harakteristika nerestovogo stada siga (*Coregonus lavaretus* L.) Kurshskogo zaliva [Characteristics of a spawning population of whitefish (*Coregonus lavaretus* L.) in the Curonian Lagoon]. *Izvestija Kaliningradskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta*, 2014, no. 32, pp. 91-98.

3. Manjukas I. Ihtiofauna, sostojanie zapasov i promysel ryb v zalive Kurshju Mares [Ichthyofauna, stock status and fishing in Kuršių marios]. *Kurshju Mares. Vil'njus*, 1959, pp. 293-402.

4. Shibaev S.V. Rost, balans jenergii i obespechennost' pishhej leshha Cheboksarskogo vodohranilishha [Growth, energy balance and food supply of the bream in the Cheboksary Reservoir]. *Sbornik nauchnyh trudov GosNIORH*, 1987, no. 267, pp. 93-109.

5. Zubova E.M., Kashulin N.A. Morfologija cheshui i rosta siga *Coregonus lavaretus* (*Coregonidae*) Jokostrovskoj Imandry [Scale morphology and growth rate of whitefish *Coregonus lavaretus* (*Coregonidae*) of the Yokostrovskaya Imandra]. *Moscow, Vestnik MGTU*, 2014, no. 17, pp. 139-152.

6. Zubova E.M. *Linejnyj rost evropejskogo siga Coregonus lavaretus (L.) v antropogenno-modificirovannyh vodoemah evropejskoj subarktiki (na primere Murmansknoj oblasti)*. *Diss. kand biol. nauk* [Linear growth of the European whitefish *Coregonus lavaretus* (L.) in the man-modified reservoirs of the european subarctic zone (by the example of the Murmansk region). *Dis. cand. boil. sci.*]. Perm', 2015, 223 p.

7. Shibaev S.V. *Promyslovaja ihtologija* [Fishery ichthyology]. Kaliningrad, OOO «Aksios», 2014, 535 p.

8. Czerniejewski P., Rybczyk A. Growth rate and condition of a population of migratory common whitefish, *Coregonus lavaretus* (L.), from Oder estuary waters. *Arch. Pol. Fish.*, 2010, no. 18, pp. 25-32.

9. Szczepkowski M., Szczepkowska B., Krzywosz T., Wunderlich K., Stabinski R. Growth rate and reproduction of a brood stock of European whitefish (*Coregonus lavaretus* L.) from Lake Gaaduo under controlled rearing conditions. *Arch. Pol. Fish.*, 2010, no. 18, pp. 3-11.

10. Falkowski S., Woos A. 2007 – Whitefish, *Coregonus lavaretus* (L.), in the fisheries management of Lake Godopiwo (Northeastern Poland) from 1950 to 2005. *Arch. Pol. Fish.*, no. 15, pp. 103-116.

11. Martyniak A., Hliwa P., Kozłowski J., Wziątek B., Heese T., Sobocki M. Some aspects of the anadromous population of whitefish (*Coregonus lavaretus* L.) from lake Lebsko (Northern Poland). *Arch. Pol. Fish.*, 2004, no. 12, pp. 51-59.

12. Shibaev L.V., Shibaev S.V. Nerestovyy hod siga v Kurshskom zalive i vlijanie na nego temperaturnyh uslovij goda [Spawning run of the whitefish in the Curonian Lagoon and influence of temperature conditions on it]. *Rybnoe hozjajstvo*, 2012, pp. 79-81.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Шibaев Леонид Вадимович* – Западно-Балтийское бассейновое управление по рыболовству и сохранению водных биологических ресурсов, пос. Лесное; директор экспериментального рыбоводного цеха; E-mail: shibaev.lv@gmail.com

*Shibaev Leonid Vadimovich* – West-Baltic Basin Authority for Fisheries and Conservation of Aquatic Biological Resources, Lesnoe settlement; Director of the experimental fish-breeding department; E-mail: shibaev.lv@gmail.com

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

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

*Мычкова Алена Валерьевна* – Калининградский государственный технический университет; аспирант; E-mail: alena\_mychkova@mail.ru

*Mychkova Alena Valerievna* – Kaliningrad State Technical University; PhD student; E-mail: alena\_mychkova@mail.ru

УДК 664.951.32 (07)

ТЕХНОЛОГИЯ СЫРОКОПЧЕННЫХ ПРОДУКТОВ ИЗ МЯСА  
ПТИЦЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ФИТОКОМПОЗИЦИЙ

Т. С. Исакова, О. Я. Мезенова

TECHNOLOGY OF SMOKED POULTRY PRODUCTS  
USING PHYTOCHEMICALS

T. S. Isakova, O. Ja. Mezenova

Птицеводство и переработка птицы активно развиваются в Калининградской области. Однако ассортимент продукции из птицы ограничен, практически отсутствуют сырокопченые изделия. Актуальны разработка новых видов продукции и выпуск цельномышечных сырокопченных деликатесных изделий из птицы с применением новых бактериальных препаратов и фитокомпозиций. Компоненты растений в виде натуральных экстрактов и настоек обладают специфическими вкусо-ароматическими характеристиками, антиоксидантными, антисептическими, структурообразующими и функциональными свойствами, содержат красящие составляющие, многие вещества растений являются биологически активными. На примере обработки охлажденных куриных грудок обосновано совершенствование традиционной технологии сырокопченных изделий с использованием при посоле бактериального препарата ПБ – МП на основе молочнокислых бактерий, бифидобактерий, настоек и бальзама лекарственных трав. Исследовано влияние фитокомпонентов и факторов технологии на активность различных ферментов заквасок, обосновано рациональное соотношение микроорганизмов в комплексной закваске. Предложен состав посолочной смеси для инъекции в мясо птицы перед копчением. Разработана технологическая схема изготовления сырокопченных изделий из птицы, обогащенных фитокомпонентами. Проведены сравнительные гистологические исследования мяса, выявившие структурные изменения в тканях птицы. Определены показатели качества опытной и контрольной продукции. Установлены улучшение органолептических и реологических характеристик экспериментальных изделий, интенсификация обезвоживания и снижения показателей рН и активности воды, рост усвояемости и биологической ценности белков, содержания полиненасыщенных жирных кислот и выхода готовой продукции. Обоснован срок годности и безопасности изделий, составивший 40 сут. На продукцию и процесс изготовления разработана техническая документация.

*сырокопченые продукты, продукты из мяса птицы, бактериальные препараты, фитокомпоненты, ферменты, перевариваемость, биологическая ценность*

Poultry production and processing is being actively developed in the Kaliningrad region. However, range of poultry products is limited. Development of new products and release of whole muscle smoked specialities using new bacterial preparations and phytochemicals is of great interest. The components of plants in the form of natural ex-

tracts and infusions have specific flavour, antioxidant, antiseptic, and structural and functional properties, contain colouring components; many plant substances are biologically active. The paper justifies improving of conventional technology of making smoked products using bacterial preparation PB - MP based on lactic acid bacteria and bifidus bacteria, infusion and medicinal herbs balm through the example of chilled chicken breasts. The influence of phytocomponents and technological factors on the enzyme activity of starter cultures has been studied, and a rational correlation between microorganisms in complex leaven has been tested. Composition of a curing mixture to be injected into the meat of poultry before smoking has been substantiated. The technological scheme of the manufacturing of uncooked poultry products enriched with phytocomponents has been elaborated. Comparative histological studies of the structure of meat have been made. Quality of experimental and control products has been appraised. Improvement of organoleptic and rheological properties of experimental products, intensification of dehydration and decrease of pH and water activity, increased digestibility and biological value of proteins as well as increased content of polyunsaturated fatty acids and yield of finished products has been established. Shelf life and safety of products within 40 days has been substantiated. Technical documentation of the products has been developed.

*smoked foods, poultry products, bacterial preparations, phytocomponents, enzymes, digestibility, biological value*

## ВВЕДЕНИЕ

Птицеперерабатывающая отрасль активно развивается в Калининградском регионе, расширяется ассортимент продукции из мяса птицы. Однако деликатесных продуктов, в частности сырокопченых изделий, на потребительском рынке практически нет. Этот факт обусловил актуальность настоящих исследований, посвященных разработке технологии сырокопченых цельномышечных изделий из куриного мяса путем применения новых стартовых культур и фитокомпозиций.

Изготовление сырокопченых продуктов включает посол мяса с его ферментацией стартовыми культурами, копчение и сушку [1, 2]. При этом идут процессы созревания, включающие физико-химические и биохимические изменения мяса, осуществляемые под воздействием соли, ферментов сырья и микрофлоры, коптильных и фитокомпонентов, обезвоживания, обуславливающие формирование характерных аромата, вкуса, цвета и консистенции [3, 4].

Применение растительного сырья эффективно при изготовлении копченых мясных и рыбных изделий [3, 4]. Фитокомпоненты обогащают коптильные среды и готовые продукты биологически активными компонентами, многие из которых технологически и биологически функциональны: флавоноидами, эфирными маслами, органическими кислотами, алкалоидами, гликозидами, сапонинами, каротиноидами, катехинами и другими соединениями различной природы. Растительные природные комплексы проявляют в биологических системах вкусоароматические, антиокислительные, антимикробные, ингибирующие, катализирующие, упрочняющие и прочие эффекты. В технологии копченой рыбы фитокоптильные композиции с компонентами цветов липы, тысячелистника, зверобоя и других растений повышают сохранность ценных полиненасыщенных жирных кислот липидов (табл. 1) [5].

Таблица 1. Содержание жирных кислот (ЖК) в липидах леща холодного копчения, обработанного при посоле фитокомпозициями, мг/100 г сухого вещества smoked bream

Table 1. The content of fatty acids (FA) in lipids of smoked bream treated with phytochemicals

Жирная кислота (ЖК)	Экспериментальные образцы, изготовленные при использовании фитокомпозиций							Контрольные образцы без фитокомпозиций
	можжевеловника	ромашки	календулы	мяты	липы	зверобоя	тысячелистника	
Насыщенные ЖК (НЖК)	4,0	3,0	2,8	3,0	4,3	3,3	3,8	4,0
% от суммы ЖК, в том числе:	31,2	31,0	31,5	33,8	34,0	31,1	32,2	34,4
12:0 (лауриновая)	0,1	0,2	-	-	-	0,1	-	-
14:0 (миристиновая)	3,3	3,3	3,5	4,0	3,5	3,2	3,5	3,8
15:0 (пентадекановая)	0,8	0,9	0,8	1,0	0,8	0,7	0,9	0,9
16:0 (пальмитиновая)	20,1	19,5	20,8	21,3	22,8	21,3	21,0	23,2
17:0 (маргариновая)	1,2	1,3	1,3	1,5	1,3	1,0	1,2	1,1
18:0 (стеариновая)	4,8	5,2	4,8	5,6	5,2	4,4	5,2	5,1
20:0 (арахидиновая)	0,4	0,4	0,3	0,4	0,4	0,3	0,4	0,3
22:0 (бегеновая)	0,5	0,2	-	-	-	0,1	-	-
Мононенасыщенные ЖК (МНЖК)	5,3	4,0	3,8	3,3	5,5	5,3	5,3	5,3
% от суммы ЖК, в том числе:	42,8	40,2	44,3	39,3	43,0	48,1	43,3	45,9
14:1 (миристолеиновая)	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3
16:1 (пальмитолеиновая)	10,5	8,8	11,7	9,2	10,9	14,5	10,5	10,4
18:1 (олеиновая)	25,2	23,9	26,1	23,1	25,3	26,9	25,5	29,4
18:1 (изомер)	6,0	6,3	5,4	5,5	5,5	5,6	6,3	4,9
20:1 (гадолеиновая)	0,9	1,0	0,8	1,2	1,0	0,8	0,8	0,9
Полиненасыщенные ЖК (ПНЖК)	3,3	3,0	2,0	2,3	3,0	2,3	3,0	2,3
% от суммы ЖК, в том числе:	26,0	28,8	24,2	26,9	23,0	20,8	24,5	21,4
18:2 (линолевая)	4,0	5,3	3,9	4,4	3,7	2,9	3,7	3,1
18:2 (октадиеновая)	0,4	0,4	0,6	0,4	-	0,4	0,4	0,6
18:3 (линоленовая)	2,8	3,4	2,3	2,9	2,8	1,8	2,7	2,1
18:4 (октадекатетраеновая)	0,3	0,4	0,4	0,3	0,3	0,2	0,5	0,2
20:2 (эйкозадиеновая)	1,6	1,6	1,2	1,9	1,5	1,2	1,7	1,6
20:4 (арахидиновая)	3,0	3,2	2,8	3,4	3,0	2,5	3,0	2,4
20:5 (эйкозапентаеновая)	6,6	7,4	7,2	6,6	5,7	6,2	6,6	5,8
22:5 (докозапентаеновая)	1,7	1,7	1,6	2,1	1,5	1,5	1,6	1,7
22:6 (докозагексаеновая)	5,6	5,4	4,2	4,9	4,5	4,1	4,3	3,9

Применение фитокомпозиций при копчении рыбы позволяет изготавливать продукцию с новыми вкусо-ароматическими свойствами, а также повышенной безопасности по содержанию биогенных аминов и полициклических ароматических углеводов [6]. Об эффективности использования водно-спиртовых настоев растений в технологии сырокопченых мясных изделий в части ферментации стартовыми культурами, обезвоживания и формирования качества готовой продукции свидетельствуют некоторые отечественные публикации [1, 7].

Целью работы являлось обоснование применения фитокомпозиций для изготовления деликатесных цельномышечных сырокопченых продуктов из мяса птицы при использовании заквасочных бактериальных комплексов.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследовании использовали бактериальный препарат ПБ - МП (производство ВНИИМП РАСХН, Москва), в состав которого входят молочнокислые микроорганизмы *L. plantarum*, *L. casei* и *Micrococcus varians* [8], бифидобактерии штамма *B. Bifidum* 791 (ГНЦ ВБ «Вектор», Новосибирск), а также настойки лекарственных трав «Шиповник на коньяке», «Кедровая падь» и «Гербамарин общеукрепляющий» (ОАО «Уссурийский бальзам» и Тихоокеанский институт биорганической химии ДВО РАН, Владивосток), не имеющие лекарственных оттенков или неприятного привкуса.

Экспериментальные образцы вырабатывали из охлажденного филе грудки цыплят-бройлеров (ЗАО «Михайловский бройлер», Приморский край). Определение органолептических, физико-химических и микробиологических показателей проводили по общепринятым методикам. Значения показателей биологической ценности белка определяли расчетным путем [9]. Переваримость белков в опытах *in vitro* определяли в модификации ВНИИМП РАСХН при последовательном воздействии на образцы пепсином и трипсином. Предельное напряжение сдвига (ПНС) оценивали с помощью пенетрометра ПМДМ. Определение состава жирных кислот проводили на газожидкостном хроматографе Newlett-Packard (США). Аминокислотный состав белка оценивали на высокоскоростном аминокислотном анализаторе.

Количество клеток бифидобактерий в разведении со стартовой культурой и в мясном сырье устанавливали методом предельных разведений в полужидкой среде *Vlaurok*, протеолитическую активность ферментов закваски – методом Ансона при гидролизе белка ферментом в течение 1 ч при 37° С [10].

Определение в фитокомпозициях содержания функциональных веществ (аскорбиновая кислота, флавоноиды) показало его соответствие уровням, характерным для водно-спиртовых настоев трав семейства *Labiatae*, используемых при производстве сырокопченых колбас по технологии МГУПБ [7].

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На первом этапе исследований фитокомпозиции вводили в состав рассола при посол птицы. Установили, что фитокомпоненты неоднозначно воздействовали на отдельные штаммы молочнокислых микроорганизмов, входящих в состав бакпрепарата ПБ – МП. Отмечено некоторое снижение эффективности роста *L. plantarum*, на развитие *L. casei* и *Micrococcus varians* настойки практически не оказывали влияния в течение всего периода культивирования.

При обосновании состава бакпрепаратов было установлено рациональное соотношение ПБ - МП и бифидобактерий, как 1:2. В связи с наибольшей активности ферментов закваски БПБ ее использовали в дальнейших исследованиях в модельных системах при изучении субстрат-ферментного взаимодействия, при этом в состав систем входили 1%-ный раствор казеината натрия и буферный раствор в соотношении 1:2. При определении рН-зависимости активности комплекса протеиназ препаратов готовили серию модельных систем с различным значением рН



буферного раствора в интервале от трех до семи. Анализ полученных зависимостей показывает, что протеиназы всех заквасок наиболее активно расщепляют казеинат натрия при значениях рН нейтральной области и близкой к ней, что соответствует рН мясного сырья. Рациональной концентрацией соли при приготовлении сырокопченых изделий из мяса птицы считали 1,2%.

При разработке заданной технологии на примере обработки грудной куриной мышцы были обоснованы рецептурные композиции рассолов (табл. 2) и операционная схема (рис. 1) изготовления сырокопченых изделий [10].

Создавая биотехнологическую схему (рис. 1), ориентировались на традиционное сочетание операций при производстве сырокопченых цельномышечных мясосопродуктов («посол – кратковременное копчение – сушка»). Сырье предварительно солили мокрым способом, инъецируя 6% рассола, в состав которого вводили пищевые ингредиенты, представленные в табл. 2.

Анализ динамики процесса изменения активной кислотности (показателя рН) и массовой доли воды в ходе приготовления сырокопченых продуктов из птицы различными способами (рис. 2, а и б) показал, что в экспериментальных контрольных образцах (с фитокомпозициями) изменение кислотности в сторону понижения значения рН и обезвоживание идут более интенсивно, чем в контрольных продуктах (без фитокомпонентов). Это можно объяснить как влиянием фитокомпонентов на активность ферментов бактериальных заквасок, что способствовало появлению свободных органических кислот в системе, так и непосредственным воздействием кислотных, фенольных, спиртовых и других компонентов растительного происхождения на белки мышечной ткани птицы, которые в результате быстрее гидролизировались и отдавали влагу при созревании и сушке. Установленные зависимости позволили обосновать интенсификацию процесса сушки в частности и производства сырокопченых изделий в целом.

Таблица 2. Рецептуры рассолов для посола грудной куриной мышцы в технологии сырокопченых цельномышечных изделий

Table 2. Recipes of curing brine for chicken chest muscle in the technology of smoked whole muscle products

Наименование компонента	Содержание компонента в рассоле, кг/100 кг сырья				
	Образец				
	№1	№2	№3	№4	№5
Стартовая культура ПБ-МП	0,05	0,025	0,05	0,05	0,05
Концентрат бифидобактерий	-	0,05	-	-	-
«Шиповник на коньяке»	-	-	0,4	-	-
Бальзам «Кедровая падь»	-	-	-	0,3	-
Бальзам «Гербамарин»	-	-	-	-	0,25
NaCl	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
NaNO <sub>2</sub>	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
Сахар	0,05	0,05	0,05	0,05	0,025
Вода	4,4	4,4	4	4,1	4,2
ИТОГО	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0

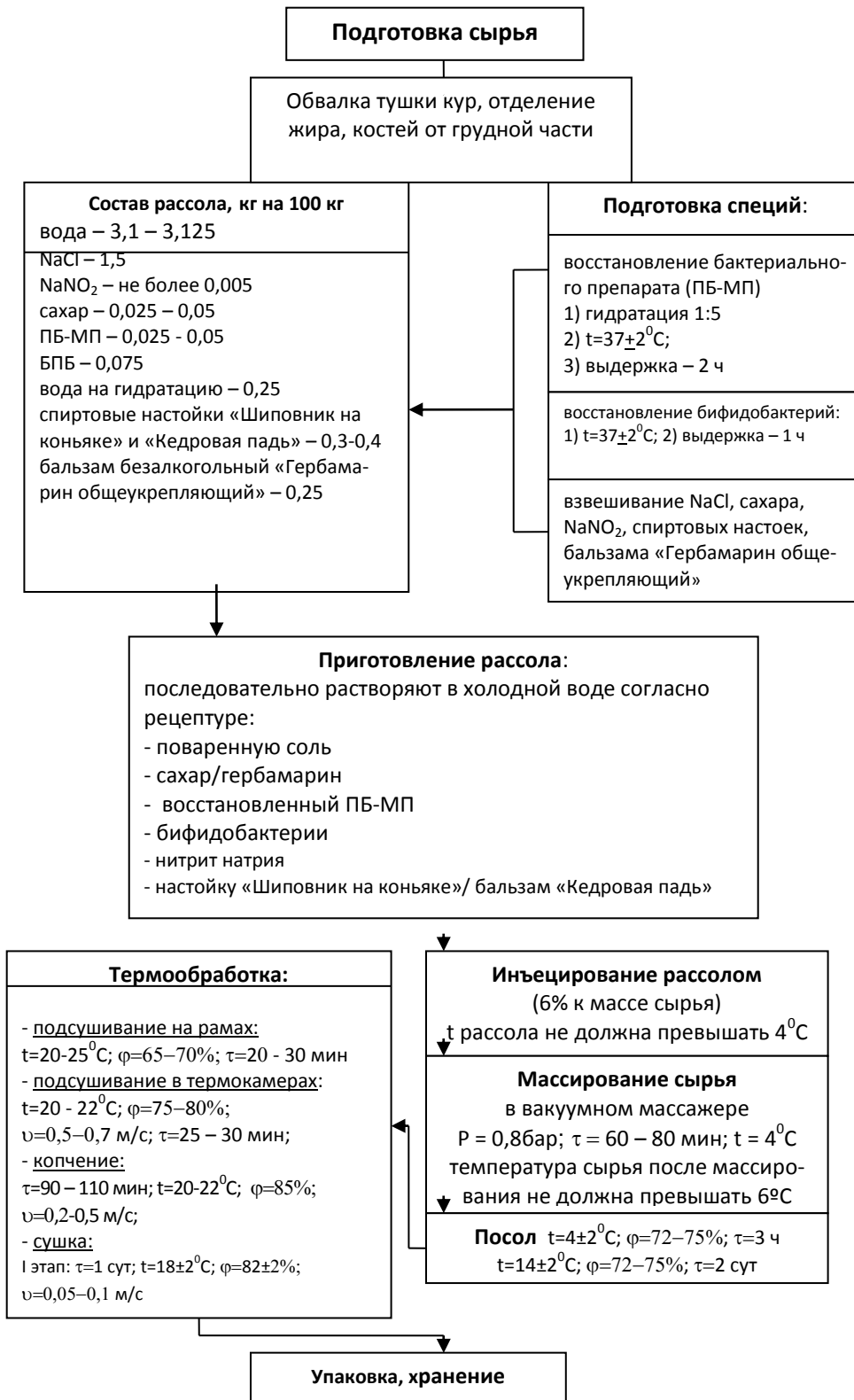


Рис. 1. Технологическая схема производства сырокопченых цельномышечных продуктов из мяса птицы

Fig. 1. Technological scheme of smoked whole muscle poultry products

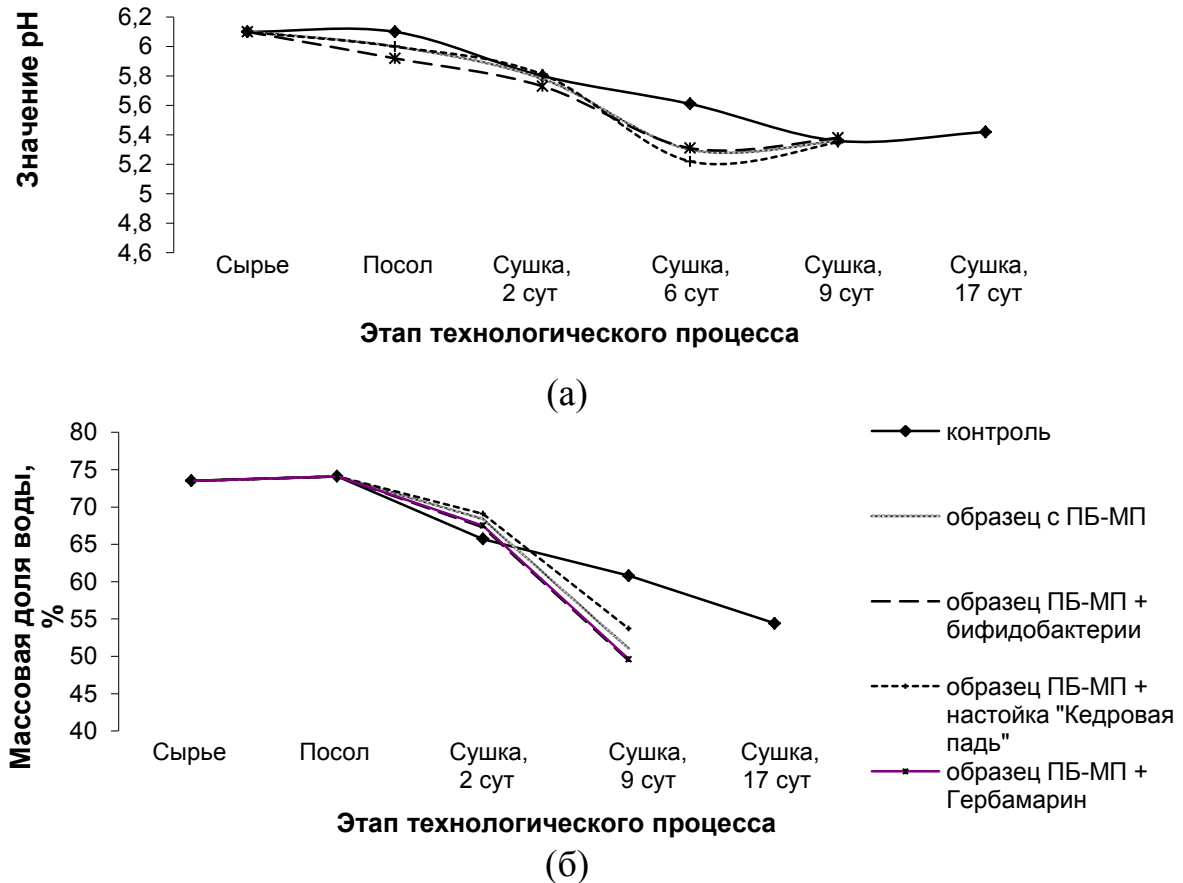


Рис. 2. Динамика изменений показателя рН (а), массовой доли воды (б) и в процессе изготовления сырокопченых изделий

Fig. 2. Dynamics of pH (a), water content (b) during the production of smoked products

Анализ качества полученных образцов сырокопченых изделий из мяса птицы (табл. 2) показал, что экземпляры с добавлением фитокомпонентов превосходили контрольные по органолептическим характеристикам, имели яркий цвет, мягкий вкус и специфический аромат, обогащенный приятными фитооттенками. По общему химическому составу образцы контрольных и опытных партий не имели принципиальных отличий и соответствовали количественным значениям стандартных нормативов, регламентированных для изделий данной группы.

Результаты исследований показали, что вводимые бакпрепараты и фитокомпозиции приводят к изменению рН, уменьшению показателя активности воды на 5-12% (0,791 – контроль; 0,756-0,721 – опытные образцы). Установлены факты интенсификации процесса обезвоживания, снижения его общей продолжительности и роста потенциальной хранимостепособности и стойкости продукции. Минимальные значения уровня активности воды ( $A_w$ ) имели сырокопченые изделия с использованием фитопрепаратов «Кедровая падь» и «Шиповник на коньяке».

Таблица 3 . Показатели качества и технологии сырокопченых цельномышечных продуктов из мяса птицы

Table 3. Indicators of quality and technology of smoked whole muscle poultry products

Показатель	Наименование образца					
	контроль	с добавлением				
		ПБ-МП	ПБ-МП + бифидобактерии	ПБ-МП + настойка «Шиповник на коньяке»	ПБ-МП + бальзам «Кедровая падь»	ПБ-МП + бальзам «Гербамарин общеукрепляющий»
Массовая доля, %						
Вода	48,6	51,0	51,4	52,1	53,7	54,4
Белок	36,0	35,0	34,3	37,2	36,7	35,6
Жир	4,0	4,0	4,1	4,0	4,0	4,1
Зола	0,81	0,82	0,84	0,9	1,0	1,0
NaCl	3,8	3,8	3,9	4,0	3,8	3,5
Витамины, мг/100 г:						
B <sub>1</sub>	0,21	0,185	0,19	0,21	0,21	0,22
B <sub>2</sub>	0,26	0,257	0,23	0,26	0,26	0,27
PP	9,40	9,35	9,38	10,03	9,84	11,23
ВУС, %	85,5	87,3	87,2	88,1	88,4	88,0
ПНС, кПа	54,4	55,7	56,7	58,1	57,9	59,0
pH	5,40	5,36	5,38	5,35	5,34	5,37
A <sub>w</sub>	0,791	0,766	0,757	0,702	0,721	0,743
Выход, %	57,4	59,5	59,9	60,0	62,1	61,1

Гистологический анализ мышечных волокон готового продукта показал, что совместное использование стартовых культур и настоек трав в технологии сырокопченых изделий из мяса птицы приводит к более выраженным изменениям морфологических элементов в мясном сырье, что, в свою очередь, положительно отражается как на показателях готовой продукции, так и процесса сушки.

Оценка биологической ценности продукции по аминокислотному составу белков продукции показала, что в пересчете на 100 г белка наблюдается незначительное снижение содержания незаменимых аминокислот в опытных образцах. Данный факт объясняется химическим взаимодействием компонентов дыма с аминокислотами мяса, число которых в процессе созревания увеличилось [3-5].

Использование стартовых культур и настоек способствовало накоплению ароматических аминокислот в мясе птицы, обуславливающих специфические вкус и аромат готовой сырокопченой продукции. В контрольном образце суммарное содержание фенилаланина и тирозина составило (г/100 г белка): 2,6, в образце с ПБ-МП – 3,54, с добавлением к ПБ-МП бифидобактерий – 3,52, с настойкой

«Шиповник на коньяке» - 3,58. Содержание серосодержащих аминокислот в опытных образцах также было выше (4,3 – 4,35 г/100г белка), чем в контрольном (2,19 г/100г белка). Преобладающими аминокислотами в исследуемых сырокопченых продуктах, изготовленных с использованием комбинированных стартовых культур и настойки «Шиповник на коньяке», являются аспарагиновая и глутаминовая кислоты, способствующие более быстрому снижению pH, формированию специфических вкусовых качеств продукта.

При расчете показателей биологической ценности белков, проведенном по данным их аминокислотного состава, установили, что коэффициент утилитарности аминокислотного состава максимален в образце с добавлением комбинированной закваски «ПБ - МП + бифидобактерии» (0,569), а минимален в контрольном изделии (0,528). Максимальное значение коэффициента рациональности аминокислотного состава также имеет образец с данной комбинированной закваской (2,46), минимальное - контроль (2,13).

Результаты экспериментов по определению скорости процесса переваримости белкового компонента сырокопченых продуктов из мяса птицы системой протеиназ «трипсин + химотрипсин + проназа» в опытах *in vitro* (табл. 3) свидетельствуют о небольшом увеличении перевариваемости белка в образцах с добавлением фитопрепаратов (настойки «Шиповник на коньяке») и достаточно заметном росте показателя перевариваемости белка при использовании бифидобактерий.

Таблица 4. Переваримость белкового компонента сырокопченых мясопродуктов в опытах *in vitro*

Table 4. Digestibility of the protein of smoked meat products in the experiments *in vitro*

Вид образца	Содержание белка, % от сухой навески			% расщепления*
	общего	остаточного	переваренного	
Контроль	28,8	10,85	17,94	62,3
ПБ-МП	29,4	9,83	18,97	64,52
ПБ-МП+ бифидобактерии	29,5	9,45	19,58	66,37
ПБ-МП + настойка «Шиповник на коньяке»	29,1	9,95	18,76	64,47

\* Определяется как отношение белка переваренного к общему белку

Исследование жирнокислотного состава липидов [7, 10] показало высокий уровень в готовых изделиях ненасыщенных жирных кислот (69 - 72,8%). Содержание полиненасыщенных жирных кислот класса омега-3 составило 32,2 - 33,3 %. По безопасности продукт соответствовал требованиям СанПиН 2.3.2.1078-01.

Обоснование срока годности новых видов сырокопченых мясопродуктов проводили при хранении в стандартных условиях (температура 4±2°С, влажность воздуха 75±5 %) в течение 60 сут, исследуя органолептические показатели, степень испарения влаги (усушку), pH, микробиологические характеристики. Установлено, что все экспериментальные образцы имели преимущественные относительно контроля характеристики в течение всего периода хранения. Рекомендованный срок годности продукции был определен 40 сут [10].

На новую продукцию разработана техническая документация (ТУ 9213-168-02067936-2008 «Изделия сырокопченые из мяса птицы» и ТИ; ТУ 9213-169-02 067936-2008 «Колбасы сырокопченые» и ТИ).

### ВЫВОДЫ

1. Показана целесообразность применения в технологии цельномышечных сырокопченых изделий из мяса птицы фитокомпозиций: настоек спиртовых «Шиповник на коньяке» и «Кедровая падь», безалкогольного бальзама «Гербамарин общеукрепляющий». Изучены функциональные эффекты стартовых культур.

2. Установлено, что введение в мясное сырье бактериальных комплексов «ПБ-МП + настойки», «ПБ-МП + бифидобактерии» приводит к более выраженному изменению величины рН, снижению активности воды, интенсификации процесса обезвоживания, сокращению продолжительности процесса изготовления продукции.

3. Разработанные сырокопченые изделия обладают улучшенными органолептическими свойствами, повышенной пищевой ценностью и хранимостью по сравнению с контролем. Установлен срок их годности - 40 сут.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Биотехнология мяса и мясопродуктов: курс лекций / И. А. Рогов [и др.]. – Москва: ДеЛиПринт, 2009. – 296 с.

2. Антипова, Л. В. Подбор комплексов молочнокислых бактерий для обработки мясного сырья / Л. В. Антипова, А. Я. Гизатов // Мясная индустрия. – 2005. – №3. – С.42 – 44.

3. Мезенова, О. Я. Технология и методы копчения пищевых продуктов: учебное пособие / О. Я. Мезенова. – Санкт-Петербург: «Проспект науки», 2007. – 288 с.

4. Toth L. Chemie der Raeucherung. – Verlag Chemie. – 1983. – 331 p.

5. Мезенова, О. Я. Технология, экология и оценка качества копченых продуктов: учеб. пособие / О. Я. Мезенова, И. Н. Ким. – Санкт-Петербург: ГИОРД, 2009. – 488 с.

6. Мезенова, О. Я. Обогащенные жидкие коптильные среды и их применение в пищевой биотехнологии рыбных продуктов / О. Я. Мезенова, В. А. Потапова // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. – 2015. – № 1 (12). – С. 46 - 54.

7. Дементьева, Н. В. Технология продуктов из мяса птицы: учеб. пособие / Н. В. Дементьева, Т. С. Исакова. - Владивосток: Дальрыбвтуз, 2014. – 381 с.

8. Карташева, Т. С. Стартовые культуры в производстве сырокопченого продукта из мяса птицы / Т. С. Карташева [и др.] // Мясная индустрия – 2007. – № 3. – С. 33 – 34.

9. Мезенова, О. Я. Проектирование поликомпонентных пищевых продуктов: учеб. пособие / О. Я. Мезенова. – Санкт-Петербург: «Проспект науки», 2015. – 224 с.

10. Исакова, Т. С. Влияние биотехнологических приемов на формирование качества цельномышечных сырокопченых продуктов из мяса птицы: автореф.

дис. ...канд. техн. наук: 05.18.07 и 05.18.15 / Исакова Татьяна Сергеевна. – Владивосток: Изд-во ГОУ ВПО «Тихоокеанский государственный экономический университет», 2008. – 24 с.

#### REFERENCES

1. Rogov I. A., Zharinov A. I., Tekut'eva T. A., Shepel' T. A. *Biotehnologija mjasa i mjasoproduktov: kurs lekcij* [Biotechnology of meat and meat products: a series of lectures]. Moscow, DeLiprint, 2009, 296 p.
2. Antipova L. V., Gizatov A. Ja. Podbor kompleksov molochnokislyh bakterij dlja obrabotki mjasnogo syr'ja [Selection of complexes of lactic acid bacteria for the treatment of raw meat]. *Mjasnaja industrija* [Meat industry], 2005, no. 3, pp. 42-44.
3. Mezenova O. Ja. *Tehnologija i metody kopchenija pishhevych produktov: uchebnoe posobie* [Technology and methods for smoked food: coursebook]. Saint-Petersburg, Prospekt nauki, 2007, 288 p.
4. Toth L. *Chemie der Raeucherung*. Verlag Chemie, 1983, 331 p.
5. Mezenova O. Ja., Kim I. N. *Tehnologija, jekologija i oценка kachestva kopchenyh produktov: uchebnoe posobie* [Technology, environment and evaluation of the quality of smoked products: coursebook]. Saint-Petersburg, GIORD, 2009, 488 p.
6. Mezenova O. Ja., Potapova V. A. Obogashhennye zhidkie koptil'nye sredy i ih primeneniye v pishhevoj biotehnologii rybnyh produktov [Enriched liquid smoking mediums and their application in biotechnology of fish products]. *Izvestija vuzov. Prikladnaja himija i biotehnologija* [Proceedings of the universities. Applied chemistry and biotechnology]. 2015, no. 1 (12), pp. 46-54.
7. Dement'eva N. V., Isakova T.S. *Tehnologija produktov iz mjasa pticy: uchebnoe posobie* [Technology of poultry meat products: coursebook]. Vladi-vostok, Dal'rybvuz, 2014, 381 p.
8. Kartasheva T. S., Tekut'eva L. A., Kalenik T. K., Kostenko Ju. G. Startovye kul'tury v proizvodstve syropochenogo produkta iz mjasa pticy [Starter cultures in production of smoked poultry product]. *Mjasnaja industrija* [Meat industry]. 2007, no. 3, pp. 33-34.
9. Mezenova O. Ja. *Proektirovaniye polikomponentnyh pishhevych produktov: uchebnoe posobie* [Design of multicomponent food products: coursebook]. Saint-Petersburg, Prospekt Nauki, 2015, 224 p.
10. Isakova T. S. *Vliyanie biotehnologicheskikh priemov na formirovaniye kachestva cel'nomyshechnyh syropochenych produktov iz mjasa pticy. Avtoreferat diss. kand. techn. nauk* [Influence of biotechnological methods on the quality of whole muscle smoked poultry products. Abstract of dis. cand. techn. sci.]. Vladivostok, izdatel'stvo GOU VPO «Tihookeanskij gosudarstvennyj jekonomicheskij universitet», 24 p.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Исакова Татьяна Сергеевна* – Калининградский государственный технический университет; кандидат технических наук, доцент кафедры пищевой биотехнологии; E-mail: kartashevats@mail.ru

*Isakova Tatiana Sergeevna* – Kaliningrad State Technical University; Ph.D, assistant professor of the Department of food biotechnology;  
E-mail: kartashevats@mail.ru

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

*Mezenova Olga Jakovlevna* – Kaliningrad State Technical University;  
Doctor of technical sciences, professor, head of the Department of food biotechnology;  
E-mail: mezenova@klgtu.ru



УДК 6697-7/ 637.523'6/'8/66.041/664.405/664.922

## РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ МЯСНОГО ПОЛУФАБРИКАТА ВЫСОКОЙ СТЕПЕНИ ГОТОВНОСТИ

Н. А. Притыкина, И. А. Петий

## MANUFACTURING TECHNOLOGY DEVELOPMENT OF A MANUFACTURED MEAT PRODUCT OF HIGH READINESS

N. A. Pritykina, I. A. Petiy

В современных экономических условиях тенденции в производстве мясных продуктов для населения все более ориентированы на развитие рынка быстро и легко готовящихся продуктов, которые одновременно были бы экономически выгодными, энергетически ценными, сбалансированными по аминокислотному составу. Наиболее актуальными являются научные исследования по комплексному безотходному использованию мясного сырья, а также разработке новых технологических производств с широкой гаммой поликомпонентных продуктов функционального назначения на мясной основе, по увеличению срока годности продукта, сохранению качества в процессе хранения. Эту задачу можно решить посредством представленной научно обоснованной технологии производства мясных полуфабрикатов высокой степени готовности. Использование аналитических данных, методов компьютерного моделирования позволило определить выбор мясного сырья, входящего в состав рецептуры мясного полуфабриката. Сбалансированность мясного сырья, входящего в состав рецептуры, по аминокислотному составу составила 97%, а соотношение компонентов мясного сырья (говядина, свинина PSE, мясо индейки, сердце говяжье) — 1,2:1:2,5:1. Представлены параметры технологической обработки мясного сырья для получения продукта с максимально сохраненными полезными свойствами и структурно-механическими характеристиками, доказана целесообразность режимов массирования и щадящей температурной обработки. Исключая увеличение потерь при термической обработке, появление резиновой консистенции и наличие «размытого» текстурного рисунка на разрезе, а также повышение уровня микробиологической обсемененности был режим массирования: 20 мин работы массажера при вакууме 95%, затем 10-минутный покой (вакуум 60%) при 5,5 об/мин с последующей температурной обработкой в виде ступенчатого нагрева до 65-80°C. Дальнейшее охлаждение до 6 °C и замораживание в толще до минус 18 °C, хранение при низкой температуре обеспечивают срок годности разработанного продукта до двенадцати месяцев.

*технология, мясной полуфабрикат высокой степени готовности, массирование, термическая обработка, срок годности*

In the current economic context, production trends of meat products are increasingly focused on the development of quick and easily cooked products that will

be economically acceptable, caloric and at the same time balanced in amino acid content. The most relevant is the research on integrated waste-free use of meat raw materials and the development of new industrial processes with a wide range of multicomponent products of a functional purpose on meat basis; on increase of the shelf life of the product, on preservation of product quality during storage. This problem can be solved by the presented science-based technology of manufactured meat products of high readiness. Using analytical data, computer simulation methods, the choice of raw meat which is a part of the recipe is substantiated. Balance of raw meat, which is part of the formulation of the amino-acid score (97%), and the mixing ratio of raw meat - beef, PSE pork, turkey meat, beef heart was 1.2: 1 2.5: 1. Parameters of processing meat raw material for production of a product with maximum preservation of useful properties and structural-mechanical characteristics are presented; in particular, feasibility of massaging modes and gentle heat treatment are developed and proved. The mode excluding the increase in losses during the heat treatment, appearance of rubber-like consistency and “smudging” of the texture pattern on the cut, as well as an increase in the level of microbiological contamination was the following massing mode: 20 min. work, 10 min. rest at 5.5 rev / min. with vacuum of 95% during the operation of the tumbler and 60% at rest, followed by thermal treatment in the form of stage heating at the temperatures of 65-80 ° C. Further cooling up to a temperature of 6 ° C and freezing to the core temperature of minus 18 ° C and storage at the same temperature guarantee up to 12 months of shelf life of the manufactured product.

*technology, manufactured meat product of high readiness, meat massaging, heat treatment, shelf life*

## ВВЕДЕНИЕ

Согласно данным исследовательской компании «Intesco Research Group», спрос на замороженные полуфабрикаты за последние несколько лет увеличился более чем на 65% и продолжает расти [1].

В то же время, в связи с изменением экономических условий в Российской Федерации за последние годы, введением продуктового эмбарго существенно выросла себестоимость мясной продукции, в том числе замороженных мясных полуфабрикатов.

В условиях общего падения спроса среди населения на качественную, но значительно возросшую в цене мясную продукцию производители вынуждены сокращать производственные линии или переходить к выпуску дешевых продуктов с низкими потребительскими свойствами.

При производстве таких продуктов, как известно, для снижения себестоимости применяется способ замещения мясосодержащих компонентов сырьем растительного происхождения; при этом возникает дефицит незаменимых в рационе питания человека белков животного происхождения.

Известно, что баланс аминокислот и наличие достаточного количества полноценных белков животного происхождения в составе готового продукта играют немаловажную роль, так как помогают решить существующую глобальную проблему дефицита белка в рационе питания человека.

В сложившихся условиях особенно актуальной является разработка качественных мясных продуктов с низкой себестоимостью и улучшенными

потребительскими характеристиками, в том числе сбалансированных по аминокислотному составу и содержанию белка животного происхождения. На рынке мясных продуктов России сбалансированных по аминокислотному составу полуфабрикатов высокой степени готовности не представлено.

Использование проблемного, некондиционного для мясных полуфабрикатов сырья с PSE<sup>1</sup>-характеристиками, которого сейчас, как известно, поступает на мясоперерабатывающие предприятия свыше 70%, является актуальным.

Разрабатываемая технология мясных полуфабрикатов с применением такого сырья позволяет получить сбалансированный по аминокислотному составу продукт высокой степени готовности, обладающий новыми потребительскими и технологическими свойствами, такими как улучшенные вкусовые характеристики, полезность и увеличенный срок хранения.

Целью работы было научное обоснование и разработка технологии мясного полуфабриката высокой степени готовности, сбалансированного по аминокислотному составу, с увеличенным сроком хранения, из сырья с PSE-характеристиками. Для достижения поставленной цели было необходимо:

- разработать рецептуру сбалансированного по аминокислотному составу мясного полуфабриката высокой степени готовности;
- изучить и подобрать температурно-временные параметры технологической обработки мясного сырья для получения продукта с максимально сохраненными полезными свойствами и структурно-механическими характеристиками;
- установить срок хранения полуфабриката высокой степени готовности.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

На базе ФГБОУ ВПО «Калининградский государственный технический университет» были произведены исследования по обоснованию технологии мясного многокомпонентного полуфабриката высокой степени готовности. Разработка рецептуры данного продукта заключалась в оптимизации фаршевой смеси путем варьирования массового состава различных видов мясного сырья и растительных ингредиентов с целью получения сбалансированного по аминокислотному составу продукта и уменьшения его себестоимости по сравнению с аналогом. Для установления соотношения мясных ингредиентов и их балансирования по аминокислотному составу в рецептуре мясного полуфабриката была использована программа компьютерного моделирования многокомпонентных рецептурных смесей Generic 2.0, разработанная на кафедре технологии мясных и рыбных продуктов КубГТУ А. А. Запорожским. Процесс моделирования на ЭВМ, модифицированный этим автором, в общем виде

---

<sup>1</sup> PSE - (аббревиатура слов, перевод с англ. языка - pale, soft, exudative — бледное, мягкое, водянистое). Сырье с PSE- характеристиками - это сырье с низким значением pH, низкой водосвязывающей способностью, непригодное для приготовления вареных полуфабрикатов, вследствие придания конечному продукту кислого привкуса, светлого оттенка цвета, низкого выхода, что приведет к значительному удорожанию продукции.

осуществляется посредством циклического алгоритма академика Н. Н. Липатова [2]. За критерий моделирования был принят обобщенный показатель качества, в данном случае обобщенная и частные функции желательности Е. К. Харрингтона.

На рис. 1 представлена мультипликативная модель частных ( $d_i$ ) и обобщенной ( $D$ ) функций желательности аминокислотного состава рецептуры мясного полуфабриката высокой степени готовности, показаны данные компьютерного моделирования количественного содержания различных видов мясного сырья по аминокислотному составу фаршевой смеси, используемой для производства мясного многокомпонентного полуфабриката высокой степени готовности.

Так, согласно расчетам, параметры аминокислотной сбалансированности для исследуемого образца составили: аминокислотный скор  $C_{\min}$  97%, коэффициент рациональности аминокислотного состава  $R_c$  0,9 дол. ед., показатель сопоставимой избыточности  $\sigma$  0,04 г/100 г белка эталона, коэффициент различий аминокислотного сора (КРАС) 11,5 %, биологическая ценность белка (БЦ) 88,5%. Исследования по установлению количественного содержания аминокислот фаршевой смеси, проведенные независимой лабораторией, свидетельствуют о том, что при предложенном программой соотношении мясных ингредиентов фаршевой смеси полученный продукт является сбалансированным по аминокислотному составу [3].

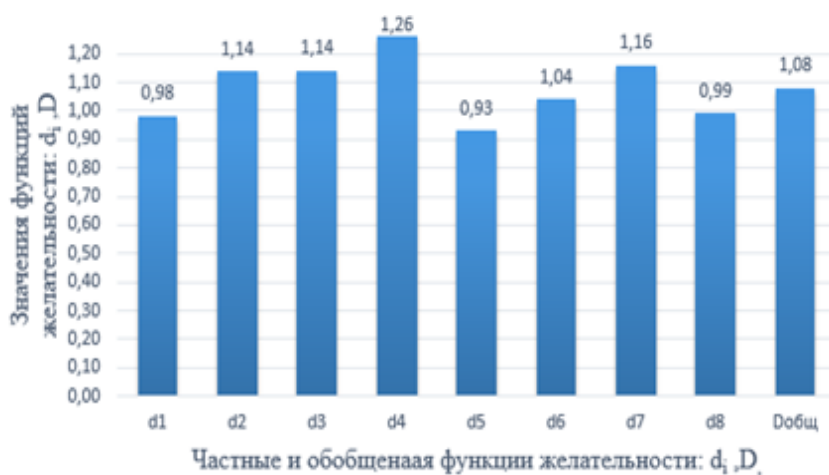


Рис. 1. Мультипликативная модель частных ( $d_i$ ) и обобщенной ( $D$ ) функций желательности аминокислотного состава рецептуры мясного полуфабриката высокой степени готовности:  $d_1$  - валина,  $d_2$  - лейцина,  $d_3$  - изолейцина,  $d_4$  - лизина,  $d_5$  - метионина и цистина,  $d_6$  - треонина,  $d_7$  - триптофана,  $d_8$  - фенилаланина и тирозина

Fig. 1. Multiplicative model of particular ( $d_i$ ) and generalized ( $D$ ) desirability function of the amino acid composition of the recipe of a manufactured meat product of high readiness:  $d_1$  - valine,  $d_2$  - leucine,  $d_3$  - isoleucine,  $d_4$  - lysine,  $d_5$  - methionine and cystine,  $d_6$  - threonine,  $d_7$  - tryptophan,  $d_8$  - phenylalanine and tyrosine

Для определения минимально-оптимального количества вносимых в фаршевую систему пищевых добавок использовали способ оптимизации состава

рецептурной смеси, разработанный О.Н. Красуля [4]. Согласно данной концепции, свойства такой смеси определяются одним доминирующим компонентом – мясом. Остальные ингредиенты (дополнительные) добавляют поочередно, тем самым изменяя её свойства. Данный способ позволяет: во-первых, повысить точность модели, описывающей зависимость состава смеси от показателей и массовых долей ее парциальных компонентов и, во-вторых, эффективно управлять её состоянием, т.е. находить такие массовые доли ингредиентов, которые дадут требуемые значения потребительских свойств смеси.

Поскольку целью была разработка способа получения качественного, сбалансированного продукта с длительным сроком хранения из некондиционного мясного сырья, то производили исследования, направленные на установление оптимальных температурно-временных параметров технологической обработки, способствующих максимальному сохранению полезных веществ, уменьшению потерь массы в процессе приготовления и увеличению срока хранения продукта (рис. 2).

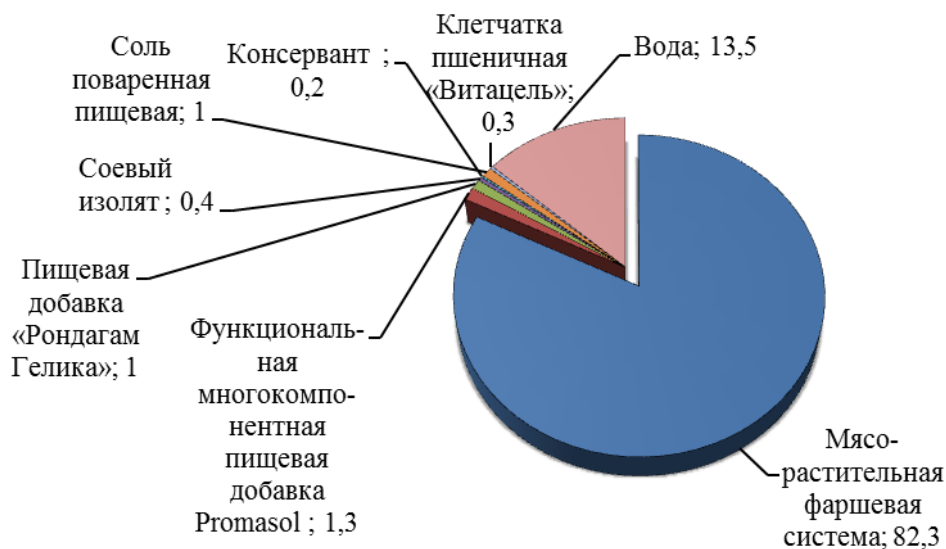


Рис. 2. Диаграмма распределения компонентов рецептуры мясного полуфабриката высокой степени готовности, %

Fig. 2. Distribution diagram of the components of the recipe for the manufactured meat product of high readiness, %

Изготовление образцов по разработанной технологии (рис.3) осуществляли на мясоперерабатывающем предприятии ООО «СоюзПродукт». Мясное сырье (говядина, свинина PSE, мясо индейки, сердце говяжье) в соотношении по массе, соответственно, 1,2:1:2,5:1 размораживали, после чего измельчали, добавляли к нему растительные компоненты и пищевые добавки [5].



Рис. 3. Технологическая схема производства мясного многокомпонентного полуфабриката высокой степени готовности  
 Fig. 3. Technological scheme for production of a multicomponent manufactured meat product of high readiness

Наиболее важными технологическими операциями в разрабатываемой технологии являются: массирование, термическая обработка, охлаждение и замораживание. Критерием оптимального режима массирования считают время: чрезмерное увеличение продолжительности массирования приводит к возрастанию потерь при термической обработке, появлению резиновой консистенции и наличию «размытого» текстурного рисунка на разрезе, а также повышению уровня микробиологической обсемененности. Массирование непосредственно влияет на структурно-механические свойства сырья и конечного продукта.

Показателями, характеризующими изменение структурно-механических свойств, являются предельное напряжение сдвига (ПНС) и влагоудерживающая способность (ВУС), поэтому для разработки режима массирования была изучена зависимость ПНС от параметров механической обработки и влияние

массирования на ВУС. Исследование изменения значений ПНС и ВУС в зависимости от режимов механической обработки сырья<sup>2</sup> показало следующее. Импульсное подключение вакуума усиливает эффект массирования, сокращает время процесса, способствует более равномерному распределению рассола внутри продукта. Влага хорошо удерживается. Создание в массажере вакуума глубиной 0,95, а затем быстрый сброс давления (до 60%) также усиливают эффект массирования, который обеспечивается совместным влиянием разницы давления внутри массажера и мягкого механического воздействия [6]. Эти данные согласуются с изменениями структурно-механических свойств. Так, образец, изготовленный по режиму механической обработки 4, имел ПНС 2287 Па, что на 229 Па меньше, чем у образца, обработанного по режиму 3.

Литературные данные многолетних исследований зарубежных, отечественных ученых и специалистов, в том числе Технологического института мясной и молочной промышленности, подтверждают целесообразность массирования мясного сырья в интервальном режиме «работа — выстой», поскольку в периоды выстоя мышечная ткань мяса релаксирует, а во время вращения барабана она интенсивно поглощает рассол, что усиливается при использовании импульсного массирования за счет увеличения проникновения рассола в сырье. В результате возрастает адгезионная и водоудерживающая способность мяса, повышается нежность сырья, ускоряются процессы автолитического характера [7, 8].

Для более детального изучения зависимости органолептических, структурно-механических и микробиологических показателей качества мясного полуфабриката от режима термической обработки были проведены исследования: изготовлено пять моделей<sup>3</sup> мясных полуфабрикатов высокой степени готовности, подвергавшихся термической обработке (варке) при различных температурах. Выбор конечной температуры нагрева мясных изделий (70-72°C в центре продукта) обусловлен двумя причинами. Во-первых, потребностью перевода большей части мышечных белков в денатурированное состояние, а также достижения требуемого уровня гидролиза (20-45%) коллагена соединительной ткани, находящегося в продукте, что позволило бы довести продукт до состояния кулинарной готовности; во-вторых, необходимостью обеспечения санитарно-гигиенической безопасности изделия и повышения его стабильности при хранении в результате уничтожения вегетативных форм микроорганизмов [9]. Оценивая в совокупности влияние различных режимов термической обработки мясного полуфабриката, можно отметить, что степень денатурации белковых компонентов при ступенчатом нагреве составляет 75%, что на 5% меньше, чем

---

<sup>2</sup> Режимы механической обработки сырья: I - без массирования; 2 – массирование без пауз при 5,5 об/мин и вакууме 90 % (количество удаленного воздуха); 3 - массирование по режиму 20 мин работа, 10 мин покой при 5,5 об/мин с вакуумом 90 % (количество удаленного воздуха); 4 - массирование по режиму 20 мин работа, 10 мин покой при 5,5 об/мин с вакуумом 95% (количество удаленного воздуха) во время работы массажера и 60% при покое;

<sup>3</sup> Модели температурных режимов: I - 75°C; II - 80°C; III- 85°C; IV -90°C; V - ступенчатый нагрев 65-80°C.

при жестких температурных режимах. Влияние термической денатурации белковых компонентов ведет к изменению реологических характеристик, в частности к увеличению значений предельного напряжения сдвига исследуемого полуфабриката в температурном оптимуме 75-80 °С и его снижению при температурах 85-90°С, что подтверждают органолептические показатели. Параметры, характеризующие обеспечение санитарно-гигиенической безопасности продукта и повышение его стабильности при хранении, также доказывают целесообразность и рациональность ступенчатого нагрева, приводящего к уничтожению вегетативных форм микроорганизмов. В процессе термообработки предполагается использование уникального метода варки продуктов в щадящих температурных условиях в вакуумной герметичной упаковке. Это позволит сохранить в готовом блюде все питательные элементы, витамины, натуральный вкус и аромат. Технология обеспечит условия для приготовления пищи с минимальным использованием специй, соли и сахара за счет собственных ресурсов продукта, а также без масла и жиров, что даст возможность производить продукты для детского, диетического, лечебного и реабилитационного питания. Варка в условиях щадящих температурно-временных параметров, резкое охлаждение до 6 °С, замораживание при минус 35 °С, совместно с использованием составляющих ингредиентов композиции, проявляющих антиокислительные и бактерицидные свойства, позволят в несколько раз увеличить срок хранения.

Исследования по установлению срока годности мясного полуфабриката высокой степени готовности [10] проводили на базе научно-исследовательской ихтиопатологической лаборатории кафедры ихтиологии и экологии ФГБОУ ВПО «Калининградский государственный технический университет». Видовой состав микрофлоры мясных замороженных полуфабрикатов высокой степени готовности представлен следующими родами грамположительных микроорганизмов: *Micrococcus ridleyi* – 55%, *Micrococcus ureae* – 30%, *Bacillus closteroides* – 10%, *Bacillus lautus* – 5%. При дальнейшем хранении споровая микрофлора отмирала и преобладали кокковые формы и бесспорные палочки. В конце срока хранения были обнаружены исключительно кокковые формы, которые оказались самыми холодоустойчивыми [11]. Количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов, которое в соответствии с нормативными документами к концу срока годности мясных замороженных полуфабрикатов высокой степени готовности (12 мес.) должно быть не более  $1 \times 10^4$  КОЕ/г, составило  $7,1 \times 10^3$  КОЕ/г, патогенная микрофлора (БГКП, *S. aureus*, *L. monocytogenes*, *Salmonella*, сульфидредуцирующие клостридии) не обнаружена.

## ВЫВОДЫ

Научно обоснована и разработана рецептура мясных полуфабрикатов высокой степени готовности с целью получения сбалансированного по аминокислотному составу продукта и уменьшения его себестоимости по сравнению с аналогом. Так, получены показатели аминокислотной сбалансированности продукта, изготовленного по разработанной рецептуре: биологическая ценность белка 88,46%, коэффициент рациональности аминокислотного состава 0,89, свидетельствующие об оптимизации



аминокислотного состава белка полуфабриката. В составе разработанной рецептуры 82,2 % мясного сырья (говядина, свинина PSE, мясо индейки, сердце говяжье). Остальная часть – это растительные компоненты и пищевые добавки в минимально-оптимальном соотношении.

При оценке проведенных исследований полуфабрикатов высокой степени готовности на предмет установления рациональных технологических режимов механической обработки выявлено, что использование импульсного подключения вакуума усиливает эффект массажирующего, сокращает время, способствует более равномерному распределению рассола внутри продукта; ступенчатый режим тепловой обработки дает показатели, характеризующие перевод большей части мышечных белков в денатурированное состояние, а также приводит к достижению требуемого уровня гидролиза (20-45%) коллагена соединительной ткани, находящегося в продукте, и доведению последнего до состояния кулинарной готовности. Влияние термической денатурации белковых компонентов влечет изменение реологических характеристик, в частности увеличение значений предельного напряжения сдвига исследуемого полуфабриката в температурном оптимуме 75-80 °С и его снижение при 85-90°С, что подтверждают органолептические показатели. Образец мясного полуфабриката обладает высокими органолептическими характеристиками при проведении термической обработки ступенчатым способом (65-80°С) до достижения 72°С в центре продукта. Таким образом, выбранный ступенчатый режим термической обработки обеспечивает последовательное вовлечение белков мяса, прошедших конформационные изменения, в процесс формирования коагуляционной структуры с образованием большего количества меж-(и) внутримолекулярных связей; при этом готовая продукция приобретает эластичность, упругость, сочность, потери влаги снижаются. Санитарно-эпидемиологические исследования по оценке обоснования сроков годности пищевых продуктов также подтверждают целесообразность и рациональность выбранных технологических операций, приводящих к уничтожению вегетативных форм микроорганизмов. По микробиологическим показателям продукция соответствует нормам безопасности. Установлен срок ее годности, составивший 12 мес., что свидетельствует о значительном удлинении его по сравнению с таковым аналогичных видов продукции.

Используя разработанную технологическую схему, можно получить три вида мясных полуфабрикатов, имеющих разную форму и размер: полуфабрикат для бургеров и бутербродов (и для питания fast-food), полуфабрикат фарша для начинки и вторых блюд и полуфабрикат для салатов и закусок.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. <http://russian-consumer.ru>
2. Липатов, Н. Н. Формализованный анализ amino- и жирокислотной сбалансированности сырья, перспективного для проектирования продуктов детского питания с задаваемой пищевой адекватностью / Н. Н. Липатов, Г. Ю. Сажинов, О. Н. Башкиров // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2001. – № 8. – С. 11–14.

3. Петий, И. А. Обоснование соотношения пищевых ингредиентов в рецептуре полуфабрикатов высокой степени готовности для здорового питания / И. А. Петий, Н. А. Притыкина // Инновации в технологии продуктов здорового питания: Первая научно-практическая конференция: сборник научных трудов (22-23 мая 2014 г.). – Калининград, 2014. – С.195-204.
4. Пат. № 2269910. РФ. Способ оптимизации состава рецептурной смеси мясного рубленого полуфабриката / С. В. Николаева, О. Н. Красуля, И. В. Бобренёва, И. И. Протопопов, Э. С. Токаев, М. М. Шайлиева, 2006.
5. Пат. № 2565226. РФ. Способ получения мясного полуфабриката высокой степени готовности / Н. А. Притыкина, И. А. Петий. Зарегистрировано 15.09.2015 г. Патентообладатель Калининградский государственный технический университет.
6. Притыкина, Н. А. Разработка режима массирования комплексного (поликомпонентного) мясного продукта / Н. А. Притыкина, И. А. Федченко // Инновационные технологии в пищевой промышленности: наука, образование и производство (3-4 декабря 2014 г.). – Воронеж. – 2014. – С.164-170.
7. Gerhard Feiner. Meat products handbook. Practical science and technology/Gerhard Feiner. Cambridge, England, 2006 - 624с.
8. Петий, И.А. Влияние температурного режима обработки на технологические свойства полуфабриката высокой степени готовности / И. А. Петий, Н. А. Притыкина // Продовольственная безопасность: научное, кадровое и информационное обеспечение: международная научно-практическая конференция, приуроченная к 85-летию ВГУИТ (13-14 ноября 2014 г.): материалы. – Воронеж. – 2014. – С.257-263.
9. Шугурова, Т. Б. Особенности термической обработки полуфабрикатов / Т. Б. Шугурова // Мясная индустрия. – 2010. – № 1. – С. 28-30.
10. МУ 4.2.1847-04 Методические указания (МУК). Эпидемиологическая оценка сроков годности и условий хранения пищевых продуктов.
11. Петий, И.А. Исследование влияния температурного режима обработки полуфабриката высокой степени готовности / И. А. Петий, Н. А. Притыкина // Инновации в науке, образовании и бизнесе – 2014: XII Международная научная конференция: труды. – Калининград, 2014. – С. 172-176.

## REFERENCES

1. Available at: <http://russian-consumer.ru>
2. Lipatov N. N., Sazhinov G. Ju., Bashkirov O. N. Formalizovannyj analiz amino- i zhirkislotnoj sbalansirovannosti syr'ja, perspektivnogo dlja proektirovanija produktov detskogo pitaniya s zadavaemoj pishhevoj adekvatnost'ju [Formal analysis of amino fat and acid balance of raw material projected for manufacturing of baby food products with assigned nutrition validity]. *Hranenie i pererabotka sel'hozsy'r'ja*, 2001, no. 8, pp. 11-14.
3. Petij I. A., Pritykina I. A. Obosnovanie sootnoshenija pishhevyyh ingredientov v recepture polufabrikatov vysokoj stepeni gotovnosti dlja zdorovogo pitaniya. *Innovacii v tehnologii produktov zdorovogo pitaniya, 22-23 maja 2014 goda: materialy* [Innovations in technology of healthy foods, May 22-23, 2014: proceedings]. Kaliningrad, 2014, pp.195-204.

4. Nikolaeva S. V., Krasulja O. N., Bobrenjova I. V., Protopopov I. I., Tokaev Je. S., Shajlieva M. M. Sposob optimizacii sostava recepturnoj smesi mjasnogo rublenogo polufabrikata [Optimization method for composition of recipe mixture of manufactured chopped meat product]. *Patent RF № 2269910*, 2006.

5. Pritykina N. A., Petij I. A. Sposob poluchenija mjasnogo polufabrikata vysokoj stepeni gotovnosti [Method for production of manufactured meat product of high readiness]. *Patent na izobrenie № 2565226*. Rossijskaja Federacija. Zaregistrovano 15.09.2015 g. Patentoobladatel' Kaliningradskij gosudarstvennyj tehničeskij universitet.

6. Pritykina N. A., Fedchenko I. A. Razrabotka rezhima massirovanija kompleksnogo (polikomponentnogo) mjasnogo produkta. *Innovacionnye tehnologii v pishhevoj promyshlennosti: nauka, obrazovanie i proizvodstvo* [Innovative technologies in food industry: science, education and production"], 3-4 dekabnja 2014 goda, Voronezh-2013, pp. 164-170.

7. Gerhard Feiner. Meat products handbook. Practical science and technology. Cambridge, England, 2006, 624 p.

8. Petij I. A., Pritykina N. A. Vlijanie temperaturnogo rezhima obrabotki na tehnologičeskie svojstva polufabrikata vysokoj stepeni gotovnosti [Influence of temperature conditions of processing on technological properties of a manufactured product of high readiness]. *Mezhdunarodnaja nauchno-praktičeskaja konferencija «Prodovol'stvennaja bezopasnost': nauchnoe, kadrovoe i informacionnoe obespečenie», priuročennaja k 85-letiju VGUIT, 13-14 nojabnja 2014 goda: materialy*. Voronezh, 2014, pp. 257-263.

9. Shugurova T. B. Osobennosti termičeskoj obrabotki polufabrikatov [Peculiarities of thermal treatment of manufactured products]. *Mjasnaja industrija*, 2010, no. 1, pp. 28-30.

10. Jepidemiologičeskaja ocenka srokov godnosti i uslovij hranenija pishhevyh produktov [Epidemiologic assessment of expiry date and storage conditions of food products]. *MU 4.2.1847-04 Metodičeskie ukazanija (MUK)*.

11. Petij I. A., Pritykina N. A. Issledovanie vlijanija temperaturnogo rezhima obrabotki polufabrikata vysokoj stepeni gotovnosti [Influence of temperature conditions on treatment of a manufactured product of high readiness]. *XII Mezhdunarodnaja nauchnaja konferencija «Innovacii v nauke, obrazovanii i biznese-2014»: trudy*, Kaliningrad, 2014, pp. 172-176

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Притыкина Наталья Анатольевна* – Калининградский государственный технический университет; кандидат технических наук, доцент;  
E-mail: pritykina@mail.ru

*Pritykina Natalia Anatolievna* – Kaliningrad State Technical University;  
PhD, Associate Professor; E-mail: pritykina@mail.ru

*Петий Ирина Александровна* – Калининградский государственный технический университет; аспирант, технолог ООО «СоюзПродукт»;  
E-mail: irinafedchenko555@gmail.com

*Petiy Irina Aleksandrovna* – Kaliningrad State Technical University; postgraduate student, technologist of “SoyuzProdukt”;  
E-mail: irinafedchenko555@gmail.com

УДК 664.951.034:621.1.016.7

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ДЕНАТУРАЦИИ БЕЛКОВ  
НА ПРОЦЕССЫ ЗАМОРАЖИВАНИЯ РЫБЫ

В. Н. Эрлихман

THERMODYNAMIC ASSESSMENT OF THE IMPACT OF PROTEIN  
DENATURATION ON FISH FREEZING

V. N. Erlichman

Показан механизм влияния денатурации белков из-за дегидратации связанной воды на обратимость и тепловую нагрузку при замораживании продукта. Для количественной оценки обратимости процесса и увеличения тепловой нагрузки приняты следующие допущения: рассматривается условный продукт с содержанием воды 80%, белков 18, жира 1, минеральных веществ 1% и температурой начала замерзания тканевых соков минус 1°C; закономерности изменения содержания связанной воды в продукте при замораживании идентичны экспериментальным результатам С. Чарма и П. Муди. Выполнено обобщение опытных данных, приведенных в литературе, по содержанию связанной воды в рыбе и отнесенных к разным составляющим химического состава. Эти данные пересчитаны на общее содержание воды в продукте. Установлена усредненная величина доли связанной воды, которая близка к рекомендуемой Д. Г. Рютовым при определении доли вымороженной воды. Получены математические выражения для нахождения доли незамороженной и замороженной частей связанной воды в зависимости от температуры.

Представлены расчеты дополнительной тепловой нагрузки, которая составляет 11,09 кДж/кг, на холодильную установку при замораживании дегидратированной связанной воды. Установлены необратимости процесса замораживания для продукта и системы продукт-хладагент по величине возрастания энтропии при конечной среднеобъемной температуре продукта минус 20°C и температуре охлаждающей среды минус 40°C, равные, соответственно, 42 и 6 Дж/(кг·К). Показано, что доля дополнительной тепловой нагрузки от общего расхода холода на замораживание лежит в пределах 1,8...2,4% в зависимости от типа морозильного аппарата. По результатам расчетов видно, что денатурация белков в процессе замораживания не оказывает существенного влияния на увеличение тепловой нагрузки, которая компенсируется запасом холодопроизводительности холодильных установок, предусматриваемым при проектировании.

*денатурация, связанная вода, замораживание, тепловая нагрузка, энтропия*

The paper presents the impact of protein denaturation due to dehydration of combined water on reversibility and thermal load in freezing of products. To obtain

complex assessment of process reversibility and increase of thermal load the following assumptions are admitted: a conventional product with water content of 80%, protein-18%, lipid – 1%, minerals- 1% and ground freezing point of tissue juices- 1°C; regularity of change of combined water content in the product in refrigeration are identical to experimental results of S.Charm and P.Moodi. Generalization of empirical data of combined water content in fish given in literature and referred to different constituents of chemical composition is performed. The presented empirical data are recalculated according to general content of water in the product. The average quantity of combined water content is defined which is close to the one recommended by D.G.Ryutov at determining the share of frozen out water. Mathematical dependence for determining the share of frozen and unfrozen parts of water depending on temperature is established.

Calculations of additional thermal load per refrigeration unit in freezing of dehydrated combined water is presented which is equal to 11.09 kJ/kg. Non-reversibility of refrigeration process for both product and product – refrigerant system in terms of increasing entropy at the ultimate average product temperature - 20°C and refrigerating medium temperature - 40°C are equal to 42 J/(kg x K) and 6 J/(kg x K) correspondingly. It is demonstrated that refrigeration unit capacity in tons per hour corresponds to additional heat load of 3.08 kWt/ $\frac{t}{h}$  and additional thermal load in a total cold consumption for refrigeration lies within 1.8...2.4%., depending on the type of refrigeration unit. Calculation results demonstrate that protein denaturation process does not influence much on thermal load increase which is compensated by the refrigeration capacity of refrigeration units envisaged at its designing.

*denaturation, combined water, freezing, thermal load, entropy*

Процессы холодильной обработки пищевого сырья и продуктов требуют значительных энергозатрат. При их оценке не рассматривают такие химические и биохимические изменения, как денатурация белков, окисление белков и жиров, которые оказывают влияние не только на качество продукта, но и на энергозатраты.

Целью работы явилась оценка влияния связанной воды на энергозатраты в процессе замораживания и его обратимость с термодинамической точки зрения.

Связанная вода в пищевом сырье и продуктах обусловлена наличием ионных, водородных и гидрофильных связей с компонентами продукта [1], а также ее гидратацией белковыми веществами [2, 3]. В процессе замораживания из-за дегидратации связанной воды происходит денатурация белков, что приводит к ухудшению качества продукта и появлению дополнительной тепловой нагрузки на замораживание высвободившейся связанной воды.

Так, по данным, приведенным С. Чарма и П. Муди в работе [4] и Г. Б. Чижовым в монографии [5], количество связанной воды  $m_{сз}$  по отношению к общему содержанию воды  $m_{в}$  в замороженной мышечной ткани пикши, близкой по химическому составу к таковой трески, при понижении температуры от минус 6,7 до минус 40,0°C уменьшается в относительных долях от

$W_{сз} = \frac{m_{сз}}{m_{в}} = 0,148$  до  $W_{сз} = 0,110 \frac{\text{кг}_{сз}}{\text{кг}_{в}}$ , т.е. высвобождается и создает дополнительную тепловую нагрузку  $0,038 \frac{\text{кг}_{сз}}{\text{кг}_{в}}$ .

При оценке влияния дегидратации связанной воды из белков на необратимость процесса замораживания следует учесть ряд факторов и принять некоторые допущения.

В литературе представлены немногочисленные данные по содержанию связанной воды в рыбе, которые отнесены к различным составляющим химического состава без его указания: общему относительному содержанию воды в рыбе  $W = \frac{m_{в}}{m}$ , сухих веществ  $C = \frac{m_{с}}{m}$ , белка  $B = \frac{m_{б}}{m}$ . Так, по экспериментальным результатам, приведенным в работе [6], 1 г белков связывает при гидратации 0,5 г воды, т.е.  $W_{сз/б} = \frac{m_{сз}}{m_{б}} = 0,5 \frac{\text{кг}_{сз}}{\text{кг}_{б}}$ . Д. Г. Рютов [7] рекомендует для расчетов доли вымороженной воды в продуктах животного происхождения принимать величину доли связанной воды на килограмм сухого вещества  $W_{сз/с} = \frac{m_{сз}}{m_{с}} = 0,27 \frac{\text{кг}_{сз}}{\text{кг}_{с}}$ .

По данным, приведенным в учебнике [8], для рыб величина доли связанной воды на килограмм сухого вещества  $W_{сз/с}$  колеблется от 0,15 до  $0,41 \frac{\text{кг}_{сз}}{\text{кг}_{с}}$ , т.е. в среднем составляет  $0,28 \frac{\text{кг}_{сз}}{\text{кг}_{с}}$ , что соответствует рекомендации Д. Г. Рютова.

Наиболее подробные сведения даны Н. А. Воскресенским [9, 10]. По результатам его исследований, для трески с общей массовой долей свободной и связанной воды  $W = 81,2\%$  содержание свободной и связанной воды составило  $W_{св} = 75,5\%$  и  $W_{сз} = 5,7\%$ , или на один килограмм сухого вещества  $W_{сз/с} = 0,304 \frac{\text{кг}_{сз}}{\text{кг}_{с}}$ .

С целью сопоставления вышепредставленных данных по содержанию связанной воды они были приведены к общему содержанию влаги в продукте. Для этого в связи с отсутствием показателей по химическому составу продуктов, для которых установлено относительное содержание связанной воды, был принят условный продукт – рыба треска с общим относительным содержанием воды к массе продукта  $W = 80\%$  (0,8), сухих веществ  $C = 20\%$  (0,2), из которых белка  $B = 18\%$  (0,18), жира  $Ж = 1\%$  (0,01) и минеральных веществ  $Ж = 1\%$  (0,01), и с температурой начала замерзания  $t_{нз} = -1^{\circ}\text{C}$ .

Пересчет массовых долей связанной воды по отношению к содержанию белка  $\frac{m_{сз}}{m_{б}}$  и сухих веществ  $\frac{m_{сз}}{m_{с}}$  к их долям по отношению к общему содержанию воды выполнен, соответственно, по формулам:

$$W_{сз/в} = W_{сз/б} \cdot B \cdot \frac{1}{W}; \quad (1)$$

$$W_{сз/в} = W_{сз/с} \cdot C \cdot \frac{1}{W}. \quad (2)$$

Полученные результаты показаны в табл. 1.

Приведенные в табл. 1 данные по доле связанной воды по отношению к общему содержанию воды свидетельствуют, что эта доля по итогам разных исследований лежит в широком диапазоне значений и в среднем составляет для рыбы  $W_{сз/в} = 0,078 \frac{\text{кг}_{сз}}{\text{кг}_{в}}$ .

Таблица 1. Массовая доля связанной воды по отношению к общему количеству воды

Table 1. Content of combined water in relation to total amount of water

Массовая доля связанной воды по источнику	Массовая доля связанной воды по отношению к общей массе воды $W_{\text{сз/в}}, \frac{\text{кг}_{\text{сз}}}{\text{кг}_{\text{в}}}$
[6] $W_{\text{сз/б}} = 0,50$	0,113
[7] $W_{\text{сз/с}} = 0,27$	0,068
[8] $W_{\text{сз/с}} = 0,15 \dots 0,47$	0,038...0,103
[9] $W_{\text{сз/с}} = 0,50$	0,070

Используя результаты опытов С. Чарма и П. Муди по определению доли незамороженной части связанной воды при замораживании пикши, о которых указано в начале статьи, установлено, что они в зависимости от температуры  $t$  с максимальным отклонением от опытных данных 8,8 % описываются формулой

$$(W_{\text{сз/с}})_t = 0,362 \left( \frac{t_{\text{нз}}}{t} \right)^{0,0865} - 0,151. \quad (3)$$

Экстраполируя результаты расчета по формуле (3) до  $t = t_{\text{нз}} = -1^\circ\text{C}$ , получим, что доля связанной воды по отношению к общему количеству воды при  $t \geq t_{\text{нз}}$  составляет  $W_{\text{сз/в}} = 0,211 \frac{\text{кг}_{\text{сз}}}{\text{кг}_{\text{в}}}$ . Эта величина по сравнению со средней величиной  $W_{\text{сз/в}} = 0,078 \frac{\text{кг}_{\text{сз}}}{\text{кг}_{\text{в}}}$ , полученной по результатам других исследователей, больше в 2,7 раза и вызывает сомнение.

Приняв характер зависимости  $W_{\text{сз/в}} = f(t)$  аналогичным формуле (3), получим выражение для ее расчета при начальной до замораживания доле связанной воды  $(W_{\text{сз/в}})_{t \geq t_{\text{нз}}} = 0,078 \frac{\text{кг}_{\text{сз}}}{\text{кг}_{\text{в}}}$ .

$$(W_{\text{сз/в}})_t = 0,134 \left( \frac{t_{\text{нз}}}{t} \right)^{0,0865} - 0,056. \quad (4)$$

Результаты расчетов доли незамороженной и замороженной частей связанной воды по отношению к общей массе воды  $W_{\text{сз/в}}$ ,  $\omega_{\text{сз}} = \frac{m_{\text{сзл}}}{m_{\text{в}}}$  и продукта  $W_{\text{сз}}$ ,  $\omega_{\text{сз}} = \frac{m_{\text{сзл}}}{m}$  в зависимости от температуры представлены в табл. 2. Здесь индекс «сзл» означает лед, образовавшийся при замораживании связанной воды.

Доля замороженной части связанной воды по отношению к общей массе воды определена как  $(\omega_{\text{сз/в}})_t = (W_{\text{сз/в}})_{t \geq t_{\text{нз}}} - (W_{\text{сз/в}})_t$ . Учитывая, что  $(W_{\text{сз/в}})_{t \geq t_{\text{нз}}} = 0,078 \frac{\text{кг}_{\text{сз}}}{\text{кг}_{\text{в}}}$ , и выражение (4), получим формулу для расчета доли замороженной части связанной воды по отношению к массе воды в продукте в зависимости от температуры.

$$(\omega_{\text{сз/в}})_t = 0,134 \left[ 1 - \left( \frac{t_{\text{нз}}}{t} \right)^{0,0865} \right]. \quad (5)$$

Данные табл. 2 показывают, что при понижении температуры продукта до минус  $20^\circ\text{C}$  вымерзает 40% связанной воды, а при понижении температуры до минус  $40^\circ\text{C}$  – всего 46%.



Таблица 2. Доли незамороженной и замороженной частей связанной воды по отношению к общей массе воды и продукта в зависимости от температуры  
 Table 2. Proportions of non-frozen and frozen parts of combined water in relation to total content of water and product depending on temperature

Температура $t, ^\circ\text{C}$	Доля незамороженной части связанной воды		Доля замороженной части связанной воды	
	$W_{\text{сз/в}}, \frac{\text{кг}_{\text{сз}}}{\text{кг}_{\text{в}}}$	$W_{\text{сз}}, \frac{\text{кг}_{\text{сз}}}{\text{кг}}$	$\omega_{\text{сз/в}}, \frac{\text{кг}_{\text{сзл}}}{\text{кг}_{\text{в}}}$	$\omega_{\text{сз}}, \frac{\text{кг}_{\text{сзл}}}{\text{кг}}$
$\geq t_{\text{нз}}$	0,078	0,062	0	0
-5	0,061	0,048	0,017	0,014
-10	0,053	0,042	0,025	0,020
-15	0,050	0,040	0,028	0,022
-20	0,047	0,038	0,031	0,024
-25	0,045	0,036	0,033	0,026
-30	0,044	0,035	0,034	0,027
-40	0,042	0,034	0,036	0,028

Формула (5) позволяет выполнить расчет по оценке необратимых потерь и дополнительных затрат мощности и энергии на холодильную установку для компенсации дополнительной тепловой нагрузки от замораживания связанной воды для различных температур продукта.

Рассмотрим определения этих величин на примере замораживания условного продукта от начальной температуры  $t_{\text{н}} = 15^\circ\text{C}$  до конечной среднеемной температуры  $t_{\text{в}} = -20^\circ\text{C}$ .

Доля вымороженной связанной воды по отношению к общему количеству воды по формуле (5)

$$\begin{aligned} (\omega_{\text{сз/в}})_{t_{\text{в}}=-20^\circ\text{C}} &= 0,134 \left[ 1 - \left( \frac{t_{\text{нз}}}{t} \right)^{0,0865} \right] = \\ &= 0,134 \left[ 1 - \left( \frac{-1}{-20} \right)^{0,0865} \right] = 0,031 \frac{\text{кг}_{\text{сзл}}}{\text{кг}_{\text{в}}}. \end{aligned}$$

Суммарная доля вымороженной свободной и связанной воды (льда) при  $t_{\text{в}} = -20^\circ\text{C}$

$$\omega = (\omega_{\text{св/в}}) + (\omega_{\text{сз/в}}) = 1 - \frac{t_{\text{нз}}}{t_{\text{в}}} = 1 - \frac{-1}{-20} = 0,95 \frac{\text{кг}_{\text{л}}}{\text{кг}_{\text{в}}}.$$

Доля вымороженной свободной воды

$$\omega_{\text{св/в}} = \omega - (\omega_{\text{сз/в}}) = 0,95 - 0,031 = 0,914 \frac{\text{кг}_{\text{свл}}}{\text{кг}_{\text{в}}}.$$

В процентах от общей доли вымороженной воды

$$\text{доля вымороженной связанной воды} \quad \frac{\omega_{\text{сз/в}}}{\omega} = \frac{0,031}{0,95} \cdot 100\% = 3,26,$$

$$\text{доля вымороженной свободной воды} \quad \frac{\omega_{\text{св/в}}}{\omega} = \frac{0,914}{0,95} \cdot 100\% = 96,74.$$

Удельная теплоемкость продукта до начала льдообразования:

$$c_0 = c_w W + c_c (1 - w) = 4,19 \cdot 0,8 + 1,24(1 - 0,8) = 3,6 \text{ кДж/кг}.$$

Средняя температура в процессе замораживания

$$\bar{t} = \frac{t_{\text{в}} - t_{\text{нз}}}{\ln \frac{t_{\text{в}}}{t_{\text{нз}}}} = \frac{20 - (-1)}{\ln \frac{-20}{-1}} = -6,34^\circ\text{C}.$$

Теплота льдообразования при  $\bar{t}$

$$L = 335 + 2,1\bar{t} = 335 + 2,1(-6,34) = 321,69 \text{ кДж/кг.}$$

Удельная теплоемкость замороженного продукта

$$c_m = c_0 - 2,1W\omega = 3,6 - 2,1 \cdot 0,8 \cdot 0,95 = 2,004 \text{ кДж/кг.}$$

Удельное количество тепла, отводимое при замораживании продукта:

$$\begin{aligned} q &= c_0(t_n - t_{нз}) + L\omega W + c_m(t_{нз} - t_v) = \\ &= 3,6[15 - (-1)] + 321,69 \cdot 0,95 \cdot 0,8 + \\ &+ 2,004[-1 - (-20)] = 340,16 \text{ кДж/кг.} \end{aligned}$$

Количество тепла, дополнительно отводимое при замораживании связанной воды на один килограмм продукта:

$$\Delta q_{сз} = q \frac{\omega_{сз/в}}{\omega} = 340,16 \cdot 0,0316 = 11,09 \text{ кДж/кг.}$$

Этой величине соответствует необходимость в дополнительной холодопроизводительности холодильной установки на замораживание одного килограмма продукта в секунду  $\Delta Q_{сз} = 11,09 \frac{\text{кВт}}{\text{кг/с}}$ , или  $\Delta Q_{сз} = 3,08 \frac{\text{кВт}}{\text{т/ч}}$ . При производительности морозильной установки  $P = 10 \text{ т/сут}$  следует увеличить холодопроизводительность холодильной установки на 1,3 кВт.

Доля дополнительной тепловой нагрузки из-за денатурации белков от общего расхода холода на замораживание в морозильных аппаратах с учетом поступления тепла через ограждения, от электродвигателей и других источников, который в среднем составляет для плиточных морозильных аппаратов 460 и воздушных морозильных аппаратов 630 кДж/кг [11], находится в пределах 1,8...2,4%.

Необратимость процесса дополнительного отвода тепла при замораживании связанной воды оценена величиной возрастания энтропии [12], которая для продукта составляет:

$$\Delta S_{п} = \frac{\Delta q_{сз}}{T} = \frac{11,09}{266,66} = 0,042 \text{ кДж/(кг·К).}$$

Для системы продукт-хладагент при его температуре  $t_0 = -40^\circ\text{C}$  ( $T_0 = 233\text{K}$ ) увеличение энтропии

$$\Delta S = \Delta S_{п} + \Delta S_0 = -\frac{\Delta q_{сз}}{T} + \frac{\Delta q_{сз}}{T_0} = -\frac{11,09}{266,66} + \frac{11,09}{233} = 0,006 \text{ кДж/(кг·К),}$$

где  $\Delta S_0$  – увеличение энтропии хладагента. Знак «-» означает отвод тепла.

Представленные результаты определения величины дополнительной нагрузки и возрастания энтропии из-за необходимости замораживания дегидратированной связанной воды показывают, что для общеприменяемых условий замораживания продуктов они не являются существенными и компенсируются запасом холодопроизводительности холодильных установок, предусматриваемым при проектировании.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Головкин, Н. А. Холодильная технология пищевых продуктов / Н. А. Головкин. – Москва, 1984. – 240 с.
2. Технология продуктов из гидробионтов: учебник для вузов / С. А. Артюхова [и др.]; под ред. Т. М. Сафроновой и В. И. Шендерюка. – Москва: Колос, 2001. – 496 с.

3. Эванс, Дж. А. Замороженные пищевые продукты: производство и реализация: пер. с англ. / Дж. А. Эванс. – Санкт-Петербург: Профессия, 2010. – 440 с.
4. Charm, S. Bound water in haddock muscle / S. Charm, P. Moody // ASHRAE Journal. – 1966. – N. 5. – P. 19-22.
5. Чижов, Г. Б. Теплофизические процессы в холодильной технологии пищевых продуктов / Г. Б. Чижов. – Москва, 1979. – 271с.
6. Технология рыбных продуктов: учеб. пособие / В. П. Зайцев [и др.]. – Москва, 1965. – 752 с.
7. Рютов, Д. Г. Влияние связанной воды на образование льда в пищевых продуктах при их замораживании / Д. Г. Рютов // Холодильная техника. – 1975. - № 5. – С. 32-37.
8. Технология рыбы и рыбных продуктов: учебник для вузов / В. В. Баранов [и др.]; под ред. А. М. Ершова. – Санкт-Петербург: ГИОРД, 2006. – 944 с.
9. Воскресенский, Н. А. Связанная вода и методы ее определения / Н. А. Воскресенский // Рыбное хозяйство. – 1957. - № 6. – С. 80-85.
10. Воскресенский, Н. А. Посол, копчение и сушка рыбы / Н. А. Воскресенский. – Москва. – 1966. - № 6. – 563 с.
11. Постольский, Я. Замораживание пищевых продуктов: пер. с польск. / Я. Постольский, З. Груда. – Москва, 1978. – 608 с.
12. Нащокин, В. В. Техническая термодинамика: учеб. пособие / В. В. Нащокин. – Москва, 1969. – 560 с.

#### REFERENCES

1. Golovkin N. A. *Holodil'naja tehnologija pishhevyh produktov* [Refrigeration technology of food manufacturing]. Moscow, 1984, 240 p.
2. Artjuhova S. A., Bogdanov V. D., Dacun V. M. i dr. *Tehnologija produktov iz gidrobiontov: uchebnyk dlja vuzov* [Technology of food products from hydrobionts: coursebook]. Moscow, Kolos, 2001, 496 p.
3. Jevans Dzh. A. Frozen food products: manufacturing and realization [Zamorozhennye pishhevyje produkty: proizvodstvo i realizacija]. Saint-Petersburg, Professija, 2010, 440 p.
4. Charm S., Moody P. Bound water in haddock muscle. ASHRAE Journal, 1966, no. 5, pp. 19-22.
5. Chizhov G. B. *Teplofizicheskie processy v holodil'noj tehnologii pishhevyh produktov* [Thermophysical processes in refrigeration technology of food products]. Moscow, 1979, 271 p.
6. Zajcev V. P., Kizivetter I. V., Lagunov L. L. i dr. *Tehnologija rybnyh produktov: uchebnoe posobie* [Technology of fish products: coursebook]. Moscow, 1965, 752 p.
7. Rjutov D. G. Vlijanie svjazannoj vody na obrazovanie l'da v pishhevyh produktah pri ih zamorazhivanii [Influence of combined water on ice formation in food products in their refrigeration]. *Holodil'naja tehnika*, 1975, no. 5, pp. 32-37.

8. Baranov V. V., Brazhnaja I. Je., Grohovskij V. A. i dr. *Tehnologija ryby i rybnyh produktov: uchebnyj dlja vuzov* [Technology of fish and fish products: coursebook]. Saint-Petersburg, GIOR, 2006, 944 p.
9. Voskresenskij N. A. Svjazannaja voda i metody ee opredelenija [Combined water and methods for its determination]. *Rybnoe hozjajstvo*, 1957, no. 6, pp. 80-85.
10. Voskresenskij N. A. *Posol, kopchenie i sushka ryby* [Salting, smoking and drying of fish]. Moscow, 1966, no. 6, 563 p.
11. Postol'skij Ja., Gruda Z. *Zamorazhivanie pishhevyh produktov* [Refrigeration of food products]. Per. s pol'sk., Moscow, 1978, 608 p.
12. Nashhokin V. V. *Tehnicheskaja termodinamika: uchebnoe posobie* [Technical thermodynamics: coursebook]. Moscow, 1969, 560 p.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

*Эрлихман Владимир Наумович* – Калининградский государственный технический университет; доктор технических наук, профессор, декан механико-технологического факультета; E-mail: verlikhman@mail.ru

*Erlikhman Vladimir Naumovich* – Kaliningrad State Technical University; Doctor of Technical Sciences, Dean of mechanical-technology faculty; E-mail: verlikhman@mail.ru

UDC 636.1:591.111

EFFECT OF PHYSICAL EXERCISE ON PRO- AND ANTIOXIDANT BALANCE IN  
THE BLOOD OF EVENTING HORSES

A. V. Andriichuk, G. M. Tkachenko, I. V. Tkachova

ВЛИЯНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ НАГРУЗОК НА ПРО- И АНТИОКСИДАНТНЫЙ  
БАЛАНС В КРОВИ ТРОЕБОРНЫХ ЛОШАДЕЙ

А. В. Андрийчук, Г. М. Ткаченко, И. В. Ткачова

Eventing is one of the most rigorous equestrian sports, requiring much endurance, courage, steadiness and mobility of the nervous processes, high fitness level and huge functional capacity of horses. The aim of the current study was to determine the level of oxidative stress biomarkers (2-thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) level, carbonyl derivatives of oxidatively modified proteins), antioxidant defenses enzymes (superoxide dismutase, catalase, glutathione reductase, glutathione peroxidase, ceruloplasmin activity) in the blood of eventing horses before and after exercise. Nine well trained equine athletes aged  $8.3 \pm 1.6$  years were used in this study. All horses had been in regular training for several years. Our results suggest that exercise causes different consequences on oxidative stress biomarkers in the plasma and erythrocytes of horses. Exercise leads to significant increase of TBARS level in the plasma, while in erythrocytes it does not. The significant increase of TBARS level in the plasma is the result of exercise-induced oxidative stress. This difference in TBARS level between pre-exercise and post-exercise period is most likely a consequence of different levels of oxidative stress occurring in the tissues and in the blood. Significant decrease in the aldehydic derivatives of protein oxidation in the plasma after exercise was noted. Exercise can induce the activity of the proteasome complex, which is significantly involved in the degradation of oxidatively modified proteins. Thus, in our study, decrease of carbonyl derivatives in the plasma after the exercise is the result of exercise-induced adaptation. We have found a significant decrease of ceruloplasmin level after exercise indicating elimination of reactive oxygen species during exercises.

*horses, eventing, oxidative stress, antioxidant defense, exercise*

Конное троеборье является одним из самых сложных видов конного спорта, который требует от лошадей выносливости, смелости, уравновешенности и подвижности нервных процессов, высокого уровня тренированности и значительных функциональных возможностей их организма. Целью работы было определение уровня маркеров окислительного стресса (содержания ТБК-активных продуктов в крови, альдегидных и кетонных производных окислительной модификации протеинов), активности ферментов антиоксидантной защиты (супероксиддисмутазы, каталазы, глутатионпероксидазы, глутатионредуктазы и церулоплазмينا) в крови спортивных лошадей, которые используются в троеборье до и после физических нагрузок. Установлено, что систематические физические нагрузки у троеборных лошадей сопровождаются специфическими изменениями метаболических реакций. В плазме лошадей после таких нагрузок выявлено существенное повышение содержания маркеров перекисного окисления липидов, что указывает на развитие окислительного стресса, вызванного

длительной интенсивной тренировкой. Содержание альдегидных производных окислительно-модифицированных протеинов плазмы лошадей после физических нагрузок существенно снизилось, что свидетельствует о развитии эффективных адаптационных реакций в их организме путем интенсификации протеолитической активности под влиянием систематических тренировок. Существенное снижение уровня церулоплазмينا после физических нагрузок, очевидно, указывает на важную роль этой медьсодержащей оксидазы в элиминации активных форм кислорода в плазме троеборных лошадей во время физических нагрузок.

*лошади, троеборье, окислительный стресс, антиоксидантная защита, физические нагрузки*

## INTRODUCTION

Three-day eventing is one of the most difficult and demanding among all equestrian disciplines. An eventing competition is composed of three parts. The achievements during the dressage test, the cross-country phase and the show-jumping test are transformed in penalty points. Stamina is very important for eventing horses. Stamina is defined as the ability to remain a certain speed as long as possible. Performance for stamina is mainly influenced by the oxygen utilization for the aerobic energy production [1].

Aerobic exercise can increase oxygen consumption by 10 to 20 folds in the whole body, and 100 to 200 folds in skeletal muscle [2]. Increased oxygen consumption during exercise enhances reactive oxygen species formation [3] and can lead to oxidative stress [4, 5]. Oxidative stress is defined as a disturbance of the equilibrium between antioxidants and oxidants in favour of oxidants [6, 7]. There is increasing evidence that horses are exposed to exercise-induced changes of oxidant/antioxidant balance, depending on exercise type, intensity and duration, training status, ambient conditions and presence of diseases [6, 7]. Therefore, the objective of the current study was to determine the level of oxidative stress biomarkers and antioxidant defenses in well-trained eventing horses before and after exercises.

## MATERIALS AND METHODS

**Horses and training.** Nine well trained Ukrainian Warmblood horses (3 mares, 6 geldings, 1 stallion) aged  $8.3 \pm 1.6$  years, involved in eventing were used in this study. Horses were housed in the same environment. They had the same vaccinate status and no signs of clinical disease. The females were non-pregnant. The diets were composed of grass hay and concentrated forage, fed three times per day. All horses had been in regular training for several years.

**Exercise test.** The study design consisted of one exercise test according to the training program. This test consists of a series of physical exercise of high intensity including a series of jumping over obstacles. The exercise test consisted of the walk (5 min), the trot (10 min), the walk (5 min), the trot (10 min) with working of dressage movements; the canter (15 min) with a series of jumps over obstacles of 90-120 cm height, and the walk (15 min).

**Blood samples.** The first blood samples were collected before exercises (pre); the other samples (post), were collected when the horses finished exercises. Blood samples were taken from the jugular vein, transferred to tubes with K-EDTA and held on ice until centrifugation at 3,000 g for 15 min. The plasma was removed; the erythrocytes were washed three times with five volumes of saline solution and centrifuged at 3,000 for 15 min. Plasma aliquots were frozen and stored at  $-25^{\circ}\text{C}$  until analyzed. Plasma was used for the determination of lipid peroxidation, carbonyl

derivatives of protein oxidative modification, total antioxidant capacity, catalase activity and ceruloplasmin level; erythrocyte suspension was used for lipid peroxidation, carbonyl derivatives of protein oxidative modification, total antioxidant capacity, superoxide dismutase activity, glutathione reductase and glutathione peroxidase activity, as well as for erythrocyte osmotic resistance assay.

**Biochemical assays.** Lipid peroxidation was determined as malonic dialdehyde (MDA) by estimation of the 2-thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) according to Kamyshnikov (2004) [8]. Carbonyl groups were measured as an indication of oxidative damage to proteins according to the method of Levine et al. (1990) [9] in modification by Dubinina et al. (1995) [10]. Superoxide dismutase (SOD, E.C. 1.15.1.1) activity in erythrocyte suspension was determined according by the method of Kostiuk et al. (1990) [11]. Catalase (CAT; EC 1.11.1.6) activity was determined by measuring the decrease of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> concentration at 410 nm according to Koroliuk et al. (1988) [12]. Glutathione reductase (GR, EC 1.6.4.2) activity was assayed as described by Glatzle et al. (1974) with some modifications [13]. Glutathione peroxidase (GPx, EC 1.11.1.9) activity was determined on the detection of nonenzymatic utilization of GSH as the reacting substrate at an absorbance of 412 nm after incubation with 5,5-dithiobis-2-nitrobenzoic acid (DTNB) according by the method of Moin (1986) [14]. CP in the plasma was measured spectrophotometrically at the wavelength of 540 nm as described by Ravin (1961) [15].

**Statistical analysis.** Results are expressed as mean ± S.E.M. All variables were tested for normal distribution using the Kolmogorov-Smirnov test (p>0.05). In order to find significant differences (significance level, p<0.05) between states before and after exercise, Wilcoxon signed-rank test was applied to the data [16]. All statistical analyses were performed using STATISTICA 10.0 software (StatSoft, Poland).

## RESULTS AND DISCUSSION

The oxidative stress biomarkers before and after exercise were evaluated through the analysis of TBARS level, aldehydic and ketonic derivatives of oxidative modification of proteins and are shown in Table 1.

Table 1. Oxidative stress biomarkers in the blood of eventing horses before and after exercise

Таблица 1. Маркеры окислительного стресса в крови троеборных лошадей до и после физической нагрузки

Oxidative stress biomarkers	Before exercise	After exercise
TBARS in erythrocytes, $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	14.59±0.77	13.05±0.48
TBARS in plasma, $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	4.87±0.33	7.07±1.14*
Aldehydic derivatives of OMP in erythrocytes, $\text{nmol}\cdot\text{mL}^{-1}$	7.21±1.25	9.79±2.47
Ketonic derivatives of OMP in erythrocytes, $\text{nmol}\cdot\text{mL}^{-1}$	7.38±1.48	11.47±3.35
Aldehydic derivatives of OMP in plasma, $\text{nmol}\cdot\text{mL}^{-1}$	13.79±0.14	12.74±0.16*
Ketonic derivatives of OMP in plasma, $\text{nmol}\cdot\text{mL}^{-1}$	19.03±0.11	18.89±0.21

\*The level of significance is set at p<0.05 compared between before and after exercise (paired samples by Wilcoxon signed-rank test)

\*Статистически достоверные изменения (p<0,05) показателей, полученных в состоянии покоя и после тренинга (тест Уилкоксона)

After exercise, TBARS level in plasma of eventing horses was increased by 45% (p<0.05). However, there were no significant changes in erythrocytes' TBARS level

after exercise. It has been shown that increased TBARS level in plasma after exercise is a consequence of leakage of peroxides from tissues, especially from muscle into plasma [17]. Oxidative modification of plasma constituents was an expression of oxidative damage that occurred in tissues [17]. Increased TBARS level in plasma after exercise test indicate on exercise-induced oxidative stress. Our data are consistent with results obtained for other researches that aerobic physical activity can enhance of lipid-targeting oxidative stress in response to an acute bout of exercise [7]. Soares and coauthors (2011) shown a significant increase in the TBARS level immediately after exercise, which returned to normal level at 24 h, in horses involved to jumping competitions [18]. Gondim et al. (2009) evaluated oxidative stress biomarkers, antioxidant defenses, and performance during a multiday 210-km endurance race. TBARS level was increased compared with baseline values but remained at the same levels throughout the 3 days of competition [19].

After exercise, aldehydic derivatives of OMP in plasma of horses were decreased by 7% ( $p < 0.05$ ) compared to period before exercise. No significant changes of protein carbonyl oxidation in the erythrocytes and plasma of trained horses before and after exercise test were observed. It has been shown that regular physical exercise leads to increase the activity of the proteasome complex involved in the removal of oxidatively modified proteins in the muscle of old well-trained rats [20]. This is an important adaptive response because the induction of a repair mechanism – proteasome complex – is regarded as a repair enzyme. Exercise can induce the activity of the proteasome complex involved significantly in the degradation of oxidatively modified proteins [20, 21]. An increased rate of protein turnover with exercise training decreases the accumulation of oxidative damage, hence beneficially affecting the physiological function of proteins. The proteasome complex plays a critical role in this process [20-22]. Thus, in our study, significant decrease of aldehydic derivatives in plasma of eventing horses, seems is the result of enhanced activities of antioxidant system and activity of the proteasome complex.

Antioxidant defense in the blood of well-trained eventing horses before and after exercise are shown in Table 2.

Table 2. Antioxidant defense in the blood of eventing horses before and after exercise  
Таблица 2. Активность ферментов антиоксидантной защиты в крови троеборных лошадей до и после физической нагрузки

Antioxidant defense	Before exercise	After exercise
Superoxide dismutase, $U \cdot mL^{-1}$	11.32±0.45	12.74±1.07
Catalase, $\mu mol \cdot min^{-1} \cdot L^{-1}$	3.01±0.45	2.40±0.58
Glutathione reductase, $nmol \cdot min^{-1} \cdot mL^{-1}$	0.857±0.156	1.179±0.163
Glutathione peroxidase, $\mu mol \cdot min^{-1} \cdot mL^{-1}$	0.778±0.219	1.962±0.478
Ceruloplasmin, $mg \cdot L^{-1}$	41.81±3.28	27.61±5.33*

\* The level of significance is set at  $p < 0.05$  compared between before and after exercise (paired samples by Wilcoxon signed-rank test).

SOD: супероксиддисмутаза; CAT: каталаза; GR: глутатионредуктаза; GPx: глутатионпероксидаза; CP: церулоплазмин

\* Статистически существенные изменения ( $p < 0,05$ ) показателей, полученных до и после физической нагрузки

There were no statistically significant changes in the activities of antioxidant defenses instead ceruloplasmin level in the blood of horses involved in eventing (Table 1). CP level



reduced by 34% ( $p < 0.05$ ). CP is a copper-containing glucoprotein with multiple physiological functions, including ferroxidase and oxidase activity [23]. It has been suggested that CP might be the major antioxidant in plasma as a scavenger of oxygen radicals [24]. It acts as an antioxidant through ferroxidase activity, and it also scavenges superoxide anion ( $\cdot\text{O}_2^-$ ). Increased plasma ceruloplasmin levels are associated with the generation of oxidant products ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ;  $\cdot\text{O}_2^-$ ) [23]. Physiological factors like cancer, exercise, chronic inflammation, pregnancy increases CP level [23]. However, results of the present study showed the decrease of ceruloplasmin level after exercise. It has been shown that CP is negatively regulated by ROS at the mRNA level; in particular, oxidative stress generated by hydrogen peroxide or mitochondrial electron-transport chain inhibitors cause to decrease CP expression by inducing its mRNA degradation [25]. The decrease in CP mRNA stability is the result of reduced binding of a yet-unidentified protein to the 3'UTR of the mRNA [25]. Similarly, hypoxia-induced oxidative stress occurring in humans during their 3-month exposure to high altitude reduced CP plasma levels by 22% compared to sea-level controls. The CP expression upon longer term exposure to high-altitude hypoxia (13 months) was 37% higher compared to that in the sea-level subjects [26]. Taken together, there is sufficient evidence of the beneficial effect of CP in hypoxic adaptation, but marked induction of CP expression in humans requires long-term exposure to hypoxic conditions, such as prolonged stays at high altitudes or preeclampsia [26].

The results of our study showed enhanced level of lipid peroxidation in plasma of eventing horses after exercise test. It has been suggested that CP might be the major antioxidant in plasma as a scavenger of oxygen radicals. Therefore, it can be hypothesized that the reduced ceruloplasmin level in eventing horses after exercises test may be caused by its use in elimination of ROS production during exercises.

### CONCLUSIONS

1. Exercise leads to significant increase of TBARS level in the plasma of eventing horses. The significant increase of TBARS level in the plasma is the result of exercise-induced oxidative stress. This difference in TBARS level between rest and after exercise test most likely is a consequence of different levels of oxidative stress occurring in the tissues and the blood.

2. Significant decrease in the aldehydic derivatives of protein oxidation in the plasma after training was noted and may be due to the result of exercise-induced adaptation.

3. Significantly reduced ceruloplasmin level in eventing horses after exercises test may be caused by its use in elimination of reactive oxygen species production during exercises.

*This study was supported by Polish National Commission for UNESCO.*

### REFERENCES

1. Foreman, J. H., Waldsmith, J. K., Lalum, R. B. Physical, acid-base and electrolyte changes in horses competing in training, preliminary and intermediate horse trials. *Equine and Comparative Exercise Physiology*, 2003, Vol. 1, pp. 99-105.

2. Packer, L. Oxidants, antioxidant nutrients and the athlete. *J. Sports Sci.*, 1997, Vol. 15, pp. 353-363.
3. Bailey, D. M., Davies, B., Young, I. S., Jackson, M. J., Davison, G. A., Isaacson, R., Richardson, R. S. EPR spectroscopic detection of free radical out flow from an isolated muscle bed in exercising humans. *Appl. Physiol.*, 2003, Vol. 94, pp. 1714-1718.
4. Alessio, H. M. Exercise-induced oxidative stress. *Med. Sci. Sports*, 1993, Vol. 25, pp. 218-224.
5. Williams, S. L., Natalie, A. S., Louise, A. L., Jeff, S. C. Antioxidant requirements of endurance athletes: implications for health. *Nutr. Rev.*, 2006, Vol. 64, pp. 93-108.
6. Deaton, C. M., Marlin D. J. Exercise-associated oxidative stress. *Clin. Tech. Equine Pract.*, 2003, Vol. 2, pp. 278-291.
7. Kirschvink N., de Moffarts, B., Lekeux, P. The oxidant/antioxidant equilibrium in horses. *The Veterinary Journal*, 2008, Vol. 177, pp. 178-191.
8. Kamyshnikov, V. S. *Spravochnik po kliniko-biokhimicheskim issledovaniyam i laboratornoj diagnostike* [The reference book on clinical-biochemical studies and laboratory diagnostics]. Moscow, MedPress-inform, 2004, 589 p.
9. Levine R. L., Garland, D., Oliver, C. N., Amici, A., Climent, I., Lenz, A.-G., Ahn, B.-W., Shaltiel, S., Stadtman, E. R. Determination of carbonyl content in oxidatively modified proteins. *Methods in Enzymology*, 1990, N 186, pp. 465-478.
10. Dubinina, E. E., Burmistrov, S. O., Khodov, D. A., Porotov, I. G. Okislitel'naja modifikacija belkov syvorotki krovi cheloveka. Metody ejo opredelenija [Oxidative modification of human serum proteins. A method of determining it]. *Voprosy medicinskoj himii*, 1995, Vol. 41, pp. 24-26.
11. Kostiuk, V. A., Potapovich, A. I., Kovaleva, Zh. V. Prosto i chuvstvitel'nyj metod opredelenija superoksiddismutazy osnovannyj na reakcii okislenija kvercetina [A simple and sensitive method of determination of superoxide dismutase activity based on the reaction of quercetin oxidation]. *Voprosy medicinskoj himii*, 1990, Vol. 2, pp. 78-91.
12. Koroliuk, M. A., Ivanova, L. I., Majorova, I. G., Tokarev, V. E. Metod opredelenija aktivnosti katalazy [A method of determining catalase activity]. *Laboratornoe Delo*, 1988, N 1, pp. 16-19.
13. Glatzle, D., Vuilleumier, J. P., Weber, F., Decker, K. Glutathione reductase test with whole blood, a convenient procedure for the assessment of the riboflavin status in human. *Experientia*, 1974, Vol. 30, pp. 665-667.
14. Moin, V. M. Prosto i specificheskij metod opredelenija aktivnosti glutationperoksidazy v eritrocitah [A simple and specific method for determining glutathione peroxidase activity in erythrocytes]. *Laboratornoe Delo*, 1986, Vol. 12, pp. 724-727.
15. Ravin, H. A. An improved colorimetric enzymatic assay of ceruloplasmin. *The Journal of Laboratory and Clinical Medicine*, 1961, Vol. 58, pp. 161-168.
16. Zar, J. H. *Biostatistical Analysis*. Fourth ed. New Jersey: Prentice-Hall Inc., 4th ed., Englewood Cliffs, 1999.
17. Ilhan, N., Kamanli, A., Ozmerdivenli, R., Ilhan, N. Variable effects of exercise intensity on reduced glutathione, thiobarbituric acid reactive substance levels and glucose concentration. *Archives of Medical Research*, 2004, Vol. 35, pp. 294-300.

18. Soares, J. C., Zanella, R., Bondan, C., Alves, L. P., de Lima, M. R., da Motta, A. C., Zanella, E. L. Biochemical and antioxidant changes in plasma, serum, and erythrocytes of horses before and after a jumping competition. *Journal of Equine Veterinary Science*, 2011, Vol. 31, pp. 357-360.
19. Gondim, F. J., Zoppi, C. C., Silveira, L. S., Pereira-da-Silva, L., de Macedo, D. V. Possible relationship between performance and oxidative stress in endurance horses. *Journal of Equine Veterinary Science*, 2009, Vol. 29, pp. 206-212.
20. Radak, Z., Zhao, Z., Koltai, E., Ohno, H., Atalay, M. Oxygen consumption and usage during physical exercise: the balance between oxidative stress and ROS-depend adaptive signaling. *Antioxid. Redox Signal.*, 2013, Vol. 18, pp. 1208-1246.
21. Nunes-Silva, A., Freitas-Lima, L. G. The association between physical exercise and reactive oxygen species (ROS) production. *J. Sports Med. Doping Stud.*, 2015, 5, pp. 5-10.
22. Ji, L. L., Radak, Z., Goto, S. Hormesis and exercise: how the cell copes with oxidative stress. *American Journal of Pharmacology and Toxicology*, 2008, Vol. 3, pp. 44-58.
23. Harma, M. I., Harma, M., Erel, O. The FORT test: a novel oxidative stress marker or a well-known measure of ceruloplasmin oxidase activity? *Atherosclerosis*, 2006, Vol. 187, pp. 441-442.
24. Kim, L. B. Age-related changes in ceruloplasmin content in W/SSM rats. *Bulletin of Experimental Biology and Medicine*, 2008, Vol. 146. pp. 680-681.
25. Tapryal, N., Mukhopadhyay, C., Das, D., Fox, P. L., Mukhopadhyay, C. K. Reactive oxygen species regulate ceruloplasmin by a novel mRNA decay mechanism involving its 3'-untranslated region. *J. Biol. Chem.*, 2009, Vol. 284, pp. 1873-1883.
26. Vij, A. G., Dutta, R., Satija, N. K. Acclimatization to oxidative stress at high altitude. *High Alt. Med.*, 2005, Vol. 6, pp. 301-310.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Андрийчук Анастасия Васильевна* – Институт животноводства Национальной академии аграрных наук Украины, пгт Кулинич, Харьковский район, Харьковская область; аспирант; E-mail: anastasia.pohlyad@gmail.com

*Andriichuk Anastasiia Vasilievna* – Institute of Animal Science, National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, the urban-type village Kulinichi, Kharkov region; Post-graduate student; E-mail: anastasia.pohlyad@gmail.com

*Ткаченко Галина Михайловна* – Институт биологии и охраны среды, Поморская Академия, г. Слупск, Польша; кандидат биологических наук, докторант кафедры зоологии и физиологии животных; E-mail: tkachenko@apsl.edu.pl

*Tkachenko Galyna Mikhailovna* – Institute of Biology and Environmental Protection, Pomeranian University, Slupsk, Poland, Department of Zoology and Animal Physiology; PhD, Assistant Professor; E-mail: tkachenko@apsl.edu.pl

*Ткачева Ирина Владимировна* – Институт животноводства Национальной академии аграрных наук Украины, пгт Кулинич, Харьковский район, Харьковская область; заведующая отделом коневодства;  
E-mail: i-tkachova@yandex.ru

*Tkachova Irina Vladimirovna* – Institute of Animal Science, National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, the urban-type village Kulinichi, Kharkov region;  
Head of the Horse-breeding Department; E-mail: i-tkachova@yandex.ru

УДК 631.4

СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА АГРЕГАТНОГО СОСТАВА ПОЧВ РАЗНОЙ  
СТЕПЕНИ ГИДРОМОРФИЗМА

О. А. Анциферова

SEASONAL DYNAMICS OF SOIL AGGREGATE OF DIFFERENT DEGREES  
OF HYDROMORPHISM

O. A. Antsiferova

Исследования проведены на двухлетнем залежном поле Зеленоградского района Калининградской области, в пределах Самбийской холмисто-моренной равнины. Изучена динамика агрегатного состава почв с апреля по декабрь 2013 г. в 12 ареалах почв разной степени гидроморфизма. Исследование выявило, что соотношение агрегации и дезагрегации специфично для индивидуальных почвенных ареалов. Максимум агрегированности в большинстве почв наблюдается в период, когда влажность находится в оптимальном диапазоне (70–100 % наименьшей влагоемкости). Структура буроземов глееватых связносупесчаных (содержание физической глины 15 – 20 %) и легкосуглинистых опесчаненных непрочная. Под влиянием атмосферных осадков (ливней) даже под пологом травянистой растительности агрегаты размокают. Сила корреляционной связи между влажностью и структурностью в буроземах глееватых вершин и склонов варьирует от слабой до средней. В дерново-глеевых почвах корреляция между значениями коэффициента структурности и полевой влажностью сильная. Влажность в этих почвах является определяющим условием агрегации во времени. При этом уровень оструктуренности почвы есть интегративный результат режима влажности и содержания гумуса. При отборе почвенного образца в сырой период с последующим высушиванием в лабораторных условиях агрегаты слипаются в глыбистую массу. Поэтому в результате сухого рассева с последующей обработкой данных получается низкий коэффициент структурности. Отбор почвенных образцов на анализ для целей оценки почвенной структуры в регионе необходимо проводить в период с мая по август для почв склонов и повышений с учетом погодных условий. Для дерново-глеевых почв оптимальный период отбора образцов более узкий и приходится на июль-сентябрь в средний по количеству осадков год. При этом необходимо учитывать режим увлажнения конкретных почв.

*агрегатный состав, сухой рассев, сезонная динамика, влажность почв*

Research has been conducted on a two-year abandoned field of Zelenogradsk in the Kaliningrad region within the Sambiyskaya hilly morainic plain. The dynamics of the aggregate composition of soils from April to December 2013 in 12 soil areas of various degrees of hydromorphism. It was found that the ratio of the aggregation and disaggregation is specific for a particular soil area. Maximum aggregation in most soils is observed at the time when moisture is in the optimum range (70 - 100 % of field

capacity). The structure of gleysolic loamy and sandy burozem (physical clay content of 15 - 20%) is unstable. Under the influence of atmospheric precipitation (rainfall), even under the cover of herbaceous vegetation soil aggregates soak. Correlation strength between moisture content and structure in burozems of gleysolic peaks and slopes varies from weak to medium. In sod gley soils correlation between the coefficient of structural properties and field moisture is strong. Moisture in these soils is a determining factor of aggregation in the course of time. The level of the soil structure is the integrative result of the regime of moisture and humus content.

While selecting soil samples in wet period following its drying in the laboratory aggregates coalesce in cloddy mass. Therefore, as a result of dry sieving followed by data processing a low structure coefficient is obtained. Selection of soil samples for analysis in order to assess soil structure in the region should be carried out in the period from May to August for soil of slopes and uplands. Soil sampling run should be adjusted to weather conditions. The optimum sampling run for sod gley soils is narrower and is in July -September in an average rainfall year. Moisture regime of particular soils should be taken into account.

*aggregate composition, dry sieving, seasonal dynamics, moisture of soils*

## ВВЕДЕНИЕ

Структура почвы – это форма и размер макроагрегатов (педов), сухих и водопрочных [1, с. 58]. В. В. Медведев указывает, что структура — это определенный внутригоризонтный уровень организации почвенного тела, отражающий особенности почвообразования данной местности. Этот уровень можно охарактеризовать размером, формой, плотностью укладки структурных единиц, внешними и внутренними свойствами, а еще специфической динамикой, также отражающей колебания факторов агрегации и дезагрегации [2]. В настоящее время существуют три теории агрегатообразования (К. К. Гедройца, И. Н. Антипова-Каратаева, В. Р. Вильямса) [1]. Исследование почвенной структуры актуально, потому что агрегатный состав почвы является определяющим фактором для создания водно-воздушных условий для роста и развития растений [1, 3 - 6].

Сезонная динамика агрегатного состава почв в Калининградской области не изучалась. В задачи исследования входило: 1) проанализировать агрегатное состояние разных почв методом сухого отсева; 2) изучить влияние степени увлажнения почв с апреля по декабрь на агрегатное состояние; 3) изучить влияние сроков отбора образцов на результат сухого отсева.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводили на ключевом участке «Перелески» в Зеленоградском районе Калининградской области, в пределах Самбийской холмисто-моренной равнины. Пробы почв с каждого почвенного ареала в 4-5-кратной повторности отбирали каждый месяц с апреля по декабрь 2013 г. Изучено 12 ареалов почв разной степени гидроморфизма (рис. 1). Агрегатный состав почв анализировали методом сухого отсева по Савинову [7, с. 62]. Оценку агрегатного состояния проводили по шкале С. И. Долгова и П. У. Бахтина. По результатам агрегатного анализа вычисляли коэффициент структурности (Кстр.) [7, с. 63]. Параллельно проведен мониторинг увлажненности изученных почв.

Наименьшую влагоемкость (НВ) определяли по Николаеву. Величина влажности разрыва капиллярной связи (ВРК) принята 0,7 НВ [8, с. 165]. В работе использованы данные метеостанции г. Калининграда за 2013 г.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Почвенный покров ключевого участка контрастный. На вершинах холмов встречаются буроземы легкосуглинистые и супесчаные глееватые, в отдельных случаях без признаков оглеения (автоморфные). Оглеение на вершинах холмов связано с формированием в нижней части профиля верховодки в весенний период. На склонах преобладают глееватые буроземы легкосуглинистые. Они питаются атмосферными осадками и намывными склоновыми водами, поэтому в их профиле тоже формируется верховодка. У основания склонов холмов на относительно хорошо проницаемых легких суглинках и супесях сформировались в зависимости от локального сочетания экологических условий буроземы глеевые легкосуглинистые или дерново-подзолистые иллювиально-гумусово-железистые глеевые почвы. В замкнутых понижениях почвы дерново-глеевые. Их морфологический облик и химические свойства зависят от степени увлажнения. Выделяются две категории дерново-глеевых почв: 1) грунтового и натежного увлажнения с относительно коротким периодом поверхностного застоя воды (в пределах 1 мес. в году), в таких условиях накапливается большое количество гумуса; 2) натежного увлажнения с длительным периодом поверхностного застоя воды (свыше 1 мес. в году), это почвы с наличием глинистых прослоек вблизи поверхности или сразу под гумусовым горизонтом, оглеение развивается с поверхности, почвы содержат значительно меньше гумуса по сравнению с предыдущей группой.

Большинство буроземов и дерново-подзолистых почв имеет выщелоченный профиль (кислая реакция среды в средней части профиля и в почвообразующей породе). Дерново-глеевые почвы сформировались на карбонатных отложениях. Но ввиду длительной агрогенной эволюции карбонаты выщелочены на различную глубину от 50 до 150 см. Гумусовый горизонт большинства дерново-глеевых почв является в настоящее время кислым. В период исследования ключевой участок представлял собой двухлетнюю залежь. Плотность сложения гумусового горизонта большинства почв на ключевом участке оптимальная [9].

Мы изучили влияние сроков отбора образцов на результат сухого посева. Эти данные дают следующую информацию:

1) приближенное представление о сезонной динамике агрегатного состава почв разной степени оглеения, т. е. об устойчивости почвенных агрегатов во времени;

2) позволяют выявить зависимость агрегатного состава (по методу сухого посева) от изменения полевой влажности гумусового горизонта с весны до зимы;

3) установить оптимальные сроки отбора почвенных образцов для агрегатного анализа в климатических условиях региона.

За исследуемый 2013 г. количество осадков составило 794 мм, что близко к средней многолетней норме (792 мм). Среднегодовая температура составила 8,2<sup>0</sup>С.





Динамика агрегатного состава буроземов глееватых на вершинах холмов представлена на рис. 2. Полевая влажность в апреле-начале мая была выше НВ. С середины мая и в первой половине лета она снижалась (диапазон ВРК – НВ, в отдельные декады ниже ВРК). Это способствовало структурообразованию в гумусовом горизонте под влиянием корней разнотравно-злаковой растительности залежи. Обильные осадки последней декады июня (76 мм) и июля (88 мм) привели к увлажнению почвы выше значений наименьшей влагоемкости, что по-разному отразилось на агрегатном составе. В ареале 5 бурозема на плоской вершине в июле зафиксированы наибольшие значения коэффициента структурности, далее началась постепенная деструктуризация (рис. 2А).

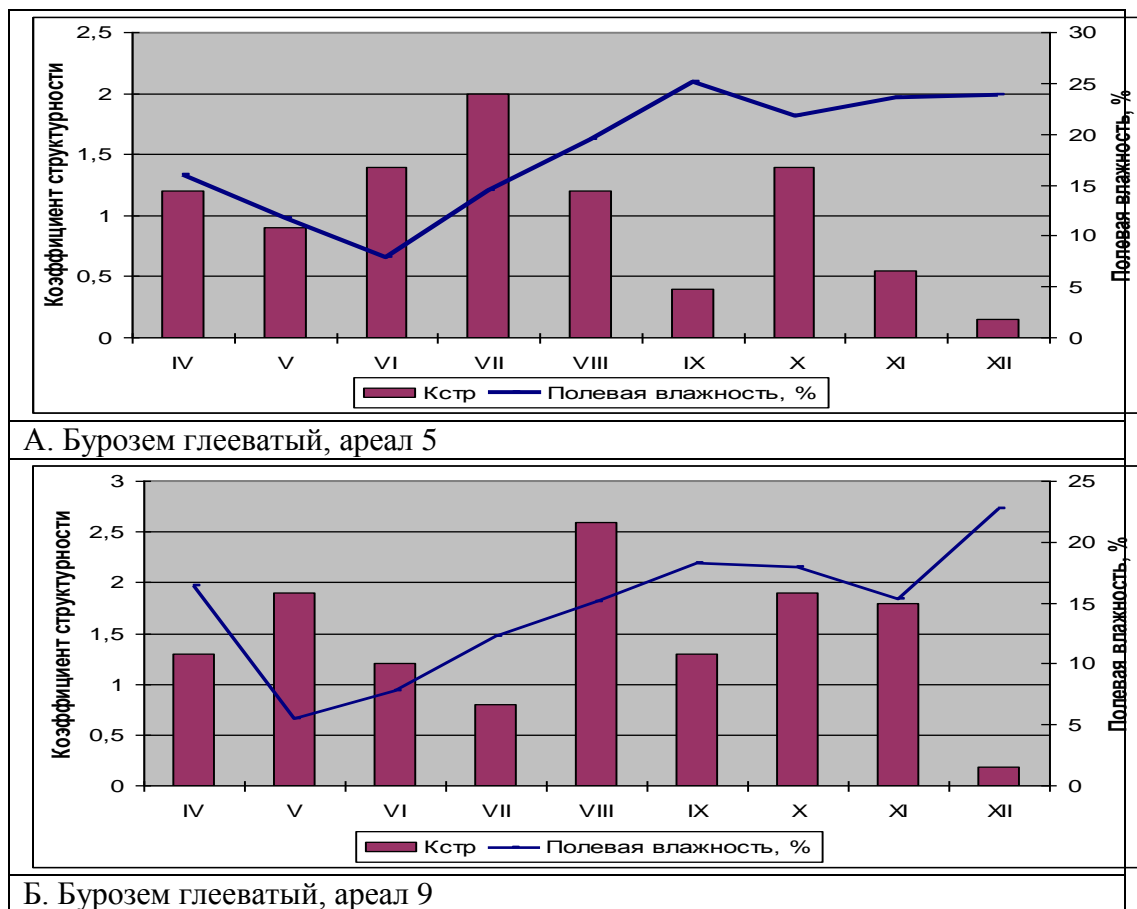


Рис. 2. Динамика структурного состояния и полевой влажности в буроземах глееватых на вершинах холмов

Fig. 2. Dynamics of the structural state and field moisture of gleysolic burozems on hill tops

Для ареала бурозема супесчаного с низким содержанием гумуса летнее переувлажнение резко понизило коэффициент структурности, что говорит о низкой устойчивости структуры к воздействию атмосферных осадков (рис. 2Б). Снижение оструктуренности почвы наблюдалось в сырой период сентября (148 мм осадков за месяц). Максимум агрегации почвенной массы выражен в августе. Переход к зиме сопровождался резкой дезагрегацией почвенной массы.

Динамика агрегатного состава буроземов глееватых на склонах холмов представлена на рис. 3. Минимальные значения полевой влажности во всех

ареалах буроземов приходится на май - июнь (ВРК – НВ, реже ВЗ – ВРК). Коэффициенты структурности почв в этот период варьируют от 0,8 до 2,2 (хорошее и отличное агрегатное состояние). Летний период переувлажнения (влажность выше НВ) неоднозначно повлиял на процесс структурообразования. Сентябрьское переувлажнение проявилось в форме сильных ливней (84 мм осадков за первую декаду) и отрицательно сказалось на структурном состоянии практически всех почв.

Худшей способностью к агрегации отличался ареал 1 - бурозем глееватый под сообществом золотарника гигантского (*Solidago gigantea* L.). Быстрая агрегация при оптимальных погодных условиях характерна для супесчаного бурозема ареала 4 (разнотравно-злаковое сообщество) и бурозема легкосуглинистого ареала 10 под сообществом тимофеевки луговой (*Phleum pratense* L.). В зимний период в буроземах склонов происходит распад почвенных макроагрегатов под влиянием понижения температур на фоне прогрессирующего увлажнения и перехода значений влажности выше НВ.

Сезонное изменение агрегатного состава дерново-глеевых почв замкнутых западин представлено на рис. 4. В апреле дерново-глеевые почвы находились в стадии поверхностного затопления (полная влагоемкость), которое продолжалось до первой декады мая. Просыхание верхнего горизонта в середине мая (переход влажности в диапазон ВРК – НВ) стимулировало бурную вегетацию растительности. Рост корневой системы, в первую очередь злаковых видов, способствовал структурообразованию на фоне оптимальной влажности гумусового горизонта. В условиях 2013 г. коэффициент структурности в двух сходных ареалах многогумусных дерново-глеевых почв сильно отличался. Наиболее оструктуренной оказалась дерново-глеевая почва ареала 7. Высокое содержание гумуса (8 - 9 %) указывает на то, что до аграрного этапа эволюции это была перегнойно-глеевая почва. В период земледельческого использования произошла частичная деградация гумусовой системы под влиянием осушения. Однако большое количество органического вещества содействует формированию прочной структуры, устойчивой к весеннему затоплению тальми водами, насыщенными кислородом с высоким значением ОВП (рис. 4Б).

В ареале 3 под пырейным сообществом (*Elytrigia repens* L.) максимум структурообразования пришелся на август. Этому способствовали высокие среднесуточные температуры, малое количество осадков и оптимальная влажность почвы (ВРК – НВ). В сентябре произошло сильное переувлажнение почв, что выразилось в снижении коэффициента структурности (рис. 4А). В ноябре и декабре дезагрегация почвенной массы связана с наступлением периода поверхностного затопления и значительным снижением окислительно-восстановительного потенциала (ОВП). При низких значениях ОВП структура разрушается.

Малое количество гумуса и более длительный период поверхностного застоя воды (до середины мая), длительное развитие сильного оглеения в гумусовом горизонте приводят к тому, что в западинах второй группы агрегация почвенной массы выражена слабо. Из двух исследованных ареалов несколько активнее структурообразование происходило под розовоклеверным сообществом (*Trifolium hybridum*) в ареале 2 (рис. 4В). В ареале 12 дерново-глеевой почвы препятствует просыханию почвы мощный слой (5 - 8 см) полуразложившихся растительных остатков (подстилки). Растительный покров формируется из влаголюбивых видов, образующих сплошной покров: полевицы собачьей и

лисохвоста коленчатого (*Agrostis canina L.*, *Alopecurus geniculatus L.*). Эти обстоятельства замедляют агрегацию почвенной массы вследствие сохранения в почве восстановительных условий (200-300 мВ). Влажность перешла в границы ВРК – НВ только в июне.

Мы установили корреляционную связь между коэффициентом структурности и полевой влажностью с апреля по декабрь (таблица).

Таблица. Корреляционная связь «Кстр. – полевая влажность» в почвах разной степени оглеения

Table. Correlation «Structure coefficient - field moisture» in the soils of different degree of gleyization

Группа почв	Номер ареала	Коэффициент корреляции
Буроземы глееватые вершин холмов	5	-0,62
	9	-0,32
Буроземы глееватые склонов	1	-0,54
	4	-0,41
	6	-0,63
	8	-0,46
	10	-0,67
	11	-0,85
Дерново-глеевые замкнутых понижений	3	-0,75
	7	-0,70
	2	-0,80
	12	-0,73

Во всех случаях корреляционная связь отрицательная, т. е. при возрастании влажности почв происходит снижение коэффициента структурности. Это позволяет судить об устойчивости почвенной структуры во времени. Сила корреляционной связи различна (таблица). Она варьирует от слабой до средней в буроземах глееватых вершин и склонов. Значит, на соотношение агрегации - дезагрегации почвенной массы на автономных и транзитных позициях рельефа влияет не только влажность, но и локальные особенности минералогического и гранулометрического состава, физико-химических свойств почв, биота (корневая система, количество почвенных землероев). В дерново-глеевых почвах корреляция между значениями коэффициента структурности и полевой влажностью сильная (тесная). Влажность в этих почвах является определяющим условием агрегации во времени. При этом уровень оструктуренности почвы есть интегративный результат режима влажности и содержания гумуса.

При обобщении можно заключить, что структура буроземов глееватых связноупесчаных (содержание физической глины 15 – 20%) и легкосуглинистых опесчаненных непрочная. Под влиянием атмосферных осадков (ливней) даже под пологом травянистой растительности агрегаты размокают. При отборе почвенного образца в сырой период с последующим высушиванием в лабораторных условиях агрегаты слипаются в глыбистую массу. Поэтому в результате сухого рассева с последующей обработкой данных получается низкий коэффициент структурности.

Отбор почвенных образцов на анализ для целей оценки почвенной структуры необходимо проводить в период с мая по август для почв склонов и повышений.

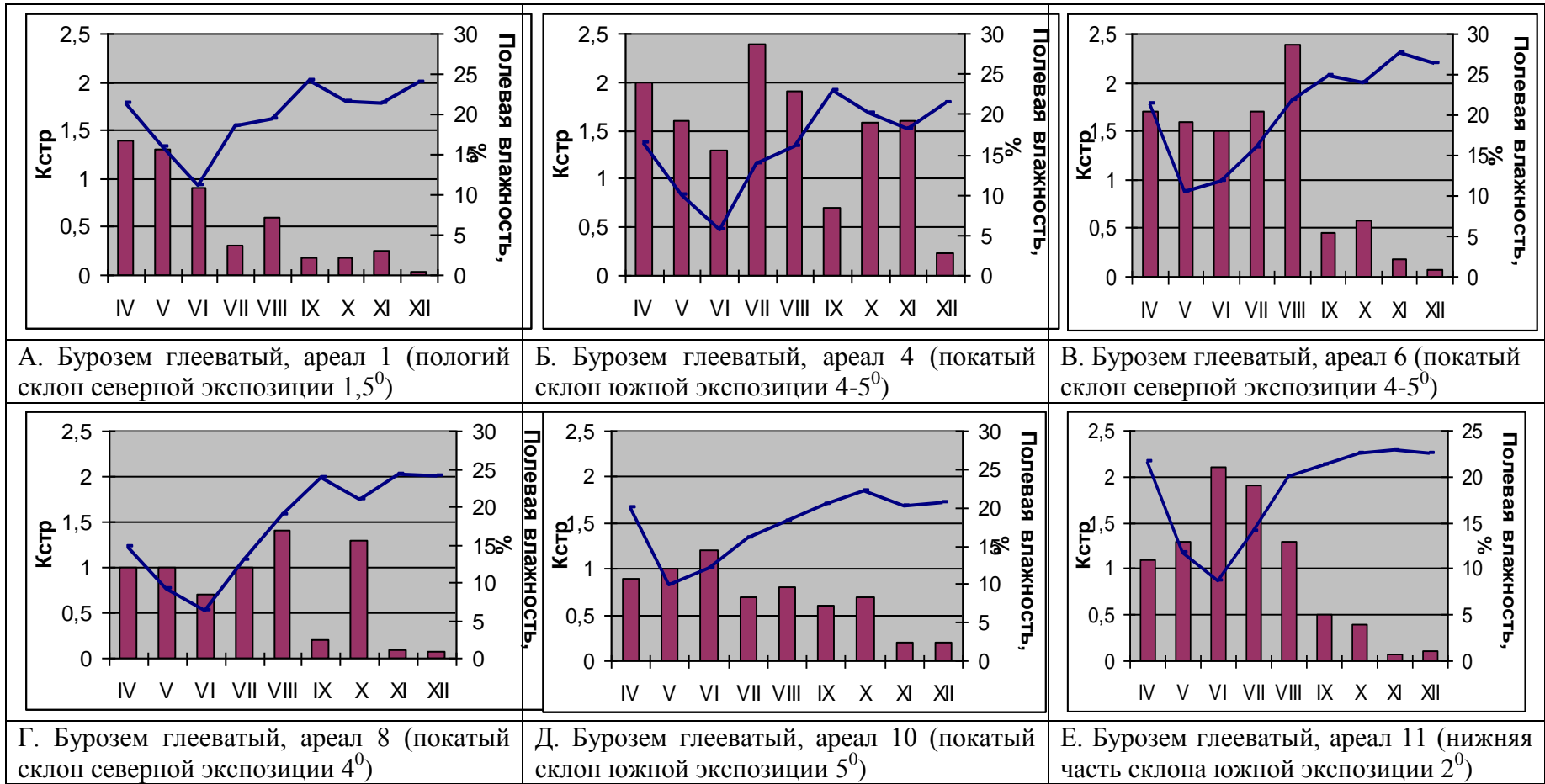


Рис. 3. Динамика структурного состояния и полевой влажности в глееватых буроземах склонов  
 Fig. 3. Dynamics of the structural state and field moisture in the gleysolic burozems of slopes

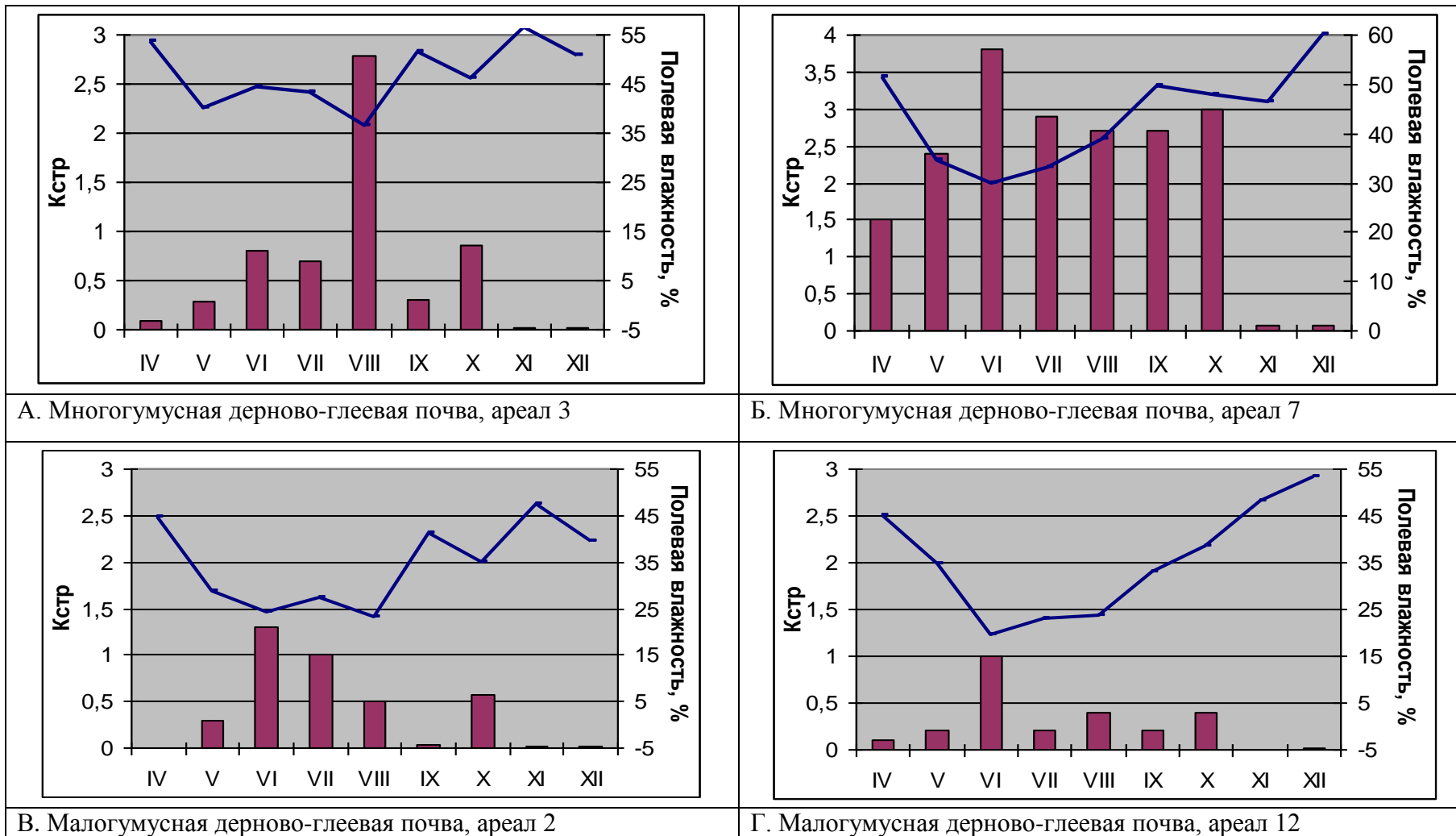


Рис. 4. Динамика структурного состояния и полевой влажности в дерново-глеевых почвах замкнутых понижений  
 Fig. 4. Dynamics of the structural state and field moisture in the sod gley soils of closed declivities

При этом сроки отбора должны корректироваться в связи с погодными условиями. Отбирать образцы необходимо спустя неделю или две после сильных дождей.

Для дерново-глеевых почв оптимальный период отбора образцов более узкий и приходится на июль-сентябрь в средний по количеству осадков год. При этом необходимо учитывать режим увлажнения конкретных почв.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Шеин, Е. В. Курс физики почв / Е. В. Шеин. – Москва: Изд-во МГУ, 2005. – 432 с.
2. Медведев, В. В. Структура почвы: методы, генезис, классификация, эволюция, география, мониторинг, охрана / В. В. Медведев. Харьков: Изд-во «13 типография», 2008. – 406 с.
3. Качинский, Н. А. Физика почвы: в 2 ч. / Н. А. Качинский. – Москва, 1965. – Ч.1.- 321 с.
4. Воронин, А. Д. Основы физики почв / А. Д. Воронин. – Москва, 1986. – 350 с.
5. Bodolay, I. Die bodenverbessernde Wirkung von Polimersubstanzen (ung.) / Bodolay I., Kazo V., Mate F. //Nehezvegyipan Kutato Intezet. 1973. p. 63-67.
6. Chanei, K. The influence of organic matter on aggregate stability in some British Soils / Chanei, K., Swift R.S. //1. Soil Sci., 1984. Vol. 35 №2. p. 223- 230.
7. Вадюнина, А. Ф. Методы исследований физических свойств почв / А. Ф. Вадюнина, З. А. Корчагина. – Москва: Агропромиздат, 1986. – 416 с.
8. Зайдельман, Ф. Р. Методы эколого-мелиоративных изысканий и исследований почв / Ф. Р. Зайдельман. – Москва: КолосС, 2008. – 486 с.
9. Анциферова, О. А. Варьирование плотности сложения почв пахотных и залежных полей / О. А. Анциферова, О. В. Гореликова // Инновации в сельском хозяйстве: межвузовский сборник науч. трудов / КГТУ. – Калининград, 2012. – С. 26-33.

#### REFERENCES

1. Shein E. V. *Kurs fiziki pochv* [Course of soil physics]. Moscow, Izd-vo MGU, 2005, 432 p.
2. Medvedev V. V. *Struktura pochvy: metody, genezis, klassifikacija, jevoljucija, geografija, monitoring, ohrana* [Soil structure: methods, genesis, classification, evolution, geography, monitoring, protection]. Har'kov: Izd-vo "13 tipografija", 2008, 406 p.
3. Kachinskij N. A. *Fizika pochvy* [Soil physics]. Moscow, 1965, vol. 1.
4. Voronin A. D. *Osnovy fiziki pochv* [Fundamentals of soil physics]. Moscow, 1986, 350 p.
5. Bodolay I., Kazo V., Mate F. Die bodenverbessernde Wirkung von Polimersubstanzen (ung.). Nehezvegyipan Kutato Intezet. 1973, pp. 63-67.
6. Chanei K., Swift R. S. The influence of organic matter on aggregate stability in some British Soils. *Soil Sci.*, 1984, vol. 35, no. 2, pp. 223-230.
7. Vadjunina A. F., Korchagina Z. A. *Metody issledovanij fizicheskikh svojstv pochv* [Research methods for physical characteristics of soils]. Moscow, Agropromizdat, 1986, 416 p.

8. Zajdel'man F. R. *Metody jekologo-meliorativnyh izyskanij i issledovanij pochv* [Methods for eco-meliorative examination of soils]. Moscow, KolosS, 2008, 486 p.

9. Anciferova O. A., Gorelikova O. V. Var'irovanie plotnosti slozhenija pochv pahotnyh i zaleznyh polej [Variation of bulk density of soils of farm and abandoned fields]. *Mezhvuzovskij sbornik nauchnyh trudov KGTU «Innovacii v sel'skom hozjajstve»*. Kaliningrad, 2012, pp. 26-33.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

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

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

УДК 631.4

ОСОБЕННОСТИ МОРФОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ ПОЧВ В КАТЕНАХ  
САМБИЙСКОЙ ХОЛМИСТОЙ РАВНИНЫ

О. А. Анциферова, А. В. Стельников

FEATURES OF SOIL MORPHOLOGY IN CATENAS OF SAMBIYSKAYA HILLY  
PLAIN

O. A. Antsiferova, A. V. Stelnikov

Исследования проведены на двух ключевых участках в Зеленоградском районе Калининградской области, в пределах Самбийской холмисто-моренной равнины. Изучено морфологическое строение десяти почвенных профилей в двух катенах. Установлено чередование почв в пространстве в пределах катен: на вершинах холмов буроземы слабоглееватые → на склонах буроземы, степень оглеения которых усиливается от верхних частей склонов к нижним, → дерново-глеевые почвы в замкнутых понижениях. Морфохроматическая дифференциация профиля почв на горизонты увеличивается при нарастании степени гидроморфизма. Для изученных катен характерна пространственная и вертикальная неоднородность почв по гранулометрическому составу. Эта черта унаследована от почвообразующих пород. Буроземы на вершинах холмов являются оглеенными вследствие первичных литологических (наличие тяжелых слабопроницаемых прослоек и линз), а также вторичных генетических причин (заиленность средней и нижней частей профиля в результате, предположительно, лессиважа). Наличие глинистых прослоек у подножия склонов - причина подпора намывных склоновых вод. В таких условиях на склонах формируются дерново-подзолистые сильноглееватые или глеевые почвы. Буроземы холмов не содержат в профиле карбонатов. Почвообразующие породы в дерново-глеевых почвах замкнутых понижений являются карбонатными. Карбонаты в форме известняковых камней и мучнистых скоплений встречаются с 90 – 130 см. Глинистые прослойки под пахотным горизонтом в дерново-глеевых почвах препятствуют фильтрации воды вниз по профилю, в результате чего возникает периодическое поверхностное затопление почв в замкнутых понижениях. Для катен характерны почвенные комбинации сочетания-мозаики.

*катена, буроземы, оглеение, дерново-подзолистые почвы, дерново-глеевые почвы*

Research has been conducted on two key areas in Zelenogradsk of the Kaliningrad region within the Sambiyskaya hilly morainic plain. Morphological structure of ten soil profiles in two catenas has been studied. Alternation of soils in space within the catenas has been established: on hilltops weakly gleysolic burozems → on slopes, burozems which degree of gleyization goes up from heads to bottoms of the slopes → sod-gley soils in closed depressions. Morphohromatic differentiation of the



soil profile on the horizon increases with the increase of hydromorphism. For studying of catenas spatial and vertical heterogeneity of soil granulometric composition is characteristic. This trait comes from soil-forming rocks. Burozems on hilltops are gleyed due to primary lithological (presence of heavy weakly-permeable layers and lenses), and secondary genetic reasons (silting of middle and lower parts of the profile as a result of illimerization). The presence of clay layers at the slopefoots causes backing of alluvial slope waters. In such circumstances, sod-podzolic highly gleysolic or gley soils are formed on the slopes. Burozems of hills do not contain carbonates on the profile. The soil-forming rocks in the sod-gley soils of the closed depressions are calcareous. Carbonates in the form of limestone rocks and mealy clusters occur at 90 - 130 cm. The clay layers under the arable layer in the sod-gleyed soils impede water filtration down the profile, resulting in an intermittent surface flooding of soils in the closed depressions. Soil combinations of a mosaic-sequence type are characteristic of catenas.

*catena, burozems, gleying, sod-podzolic soils, sod-gleyed soils*

## ВВЕДЕНИЕ

Сочетание почв по элементам мезорельефа (катена) отражает пространственные геохимические взаимосвязи в ландшафте, что имеет большое фундаментальное и прикладное значение. Поэтому изучение строения катен актуально как в нашей стране [1-3], так и за рубежом [4-6].

Калининградская область относится к Прибалтийской провинции дерново-подзолистых и болотно-подзолистых почв [2, с. 224]. Результатом Валдайского оледенения являются холмисто-моренные равнины. Область характеризуется гумидным климатом [7]. Цель исследования - установление строения почв и закономерностей их смены в типичных катенах агроландшафтов Самбийской холмисто-моренной равнины.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились на ключевых участках «Перелески» и «Холмогоровка», расположенных в Зеленоградском районе Калининградской области. Описание почвенных разрезов и диагностика почв выполнены на основании принципов классификации 1977 г. [8], при оценке почвенных комбинаций использовали терминологию В. М. Фридланда [1]. Интенсивность оглеения почв описана согласно классификации Ф. Р. Зайделя [9].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В пределах катены на ключевом участке «Холмогоровка» (протяженность 212 м) выявлено чередование почв, представляющее собой сочетание бурозема слабо глееватого на вершине холма (разрез 525) с буроземом среднеглееватым в средней части склона (разрез 528), дерново-подзолистыми глееватыми почвами в нижней части склона (разрезы 526, Б1014) и дерново-глеевой в замкнутом понижении (разрез 527). Сочетание осложнено микро мозаикой в связи с неоднородностью пород по гранулометрическому составу и химизму. Схема катены и колонки гранулометрического состава почв изображены на рис. 1.

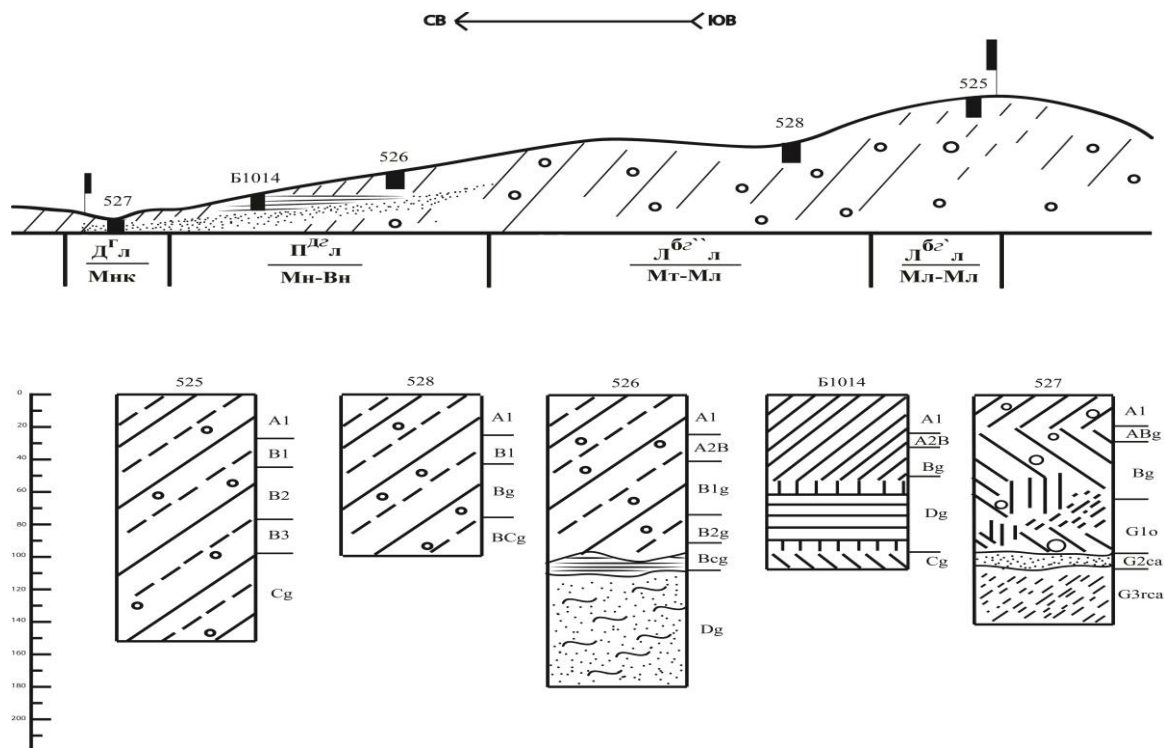


Рис. 1. Катена и колонки строения почв на ключевом участке «Холмогоровка»  
 Fig. 1. Catena and columns of soil structure in the key area «Kholmogorovka»

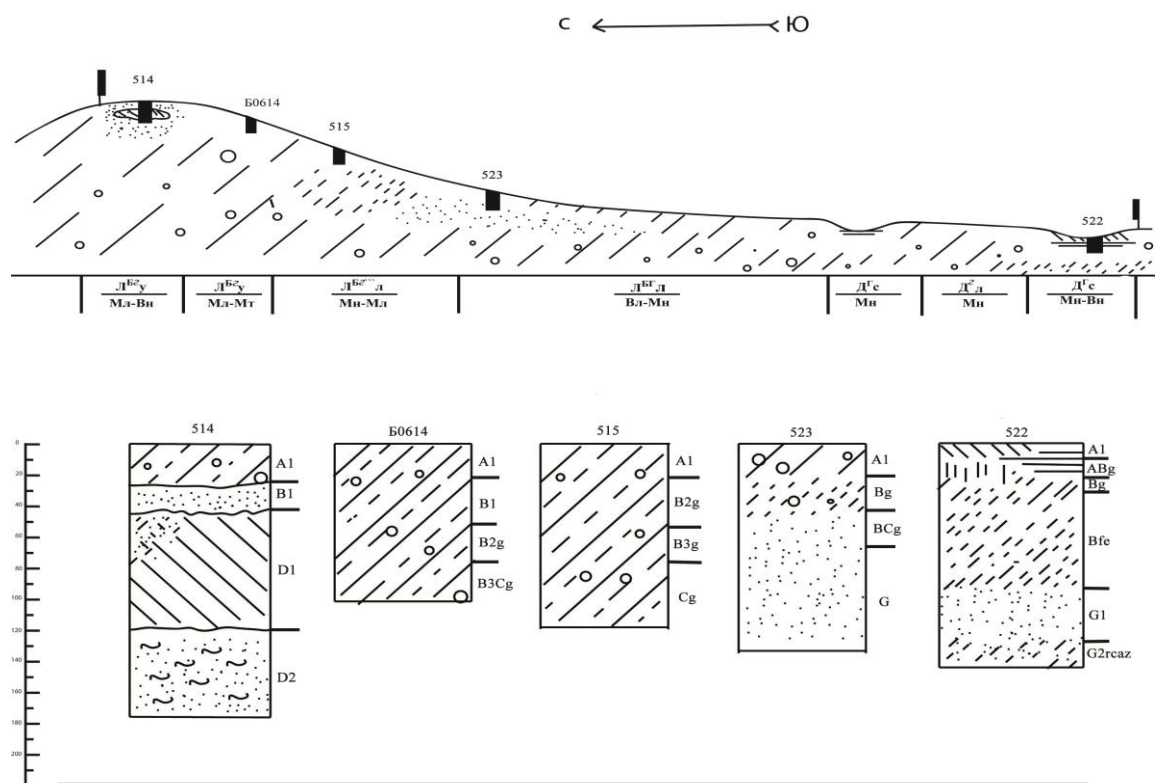


Рис. 2. Катена и колонки строения почв на ключевом участке «Перелески»  
 Fig. 2. Catena and columns of soil structure in the key area «Pereleski»



Условные обозначения гранулометрического состава почв

Для катены характерна пространственная и вертикальная неоднородность почв по гранулометрическому составу. В буроземах на вершине холма и склоне (разрез 525 и 528) чередуются опесчаненный легкий валунный суглинок и супесь.

В профиле дерново-подзолистой почвы (разрез 526) на глубине 105 – 117 см расположена глинистая прослойка, сменяющаяся водно-ледниковым слоистым песком. Ниже по склону (в разрезе Б1014) прослойка тяжелого состава вскрывается с 50 см и имеет общую мощность около 50 см. Профиль дерново-глеевой почвы разреза 527 представляет собой чередование легкого, среднего и тяжелого суглинка с линзами супеси. На глубине 110–120 см встречается песчаная прослойка, подстилаемая супесями. Неоднородность гранулометрического состава есть следствие несортированности материала в результате накопления и последующего перемывания моренных пород ледниковыми водами. В понижениях рельефа после схода ледника стояли временные водоемы, в которых отлагался песчаный сортированный материал, выносимый с повышений и склонов делювиальными потоками. Из стоячих вод откладывался тонкий глинистый материал. Таким образом, после обсыхания территории к началу почвообразования сформировался пестрый литологический состав пород.

Гумусовый горизонт всех почв является антропогенно созданным в результате длительного окультуривания исходных аналогов. Большая мощность гумусового горизонта буроземов и дерново-подзолистых почв на склоне (30 - 33 см) – результат окультуривания в 70 – 80-х гг. XX в. (табл. 1). Уменьшение мощности гумусового горизонта до 26– 28 см наблюдается в буроземе на вершине холма. Это связано с развитием эрозионных процессов. Общая мощность гумусового горизонта дерново-глеевой почвы замкнутого понижения тоже 30 см, но в нижней части диагностируется интенсивное оглеение, что привело к расчленению на два подгоризонта: А1 (0 – 20 см) и АВg (20–30 см).

Признаки оподзоливания появляются в катене только в профиле дерново-подзолистых почв в форме горизонта А2В. Вниз по катене граница глееватого горизонта заметно поднимается к поверхности. В буроземе на вершине холма признаки оглеения встречаются со 105 см, а в дерново-глеевой почве разреза 527 уже с 20 см.

Таблица 1. Морфологические особенности почв катены на ключевом участке «Холмогоровка»  
 Table 1. Morphological characteristics of catena soils in the key area «Kholmogorovka»

Признаки	Разрезы и элементы рельефа				
	525	528	526	Б1014	527
	Вершина холма	Склон собирающий	Нижняя часть склона 2 <sup>0</sup>	Нижняя часть склона 2 <sup>0</sup>	Замкнутое понижение
Окраска и мощность А1, см	Бурый, 26-28	Бурый, 30	Буро-темно-серый, 30 - 33	Буро-темно-серый, 30 - 34	Темно-серый, 20
Признаки оподзоливания	Нет	Нет	А2В на глубине 30 – 50 см	А2Вg на глубине 35 – 50 см	Нет
Морфология глееватых горизонтов	Начальные признаки с 80 см, глееватый горизонт со 105 см (Сg), оглеение усиливается с глубиной от слабой до средней степени	Мраморовидный среднеглееватый с 48 см, оглеение усиливается с глубиной	Среднеглееватый с 50 см, оглеение усиливается с глубиной	Контактное слабое оглеение в слое 30 – 50, глинистая прослойка с глеевыми прожилками, сильноглееватый песок со 117 см	Среднеглееватые горизонты АВg (20 - 30 см) и Вg (30 - 60 см); оглеение усиливается с глубиной
Морфология глеевых горизонтов	Нет	Нет	Нет	Нет	Окисленный глей с 60 см, редуцированный глей со 120 см
Fe-Mn-конкреции	Редкие в Сg	Бурые в гор. А1	Черно-бурые в А1 и А2В, глубже бурые	Черно-бурые в А1 и А2В	Бурые в А1, АВg
Mn-вкрапления	Единично в Сg	С 30 см (гор. В1)	С 30 см (гор. А2В)	С 30 см (гор. А2В)	В слое 30 – 60 см
Аморфная гидроокись Fe	Ржавые пятна с 48 см, рассеянные яркие шаровидные скопления	Светло-ржавые прожилки с 30 см, пятна и яркие шаровидные скопления с 48 см	Пятнышки с 20 см, на 50-76 см (В1gfe) крупные охристые скопления, глубже цементированные	Пятнышки с 10 см, обильные пятна под глиной со 100 см	Красно-ржавые пленки на стенках корневин в А1, АВg, глубже пятна и прожилки
Характер кутан	Коричневые	Сизовато-коричневые	Сизовато-коричневые	Сизые	Сизые

Это связано с нарастанием периода переувлажнения почв. Глеевый горизонт обнаруживается только в дерново-глеевой почве на глубине 60 см.

Почвы в катене имеют различные строение и степень дифференциации профиля. Бурозем на вершине холма (разрез 525) отличается слабой цветовой дифференциацией большей части профиля. Начальные признаки оглеения в форме светло-серых вертикальных прожилок отмечаются с глубины 70–80 см. Оно связано с высокой плотностью нижних горизонтов и заиливанием пор. Слабая верховодка формируется в сырые годы на плотных горизонтах почвы.

Развитие оглеения в разрезе 528 на склоне приводит к выраженной дифференциации профиля на горизонты. Появляются черные марганцевые новообразования, ортштейны, яркие скопления аморфной гидроокиси железа. При исследовании отчетливо выражена заиленность средней части профиля как результат миграции ила вниз по профилю из гумусового горизонта в условиях гумидного климата. Почва осушается, гончарный дренаж расположен на 85 см. Временное скопление слабой верховодки наблюдается в профиле в апреле-мае.

Дерново-подзолистая почва разреза 526 наиболее дифференцирована на горизонты. Этому способствует наличие глинистой прослойки в профиле. Она является локальным водоупором, на котором скапливается обильная верховодка в весенний период и после сильных дождей летом и осенью. В сухой летний период верховодка опускается до 180 см. Поэтому в профиле создаются контрастные условия увлажнения. Тип водного режима почвы застойно-промывной. Увлажнение намывными склоновыми водами. Эти воды приносят растворенные вещества, в том числе  $Fe^{2+}$ . Окисление закисного железа на кайме вод сопровождается накоплением аморфной гидроокиси железа с марганцевыми пленками в горизонте В1 на глубине 50–76 см. В нижней части профиля преобладает восстановительная среда, на что указывает сизо-серая окраска подстилающей породы.

В дерново-глеевой почве разреза 527 преобладает холодная окраска оглеения, признаки которого отмечаются уже в нижней части гумусового горизонта в виде стального оттенка. Почва испытывает сезонное поверхностное заболачивание в весенний период. Поэтому в гумусовом горизонте возникают контрастные окислительно-восстановительные условия. После высыхания поверхностных вод формируются красно-ржавые пленки аморфной свежевывавшей гидроокиси железа в полостях корневин. Максимум образования ортштейнов и роренштейнов приурочен к слою 0 – 20 см. Средняя часть профиля сильно оглеена с выраженными ржавыми прожилками по ходам корней. Нижняя часть постоянно находится под влиянием грунтовых вод, и там господствуют анаэробные глеевые условия. Изучение морфологического облика почв позволило установить, что до осушения почва была гидроморфной болотной. На это указывают остатки корней тростника в карбонатном глеевом горизонте. Карбонаты в форме известняковых камней встречаются с 90–100 см.

При использовании почв в пашне возникают различия в урожайности в зависимости от различных сроков наступления физической спелости, перераспределения элементов питания из удобрений по рельефу и влияния поверхностного заболачивания [10].

На ключевом участке «Перелески» сформировалась контрастная почвенная комбинация – сочетание, осложненное микромозаиками: бурозем

легкосуглинистый на неоднородных водно-ледниковых отложениях (вершина, разрез 514), буроземы легкосуглинистые глееватые осушаемые на валунных суглинках и супесях (разрезы Б0614, 515 на склоне), бурозем глеевый легкосуглинистый на водно-ледниковых песках и супесях (разрез 523), дерново-глеевая суглинистая осушаемая на неоднородных по составу отложениях (разрез 522, замкнутое понижение). Схемы катен на участке «Перелески» и колонки гранулометрического состава почв представлены на рис. 2. Основные морфологические признаки почв отражены в табл. 2. В катене все почвы оглеены в разной степени. Мощность гумусового горизонта в буроземах 30 см, что указывает на хорошую окультуренность в прошлом. Признаков оподзоливания нет. Граница глееватого горизонта в буроземах склонов закономерно поднимается к поверхности при движении от верхней части к подножию склона. В буроземе на вершине (разрез 514) развитие оглеения в подпахотном горизонте связано с влиянием тяжелой подстилающей породы (сезонное контактное оглеение). В дерново-глеевой почве оглеен уже гумусовый горизонт, и в период застоя воды граница оглеения совпадает с поверхностью почвы.

В буроземе разреза 514 ярко выражена неоднородность гранулометрического состава в вертикальной толще почвы и горизонтальном простираии. Наличие плотной подстилающей породы приводит к резкому снижению коэффициента фильтрации, скоплению верховодки в весенний период и после обильных ливней. Поэтому верхняя часть профиля бурозема отличается контрастным режимом увлажнения. Под пахотным слоем формируется горизонт, окраска которого резко изменяется в течение года: от сизовато-серой в период скопления влаги на подстилающей породе и развития оглеения (преобладание  $Fe^{2+}$ ) до ярко-охристой в период просыхания и развития окислительных процессов (преобладание  $Fe^{3+}$ ). Варьирование окраски связано с изменением степени окисления подвижных соединений железа в слое 32 – 47 см. Подстилающая порода представляет собой крупнопылеватый слоистый средний суглинок, залегает локальной линзой, сменяясь на глубине 120 см слоистым песком. Строение холма указывает на то, что это кам – водно-ледниковое образование, сформировавшееся из тела недвижущегося ледника при его таянии. Буроземы разрезов Б0614 и 515 представляют собой глееватые почвы. Глубина и интенсивность оглеения зависят от положения в рельефе: чем ниже почва расположена по склону, тем выше к поверхности граница оглеения. Причина заключается в количестве влаги, натекающей с повышений. Чем сильнее увлажнение, тем более длительный период восстановительных условий создается в почве. Поэтому бурозем разреза Б0614 в верхней части склона слабоглееватый, а бурозем разреза 515 в нижней части склона сильноглееватый. Усиление оглеения сопровождается метаморфизацией почвенной массы и формированием обильных новообразований аморфной гидроокиси железа ярко-красного цвета. Конкреционные новообразования представлены марганец-железистыми ортштейнами. Гранулометрический состав обеих почв представляет собой несортированный материал супесчаного и легкосуглинистого состава с включением камней и валунов. В профиле выражена заиленность нижних горизонтов. Причина этого явления в вертикальном перемещении ила из верхних горизонтов в нижние под влиянием промывного типа водного режима. Этот процесс (лессиваж) типичен для буроземов Калининградской области [11].

Таблица 2. Морфологические особенности почв катены на участке «Перелески»  
 Table 2. Morphological characteristics of catena soils in the key area «Pereleski»

Признаки	Разрезы и элементы рельефа				
	514	Б 0614	515	523	522
	Вершина холма	Склон 4-5 <sup>0</sup>	Склон 2 – 3 <sup>0</sup>	Подножие склона 1 <sup>0</sup>	Замкнутое понижение
Окраска и мощность А1, см	Бурый, 32	Бурый, 30	Бурый, 30	Бурый с сизым оттенком, 30 - 35	Сизо-коричневатый, 10
Признаки оподзоливания	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет
Морфология глееватых горизонтов	Сезонное контактное оглеение с 32 см средней степени	Слабое оглеение с 50 см, книзу усиливается до средней степени	С 40 см оглеение средней степени, книзу усиливается	Слабой и средней степени оглеение в А1, сильное с 55 см	Оглеение средней и сильной (при затоплении) степени с поверхности
Морфология глеевых горизонтов	Нет	Нет	Нет	С 80 см окисленный глей	С 95 см редуцированный глей, со 138 карбонатный
Fe-Mn-конкреции	Фрагментарно ленточный глей	В глееватых горизонтах мелкие бурые	Черно-бурые в А1 и глубже	Черно-бурые в А1	Черные и черно-бурые в гор. А1g, АВ1g, Вg
Mn-вкрапления	Нет	С 80 см	С 70 см	С 55 см	Мелкие в А1g
Аморфная гидроокись Fe	Пятна с 32 см; уплотненная кайма на границе пылеватого суглинка и песка (153 см)	С 50 см	Пятна, яркие шаровидные скопления с 30 см, редкие концентрические уплотненные с 85	Пятна в А1, обильные в Вg (30 – 55 см)	Ржавые пленки на стенках корневин в А1g, темно-ржавые в Вg (30 – 40 см), ожелезненный горизонт на 40 – 95
Характер кутан	Сизые в суглинке	Коричневые	Коричнево-сизые	В песке не выражены	Сизые

Бурозем разреза 523 сформировался у подножия склона. Поэтому данная почва отличается максимальной степенью гидроморфизма. Это выражается в образовании глеевого горизонта. Гранулометрический состав почвы неоднородный: легкий суглинок сменяется супесью с 30 см, а с 55 см вскрывается мелкозернистый песок с локальными линзами суглинка и супеси. Окраска оглеения в супесях и песках сизовато-светло-серая [9]. Признаки оглеения формируются уже в подпахотном горизонте, что отражается на окраске. Книзу оглеение усиливается, и холодная окраска составляет фон с вкраплениями ржавых пятен, черных марганцевых примазок. Глеевый горизонт залегает с 80 см и является водоносным.

Дерново-глеевая почва в замкнутом обширном понижении имеет маломощный гумусовый горизонт (10 см). Морфологическое строение почвы указывает на то, что в период окультуривания мощность антропогенно сформированного гумусового горизонта была также 30 см. Но функционирование почвы в условиях периодического поверхностного затопления привело к интенсивному оглеению нижней части горизонта (на глубине от 10 до 30 см), что сопровождается распадом гумусовых веществ. Гончарный дренаж проложен на 40 см. Работа дренажа способствует отводу избыточной влаги из средней части профиля. В результате этого на глубине 40 – 95 см формируется зона окисления в форме обильных ярко-ржавых скоплений аморфной гидроокиси железа. Современный глеевый горизонт обнаруживается с 95 см. На гидроморфное происхождение почвы указывают полусгнившие остатки корней тростника, сохранившиеся в анаэробных глеевых условиях. Почвообразующие породы являлись исходно карбонатными, но в настоящее время карбонаты выщелочены из средней части профиля и вскрываются с глубины 130 – 138 см в виде мучнистых образований и редких известняковых камней.

Гранулометрический состав дерново-глеевой почвы неоднородный: сверху средний и тяжелый суглинок с прослойкой глины сменяется легким суглинком и супесью, которая подстилается плотным песком. Именно прослойка тяжелого суглинка и глины препятствует просачиванию воды вниз по профилю. Поэтому в весенний период, а также в сырые месяцы лета и осени наблюдается поверхностное заболачивание.

## ВЫВОДЫ

1. Установлено чередование почв в пространстве в пределах катен: на вершинах холмов буроземы слабоглееватые → на склонах буроземы, степень оглеения которых усиливается от верхних частей склонов к нижним, → дерново-глеевые почвы в замкнутых понижениях.

2. Для изученных катен характерна пространственная и вертикальная неоднородность почв по гранулометрическому составу. Эта черта унаследована от почвообразующих пород.

3. Наличие глинистых прослоек у подножия склонов является причиной подпора намывных склоновых вод. В таких условиях на склонах формируются дерново-подзолистые сильноглееватые или глеевые почвы.

4. Почвы холмов не содержат в профиле карбонатов. Почвообразующие породы в дерново-глеевых почвах замкнутых понижений являются карбонатными.



5. Глинистые прослойки под пахотным горизонтом в дерново-глеевых почвах препятствуют фильтрации воды вниз по профилю, в результате чего возникает периодическое поверхностное затопление почв в замкнутых понижениях.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Фридланд, В. М. Структура почвенного покрова / В. М. Фридланд. - Москва: Мысль, 1972. – 424 с.
2. Добровольский, Г. В. География почв / Г. В. Добровольский, И. С. Урусевская. – Москва: КолосС, 2004. – 460 с.
3. Урусевская, И. С. Почвенные катены Нечерноземной зоны РСФСР / И. С. Урусевская // Почвоведение. - 1990. - № 9. – С. 12 – 27.
4. Романова, Т. А. Диагностика почв Беларуси и их классификация в системе ФАО-WRB / Т. А. Романова. – Минск, 2004. – 428 с.
5. Soil Sequences Atlas/ Edited by M. Switoniak, P. Charzynski/ Nicolas Copernicus University Press. – Torun. 2014.
6. Reinirkens, P. Die Catena als Kriterium für den Bodenschutz in der Bauleitplanung / P. Reinirkens, C. Vartmann // Naturschutz und Landschaftsplan. 1, 1996, V.28, pp.5-9.
7. Баринаова, Г. Н. Калининградская область. Климат / Г. Н. Баринаова. – Калининград, 2002. – 196 с.
8. Классификация и диагностика почв СССР / сост. В. В. Егоров, В. М. Фридланд, Е. Н. Иванова, Н. Н. Розов и др. – Москва: Колос, 1977. – 224 с.
9. Зайдельман, Ф. Р. Методы эколого-мелиоративных изысканий и исследований почв / Ф. Р. Зайдельман. – Москва: КолосС, 2008. – 486 с.
10. Анциферова, О. А. Влияние почвенно-геоморфологических условий на продуктивность озимой пшеницы на участке «Холмогоровка» / О. А. Анциферова, А. Ю. Жидкова // Проблемы сельского хозяйства: международный сборник научных трудов. – Калининград, 2006. - С. 40-47.
11. Анциферова, О. А. Дифференциация профиля буроземов Калининградской области по илу / О. А. Анциферова// Известия КГТУ. – 2009. - № 16. – С.18 – 21.

#### REFERENCES

1. Fridland V. M. *Struktura pochvennogo pokrova* [Structure of soil landscape]. Moscow, Mysl', 1972, 424 p.
2. Dobrovolskij G. V., Urusevskaja I. S. *Geografija pochv* [Soil geography]. Moscow, KolosS, 2004, 460 p.
3. Urusevskaja I. S. Pochvennye kateny Nechernozemnoj zony RSFSR [Soil catenas of Nonchernozem belt of RSFSR]. *Pochvovedenie*, 1990, no. 9, pp. 12-27.
4. Romanova T. A. *Diagnostika pochv Belarusi i ih klassifikacija v sisteme FAO-WRB* [Soil diagnostics of Belarus and their classification within FAO-WRB]. Minsk, 2004, 428 p.
5. Soil Sequences Atlas. Edited by M. Switoniak, P. Charzynski. Nicolas Copernicus University Press. Torun. 2014.

6. Reinirkens P., Vartmann C. Die Catena als Kriterium für den Bodenschutz in der Bauleitplanung. Naturschutz und Landschaftsplan. 1, 1996, vol. 28, pp. 5-9.

7. Barinova G. N. *Kaliningradskaja oblast'. Klimat* [The Kaliningrad region. The climate.]. Kaliningrad, 2002, 196 p.

8. Egorov V. V., Fridland V. M., Ivanova E. N., Rozov N. N., i dr. *Klassifikacija i diagnostika pochv SSSR* [Classification and diagnostics of USSR soils]. Moscow, Kolos, 1977, 224 p.

9. Zajdel'man F. R. *Metody jekologo-meliorativnyh izyskanij i issledovanij pochv* [Methods for eco-meliorative examination of soils]. Moscow, Kolos, 2008, 486 p.

10. Anciferova O. A., Zhidkova A. Ju. Vlijanie pochvenno-geomorfologičeskikh uslovij na produktivnost' ozimoj pshenicy na uchastke «Holmogorovka» [Effect of soil-geomorphological conditions on fall wheat performance in “Kholmogorovka” area]. *Mezhdunarodnyj sbornik nauchnyh trudov «Problemy sel'skogo hozjajstva»*. Kaliningrad, 2006, pp. 40-47.

11. Anciferova O. A. Differenciacija profilja burozemov Kaliningradskoj oblasti po ilu [Profile differentiation of burozems of the Kaliningrad region based 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, Associate Professor; E-mail: anciferova@inbox.ru

*Стельников Артур Валерьевич* – Калининградский государственный технический университет; студент

*Stelnikov Arthur Valerievich* – Kaliningrad State Technical University; student

УДК 551. 586: 58.035

УСТОЙЧИВОСТЬ ДРЕВЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ В УСЛОВИЯХ  
ТРАНЗИТНЫХ ЗОН ГОРОДА КАЛИНИНГРАДА

О. М. Бедарева, В. С. Бедарев, Е. А. Калинина, Л. С. Мурачева, Т. Н. Троян,  
А. В. Матюха, В. В. Пашкова

STABILITY OF TREE PLANTATIONS IN CONDITIONS OF TRANSIT AREAS  
OF KALININGRAD

O. M. Bedareva, V. S. Bedarev, E. A. Kalinina, L. S. Muracheva, T. N. Troyan,  
A. V. Matyukha, V. V. Pashkova

Дендрофлора городов, сформированная при активном вмешательстве человека, отличается богатством и неоднородностью. Объясняется это, прежде всего, большим разнообразием урбанизированных ценозов, в формировании которых принимают участие как виды, отвечающие зональным критериям, так и виды интродуценты. Использование в практике озеленения городов видов различной географической принадлежности, произрастающих в своеобразных экологических условиях, создает мозаичность в растительном покрове. Интегральной оценкой адаптационного потенциала каждого конкретного вида можно считать не только способность к возобновлению (семенное, порослевое), но и устойчивость в условиях техногенной нагрузки.

В статье представлены результаты сплошной таксации (номер на схеме, порода, диаметр ствола, характеристика жизненного состояния) аллейных посадок дендрофлоры вдоль дорог. На основании шкалы устойчивости, каждый экземпляр отнесен к категории состояния; разработаны рекомендации по оптимальному использованию видов для практики озеленения улиц.

Выделены три группы объектов (десять улиц) города по степени антропогенной нагрузки: высокая, низкая и средняя интенсивность движения автотранспорта.

Среди основных причин массового усыхания, изреживания, отмирания деревьев в городской черте следует отметить низкую агротехнику, чрезмерное уплотнение почвы, механические повреждения и, как следствие, высокую степень уязвимости по отношению к вредителям и болезням. Из выявленных энтомофитопатологических факторов, влияющих на состояние и декоративность древесных пород на данных объектах, наибольшую опасность представляют некротные и сосудистые болезни, вызывающие ослабление, потерю декоративности и усыхание. Их распространению способствуют слабый контроль за фитосанитарным состоянием посадочного материала, а также несвоевременность санитарных рубок.

*урбоэкотоп, дендрофлора, лесная таксация, виталитет, категория состояния*

Dendroflora of cities formed with the active human intervention is characterized by a richness and heterogeneity. The reason is, first of all, a wide variety of urban coenosis, in formation of which participate both types that meet zonal criteria and strangers. In urban greening the use of species of different geographical origin, grown in original ecological environment creates tessellation of vegetation cover. Integral assessment of the adaptive capacity of each particular species can be considered not only their ability of regeneration (seed, coppice), but their stability in the conditions of man-caused impact.

The article presents the results of continuous inventory (No. in the diagram, breed, trunk diameter, characteristics of life state) of alley plantations of dendroflora along the roads; the species composition of tree plantations is defined. On the basis of the categories scale, each sample is classified as the category of state; recommendations on the optimal use of species for greening of streets.

There are 3 groups of objects (ten streets) of the city according to the degree of man-made load: high traffic volume, low traffic volume, average traffic volume.

The main causes of large drying, thinning and tree die-off in the city limits include: low agricultural technology, excessive soil compaction, mechanical damage and, as a result, high degree of vulnerability to pests and diseases. Among identified entomo and phytopathological factors affecting the condition and decorative value of tree species in these objects, the most dangerous are canker and vascular diseases that cause weakening, loss of decorative value and drying. Poor monitoring of the phytosanitary status of the planting material as well as the untimeliness of sanitary felling contribute to their dissemination.

*urboecology, dendroflora, forest inventory, vitality, category of state*

## ВВЕДЕНИЕ

В связи с возрастающим хозяйственным воздействием человека на биосферу все большее внимание уделяется проблеме компенсации возможного негативного эффекта в природных и урбанизированных средах. Особенности природных каркасов, определяющих их абсолютную уникальность, обуславливаются: «природным базисом» территории города, зависимым от природно-климатических условий; величиной, планировочной структурой и приоритетными функциями городов и иных поселений; экологическими проблемами и их остротой; природоохранными, градостроительными и историко-культурными традициями. В условиях ухудшения окружающей среды, особенно в городах, наиболее важным становится внедрение биосферно-совместимых принципов территориального планирования, где сохранение, преумножение, оценка состояния зеленых насаждений – один из самых эффективных и сравнительно недорогостоящих методов регулирования качества окружающей среды в условиях крупных и средних по численности городов.

Градиент урбанизации городских экотопов различен. В условиях городской среды наибольшей степени техногенеза подвержены виды, произрастающие вдоль автомагистралей, испытывающие влияние различных загрязнителей: сажи, поллютантов. Загрязняющие вещества, с одной стороны, концентрируются непосредственно в тканях растений, а с другой – меняют условия среды обитания. У многих растений, наряду с морфоструктурными механизмами защиты от чуже-

родных веществ, существуют биохимические механизмы детоксикации и окислительной деградации поглощённых токсикантов.

Морфометрические показатели роста и развития растений, виталитет и структура, возрастная структура, качество популяций дают объективную картину жизнеспособности видов в городской среде, что позволяет провести подбор экологически пластичных видов, в том числе и для озеленения транзитных зон.

Цель работы: выявить популяции древесных пород, наиболее устойчивых к техногенной нагрузке в условиях г. Калининграда.

### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектами исследования послужили древесные насаждения десяти улиц города, а именно: проспекта Мира, проспекта Победы, Советский проспекта, улиц Беговой, Чекистов, Чернышевского, Дмитрия Донского, Емельянова, Суворова, Тенистой аллеи.

В работе использованы методы полевых лесотаксационных и геоботанических исследований, карта-схема размещения древесных насаждений. Для определения антропогенной нагрузки осуществлен количественный учёт автотранспорта. Для оценки виталитета популяций использована методика: «Оценка состояния городских зеленых насаждений (деревья, кустарники, травяной покров)» [1, 2]. Для определения категорий жизненного состояния применено «Руководство по планированию, организации и ведению лесопатологических обследований» (табл. 1). Полевые материалы представлены в виде таксационных ведомостей, где учтены следующие параметры: номер на схеме, порода, диаметр ствола, характеристика и категория жизненного состояния, рекомендации (табл. 2, фрагмент). Количество обследованных экземпляров по каждому объекту 100-200 шт.

Таблица 1. Шкала категорий состояния деревьев

Table 1. Categories scale of tree state

Категории деревьев	Признаки категорий состояния	
	Хвойные	Лиственные
1	2	3
1 - без признаков ослабления	Крона густая, хвоя (листва) зеленая, прирост текущего года нормального размера для данной породы, возраста и условий местопроизрастания	
2 - ослабленные	Крона разреженная; хвоя светло-зеленая; прирост уменьшен, но не более чем наполовину; отдельные ветви засохли	Крона разреженная; листва светло-зеленая; прирост уменьшен, но не более чем наполовину; отдельные ветви засохли; единичные водяные побеги
3 - сильно ослабленные	Крона ажурная; хвоя светло-зеленая, матовая; прирост слабый, менее половины обычного; усыхание ветвей до 2/3 кроны	Крона ажурная; листва мелкая, светло-зеленая; прирост слабый, менее половины обычного; усыхание ветвей до 2/3 кроны; обильные водяные побеги

Окончание табл. 1  
The end of tabl. 1

1	2	3
4 - усыхающие	Крона сильно ажурная; хвоя серая, желтоватая или желто-зеленая; прирост очень слабый или отсутствует; усыхание более 2/3 ветвей	Крона сильно ажурная; листва мелкая, редкая, светло-зеленая или желтоватая; прирост очень слабый или отсутствует; усыхание более 2/3 ветвей
5 - свежий сухостой	Хвоя серая, желтая или красно-бурая; частичное опадение	Листва увяла или отсутствует; частичное опадение коры
6 - старый сухостой	Живая хвоя (листва) отсутствует; кора и мелкие веточки осыпались частично или полностью; стволовые вредители вылетели; на стволе грибница дереворазрушающих грибов	

Таблица 2. Состояние зелёных насаждений на ул. Чернышевского. Таксационная ведомость (фрагмент)

Table 2. State of green plantings on the Chernyshevsky street. Inventory list (fragment)

№ п/п	Номер на схеме	Порода дерева	Диаметр ствола, см	Характеристика жизненного состояния	Категории жизненного состояния	Рекомендации
1	18	Клен белый	35	Густота кроны оптимальная для вида, усыхающие ветви и внешние признаки повреждений незначительны	1 – здоровое	-
2	11	Клен белый	34	Обдир коры более 10% окружности ствола, изреженность кроны на 25%, сухие ветви в кроне (до 5 шт.), наклон более 10 град	2 – ослабленное	Санитарная обрезка
3	23	Клён белый	32	Сухие ветви в кроне (до 5 шт.) Плодовые тела грибов, стволовые дупла, отслоение коры на 10% окружности	3 – сильно ослабленное	Санитарная рубка

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Все десять объектов исследования были разделены на три группы урбоэкотопов по степени антропогенной нагрузки [3]. Для оценки техногенной (антропогенной) нагрузки подсчитано среднее количество машин, проезжающих в течение часа по каждому объекту (табл. 3).

Таблица 3. Интенсивность движения автотранспорта (среднее количество машин, проезжающих в течение часа, по данным наблюдений)

Table 3. Traffic volume (average number of cars according to the observations within one hour)

Название улицы	Количество автомобилей/ч, всего
Советский проспект	4800
Проспект Мира	4200
Проспект Победы	3850
Емельянова	3500
Суворова	2500
Дмитрия Донского	2220
Тенистая аллея	585
Чернышевского	243
Чекистов	213
Беговая	192

Согласно полученным данным, улицы можно разделить на три группы по степени антропогенной нагрузки:

I. Высокая интенсивность движения автотранспорта – проспект Мира, Советский проспект, проспект Победы, улицы Суворова, Емельянова, Дмитрия Донского.

II. Низкая интенсивность движения автотранспорта – улицы Беговая, Чекистов, Чернышевского.

III. Средняя интенсивность движения автотранспорта – Тенистая аллея.

В процессе исследования был выявлен полный флористический состав дендрофлоры объектов.

Обследование зеленых насаждений по улицам первой группы позволило определить видовой состав 2060 деревьев, а также их категории и характеристики жизненного состояния. Отмечено наличие повреждений, поражений болезнями и вредителями [4-6].

В настоящее время преобладающим видом на объектах первой группы является ясень обыкновенный. Доля его участия в видовом составе зеленых насаждений составляет 41,6%. Остальные виды представлены в следующих процентных соотношениях: липа сердцевидная – 24,8, клён белый – 13,9, граб обыкновенный, каштан конский, вяз шершавый, рябина обыкновенная, дуб черешчатый, берёза бородавчатая, боярышник обыкновенный, бук лесной, ива белая, ольха серая, осина обыкновенная, тополь пирамидальный, яблоня домашняя – менее 5%.

Количество особей каждого вида деревьев, отнесённых к различным категориям состояния, указано в табл. 4.

Таблица 4. Первая группа по степени антропогенной нагрузки (высокая)  
Table 4. The first group according to the degree of man-caused impact (high)

Порода, вид	Категории жизненного состояния, шт.					
	1	2	3	4	5	6
Клен белый ( <i>Acer pseudoplatanus</i> L.)	77	161	30	19	-	-
Граб обыкновенный ( <i>Carpinus betulus</i> L.)	3	30	6	3	-	-
Каштан конский ( <i>Aesculus hippocastanum</i> L.)	2	32	14	4	-	-
Ясень обыкновенный ( <i>Fraxinus excelsior</i> L.)	236	467	112	40	2	-
Вяз шершавый ( <i>Ulmus glabra</i> Huds.)	1	6	-	-	-	-
Рябина обыкновенная ( <i>Sorbus aucuparia</i> L.)	-	-	1	2	-	-
Дуб черешчатый ( <i>Quercus robur</i> L.)	1	45	-	1	-	-
Сухостой	-	-	-	-	-	14
Берёза бородавчатая ( <i>Betula pendula</i> Roth.)	8	14	-	-	-	-
Боярышник обыкновенный ( <i>Crataegus monogina</i> Jacq.)	1	8	5	5	-	-
Бук лесной ( <i>Fagus sylvatica</i> L.)	2	3	-	-	-	-
Ива белая ( <i>Salix alba</i> L.)	-	46	9	21	1	-
Липа сердцевидная ( <i>Tilia cordata</i> Mill.)	142	259	72	38	-	-
Ольха серая ( <i>Alnus incana</i> (L.) Moench)	6	13	-	-	-	-
Осина обыкновенная ( <i>Populus tremula</i> L.)	-	5	-	-	-	-
Тополь пирамидальный ( <i>Populus pyramidalis</i> Borkh.)	4	65	9	7	-	-
Яблоня домашняя ( <i>Malus domestica</i> Mill.)	6	1	-	-	-	-

По принятой шкале жизненного состояния выявлены следующие категории:

- I. Без признаков ослабления – 489 шт. (23,7%).
- II. Ослабленные, усыхание отдельных ветвей - 1155 шт. (56,0%).
- III. Сильно ослабленные, усыхание ветвей до 2/3 - 258 шт. (12,5%).
- IV. Усыхающие, усыхание более 2/3 ветвей - 140 шт. (6,7%).
- V. Свежий сухостой, листва отсутствует, частичное опадение коры - 3 шт. (0,1%).
- VI. Старый сухостой, кора и мелкие веточки осыпались – 14 шт. (0,7%).



Градации виталитета доминирующих видов деревьев по объектам первой группы представлены в табл. 5.

Подобные наблюдения были проведены и по объектам второй и третьей групп.

Таблица 5. Градация виталитета доминирующих видов деревьев по объектам первой группы

Table 5. Rate of vitality of the dominant species of trees in the objects of the first group

Вид	Градация виталитета, %				
	здоровые	ослабленные	сильно ослабленные	усыхающие	свежий сухостой
Ясень обыкновенный	27,5	54,5	13,0	4,6	0,2
Липа сердцевидная	27,8	50,7	14,1	7,4	-
Клён белый	26,8	56,1	10,4	6,6	-

В настоящее время на объектах второй группы доминирует липа сердцевидная (54,6%), кондоминантами выступают: клён белый – 20,4, ясень обыкновенный – 6,3, остальные виды – менее 5% (табл. 6).

Таблица 6. Градация виталитета доминирующих видов деревьев по объектам второй группы, %

Table 6. Rate of vitality of the dominant species of trees in the objects of the second group, %

Вид	Градация виталитета, %				
	здоровые	ослабленные	сильно ослабленные	усыхающие	свежий сухостой
Липа сердцевидная	29,7	56,0	6,7	7,2	0,5
Клён белый	44,9	42,3	3,8	9,0	-

По третьей группе объектов обследовано 89 деревьев, относящихся к разным видам.

В аллеиных посадках преобладает клён белый (31,5%); на уровне субдоминантов выделены следующие виды: липа сердцевидная – 23,6, каштан конский – 11,2, алыча – 7,9%; к ингредиентным отнесены: дуб черешчатый и ива белая – 5,6, остальные виды – менее 5%.

Количество особей каждого вида деревьев, отнесённых к различным категориям состояния, указано в табл. 7.

В целом реакция растений на техногенную нагрузку в урбанизированной среде строго индивидуальна. Некоторые виды растений по урбанизированным градиентам сохраняют постоянство ряда основных морфометрических параметров - это касается, в основном, популяций парковых экосистем [7].

Таблица 7. Градация виталитета доминирующих видов деревьев по объекту третьей группы, %

Table 7. Rate of vitality of the dominant species of trees in the objects of the third group, %

Вид	Градация виталитета, %				
	здоровые	ослабленные	сильно ослабленные	усыхающие	свежий сухостой
Клён белый	35,7	32,2	3,6	21,4	7,2
Липа сердцевидная	19,0	57,2	9,5	14,3	-

### ВЫВОДЫ

1. В каждой группе объектов, независимо от уровня антропогенной нагрузки, количество ослабленных деревьев преобладает над числом здоровых особей. Это говорит о том, что в целом экологическая обстановка неблагоприятная и загрязнённость атмосферы высокая.

2. В озеленении улиц Калининграда доминируют липа сердцевидная и клён белый. Однако на объектах первой группы эдификатором выступает ясень обыкновенный, при этом на объектах второй и третьей групп этот вид встречается редко. Очевидно, ситуация определена исторически.

3. Большее видовое разнообразие выявлено на объектах второй группы - низкая степень антропогенной нагрузки.

4. На объектах с высокой антропогенной нагрузкой, помимо доминантов, выделены ингредиентные виды: вяз шершавый, берёза бородавчатая, осина обыкновенная и бук лесной. Ингредиентными видами на объектах с низкой антропогенной нагрузкой являются: клён остролистный (*Acer platanoides* L.), клён сахаристый (*Acer saccharinum* L.), орех маньчжурский (*Juglans mandshurica* L.), рябина канадская (*Aronia melanocarpa* L.), вишня обыкновенная (*Prunus cerásus* L.) и слива домашняя (*Prunus cerásus* L.).

5. Наименьшее количество ослабленных и усыхающих деревьев отмечено в популяциях липы сердцевидной и клена белого. Максимальное количество ослабленных и усыхающих деревьев обнаружено в ценозах клена сахаристого, ивы белой, алычи, каштана конского.

6. В результате проведенных обследований древесные породы объектов можно разделить на три группы: виды устойчивые к стрессам урбанизации – клён белый, липа сердцевидная; виды умеренно устойчивые – тополь пирамидальный; малоустойчивые виды.

На всех объектах к малоустойчивым видам относится ива белая, что связано с возрастной структурой популяции (основная масса особей относится к сенильной группе); алыча непригодна для озеленения автомагистралей, все особи относятся к градиенту отмирающих. Для сообществ каштана конского, которые до недавнего времени находились в состоянии экологической нормы и широко использовались в городском озеленении, выявлены массовые инвазии популяций каштановой минирующей моли, или охридского минёра (*Cameraria ohridella*). Фактически здоровых экземпляров в городской черте не отмечено, популяции находятся в стадии деградации.

Задача оптимизации экологической ситуации в городе требует реализации комплекса мероприятий:

- совершенствование планировочной структуры города, рациональная организация транспортного движения и повышение пропускной способности улично-дорожной сети;
- необходимость дальнейшего регулирования транспортных потоков на улицах г. Калининграда с образованием разгрузочных дорог (развязок), мостов, надземных и подземных пешеходных переходов, «зеленой волны» светофоров;
- осуществление контроля за качеством потребляемого топлива, техническим состоянием транспортных средств и дорожного покрытия;
- ограничение большегрузного транспорта в дневное время суток, замена маршрутного городского транспорта на электрический экологически безопасный транспорт;
- внедрение современных фитотехнологий в озеленение примагистральных территорий, что обеспечит комфортное проживание населения вблизи транспортных потоков.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Кученева, Г. Г. Оценка состояния городских зеленых насаждений (деревья, кустарники, травяной покров) / Г. Г. Кученева, А. Е. Королева. – Калининград: Янтарный сказ. – 1996. – 9 с.
2. Агальцова, В. А. Основы лесопаркового хозяйства / В. А. Агальцова. – Москва: ГОУ ВПО «МГУЛ», 2008. – 213 с.
3. Кулагин, А. А. Древесные растения и биологическая консервация промышленных загрязнителей / А. А. Кулагин, Ю. А. Шагиева; отв. ред. Г. С. Розенберг. – Москва: Наука, 2005. – 190 с.
4. Экологическая химия / Ф. Корте [и др.] / пер. с нем. под ред. Ф. Корте. – Москва: Мир, 1997. – 396 с.
5. Leps J. J., Osbornova-Kasinova, Reimanek M. Community stability, complexity and species life history strategies, *Vegetatio*. 1982.– Vol. 50.– № 1. – P. 53-63.
6. Dabrowska - Prot E. Structural and functional characteristics of biocenoses in industrial regions exemplified by surroundings of the Town of Knurów (Upper Silesia). / *Pol. Ecol. Stud. (PRL.)*. – 1983. – Vol. 8. 3-4. – P. 259-288.
7. Мурачева, Л. С. Мониторинг лесопарковых экосистем на урбанизированных территориях Калининградской области / Л. С. Мурачева, О. М. Бедарева, В. К. Хлюстов. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2013. – 250 с.

#### REFERENCES

1. Kucheneva G. G., Koroleva A. E. *Ocenka sostojanija gorodskih zelenyh nasazhdenij (derev'ja, kustarniki, travjanoj pokrov)* [State evaluation of urban plantation (trees, bushes, grass)]. Kaliningrad, Jantarnyj Skaz, 1996, 9 p.
2. Agal'cova V. A. *Osnovy lesoparkovogo hozjajstva* [Fundamentals of aesthetic forestry]. Moscow, GOU VPO MGUL, 2008, 213 p.

3. Kulagin A. A., Shagieva Ju. A. *Drevesnye rastenija i biologicheskaja konservacija promyshlennyh zagriznitelej* [Woody plants and biological conservation of industrial contaminants]. Moscow, Nauka, 2005, 190 p.

4. Korte F., Bahadir M., Kljajn V., Laj Ja. P., Parlar G., Shojnert I. *Jekologicheskaja himija* [Environmental chemistry]. Moscow, Mir, 1997, 396 p.

5. Leps J. J., Osbornova-Kasinova, Reimanek M. Community stability, complexity and species life history strategies, *Vegetatio*. 1982, vol. 50, no. 1, pp. 53-63.

6. Dabrowska-Prot E. Structural and functional characteristics of biocenoses in industrial regions exemplified by surroundings of the Town of Knurow (Upper Silesia). *Pol. Ecol. Stud. (PRL.)*. 1983, vol. 8, no. 3-4, pp. 259-288.

7. Muracheva L. S., Bedareva O. M., Hljustov V. K. *Monitoring lesoparkovyh jekosistem na urbanizirovannyh territorijah Kaliningradskoj oblasti* [Monitoring of the forest-park ecosystems in the urban lands of the Kaliningrad region], Kaliningrad, Izd-vo KGTU, 2013, 250 p.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Бедарева Ольга Михайловна* – Калининградский государственный технический университет; доктор биологических наук, доцент, заведующая кафедрой агропочвоведения и агроэкологии; E-mail: [olgabedareva@mail.ru](mailto:olgabedareva@mail.ru)

*Bedareva Olga Mikhajlovna* – Kaliningrad State Technical University; Doctor of Biological Science, Assistant Professor, Head of the Department of agrology and agroecology; E-mail: [olgabedareva@mail.ru](mailto:olgabedareva@mail.ru)

*Бедарев Валерий Сергеевич* – Калининградский государственный технический университет; доцент кафедры автоматизированного машиностроения; E-mail: [bedarev\\_1952@mail.ru](mailto:bedarev_1952@mail.ru)

*Bedarev Valeriy Sergeevich* – Kaliningrad State Technical University; Associate Professor; E-mail: [bedarev\\_1952@mail.ru](mailto:bedarev_1952@mail.ru)

*Калинина Екатерина Андреевна* – Калининградский государственный технический университет; кандидат биологических наук, доцент

*Kalinina Ekaterina Andreevna* – Kaliningrad State Technical University; PhD, Associate Professor

*Мурачёва Любовь Семёновна* – Калининградский государственный технический университет; кандидат биологических наук, доцент

*Muracheva Lyubov Semenovna* – Kaliningrad State Technical University; PhD, Associate Professor

*Троян Татьяна Николаевна* – Калининградский государственный технический университет; кандидат биологических наук, доцент

*Troyan Tatyana Nikolaevna* – Kaliningrad State Technical University; PhD,  
Associate Professor

*Матюха Александр Владимирович* – Калининградский государственный  
технический университет; ассистент

*Matyukha Aleksandr Vladimirovish* – Kaliningrad State Technical University; assistant

*Пашкова Виктория Владиславовна* – Калининградский государственный  
технический университет; студентка

*Pashkova Viktoriya Vladislavovna* – Kaliningrad State Technical University; student

УДК 631.362.36:533.9

## ВЛИЯНИЕ ПЛАЗМЕННО-МИКРОВОЛНОВОЙ ОБРАБОТКИ НА СЕМЕНА

Е. А. Городецкая

## INFLUENCE OF PLASMA-MICROWAVE PROCESSING ON SEEDS

E. A. Gorodetskaya

В современном растениеводстве особого внимания требуют технологические приемы выведения семян и посадочного материала из состояния покоя для получения более ранних дружных и выровненных всходов, закладывающих основу увеличения урожая, получения ранней и высококачественной продукции. Ученые разрабатывают новые агроприемы и технические средства для предпосевной стимуляции семян с целью улучшения их ростовых качеств. Результаты многолетних научных исследований и производственных испытаний показывают, что для достижения этой цели могут быть с успехом использованы физические факторы: электрические и магнитные поля, а также плазма и токи различной частоты. Поиски способов воздействия на семенной и посадочный материал с целью улучшения адаптивных свойств проростков являются актуальными и значимыми. Методы и технологические приемы предпосевной стимуляции семян, основанные на применении высокотоксичных химических препаратов и использовании гидротермической обработки, связаны с большими затратами труда и опасностью возвращения ядохимикатов к человеку по биологическим цепочкам. Представлен метод плазменно-микроволновой обработки зерновых, бобовых и пряно-ароматических культур, повышающий энергетiku семян и растений и обеспечивающий их подготовку к промышленному возделыванию и устойчивому хранению. Объектом исследований являлось изменение агрономических свойств семян после применения методов электрофизического воздействия, в частности, плазменного низкотемпературного. Показано, что слабоинтенсивное микроволновое электромагнитное воздействие может быть использовано в качестве медиатора рецепторов клеток семян, запускающих внутриклеточные механизмы, приводящие к улучшению их свойств: повышению скорости и энергии прорастания, стимуляции роста побегов. Подобные исследования являются брендовыми и позволяют говорить о переводе растениеводства на интегрированную систему земледелия.

*предпосевная обработка семян, электрофизические методы, стимуляция неоднородным электромагнитным полем, всхожесть, энергия прорастания*

In modern plant growing special attention must be paid to processing methods for dormancy breaking of seeds and planting material to receive earlier good and leveled sprouts laying the foundation for yield gain and recovery of early and high-quality production. Scientists develop new agromethods and technical means for

preseeding stimulation of seeds to improve their sowing qualities. Results of long-term scientific research and on-the-farm tests show that for the achievement of this purpose physical factors can be successfully used: electric and magnetic fields, and also plasma and currents of various frequency. Search of impact methods on seed and landing material to improve adaptive properties of sprouts are actual and significant. Techniques and processing methods of preseeding stimulation of seeds based on application of highly toxic chemicals and use of hydrothermal treatment are connected with high labour requirements and danger of return to a human through biological chains. The method of plasma-microwave processing of grain, bean and aromatic crops raising power of seeds and plants, and providing their preparation for industrial cultivation and steady storage is presented. The object of our research was the change of agronomical properties of seeds after application of methods of electrophysical impact, in particular, plasma low-temperature. It is shown that low-intensity microwave electromagnetic influence can be used as a mediator of receptors of seeds cells starting the intracellular mechanisms leading to improvement of their properties: increase of germination speed and rate, stimulation of shoot growth. Similar researches are branded and allow speaking about transfer of plant growing to the integrated system of agriculture.

*preseeding treatment, electrophysical methods, AC electromagnetic field stimulation, germination ability, germination energy*

## ВВЕДЕНИЕ

Устойчивое использование растительных ресурсов подразумевает внедрение современных технологий сбора и хранения, прежде всего, семенного фонда. Одной из проблем является подготовка к высеву долго хранившихся и труднопрорастающих семян, требующих предварительной обработки для инициирования их «пробуждения» и повышения энергии прорастания. Важнейшее условие получения качественных сеянцев - предпосевная обработка семян (диэлектрическая сепарация, стратификация, использование БАВ и иные способы, повышающие эффективность семенной репродукции). Не решена также задача хранения корневищ и клубней цветов, составляющих основу коллекционных фондов ботанических садов и оранжерей, потери которых за сезон хранения могут достигать 20% из-за воздействия вирусных и гнилевых инфекций.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Семя представляет собой сложный биологический объект, содержащий сотни тысяч клеток, которые подчиняются сложным эпигенетическим механизмам клеточной активации, «запускающих» сложные и, как правило, многоступенчатые биохимические реакции. В частности, имеются факторы, которые определяют полноту реализации генетического потенциала семян, увеличивают сопротивляемость к неблагоприятным факторам окружающей среды, повышают иммунитет к вирусным, бактериальным и грибковым заболеваниям. Единожды активно «запущенная» при прорастании семян программа развития вызывает множество последовательных биохимических реакций в онтогенезе растения, причем итогом этих реакций может быть повышение сопротивляемости, устойчивости растений, их урожайности. Поэтому

поиски способов воздействия на семенной и посадочный материал являются актуальными и значимыми. Основа дальнейшего подъема урожайности - это улучшение семеноводства, выведение новых сортов, освоение севооборотов, совершенствование качества обработки почвы, мелиорация. В семеноводстве первостепенное значение уделяется получению семян с высокими посевными качествами. Все другие методы улучшения качеств семян, создающих предпосылки к повышению урожайности, являются второстепенными, хотя при определенных условиях могут вызвать существенную прибавку урожая и быть экономически эффективными. Это, прежде всего, многочисленные способы предпосевной обработки семян, основанные на различных факторах воздействия (рисунок).



Рис. Классификация приемов предпосевной обработки семян  
 Fig. Classification of preseeding treatment methods



Факторы воздействия химической природы обычно подразделяют на две группы: росторегулирующие вещества и химические мутагены. Росторегулирующие вещества применяют в виде водных растворов, которыми опрыскиваются вегетирующие растения или в которых замачивают семена. Большинство из них не свойственны растительному организму, т.е. они не являются продуктами обмена: введенные соединения выполняют роль своеобразных раздражителей, роль эффекторов, изменяющих структурное состояние протоплазмы растительных клеток и приводящих к наиболее полной реализации их функций. В качестве перспективных химических стимуляторов в различное время рассматривались дикарбоновые кислоты (янтарная), фунгицидные препараты (ТМТД), микроэлементы (цинк, бор, медь, железо, марганец, молибден и т.д.), ростостимулирующие вещества (гиббереллин, гетероуксин, тиамин, ауксин, нефтяное ростовое вещество и т.д.). Сильной физиологической активностью обладают дихлорфеноксисукусная кислота (2,4-Д), динитроортокрезол (ДОК), марганцевокислый калий. Высокий эффект как по количеству появившихся всходов, так и в последующем их развитии дает совместная обработка ростостимулирующими веществами с микро- и макроэлементами.

Однако существующие методы и технологические приемы предпосевной стимуляции семян, основанные на применении высокотоксичных химических препаратов и использовании гидротермической обработки, связаны с большими затратами труда и низкой технологичностью процесса обработки семян. При внесении в почву обработанных фунгицидами семян ядохимикаты под воздействием ветра и дождей выносятся в водоемы, мигрируют на обширные пространства, что загрязняет окружающую среду и причиняет ущерб природе, а по цепям питания нередко «возвращаются» к человеку.

## МЕТОДЫ

Объектом исследований являлось изменение агрономических свойств семян после применения методов электрофизического воздействия. Настоящие исследования проводились совместно с учеными Института физики им. Б. И. Степанова Национальной академии наук Беларуси. Изучалась ответная агрономическая реакция семян зерновых культур, культивируемых в Беларуси ржи (*Secale cereale* L.) «Пуховчанка», ячменя (*Hordeum*) «Дивосны», фасоли (*Phaseolus vulgaris* L.) и базилика (*Ocimum Basilicum*) (как «модной» пряно-ароматической культуры), на воздействие высокочастотного электромагнитного поля (ВЧЭМП) и плазмы высокочастотного емкостного разряда (ВЧЕР) с газовой температурой  $T_g \sim 300$  К. Наши методы были созвучны мировым брендам, так как подобные исследования проводятся во многих ведущих научных центрах мира.

Обработке подвергались крупные и выполненные семена, предварительно отсортированные с использованием диэлектрического сепаратора СДЛ-1. Исследования воздействия на них высокочастотного магнитного поля и возбуждаемой в нем плазмы проводились на экспериментальной установке ВЧЕР, созданной на основе генератора высокочастотного тока «ВЧИ-62-5-ИГ-101» [1]. Установка позволяла возбуждать электромагнитное поле и стабильно горящий в нем планарный емкостной  $\alpha$ -разряд на промышленной частоте  $f=5,28$  МГц. Исследуемые образцы семян помещали в осевую зону трехвиткового индуктора длиной  $L = 90$  мм с внутренним диаметром  $d = 80$  мм на удалении  $l = 40$  мм от его

верхнего среза. Контроль термического нагрева семян в результате воздействия электромагнитного поля проводили с использованием хромель-алюмелевой термопары. Рабочие режимы установки при воздействии плазмой (давление, ток разряда, напряжение на разрядной камере) выбирались такими, чтобы в обработанных образцах не проявлялись какие-либо видимые структурные изменения. Свечение разряда контролировалось с помощью цифровой видеокамеры [2]. Наши исследования были инициированы публикациями об успешных исследованиях плазменного воздействия на семена, проведенных во многих европейских и китайских научных центрах [3, 4].

В каждой контрольной и обрабатываемой партии содержалось по 100 семян в пятикратной повторности, что позволяло получать статистически усредненные данные. Проверку всхожести семенного материала осуществляли в соответствии с методикой агрономической оценки [5, 6].

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Было установлено, что микроволновое воздействие на семена приводит к устойчивому увеличению длины проростков всех культур (таблица).

Таблица. Зависимость длины проростков ( $D$ ) ( $D^*$  – длина проростков в контрольных образцах) от продолжительности ( $t$ ) микроволновой обработки семян

Table. Dependence length of sprouts ( $D$ ) ( $D^*$  - control sprouts) from the duration ( $t$ ) seed's microwave's processing

Культура	$t = 0$ мин	$t = 7$ мин		$t = 15$ мин		$t = 30$ мин	
	$D^*$ , см	$D$ , см	$D/D^*$ , %	$D$ , см	$D/D^*$ , %	$D$ , см	$D/D^*$ , %
Рожь «Пуховчанка»	$13,8 \pm 0,7$	$14,8 \pm 0,7$	107,3	$10,3 \pm 0,5$	74,6	$11,9 \pm 0,6$	86,2
Ячмень «Дивосны»	$10,1 \pm 0,5$	$10,4 \pm 0,5$	102,9	$11,5 \pm 0,6$	113,8	$10,8 \pm 0,5$	106,9
Базилик	$3,0 \pm 0,6$	$3,6 \pm 0,6$	120,0	$5,3 \pm 0,6$	176,6	$7,11 \pm 0,7$	237,5
Фасоль	$16,9 \pm 0,3$	$20,2 \pm 0,5$	119,5	$24,3 \pm 0,5$	143,8	$28,9 \pm 0,4$	171,0

Наибольший эффект проявляется при длительности воздействия  $t = 7 \div 15$  мин. При 7 – и 15 – минутной обработках длина проростков увеличивалась в сравнении с контрольной партией. Что касается семян ржи, то при длительностях воздействия 15 и 30 мин их всхожесть угнеталась, однако степень угнетения с ростом времени от 15 до 30 мин снижалась с 25 до 14 %. Длина проростков из семян ячменя в основном возрастала, но, в отличие от ржи, незначительно, и едва превысила 10 %. Из таблицы видно, что длина проростков для всех тестируемых культур также в основном увеличивалась после воздействия микроволнового поля и была максимальной для фасоли при обработке в течение 30 мин.

При такой обработке происходит комплексное, в том числе и информационное, воздействие на семена возбуждающего разряд электромагнитного поля активных частиц плазмы, исходящих из нее лучистых и

тепловых потоков, в результате чего изменяются свойства как защитной оболочки, так и семядолей, эндосперма, ростковых зародышей, что сопровождается повышением проницаемости поверхности семян для воды, газов и питательных растворов, активацией внутриклеточных биохимических процессов, улучшением межклеточного энерго- и массообмена. Удельный вес каждого из факторов в изменении скоростей протекающих в клетке биохимических реакций различен и, по-видимому, более высок по отношению к действию электромагнитного поля.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате многолетних [6, 7] исследований выявлено, что слабоинтенсивное микроволновое электромагнитное поле может быть использовано в качестве медиатора рецепторов клеток семян, «запускающих» внутриклеточные механизмы, приводящие к улучшению их свойств, в частности к повышению скорости и энергии прорастания, стимуляции роста побегов. Выяснение природы этих механизмов требует дальнейших экспериментальных и теоретических исследований [8].

Перспективность данных работ обусловлена возможностью широкого внедрения методов в семеноводстве и селекции для интродукции нетрадиционных для Беларуси культур, получения биологически активных веществ из пряно-ароматических и лекарственных растений, отказа от традиционных химических и биологических методов предпосадочной подготовки семян.

Внедрение таких разработок позволяет говорить о переводе системы земледелия Республики Беларусь в *современную систему земледелия* – интегрированную или адаптивную, где применяется точное земледелие; когда имеет место использование новейшей техники, ресурсосберегающих технологий возделывания сельскохозяйственных культур, способствующих охране почв и окружающей среды от загрязнения.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ажаронок, В. В. Влияние режимов высокочастотного емкостного разряда на параметры плазмы в газовых смесях  $N_2/CO_2/He$  / В. В. Ажаронок [и др.] // Журнал плазменной спектроскопии. - №5 (2002). - С. 658-664.
2. Лебедев, Ю. А. Химическая активность неравновесной плазмы. Состояние и перспективы исследований / Ю.А. Лебедев // Химическая физика. - №5 (1996). - С. 95-100.
3. Sera B., Stranak V., Sery M., Tichy M, Spatenka P. Germination of *Chenopodium album* in response to microwave plasma treatment. In: Plasma Science and Technology. Vol. 10 (4), (2008), p. 506-511.
4. M. Dhayal, S.Y.Lee, S.U.Park. Using low-pressure plasma for *Carthamus tinctorium* L. Seed surface modification//Vacuum. Vol. 80, No 5 (2006), p. 499-506.
5. Кабашникова, Л. Ф. Способ ранней диагностики эффективности многокомпонентных капсулирующих составов для обработки семян: методические указания / Л. Ф. Кабашникова. – Минск, 2003. - 34 с.

6. Городецкая, Е. А. Исследование электрофизикохимической стимуляции семян зеленых культур // Е. А. Городецкая, В. С. Корко// Агропанорама. - 2012, № 5.- С. 18-21.

7. Отчет о НИР ГПОФИ «Ресурсы животного и растительного мира» по заданию 39 «Исследование эффективности использования методов электросепарации и плазменно-микроволновой обработки посевного и посадочного материала представителей ботанических коллекционных фондов для повышения их продуктивности и устойчивости при хранении»/ Научный руководитель Городецкая Е. А./ НАН Беларуси, 2010, 85 с.

8. Казакова, А. С. Влияние предпосевной обработки семян ярового ячменя электромагнитным полем переменной частоты на их посевные качества / А. С. Казакова, М. Г. Федорищенко, П. А. Бондаренко // Технология, агрохимия и защита сельскохозяйственных культур: межвузовский сборник научных трудов. Зерноград: Изд-во РИО ФГОУ ВПО «АЧГАА», 2005- С. 207-210.

#### REFERENCES

1. Azharonok V. V, Filatova I. I., Shimanovich V. D., Orlov L. N. Vlijanie rezhimov vysokochastotnogo emkostnogo razrjada na parametry plazmy v gazovyh smesjah N<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>/He [Impact of regimes of high-frequency capacity discharge on plasma parameters in gas mixtures N<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>/He]. *Zhurnal plazmennoj spektroskopii*, 2002, no. 5, pp. 658-664.

2. Lebedev Ju. A. Himicheskaja aktivnost' neravnovesnoj plazmy. Sostojanie i perspektivy issledovanij [Chemical activity of non-thermal discharge plasma. The present state and research perspectives]. *Himicheskaja fizika*, 1996, no. 5, pp. 95-100.

3. Sera B., Stranak V., Sery M., Tichy M, Spatenka P. Germination of *Chenopodium album* in response to microwave plasma treatment. In: *Plasma Science and Technology*. 2008, vol. 10 (4), pp. 506-511.

4. Dhayal M., Lee S. Y., Park S. U. Using low-pressure plasma for *Carthamus tinctorium* L. Seed surface modification. *Vacuum*. 2006, vol. 80, no. 5, pp. 499-506.

5. Kabashnikova L. F. *Sposob rannej diagnostiki jeffektivnosti mnogokomponentnyh kapsulirujushhih sostavov dlja obrabotki semjan: metodicheskie ukazanija* [Methods for early detection of impact of multicomponent embedded compounds on seeds treatment: methodological guidelines]. Minsk, 2003, 34 p.

6. Gorodeckaja E. A., Korco V. S. Issledovanie jelektrofizikohimicheskoy stimuljacji semjan zelenyh kul'tur [Studying of electrophysical and chemical stimulation of seeds of herbaceous crops]. *Agropanorama*, 2012, no. 5, pp. 18-21.

7. Kazakova A. S, Fedorishhenko M. G., Bondarenko P. A. Vlijanie predposevnoj obrabotki semjan jarovogo jachmenja jelektromagnitnym polem peremennoj chastoty na ih posevnye kachestva [Impact of preseeding treatment of spring barley seeds by electromagnetic field of variable frequency on their sowing characteristics]. *Tehnologija, agrohimiya i zashhita sel'skohozjajstvennyh kul'tur: mezhvuzovskij sbornik nauchnyh trudov*. Izd. RIO FGOU VPO AChGAA. Zernograd, 2005, pp. 207-210.

8. *Otchet o NIR GPOFI. Resursy zhivotnogo i rastitel'nogo mira po zadaniju 39 «Issledovanie jeffektivnosti ispol'zovanija metodov jelektroseparacii i plazmenno-mikrovolnovej obrabotki posevnogo i posadochnogo materiala predstavitelej botanicheskikh kollekcionnyh fondov dlja povyshenija ih produktivnosti i ustojchivosti pri hranenii».* Nauchnyj rukovoditel' Gorodeckaja E. A. NAN Belarusi, 2010, 85 p.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

*Городецкая Елена Анатольевна* – Белорусский государственный аграрный технический университет, г. Минск; кандидат технических наук, доцент кафедры электротехнологии; E-mail: helgorod2003@mail.ru

*Gorodetskaya Elena Anatolievna* – Belorussian State Agrarian Technical University, Minsk; PhD; E-mail: helgorod2003@mail.ru

УДК 581.55:574: 528.94

ОЦЕНКА ПОДТОПЛЕНИЯ, ПЕРЕУВЛАЖНЕНИЯ, ЗАРАСТАНИЯ ЗЕМЕЛЬ  
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ ГВАРДЕЙСКОГО РАЙОНА  
КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ  
ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Т. Н. Даринская, О. М. Бедарева, В. С. Бедарев, Л. С. Мурачева, Т. Н. Троян,  
Е. В. Сидоренко

ASSESSMENT OF FLOODING, WATERLOGGING, OVERGROWING  
OF AGRICULTURAL LANDS IN THE GVARDEYSKIY DISTRICT  
OF THE KALININGRAD REGION USING REMOTE SENSING TECHNIQUES

T. N. Darinskaya, O. M. Bedareva, V. S. Bedarev, L. S. Muracheva, T. N. Troyan,  
E. V. Sidorenko

Широкое применение методов дистанционного зондирования в различных отраслях науки и практики, высокая информативность и обзорность аэро- и космоснимков позволяют применять их при изучении, оценке продуктивности и картогра-фировании природных кормовых угодий – сенокосов и пастбищ.

Статья посвящена оценке подтопления, переувлажнения, зарастания земель сельскохозяйственного назначения с использованием методов дистанционного зондирования.

Объектом исследования послужили земли сельскохозяйственного назначения Гвардейского района Калининградской области. В качестве основы для создания картографических произведений использованы космические снимки разных лет, а также фондовые материалы геоботанических и почвенных исследований, собственные наблюдения авторов.

Постановка цели и задачи исследования связаны с актуальной проблемой – оценкой степени антропогенной трансформации растительности и почв при изменении режима увлажнения. Эта проблема особенно важна для Калининградской области, так как в связи с многолетним интенсивным хозяйственным использованием растительности значительно сократилось ее биологическое разнообразие, понизилась ресурсная значимость и функциональная роль в биосфере, а в ряде районов антропогенные изменения привели к экологическому неблагополучию. Для решения экологических проблем региона и выработки стратегий рационального природопользования необходимо изучение основных закономерностей современных трендов развития почв и растительности на разных уровнях ее структурной организации: ценопопуляционном, фитоценоотическом, экосистемном, ландшафтном, региональном. В работе проанализированы материалы геоботанического обследования на основании архивных данных и собственных наблюдений; составлены актуальные карты переувлажнения и зарастания сельхозугодий Гвардейского района Калининградской области; выявлено изменение видового состава растительности на антропогенно-трансформированных почвах.

*земли сельскохозяйственного назначения, подтопление, переувлажнение, зарастание, дистанционное зондирование*

The paper considers a number of issues related to study methods of space images interpretation in the evaluation of soil and vegetation; analysis of the materials of geobotanical survey based on archival data and personal observations; compilation of maps of waterlogging and overgrowing of farmlands in the Gvardeyskiy district of the Kaliningrad region; changes in the species composition of vegetation on anthropogenically transformed lands.

The article is devoted to the assessment of flooding, waterlogging and overgrowing of the agricultural lands using remote sensing techniques.

The object of the research was agricultural land in the Gvardeyskiy district of the Kaliningrad region. As a basis for creation of cartographic works satellite images of various years were used as well as stock materials of geobotanical and soil research and personal observations.

Statement of purpose and objectives of the study is related to the current problem – assessment of the degree of anthropogenic transformation of vegetation and soils under changing moisture regime. This problem is especially important for the Kaliningrad region, because due to long-term intensive management of vegetation its biological diversity, resource significance and functional role in the biosphere has significantly decreased, and in some areas anthropogenic changes led to environmental problems. To solve environmental problems in the region and to develop environmental management strategies it is necessary to study modern trends of soils and vegetation development at different levels of its structural organization: cenopopulation, phytocenotic, ecosystem, landscape, regional. The paper presents an analysis of materials of geobotanical survey based on archival data and personal observations; compiled maps of waterlogging and overgrowing of farmlands in the Gvardeyskiy district of the Kaliningrad region; identified changes in the species composition of vegetation on anthropogenically transformed soils.

*agricultural lands, flooding, waterlogging, remote sensing*

## ВВЕДЕНИЕ

Многообразие факторов антропогенного воздействия при природопользовании (сельскохозяйственное освоение, разведка и добыча полезных ископаемых, техногенные воздействия промышленных предприятий, строительство, мелиорация) вызывает различную степень трансформации естественного растительного покрова и почв. На характер, скорость и направленность антропогенных сукцессий и экологическое состояние оказывают влияние не только сами факторы, но и степень их нагрузки. Современные проблемы землепользования и землевладения, возникшие в динамичных социально-экономических условиях нашего общества, обуславливают необходимость оценки и контроля качественного состояния земель [1, 2].

На сегодняшний день состояние сельскохозяйственных угодий остается неудовлетворительным: уменьшаются площади ценных пахотных земель, снижается содержание в почве гумуса, а следовательно, и продуктивность угодий. Одна из основных проблем развития сельскохозяйственной отрасли - это охрана плодородных земель, в том числе, и от подтопления и последующего зарастания. На

сельскохозяйственных землях, которые испытывают периодическое подтопление и переувлажнение, в среднем теряется до 30 % урожая. Земли теряют плодородие, деградируют, что в конечном итоге отражается в недоборе урожая, или они списываются как непригодные для возделывания сельскохозяйственных культур.

Причины подтопления и переувлажнения могут иметь природное, антропогенное и природно-антропогенное происхождение. Рассматриваемые факторы приводят к полному или частичному выводу земель из сельскохозяйственного использования, снижают урожайность сельскохозяйственных культур, уменьшают несущую способность грунтов.

В последние десятилетия процесс подтопления подземными водами освоенных территорий в России принял массовый характер, последствия которого наносят населению и народному хозяйству страны огромный экологический, социальный и экономический ущерб.

Подтапливается около 75% городов и населенных пунктов, до 9 млн. га земель различного хозяйственного назначения, в том числе 5,0 млн. га сельскохозяйственных земель и 0,8 млн. га застроенных городских территорий.

### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования послужили земли сельскохозяйственного назначения Гвардейского района Калининградской области.

В работе использованы традиционные методы полевых геоботанических исследований; методы дистанционного зондирования, принятые в почвенных исследованиях и изложенные в классических руководствах. Дешифрирование космических снимков осуществлено с использованием комплекса признаков (тона изображения, текстуры) [3, 4].

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

С целью совершенствования прогрессивных технологий выявления негативных процессов подтопления и переувлажнения земель, ведения наблюдений за их динамикой собрана и проанализирована информация о состоянии земель Гвардейского района Калининградской области, что дает наглядное представление об использовании и ценности земельных ресурсов, степени деградации почв и растительности.

Детальное геоботаническое обследование хозяйств района было проведено в период 1985-1987 гг. В 1987 г. на базе филиала СевЗапНИИГипрозем были выполнены работы по полной инвентаризации земель Гвардейского района на новом планово-картографическом материале. Согласно классификации кормовых угодий, рекомендуемой при составлении геоботанических карт, было выделено пять классов лугов: равнинные суходольные, низинные, краткопоемные, долгопоемные, болотные.

Самым распространенным классом является класс равнинных суходольных лугов – 13 915, низинные луга занимают площадь 3 572, пойменные – 3 078, болотные – 3 578 га. В статье не приводится подробная характеристика классов, подклассов, групп типов.

По данным геоботанического обследования, почти все кормовые угодья объекта исследования в разное время прошли этап коренного улучшения методом ускоренного перезалужения. На момент обследования закустаренные и



залесенные сенокосы и пастбища составляли только 4%. Отмечена высокая степень засоренности ПКУ – 37; заочкаренность, не более 3%.

За истекший период за счет перевода земель сельскохозяйственного назначения в другие категории сократилась площадь сельхозугодий района, Территории, подвергнутые процессам подтопления и переувлажнения, увеличились: пашни на 7, сенокосов на 6, пастбищ на 12% (табл. 1).

Анализ результатов картографирования, выполненного в 2012 г., и фондовых материалов показал, что в Гвардейском районе процессы переувлажнения и подтопления сельскохозяйственных угодий интенсивно прогрессировали. На сегодняшний день площадь подтопления и переувлажнения пашни достигла 45, сенокосов – 50, пастбищ – 43% (рис. 1).

Ослаблен контроль состояния осушительных систем, что привело к нарушениям в их функционировании и, как следствие, к развитию процессов подтопления и переувлажнения. В настоящий момент безотлагательными являются меры по ремонту и поддержанию мелиоративных систем, в противном случае, площади переувлажнённых и подтопленных земель будут увеличиваться. Прогноз подтопления и переувлажнения сельскохозяйственных угодий, составленный на основе временных трендов, предполагает, что при сохранении существующей тенденции через 15 лет, т. е. к 2027 г., площади подтопленной и переувлажнённой пашни увеличатся до 54 (11 630 га), сенокосов – до 58 (6 015 га), пастбищ – до 50 % (7 420 га).

Таблица 1. Площади переувлажненных и подтопленных сельскохозяйственных угодий Гвардейского района Калининградской области

Table 1. Areas of waterlogged and flooded agricultural lands in the Gvardeyskiy district of the Kaliningrad region

Показатели	Сельскохозяйственные угодья								
	всего площадь, га	в том числе подтопленная и переувлажненная		всего площадь, га	в том числе подтопленная и переувлажненная		всего площадь, га	в том числе подтопленная и переувлажненная	
		га	%		га	%		га	%
Данные почвенных и геоботанических обследований (1975 и 1987 гг.)	22 163	8415	38	8 540	3 767	44	14 903	4 573	31
Данные мониторинга на 2012 г.	21638	9 638	45	8920	4 430	50	12560	5 400	43
Прогноз на 2027 г.			54			58			50



Рис. 1. Подтопленные и переувлажненные почвы Гвардейского района по состоянию на 2012 г. Масштаб 1:50 000

Fig. 1. Flooded and waterlogged soils of the Gvardeyskiy district as of 2012. Scale 1:50 000

Выявленные процессы ведут не только к количественному уменьшению площади сельскохозяйственных угодий, но и оказывают отрицательное влияние на качественное состояние травостоя лугов и пастбищ, происходит вселение грубостебельных, сорных и ядовитых трав. На основании материалов картографирования выявлено, что в Гвардейском районе зарастание сельскохозяйственных угодий кустарниками и мелколесьем прогрессировало. При этом исследуемые объекты утратили статус земель конкретного назначения. Появление древесной и кустарниковой растительности ведет не только к количественному уменьшению площади сельскохозяйственных угодий, но и оказывает отрицательное влияние на качественное изменение травостоя природных кормовых угодий (ПКУ). В частности, из древесной растительности повсеместно распространились популяции березы бородавчатой (*Betula pendula* L.), отдельные экземпляры вида достигают высоты 5-6 м, что касается травянистого яруса, сформировались популяции видов, имеющих малое кормовое значение: пижма обыкновенная (*Tanacetum vulgare* L.), золотарник (*Solidago canadensis* L.); в понижениях, местах застоя воды образовались популяции различных видов осок (*Carex* sp.), которые как хозяйственно-ботаническая группа относятся к числу малопоедаемых. Немаловажное значение

имеют моноценозы ползучелютиковых (*Ranunculus repens* L.), активно осваивающих территорию. Неравномерная нагрузка на пастбище привела к появлению выбитых участков (толоков), где проективное покрытие имеет десятые доли процента, либо отмечается их зарастание однолетниками-рудералами, имеющими очень низкую продуктивность.

Представленные в табл. 2 данные указывают на увеличение с годами заросших площадей сельскохозяйственных угодий. При этом отмечено усиление процессов зарастания пашни.

По данным инвентаризации земель, проведённой в 1987 г., и годовым отчётам об использовании земель, зарастания пашни не было. По результатам обследований, проведенных в 2012 г., зарастание пашни составило 1 220 га или 6 % от общей площади пахотных земель.

Площадь заросших сенокосов увеличилась и составляет 2 910, пастбищ – 3 252 га.

В свою очередь, пашня и сенокосы зарастают преимущественно кустарниками: ива козья (*Salix caprea* L.), ива ломкая (*S. fragilis* L.). На сенокосах и пастбищах наблюдается усиление процессов зарастания мелколесьем. Практически все участки угодий со слабой и средней степенью зарастания, по данным 1987 г., в 2012 г. классифицировались уже как сильно заросшие древесной и кустарниковой растительностью.

Результаты обследования зарастания сельскохозяйственных угодий показывают, что за исследуемый 25-летний период подверглось зарастанию древесной и кустарниковой растительностью 6 % пашни, площадь заросших сенокосов увеличилась на 16, пастбищ – на 18 %.

Прогноз зарастания сельскохозяйственных угодий, составленный на основе временных трендов, показал, что при сохранении существующей тенденции к 2027 г. зарастет древесной и кустарниковой растительностью пашня на 8, сенокосы на 34,3, пастбища на 28,0%.

Графическая интерпретация процессов показана на рис. 2. Визуализация и соотношение площадей, подвергнутых активному зарастанию, представлены на карте масштабом 1:50 000, отражающей актуальное состояние растительности (рис. 3).

Таблица 2. Изменение площади зарастания сельскохозяйственных угодий Гвардейского района Калининградской области

Table 2. Change of overgrown area of agricultural lands in the Gvardeyskiy district of Kaliningrad region

Сельскохозяйственные угодья	На 1987 г.			На 2012 г.		
	всего с/х угодий	заросшие с/х угодья		всего с/х угодий	заросшие с/х угодья	
		га	%		га	%
Пашня	21 604	-	-	21638	1 220	6
Сенокосы	9 754	1 364,0	14,0	8920	2 910	32
Пастбища	13 200	726,8	5,5	12560	3 252	26
Итого	44 558	2 090,8	4,7	43118	7 382	17

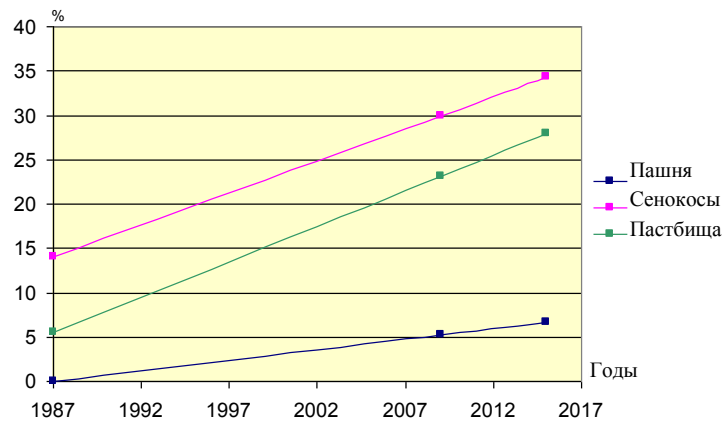
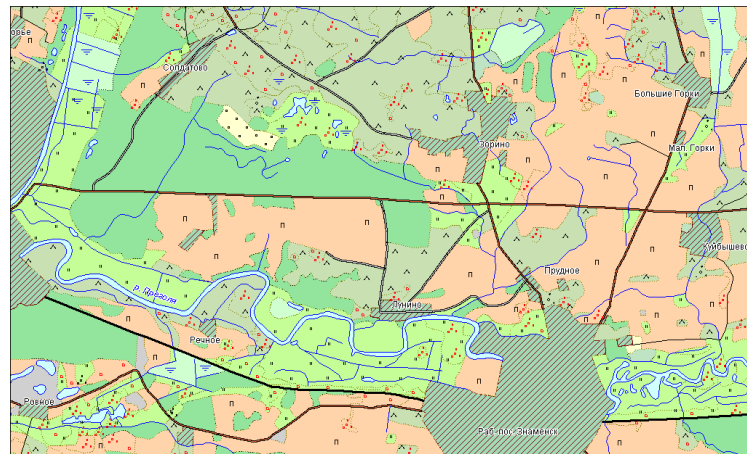


Рис. 2. Зарастания сельхозугодий древесной и кустарниковой растительностью на территории Гвардейского района Калининградской области  
 Fig. 2. Overgrowing of agricultural lands with trees and shrub in the Gvardeyskiy district of the Kaliningrad region



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

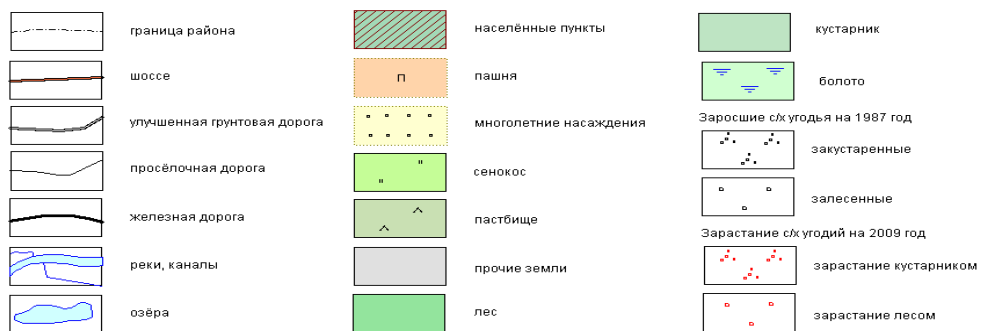


Рис. 3. Карта зарастания сельхозугодий Гвардейского района Калининградской области. Масштаб 1:50 000  
 Fig. 3. Map of overgrowing of farmlands in the Gvardeyskiy district of the Kaliningrad region. Scale 1:50 000

Если не принять эффективных мер по стабилизации ситуации, площади зарастания земель будут значительно увеличиваться, так как кустарники и лесные породы год от года будут захватывать всё большие территории и всё активнее занимать свободные участки сельскохозяйственных угодий. Ситуация в целом легко прогнозируемая, так как сенокосы и пастбища существуют как субклимаксовые сообщества за счет постоянной антропогенной регуляции в виде сенокосения и выпаса скота. Существование же агрофитоценозов (пашни) определяем как дотационную систему в режиме постоянного антропогенного воздействия.

Оценка состояния и использования земель на основе сравнительного анализа разновременных картографических материалов, данных дистанционного зондирования (ДДЗ) и наземных обследований позволила получить актуальную информацию процессов подтопления, переувлажнения и зарастания и прогнозировать возможные сценарии их негативного развития [5-9].

### ВЫВОДЫ

1. Использование методов дистанционного зондирования позволяют визуализировать ситуацию, связанную с антропогенной трансформацией почв и растительности.

2. В условиях Гвардейского района существует высокая вероятность дальнейшего увеличения площади избыточно увлажнённых земель, а также развития негативных процессов заболачивания сельскохозяйственных угодий.

3. Значительное распространение в составе сельскохозяйственных угодий избыточно увлажнённых, в том числе заболоченных, земель обуславливает необходимость проведения осушительных мелиоративных мероприятий, что приведет к положительному решению экологических проблем исследуемого района.

4. Зарастание угодий ведет не только к количественному уменьшению площадей кормовых угодий, но и оказывает отрицательное влияние на качественный состав травостоя лугов и пастбищ: происходит вселение популяций грубостебельных, сорных и ядовитых трав.

5. Природные кормовые угодья в составе земель сельскохозяйственного назначения имеют приоритет в использовании и подлежат особой охране, так как формируют кормовую базу для развития животноводства региона.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бедарева, О. М. Антропогенная трансформация и интенсивность использования пастбищных экосистем Южного Прибалхашья / О. М. Бедарева // Кормопроизводство. – 2007. – № 10. – С. 5-14 .

2. Бедарева, О. М. Антропогенная трансформация пастбищных экосистем / О. М. Бедарева // Вестник Саратовского аграрного университета им. Н. И. Вавилова. – 2007. – № 1. – С. 15-18.

3. Кравцова, В. И. Космические методы изучения природной среды / В. И. Кравцова. – Москва, 1992. – 135 с.

4. Кравцова, В. И. Космические методы исследования почв / В. И. Кравцова. – Москва, 2005. – С. 190.

5. Wilson V. F. A global archive of land cover and soil data in general circulation models / V. F. Wilson, A. Henderson-Sellers // J. Climatol. - 1985. - Vol. 5. - N 2. - P.119 - 144.
6. Zeiler M. Modeling our World. The ESRI Guide to Geodatabase Design. ESRI Inc, 1999. - 199 p. («Моделирование нашего Мира» / Пер. с англ. М., 2001 – 265 с.)
7. Moelliring H. Teoritical Concept Analitical / H. Moelliring // Cartogr. (Austral.). - 2001. - Vol. 39. - N 3. – P.112 - 114.
8. Murtha P. A. Remote sensing and vegetation damage: A teory for detection / P.A. Murtha // Photogr. Eng. and Sens. - 1978. - Vol. 44. - № 9. - P.1147 - 1158.
9. Narendra S. Bidirectional canopi reflections and its relationship to vegetation characteristics / S. Narendra, E. Nikki, Reynold // Int. 1. Remote sens. – 1989. – 10. - №1. - P. 107 - 132.

#### REFERENCES

1. Bedareva O. M. Antropogennaja transformacija i intensivnost' ispol'zovanija pastbishhnyh jekosistem Juzhnogo Pribalhash'ja [Anthropogenic transformation and intensity of use of pastoral ecosystems of the Lake Balkhash region ]. *Kormoproizvodstvo*, 2007, no. 10, pp. 5-14 .
2. Bedareva O. M. Antropogennaja transformacija pastbishhnyh jekosistem [Anthropogenic transformation of pastoral ecosystems]. *Vestnik Saratovskogo agrarnogo universiteta im. N. I. Vavilova*, 2007, no. 1, pp. 15-18.
3. Kravcova V. I. *Kosmicheskie metody izuchenija prirodnoj sredy* [Space methods for studying natural environment]. Moscow, 1992, 135 p.
4. Kravcova V. I. *Kosmicheskie metody issledovanija pochv* [Space methods for studying soils]. Moscow, 2005, 190 p.
5. Wilson V. F., Henderson-Sellers A. A global archive of land cover and soil data in general circulation models. J. Climatol, 1985, vol. 5, no. 2, pp. 119-144.
6. Zeiler M. Modeling our World. The ESRI Guide to Geodatabase Design. ESRI Inc, 1999, 199 p. (Russ. Ed.: Zejler M. Modelirovanie nashego Mira. Moscow, 2001, 265 p.)
7. Moelliring N. Teoritical Concept Analitical. Cartogr. (Austral.). 2001, vol. 39, no. 3, pp. 112-114.
8. Murtha P.A. Remote sensing and vegetation damage: A teory for detection. Photogr. Eng. and Sens. 1978, vol. 44, no. 9, pp. 1147-1158.
9. Narendra S., Nikki E., Reynold. Bidirectional canopi reflections and its relationship to vegetation characteristics. Int. 1. Remote sens. 1989, vol. 10, no. 1, pp. 107-132.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Даринская Татьяна Николаевна* – Калининградский государственный  
технический университет; аспирантка

*Darinskaya Tatyana Nikolaevna* – Kaliningrad State Technical University; Postgraduate  
student

*Бедарева Ольга Михайловна* – Калининградский государственный технический университет; доктор биологических наук, доцент, заведующая кафедрой агропочвоведения и агроэкологии; E-mail: [olgabedareva@mail.ru](mailto:olgabedareva@mail.ru)

*Bedareva Olga Mikhajlovna* – Kaliningrad State Technical University; Doctor of Biological Science, Assistant Professor, Head of the Department of agrology and agroecology; E-mail: [olgabedareva@mail.ru](mailto:olgabedareva@mail.ru)

*Бедарев Валерий Сергеевич* – Калининградский государственный технический университет; доцент кафедры автоматизированного машиностроения; E-mail: [bedarev\\_1952@mail.ru](mailto:bedarev_1952@mail.ru)

*Bedarev Valeriy Sergeevich* – Kaliningrad State Technical University; Associate Professor; E-mail: [bedarev\\_1952@mail.ru](mailto:bedarev_1952@mail.ru)

*Мурачёва Любовь Семёновна* – Калининградский государственный технический университет; кандидат биологических наук, доцент

*Muracheva Lyubov Semenovna* – Kaliningrad State Technical University; PhD, Associate Professor

*Троян Татьяна Николаевна* – Калининградский государственный технический университет; кандидат биологических наук, доцент

*Troyan Tatyana Nikolaevna* – Kaliningrad State Technical University; PhD, Associate Professor

*Сидоренко Елена Валерьевна* – Калининградский государственный технический университет; студентка

*Sidorenko Elena Valeryevna* – Kaliningrad State Technical University; student

УДК 621.891:639.2.081.117

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ПРОВЕРКИ РАВЕНСТВА  
ОКРУЖНОГО УСИЛИЯ И СИЛЫ ТРЕНИЯ НА ПОВЕРХНОСТИ ТЯГОВОГО  
БАРАБАНА ПРОМЫСЛОВОГО МЕХАНИЗМА ФРИКЦИОННОГО ТИПА  
ПРИ ВЫБОРКЕ ОРУДИЯ РЫБОЛОВСТВА

Т. А. Ключко, Е. К. Орлов

METHODOLOGY FOR EXPERIMENTAL VERIFICATION OF EQUALITY  
BETWEEN PERIPHERAL FORCE AND FRICTIONAL FORCE ON THE SURFACE  
OF THE TRACTION DRUM OF THE FRICTION-TYPE FISHERY MECHANISM  
IN SELECTION OF FISHING GEAR

T. A. Klyuchko, E. K. Orlov

Основным параметром промыслового механизма фрикционного типа является тяговое усилие. Предполагается, что тяговое усилие механизма фрикционного типа – это окружное усилие  $F_{\text{окр}}$  на поверхности тягового барабана, которое создаётся приводом. Если процесс выборки орудия рыболовства проходит без проскальзывания, то принято считать, что тяга механизма равна силе трения  $F_{\text{тр}}$  между орудием рыболовства и тяговым барабаном. Для проверки этого положения разработана и апробирована методика, позволяющая решить следующие задачи: с помощью экспериментальной установки воспроизвести фрикционное взаимодействие между тяговым барабаном и образцом рыболовных канатно-веревочных изделий; измерить в ходе эксперимента значения фазного тока  $I_{\text{ф}}$  и фазного напряжения  $U_{\text{ф}}$  на электродвигателе в режимах холостого хода и под нагрузкой; измерить силу натяжения  $S_1$  и  $S_2$  в ветвях канатно-веревочных изделий; используя результаты экспериментов, выполнить расчеты окружного усилия  $F_{\text{окр}}$  и силы трения  $F_{\text{тр}}$  на поверхности тягового барабана.

Осуществлена апробация методики на примере фрикционного взаимодействия капронового каната и обрешиненного тягового барабана. С помощью тензостанции МС-200 сделана запись одновременно  $I_{\text{ф}}$ ,  $U_{\text{ф}}$  и  $S_1$  в течение всего времени проведения эксперимента  $t$ . Полученные результаты были использованы в расчетах, которые показали, что  $F_{\text{тр}} > F_{\text{окр}}$ . Основной вывод: данная методика может быть использована в экспериментальных работах по исследованию тягового усилия промыслового механизма фрикционного типа с целью создания системы управления, обеспечивающей процесс выборки орудия рыболовства без проскальзывания.

*экспериментальная установка, холостой ход, нагрузка, фазный ток, фазное напряжение, натяжение в канате, окружное усилие, сила трения*

The main parameter of a friction-type fishery mechanism (FFM) is the driving force. It is assumed that the driving force of FFM is a peripheral force  $F_{\text{cir}}$  on the surface of the traction drum which is created by the drive. If the process of selecting a fish-



ing gear (FG) goes without slipping, it is widely accepted that the mechanism thrust is equal to the frictional force  $F_{fric}$  between FG and a traction drum. In order to verify this statement, a special methodology has been developed and tested allowing to solve the following problems: using the experimental unit to reproduce frictional interaction between the traction drum and sample fishery cordage; to measure during the experiment phase current  $I_{ph}$  and phase voltage  $U_{ph}$  in the electric motor during no-load operation and under load; to measure tension strength S1 and S2 in the parts of cordage; using the results of the experiments to calculate the peripheral force  $F_{cir}$  and the frictional force  $F_{fric}$  on the surface of the traction drum.

The methodology has been tested using frictional interaction of a nylon rope and a rubber-covered drum. Using strain-gauge station MIC-200 a simultaneous record has been performed of the phase current  $I_{ph}$ , phase voltage  $U_{ph}$  and S1 during the time  $t$  of the experiment. The results have been used in the calculations, which have showed that  $F_{fric} > F_{cir}$ . The main conclusion is that this technique can be applied in experimental studies on the traction force of the friction-type fishery mechanism in order to create a control system that ensures the process of selecting fishing gear without slipping.

*experimental unit, no-load operation, load, phase current, phase voltage, tension in the rope, peripheral force, friction force*

### Введение

Работа механизмов фрикционного типа (МФТ), применяемых для выборки орудий рыболовства (ОР), основана на использовании силы трения, которая удерживает ОР на поверхности вращающегося тягового барабана и обеспечивает их совместное перемещение без буксования (скольжения). Предполагается, что тяговое усилие МФТ – это окружное усилие  $F_{окр}$ , которое создаётся приводом промыслового механизма фрикционного типа. Если процесс выборки проходит без проскальзывания, то принято считать, что тяга механизма равна силе трения  $F_{тр}$  между ОР и тяговым барабаном. В этом случае ставится знак равенства между  $F_{окр}$  и  $F_{тр}$ . А правильно ли это? Для ответа на этот вопрос была разработана методика экспериментальной проверки равенства окружного усилия и силы трения на поверхности тягового барабана промыслового механизма фрикционного типа (методика).

### Постановка задачи

Методика предполагает решение следующих задач:

- воспроизведение на экспериментальной установке режима «ХОЛОСТОЙ ХОД» для МФТ;
- воспроизведение на экспериментальной установке режима «ПОД НАГРУЗКОЙ» за счет фрикционного взаимодействия между образцом рыболовных канатно-веревочных изделий (КВИ) и вращающимся тяговым барабаном МФТ;
- измерение значений фазного тока  $I_{\phi}$  и фазного напряжения  $U_{\phi}$  электродвигателя МФТ в режимах «ХОЛОСТОЙ ХОД» и «ПОД НАГРУЗКОЙ»;
- измерение натяжения в набегавшей ветви  $S_1$  образца КВИ при предварительном смещении и скольжении образца по поверхности тягового барабана [1];

- расчеты окружного усилия  $F_{окр}$  и силы трения  $F_{тр}$  на поверхности тягового барабана с использованием результатов измерений.

### Экспериментальная установка

Схема экспериментальной установки приведена на рис. 1.

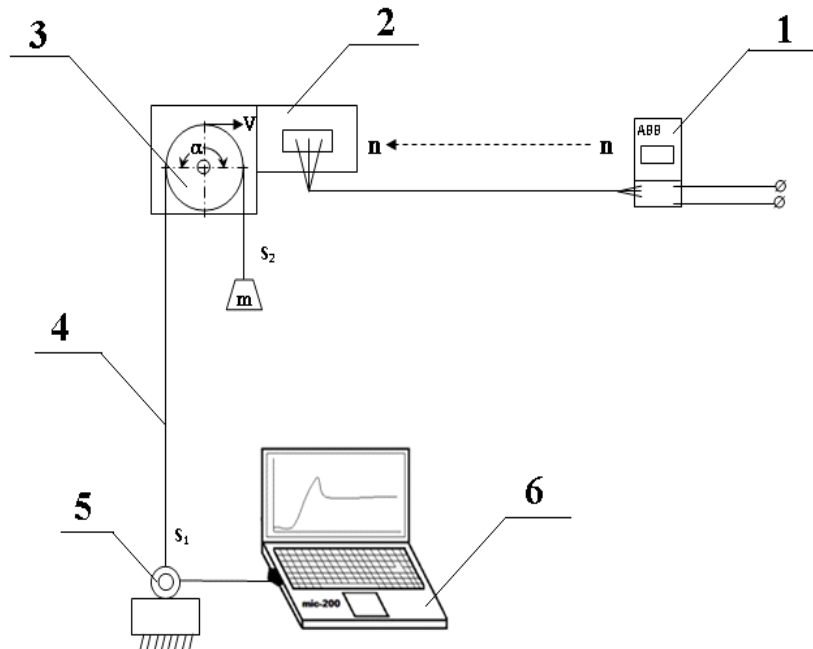


Рис. 1. Схема экспериментальной установки:

- 1 – частотный преобразователь; 2 – мотор – редуктор; 3 – тяговой барабан;  
4 – канат капроновый диаметром 10 мм; 5 – тензодатчик;  
6 – тензостанция MIC-200

Fig. 1. The experimental unit:

- 1 – frequency converter; 2 - engine - gearbox; 3 - traction drum; 4 - nylon rope with diameter of 10 mm; 5 - strain gauge; 6 – strain-gauge station MIC-200

Для методики потребовалось создать систему сбора (регистрации) и обработки экспериментальных данных (ССО), которая позволяет:

- 1) регистрировать силу фазного тока  $I_{\phi}$  и фазное напряжение  $U_{\phi}$  на электродвигателе мотор – редуктора;
  - 2) регистрировать с помощью тензодатчика натяжение в набегающей ветви каната  $S_I$ ;
  - 3) обрабатывать результаты измерений и переводить их в формат .xls.
- Блок-схема ССО представлена на рис. 2.

### Эксперименты

Канат укладывается на неподвижный барабан. Набегающая ветвь каната присоединяется к тензодатчику, закрепленному на основании установки. К сбегающей ветви каната присоединяется мерный груз. Выполняется контроль угла охвата  $\alpha=180^\circ$ , и канат снимается с барабана.

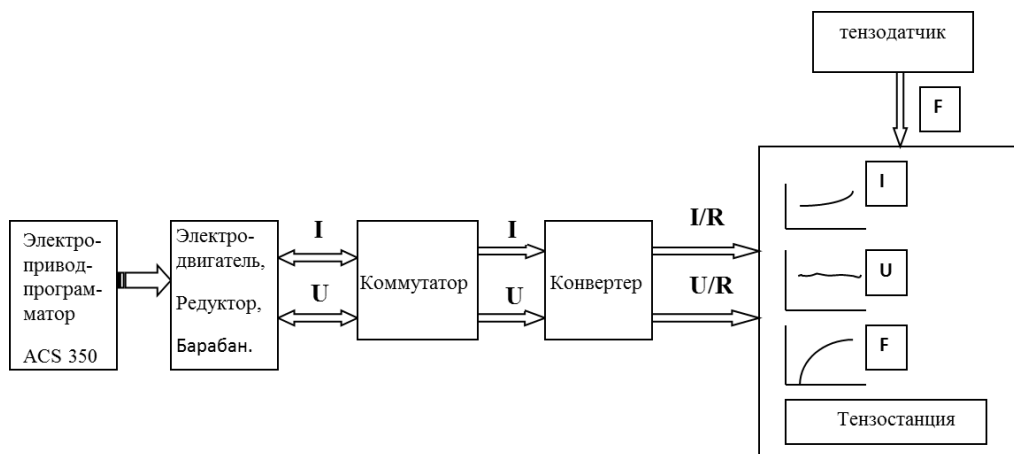


Рис. 2. Блок-схема системы сбора (регистрации) и обработки экспериментальных данных (ССО)

Fig. 2. Flowchart of the system for collection and processing of experimental data (CSPI)

На тензостанции МІС-200 запускается программа RECORDER и включается режим записи показаний тензодатчика  $S_I$ , значений фазного тока  $I_\phi$  и фазного напряжения  $U_\phi$  на электродвигателе.

Канат укладывается на вращающийся барабан. Между канатом и поверхностью барабана возникает сила трения  $F_{тр}$ , которая совместно с силой натяжения сбегающей ветви  $S_2$  создает силу натяжения в набегающей ветви каната  $S_I$  (режим «ПОД НАГРУЗКОЙ»).

На тензостанции МІС-200 одновременно с записью показаний тензодатчика  $S_I$  выполняется запись значений фазного тока  $I_\phi$  и фазного напряжения  $U_\phi$  на электродвигателе в течение всего времени проведения эксперимента  $t$ .

### Результаты экспериментов

С помощью программы обработки данных WinПОС, установленной на тензостанции МІС-200, результаты измерений сначала преобразуются в формат .xls и передаются в программу Excel, а затем используются для построения графиков зависимостей  $I_\phi=f(t)$ ,  $U_\phi=f(t)$  и  $S_I=f(t)$ . На этих графиках выделяются участки, соответствующие режимам «ХОЛОСТОЙ ХОД» и «ПОД НАГРУЗКОЙ».

Для режима «ХОЛОСТОЙ ХОД» определяются значения фазного тока  $I_\phi$  и фазного напряжения  $U_\phi$  при установившейся скорости вращения вала двигателя  $n_{дв}=900$  об/мин (рис. 3).

Для режима «ПОД НАГРУЗКОЙ», прежде всего, определяется значение силы натяжения в набегающей ветви каната  $S_{Imax}$ , при которой барабан МФТ и канат работают без проскальзывания. Затем - значения фазного тока  $I_\phi$  и фазного напряжения  $U_\phi$  в момент, когда сила натяжения набегающей ветви достигла значения  $S_{Imax}$  (рис. 4).

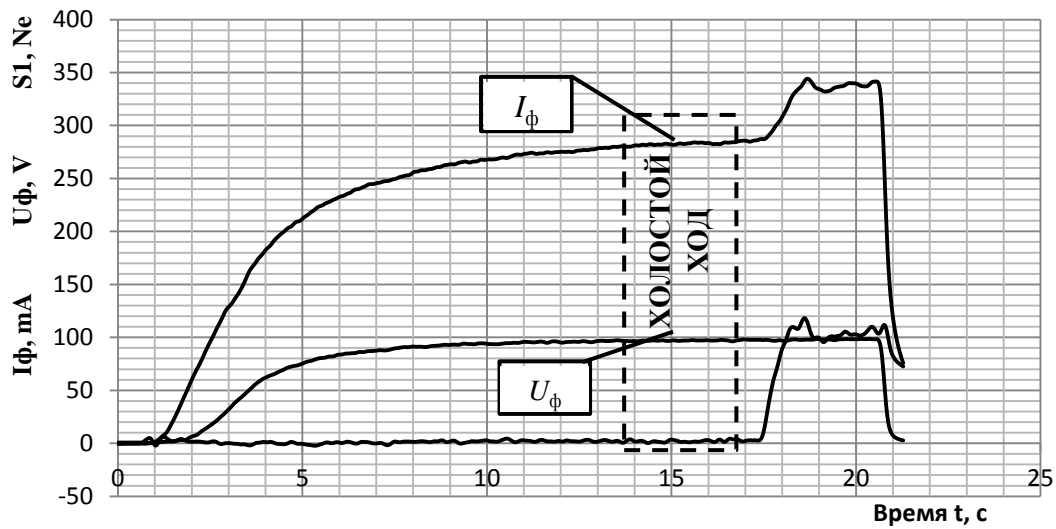


Рис. 3. Значения фазного тока  $I_{\phi}$  и фазного напряжения  $U_{\phi}$  электродвигателя для режима «ХОЛОСТОЙ ХОД»

Fig. 3. Phase current  $I_{ph}$  and phase voltage  $U_{ph}$  of the motor drive for the no-load operation

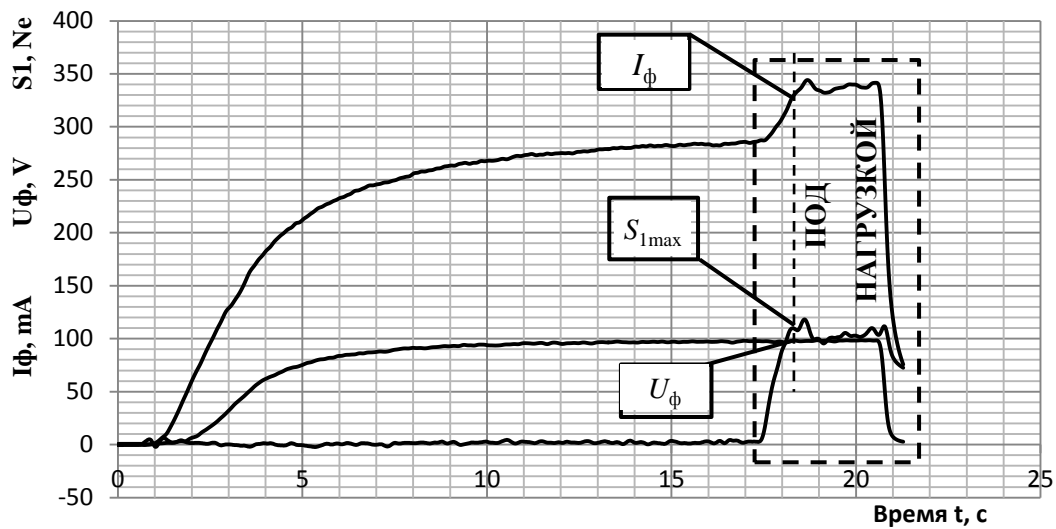


Рис. 4. Значения силы натяжения в набегающей ветви каната  $S_{1max}$ , фазного тока  $I_{\phi}$  и фазного напряжения  $U_{\phi}$  электродвигателя для режима «ПОД НАГРУЗКОЙ»

Fig. 4. The values of the tensile force in the leading part of the rope  $S_{1max}$ , phase current  $I_{ph}$  and phase voltage  $U_{ph}$  of the motor drive in the under load mode

Полученные результаты экспериментов приведены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты экспериментов при работе МФТ в режимах «ХОЛОСТОЙ ХОД» и «ПОД НАГРУЗКОЙ»

Table 1. Experiment results with the mechanism in no-load operation and under load mode

Частота оборотов $n_{дв}$ , об/мин	$\cos\varphi$	Электродвигатель			Режим работы	КВИ	
		Ток фазный $I_{\phi}$ , мА	Ток фазный $I_{\phi}$ , А	Напряжение фазное $U_{\phi}$ , В		$S_{1max}$ , Н	$S_2$ , Н
900	0,72	285,70	0,29	97,96	ХОЛОСТОЙ ХОД	-	-
900		329,10	0,33	98,11	ПОД НАГРУЗКОЙ	109,76	4,21
900		278,05	0,28	88,42	ХОЛОСТОЙ ХОД	-	-
900		336,96	0,34	88,08	ПОД НАГРУЗКОЙ	143,40	5,19
900		273,38	0,27	84,55	ХОЛОСТОЙ ХОД	-	-
900		348,66	0,35	84,09	ПОД НАГРУЗКОЙ	171,48	6,17

### Обработка результатов экспериментов

Результаты измерений, полученные в ходе экспериментальных работ, в дальнейшем используются как входные данные для расчетов окружной силы  $F_{окр}$  и силы трения  $F_{тр}$ .

#### 1. Расчет параметров электродвигателя

1.1. Мощность электродвигателя  $P_{дв}$  определяется по формуле (1.1) [2]:

$$P_{дв} = 3 \cdot U_{\phi} \cdot \cos\varphi. \quad (1.1)$$

1.2. Угловая скорость вала электродвигателя  $\omega_{дв}$  определяется по формуле (1.2):

$$\omega_{дв} = 2 \cdot \pi \cdot n_{дв} / 60. \quad (1.2)$$

1.3. Крутящий момент на валу электродвигателя  $M_{дв}$  определяется по формуле (1.3):

$$M_{дв} = P / \omega_{дв}. \quad (1.3)$$

С другой стороны, на основании уравнения движения привода крутящий момент  $M_{дв}$  на валу электродвигателя уравновешивается моментом сопротивления на его валу  $M_{сдв}$  и инерционным моментом в соответствии с формулой (1.4):

$$M_{дв} = M_{сдв} + J \frac{d\omega}{dt}. \quad (1.4)$$

1.4. Инерционный момент на валу электродвигателя определяется в режиме «ХОЛОСТОЙ ХОД». С учетом формулы (1.4) при  $M_{сдв}=0$  инерционный момент определяется по формуле (1.5):

$$J \frac{d\omega}{dt} = M_{дв}. \quad (1.5)$$

1.5. Момент сопротивления на валу электродвигателя  $M_{сдв}$  определяется для режима «ПОД НАГРУЗКОЙ». Для расчета момента сопротивления на валу электродвигателя формулу (1.4) преобразуем в формулу (1.6):

$$M_{сдв} = M_{дв} - J \frac{d\omega}{dt}. \quad (1.6)$$

#### 2. Расчет окружной силы $F_{окр}$ на поверхности тягового барабана

Расчет окружной силы  $F_{окр}$  на поверхности тягового барабана проводится для режима «ПОД НАГРУЗКОЙ».

2.1. Момент сопротивления на тяговом барабане  $M_{сб}$ , при котором натяжение в набегающей ветви каната достигло значения  $S_{1max}$ , определяется по формуле (2.1):

$$M_{сб} = M_{сдв} \cdot u_p \cdot \eta, \quad (2.1)$$

где  $u_p=30$  – передаточное число редуктора;  $\eta=0,75$  – КПД передачи.

2.2. Окружная сила на поверхности тягового барабана  $F_{окр}$  определяется по формуле (2.2)

$$F_{окр} = 2 \cdot M_{сб} / D_0. \quad (2.2)$$

### 3. Расчет силы трения $F_{тр}$ между канатом и тяговым барабаном МФТ

Сила трения  $F_{тр}$  рассчитывается по формуле (3.1):

$$F_{тр} = S_{1max} - S_2. \quad (3.1)$$

Результаты расчетов приведены в табл. 2.

Таблица 2. Результаты расчетов

Table 2. Calculation results

Электродвигатель						Мотор-редуктор		Барабан		
Частота оборотов $n_{дв}$ , об/мин	Мощность $P_{дв}$ , Вт	Угловая скорость вала $\omega_{дв}$ , рад/с	Крутящий момент на валу $M_{дв}$ , Нм	Инерционный момент на валу $J$ , Н	Момент сопротивления на валу, $M_{сдв}$ , Н	Передаточное число редуктора $u_p$	КПД передачи $\eta$	Момент сопротивления на барабане $M_{сб}$ , Н	Окружное усилие $F_{окр}$ , Н	Сила трения на барабане $F_{тр}$ , Н
900	60,45	94,20	0,64	0,64	0	30	0,75	БЕЗ НАГРУЗКИ		
900	69,74	94,20	0,74	0,64	0,10	30	0,75	2,22	<b>82,21</b>	<b>105,56</b>
900	53,10	94,20	0,56	0,56	0	30	0,75	БЕЗ НАГРУЗКИ		
900	64,10	94,20	0,68	0,56	0,12	30	0,75	2,63	<b>97,33</b>	<b>138,21</b>
900	49,92	94,20	0,53	0,53	0	30	0,75	БЕЗ НАГРУЗКИ		
900	63,33	94,20	0,67	0,53	0,14	30	0,75	3,20	<b>118,57</b>	<b>165,31</b>

### Обсуждение

Результаты, полученные в ходе апробации методики, показывают, что сила трения  $F_{тр}$ , действующая между канатом и поверхностью тягового барабана, превышает окружное усилие  $F_{окр}$ , созданное приводом МФТ [3]. Согласно методике была определена сила трения при предварительном смещении, т.е. на первой фазе трения скольжения. Как известно, в фазе предварительного смещения сила трения превосходит сдвигающую силу. В трибопаре, образованной орудием лова (ОЛ) и тяговым барабаном МФТ, сдвигающими силами могут быть разность между натяжением в ветвях ОЛ и окружное усилие, созданное приводом МФТ. Предлагаемая методика позволяет оценить влияние окружного усилия на силу трения и установить в дальнейшем зависимость между ними. Полученные результаты дают возможность считать, что создание и апробация данной методики являются одним

из этапов по исследованию тягового усилия промышленных механизмов фрикционного типа.

### Заключение

Апробация методики экспериментальной проверки равенства окружного усилия и силы трения на поверхности тягового барабана промышленного механизма фрикционного типа позволяет сделать следующие **выводы**:

- 1) модернизированная экспериментальная установка обеспечивает выполнение методики экспериментального исследования окружного усилия и силы трения на поверхности тягового барабана фрикционного типа;
- 2) данная методика может быть использована в экспериментальных работах по исследованию тягового усилия промышленного механизма фрикционного типа с целью создания системы управления, обеспечивающей процесс выборки орудия рыболовства без проскальзывания.

Статья подготовлена в рамках выполнения гранта РФФИ №15-08-00464-а «Математическое, физическое и имитационное моделирование сетных орудий рыболовства и аквакультуры».

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Трение, износ и смазка (трибология и триботехника) /А. В. Чичинадзе [и др.].– Москва: Машиностроение, 2003. – 575 с.
2. Чиликин, М. Г. Общий курс электропривода / М. Г. Чиликин. – Москва-Ленинград: Энергия, 1965. - 544 с.
3. Ключко, Т. А. Апробация методики экспериментального исследования окружного усилия на поверхности тягового барабана фрикционного типа / Т. А. Ключко, Е. К. Орлов // III Международный Балтийский морской форум: сборник тезисов докладов. - Светлогорск, 2015. - С. 208-210.

### REFERENCES

1. Chichinadze A. V. [i dr.] *Trenie, iznos i smazka (tribologija i tribotehnika)* [Friction, wear and lubrication (tribology and triboengineering)]. Moscow, Mashinostroenie, 2003, 575 p.
2. Chilikin M. G. *Obshhij kurs jelektroprivoda* [Basics of the electric motor drive]. Moscow-Leningrad: Jenergija, 1965, 544 p.
3. Kljuchko T. A., Orlov E. K. *Aprobacija metodiki jeksperimental'nogo issledovanija okružnogo usilija na poverhnosti tjagovogo barabana frikcionnogo tipa* [Approbation of methodology for experimental study of peripheral force on the surface of a friction-type traction drum]. *Sbornik tezisov dokladov III Mezhdunarodnogo Baltijskogo morskogo foruma* [Proceedings of III International Baltic Marine Forum]. Svetlogorsk, 2015, pp. 208-210.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Ключко Таисия Анатольевна* – Калининградский государственный технический университет; аспирант кафедры промышленного рыболовства;  
E-mail: zozik-helga@mail.ru

*Klyuchko Taisiya Anatolevna* –Kaliningrad State Technical University; Postgraduate student of the Department of commercial fishery;  
E-mail: zozik-helga@mail.ru

*Орлов Евгений Константинович* – Калининградский государственный технический университет; доцент кафедры промышленного рыболовства;  
E-mail: evgeniy.orlov@klgtu.ru

*Orlov Evgeniy Konstantinovich* – Kaliningrad State Technical University; assistant professor of the Department of commercial fishery;  
E-mail: evgeniy.orlov@klgtu.ru





УДК 531:639.2

## РАСЧЕТ ФОРМЫ И УСИЛИЙ В КАНАТАХ С УЧЕТОМ ИХ ЭЛАСТИЧНОСТИ

В. А. Наумов, И. М. Ахмедов

### CALCULATION OF SHAPE AND EFFORTS IN ROPES WITH REGARD TO THEIR ELASTICITY

V. A. Naumov, I. M. Akhmedov

Как правило, при расчетах формы и сил натяжения в канатной части орудий рыболовства не учитывают свойства эластичности. Ранее в работах авторов была получена зависимость, связывающая нагрузку и удлинение канатов из синтетических материалов. Она позволила сформулировать задачу равновесия каната нейтральной плавучести в однородном потоке с учетом эластичности. Результаты численного решения системы уравнений равновесия для канатов из полипропилена, полистила и полиамида показали: если скорость течения не превышает 1 м/с, а стрела прогиба нерастянутого каната составляет более 10 % расстояния между точками его крепления, то с погрешностью менее 5 % не нужно учитывать упругие свойства каната. Это связано с тем, что возникающие силы натяжения невелики. Совершенно иная картина складывается при небольших значениях стрелы прогиба каната. В данном случае форму каната будем считать параболической, и задача может быть решена приближенно. Учет эластичности каната существенно влияет на результаты расчета. Влияние усиливается при уменьшении диаметра каната и увеличении скорости течения. Расчет силы натяжения каната из полимерных материалов в потоке при малой стреле прогиба без учета эластичности приводит к погрешности вплоть до 300 %.

*промышленное рыболовство, синтетические канаты, равновесие, эластичность, расчет, сила натяжения*

As a rule, calculation of shape and tension forces in the cable parts of fishing gears does not imply elastic properties. In the earlier works of the authors the relation between the load and the elongation of the ropes from synthetic materials was obtained. This allowed to define the problem of the equilibrium state of the rope of neutral buoyancy in homogeneous flow of water taking into account elasticity. The results of the numerical solution of the system of equilibrium equations for the ropes made of polypropylene, polysteel and polyamide showed that if the velocity does not exceed 1 m/s, and the bending deflection of the unstretched rope is more than 10 % of the distance between the points of the rope attachment, with an error of less than 5% it is not necessary to consider the elastic properties of the rope. This is because the resulting tension forces are small. A completely different situation emerges at small values of the rope deflection. In this case, the shape of the rope can be considered parabolic, and the problem can be solved approximately. Consideration of the elasticity significantly affects calculation results. This effect increases with decrease of the rope diameter and the increase in ve-

locity. Calculation of tension force of the rope made of polymeric materials in the flow at small bending deflection without considering elasticity may lead to errors of more than 300 %

*commercial fishing, synthetic ropes, equilibrium state, elasticity, calculation, tension force*

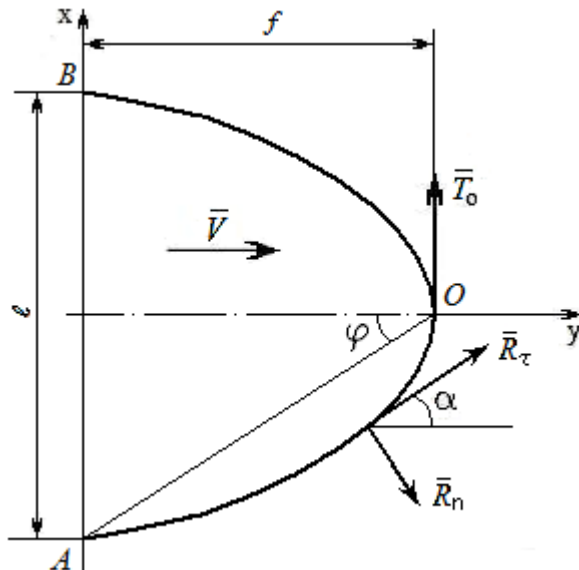
Канаты являются важной частью орудий промышленного рыболовства [1-3]. Для расчета формы и усилий стальных канатов с учетом их упругости разработаны современные математические модели, аналитические и численные методы (см., например, [4,5] и библиографию в них). Значительно меньше опубликовано исследований по влиянию эластичности на равновесие канатов из растительных и синтетических материалов.

Ф.И. Баранов [1] на основе анализа проведенных опытов предложил зависимость для удлинения испытанного сухого образца пенькового каната:

$$\varepsilon = 0,005 \cdot \sqrt{T}, \quad (1)$$

где  $T$  – сила натяжения в кгс (килограмм силы – техническая единица измерения усилия). Формула (1) использована в [2, 3] для расчета равновесия канатной части орудий рыболовства. Разумеется, зависимость (1) не является универсальной и справедлива только для условий проведения опытов.

В настоящее время в промышленном рыболовстве находят широкое применение канаты из полимерных материалов. В данной статье рассмотрена задача равновесия таких канатов в однородном потоке воды с учетом их эластичности.



Пусть канат, закрепленный в точках  $A$  и  $B$ , находится в равновесии в однородном потоке воды, имеющем скорость  $V$  (рис. 1). Причем вектор скорости перпендикулярен отрезку  $AB$ . Расстояние  $l$  между точками  $A, B$  и стрелу прогиба каната  $f$  считаем заданными.

Рис. 1. Схема равновесия каната, закрепленного в двух точках в потоке  
Fig. 1. Scheme balance rope, pinned at two points in a fluid flow

Если на эластичный трос одновременно действуют массовые  $G$  и поверхностные  $P$  силы, то уравнения равновесия будут иметь вид [6]:

$$T \frac{d\alpha}{dS} + \frac{\mu_0}{\varepsilon} G_n + P_n = 0, \quad \frac{dT}{dS} + \frac{\mu_0}{\varepsilon} G_\tau + P_\tau = 0, \quad (2)$$

где  $\mu_0$  – коэффициент Пуассона каната;  $T$  – величина локальной силы натяжения;  $P_n, P_\tau$  – проекции сил (на единицу длины каната) на нормальную и ка-

сательную оси, соответственно;  $S$  – дуговая координата;  $\varepsilon$  – относительное удлинение каната:

$$\varepsilon = \frac{dS}{dS_0} = \psi(T).$$

В настоящей статье будем рассматривать равновесие каната с нейтральной плавучестью, тогда в уравнениях (2) вторые слагаемые (массовые силы) пропадут. Из поверхностных сил на канат действуют только силы гидродинамического сопротивления. Полагаем, что уменьшением диаметра каната при растяжении можно пренебречь. Осевая симметрия позволяет искать решение только на дуге  $OA$ . Уравнения равновесия плоской гибкой нити в проекциях на нормальную и касательную оси с учетом выбранных направлений осей на рис. 1 примут вид

$$T \frac{d\alpha}{dS} + R_n = 0, \quad \frac{dT}{dS} + R_\tau = 0. \quad (3)$$

Воспользуемся для расчета локального коэффициента лобового сопротивления каната  $C_x(\alpha)$  формулой, которая дает наилучшее согласие с экспериментальными данными [7]:

$$C_x = C_0 + (C_{90} - C_0) \cdot (\sin \alpha)^{2,7}. \quad (4)$$

Зависимость локального коэффициента подъемной силы от угла атаки  $\alpha$  вычисляем, как в [3]:

$$C_y = C_{90} \cdot \sin^2 \alpha \cdot \cos \alpha. \quad (5)$$

Полагаем, что в квадратичной области сопротивления коэффициенты гидродинамического сопротивления нити можно принять равными

$$C_{90} = 1,2; \quad C_0 = 0,04.$$

Тогда величины нормальной  $R_n$  и касательной  $R_\tau$  составляющих силы гидродинамического сопротивления на единицу длины каната [3, 7]

$$R_n = \left( k_2 + (k_1 - k_2) \cdot (\sin \alpha)^{2,7} + k_1 \cdot \cos^2 \alpha \cdot \sin \alpha \right) \cdot \sin \alpha, \quad (6)$$

$$R_\tau = \left( k_2 + (k_1 - k_2) \cdot (\sin \alpha)^{2,7} - k_1 \cdot \sin^2 \alpha \cdot \sin \alpha \right) \cdot \cos \alpha, \quad (7)$$

где  $k_1$  – сила гидродинамического сопротивления на единицу длины каната при поперечном обтекании,  $k_2$  – при продольном обтекании,

$$k_1 = 0,5 \cdot C_{90} \cdot d \cdot \rho \cdot V^2, \quad k_2 = 0,5 \cdot C_0 \cdot d \cdot \rho \cdot V^2, \quad (8)$$

Граничные условия при  $S = 0$  (точка  $O$ ):

$$T(0) = T_0, \quad \alpha(0) = \pi/2. \quad (9)$$

Математическая постановка задачи включает дифференциальные уравнения (3), уравнения (10) для нахождения координат нити (знак минус в правых частях (10) обусловлен противоположным направлением отсчета координат  $X$ ,  $Y$  и дуговой координаты  $S$  [8]) и граничные условия.

$$\frac{dX}{dS} = -\cos \alpha, \quad \frac{dY}{dS} = -\sin \alpha. \quad (10)$$

Граничными условиями к системе дифференциальных уравнений (3), (10) являются значения угла и силы натяжения в точке  $O$  (9) и координаты точки  $A$

$$X(L/2) = 0; \quad Y(L/2) = 0. \quad (11)$$

Поставленная таким образом задача является краевой, так как граничные условия заданы в двух точках каната. Отличие от решения, полученного в [7], будет только в учете растяжения каната под действием силы  $T$ .

В [9], по опытным данным [10, 11], для каждого материала синтетических канатов подобраны параметры степенной эмпирической зависимости нагрузка-удлинение:

$$\varepsilon = A_i \cdot \theta^{n_i} = A_i \cdot (T/T_{pi})^{n_i}, \quad (12)$$

где  $\varepsilon$  – относительное удлинение каната;  $\theta$  – отношение усилия в канате к разрывному усилию  $T_p$ ;  $A_i$ ,  $n_i$  – эмпирические параметры зависимости для  $i$ -го типа канатов.

В [12] для широко используемых в промышленном рыболовстве синтетических 3-прядных крученых кантов найдены эмпирические зависимости разрывного усилия от диаметра  $d$  (мм):

$$T_{pi} = B_i \cdot d^{m_i}, \quad (13)$$

где  $B_i$ ,  $m_i$  – эмпирические параметры зависимости для  $i$ -го типа канатов.

Длина растянутого каната может быть найдена по формуле

$$L = L_0 \cdot \int_0^{\ell} (1 + \varepsilon(x)) dx = L_0 \cdot \int_0^{\ell} \left( 1 + A_i \cdot (T(x)/(B_i \cdot d^{m_i}))^{n_i} \right) dx, \quad (14)$$

где  $L_0$  – длина нерастянутого каната.

Результаты численного решения полной системы уравнений равновесия с учетом соотношения (14) для 3-прядных канатов из полипропилена, полистила и полиамида показали: если скорость течения не превышает 1 м/с, а стрела прогиба нерастянутого каната  $f_0$  (см. рис. 1) составляет более 10 % от расстояния  $\ell$  между точками  $AB$ , то с погрешностью менее 5 % можно не учитывать упругие свойства каната. Это связано с тем, что возникающие силы натяжения невелики. Совершенно иная картина складывается при небольших значениях стрелы прогиба каната.

Далее будем рассматривать случай  $f_0/\ell = 0,01$ . При таких условиях, в первом приближении, систему гидродинамических сил, действующих на канат, можно считать параллельной, а форму каната – близкой к параболе [6]:

$$y = (\ell - x) \cdot x / (2a), \quad a_0 = \ell^2 / (8f_0). \quad (15)$$

Длина нерастянутого каната

$$L_0 = \ell + 8f_0^2 / (3\ell). \quad (16)$$

Аналогично (6) получим соотношение для растянутого каната

$$f_1^2 = \ell + 8f_1^2 / (3\ell) \Rightarrow f_1^2 = 0,375 \cdot (L_1 - \ell) \cdot \ell. \quad (17)$$

При этом изменением силы натяжения вдоль каната можно пренебречь:

$$T(x) \approx const = k1 \cdot a = 0,5 \cdot C_{90} \cdot d \cdot \rho \cdot V^2 \cdot \ell^2 / (8f_1). \quad (18)$$

Вынесем в (14) выражение для удлинения из-под знака интеграла:

$$L_1 = L_0 \cdot \left( 1 + A_i \cdot \left( \frac{k1 \cdot \ell^2}{8f_1 \cdot T_{pi}} \right)^{n_i} \right). \quad (19)$$

Подставив (19) в (17), получим алгебраическое уравнение для отыскания стрелы прогиба растянутого каната  $f_1$ :

$$f_1^2 = 0,375 \cdot \left( L_0 \cdot \left( 1 + A_i \cdot \left( \frac{k_1 \cdot \ell^2}{8 f_1 \cdot T_{pi}} \right)^{n_i} \right) - \ell \right) \cdot \ell. \quad (20)$$

Решение уравнения (20) численным методом позволяет найти форму и силу натяжения растянутого каната.

На рис. 2 представлена форма новых канатов из полистила ( $A_i = 0,18$ ;  $n_i = 0,618$  [9];  $B_i = 250$  Н;  $m_i = 1,86$  [12]), рассчитанная при  $\ell = 10$  м;  $f_0 = 0,01$ . Видно, что учет эластичности каната существенно влияет на результаты расчета. Это влияние усиливается при уменьшении диаметра каната и увеличении скорости течения.

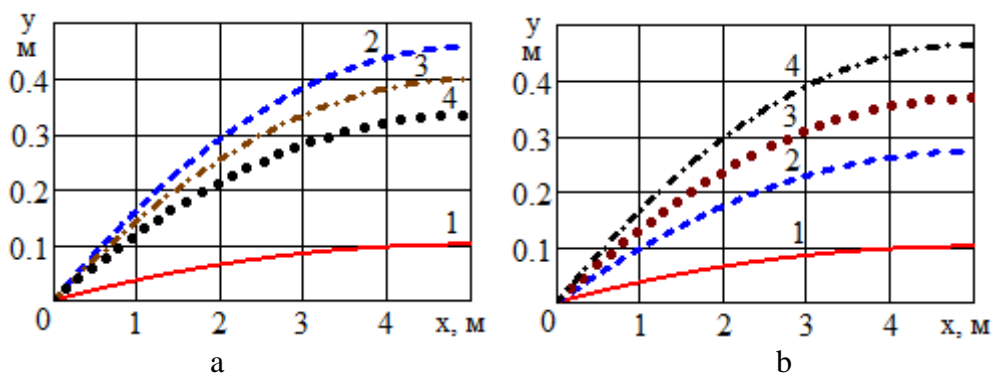


Рис. 2. Форма новых 3-прядных канатов из полистила в однородном потоке:  
 1 – без учета эластичности; 2, 3, 4 – с учетом эластичности;  
 а –  $V = 0,6$  м/с; влияние диаметра: 2 –  $d = 10$  мм; 3 –  $d = 20$  мм; 4 –  $d = 50$  мм;  
 б –  $d = 30$  мм; влияние скорости: 2 –  $V = 0,3$  м/с; 3 –  $V = 0,6$  м/с; 4 –  $V = 1$  м/с

Fig. 2. The shape of new 3-strand polysteel ropes in a uniform flow:  
 1 – without considering elasticity; 2, 3, 4 – considering elasticity;  
 а –  $V = 0,6$  m/s; impact diameter: 2 –  $d = 10$  mm; 3 –  $d = 20$  mm; 4 –  $d = 50$  mm;  
 б –  $d = 30$  mm; impact velocity: 2 –  $V = 0,3$  m/s; 3 –  $V = 0,6$  m/s; 4 –  $V = 1$  m/c

По рис. 3 видно, что учет эластичности каната приводит к значительному уменьшению расчетных значений силы натяжения и увеличению локальных углов атаки. При этом изменение величины силы натяжения вдоль каната в рассматриваемых условиях невелико. Угол атаки остается меньше 8 град, значит, расчет формы каната в приближении параболы не приводит к заметным погрешностям.

В таблице приведены результаты расчета силы натяжения новых 3-прядных канатов из полистила в однородном потоке при  $\ell = 10$  м;  $f_0 = 0,01$ . Видно, что пренебрегать эластичностью канатов в рассматриваемых условиях недопустимо: погрешность расчета может превысить 300%!

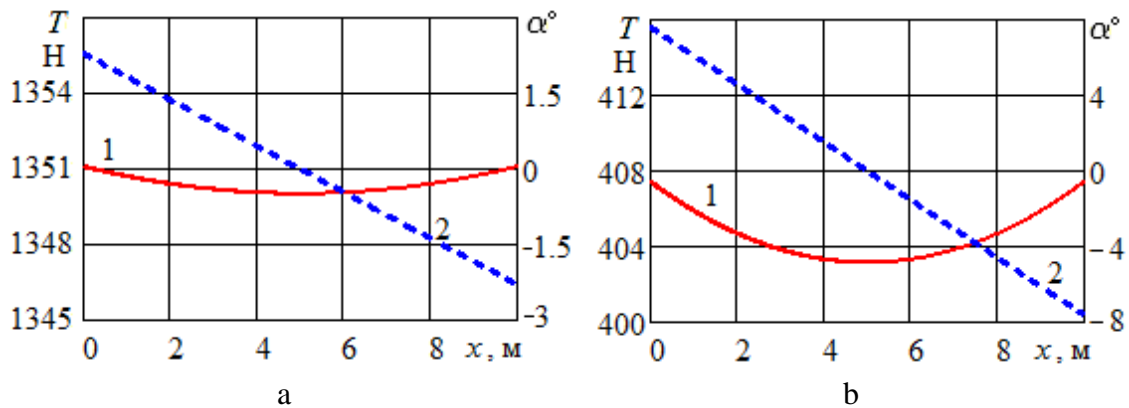


Рис. 3. Локальные характеристики канатов из полистила в однородном потоке при  $V = 0,6$  м/с;  $d = 50$  мм; а – без учета эластичности; б – с учетом эластичности; 1 – сила натяжения; 2 – угол атаки

Fig. 3. Local characteristics of polysteel ropes in a uniform flow with  $V = 0,6$  m/s;  $d = 50$  mm; а – without considering elasticity; б – considering elasticity; 1 – tension force; 2 – angle of attack

Таблица. Результаты расчета силы натяжения каната в точках крепления, Н (без учета эластичности каната / с учетом эластичности)

Table. Calculation results of the tension force at the points of attachment, N (without considering rope elasticity / considering elasticity)

Скорость $V$ , м/с	Диаметр каната $d$ , мм			
	10	20	30	50
0,3	67,6/20,4	135,1/46,3	202,5/74,8	337,8/136,5
0,6	270,2/60,1	540,4/137,2	810,6/222,2	1351/407,4
1,0	750,6/133,2	1501/304,0	2252/492,6	3753/904,9

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Если скорость течения не превышает 1 м/с, а стрела прогиба нерастянутого каната составляет более 10 % расстояния между точками крепления каната, то с погрешностью менее 5 % можно не учитывать эластичность каната при решении системы уравнений равновесия для канатов из полипропилена, полистила и полиамида. При небольших значениях стрелы прогиба каната его форму можно считать параболической, и задача равновесия может быть решена приближенно. Учет эластичности каната существенно влияет на результаты расчета. Это влияние усиливается при уменьшении диаметра каната и увеличении скорости течения.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Баранов, Ф. И. Техника промышленного рыболовства / Ф. И. Баранов. – Москва: Пищепромиздат, 1960. - 695 с.
2. Фридман, А. Л. Теория и проектирование орудий промышленного рыболовства / А. Л. Фридман. – Москва: Легкая и пищевая промышленность, 1981. - 238 с.

3. Розенштейн, М. М. Механика орудий рыболовства: учебник / М. М. Розенштейн, А. А. Недоступ. – Москва: Моркнига, 2012. – 527 с.
4. Gerdemeli, I. Analysis with finite elements method of wire rope / I. Gerdemeli, S. Kurt, A.S. Anil // *Machines, Technologies, Materials: Int. Virtual Journal*. – 2012. № 11. URL: [http://mech-ing.com/journal/Archive/2012/11/185\\_Kurt.pdf](http://mech-ing.com/journal/Archive/2012/11/185_Kurt.pdf).
5. Тарасов, Д. А. Математическое моделирование напряженно-деформированного состояния стальных канатов / Д. А. Тарасов, В. В. Коновалов, В. Ю. Зайцев // *Вестник Саратовского государственного технического университета*. – 2013. - Т. 4, № 1 (73). – С. 215-221.
6. Меркин, Д. Р. Введение в механику гибкой нити / Д. Р. Меркин. – Москва: Наука, 1980. – 240 с.
7. Ахмедов, И. М. Коэффициент гидродинамического сопротивления криволинейного каната / И. М. Ахмедов, В. А. Наумов // *Известия КГТУ*. – 2015. – № 38. – С. 53-60.
8. Наумов, В. А. Математическая постановка краевой задачи о равновесии полосы сети ставного невода / В. А. Наумов // *Известия КГТУ*. – 2013. – № 28. – С. 182-187.
9. Наумов, В. А. Упругие свойства синтетических канатов // *Наука в современном мире: Международная научно-практическая конференция (19 февраля 2015 г.): сборник статей / В. А. Наумов, И. М. Ахмедов*. – Стерлитамак: РИЦ АМИ, 2015. – С. 180-182.
10. Steven, D. Testing of high strength synthetic ropes. *Samson Rope Technologies / D. Steven, Ph. Roberts, R. Chou*. – Ferndale, Washington. – 2002. – 16 p.
11. LANEX. Marine ropes - technical parameters [Электронный ресурс]. URL: <http://www.lanex.cz/en/marine-ropes-technical-parameters> (дата обращения 04.11.2014).
12. Наумов, В. А. Анализ результатов испытания прочности трехрядных канатов из полимерных материалов / В. А. Наумов, Н. Р. Ахмедова, И. М. Ахмедов // *Известия КГТУ*. – 2015. – № 36. – С. 43-51.

#### REFERENCES

1. Baranov F. I. *Tehnika promyshlennogo rybolovstva* [Technology of commercial fishery]. Moscow, Pishhepromizdat, 1960, 695 p.
2. Fridman A. L. *Teorija i proektirovanie orudij promyshlennogo rybolovstva* [Theory and design of commercial fishery gears]. Moscow, Legkaja i pishhevaja promyshlennost', 1981, 238 p.
3. Rozenshtejn M. M., Nedostup A. A. *Mehanika orudij rybolovstva: uchebnik* [Mechanics of fishing gears: course book]. Moscow, Morkniga, 2012, 527 p.
4. Gerdemeli I., Kurt S., Anil A. S. Analysis with finite elements method of wire rope. *Machines, Technologies, Materials: Int. Virtual Journal*. 2012, no. 11, available at: [http://mech-ing.com/journal/Archive/2012/11/185\\_Kurt.pdf](http://mech-ing.com/journal/Archive/2012/11/185_Kurt.pdf).
5. Tarasov D. A., Konovalov V. V., Zajcev V. Ju. Matematicheskoe modeli-rovanie naprjazhenno-deformirovannogo sostojanija stal'nyh kanatov [Mathematical simulation of strain-stress state of steel ropes]. *Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta*. 2013, vol. 4, no. 1 (73), pp. 215-221.



6. Merkin D. R. *Vvedenie v mehaniku gibkoj niti* [Introduction to mechanics of an ideal cable]. Moscow, Nauka, 1980, 240 p.
7. Ahmedov I. M., Naumov V. A. Kojefficient gidrodinamicheskogo so-protivlenija krivolinejnogo kanata [Coefficient of hydrodynamic resistance of a curved rope]. *Izvestija KGTU*, 2015, no. 38, pp. 53-60.
8. Naumov V. A. Matematicheskaja postanovka kraevoj zadachi o ravnovesii poloski seti stavnogo nevoda [Mathematical statement of a boundary problem on equilibrium state of a fixed net strip]. *Izvestija KGTU*, 2013, no. 28, pp. 182-187.
9. Naumov V. A., Ahmedov I. M. Uprugie svojstva sinteticheskikh kanatov [Elastic properties of synthetic ropes]. *Nauka v sovremennom mire: Sbornik statej Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii (19 fevralja 2015 g.)*. Sterlitamak: RIC AMI, 2015, pp. 180-182.
10. Steven D., Roberts Ph., Chou R. Testing of high strength synthetic ropes. Samson Rope Technologies. Ferndale, Washington, 2002, 16 p.
11. LANEX. *Marine ropes - technical parameters*, available at: <http://www.lanex.cz/en/marine-ropes-technical-parameters> (Accessed 04 November 2014).
12. Naumov V. A., Ahmedova N. R., Ahmedov I. M. Analiz rezul'tatov ispytaniya prochnosti trehprjadnyh kanatov iz polimernyh materialov [Test analysis of 3-strand ropes made of polymeric materials]. *Izvestija KGTU*, 2015, no. 36, pp. 43-51.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*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 Technical Sciences, Professor, Head of the Department of water resources and water management;  
E-mail: van-old@rambler.ru

*Ахмедов Исфендияр Махмуд-оглы* – Калининградский государственный технический университет; аспирант кафедры водных ресурсов и водопользования

*Akhmedov Isfendiar Makhmud-ogly* – Kaliningrad State Technical University; Postgraduate student of the Department of water resources and water management

УДК 629.5.01

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И ХАРАКТЕРИСТИК  
ДВУХПАЛУБНЫХ СРЕДНИХ РЫБОЛОВНЫХ ТРАУЛЕРОВ НА НАЧАЛЬНЫХ  
ЭТАПАХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

В. А. Коробчинский, С. В. Дятченко

RECOGNITION OF BASIC ELEMENTS AND CHARACTERISTICS  
OF DOUBLE-DECK AVERAGE FISHING TRAWLERS AT THE INITIAL STAGES  
OF DESIGN

V. A. Korobchinskiy, S. V. Dyatchenko

Концепция создания современного отечественного рыболовного флота предусматривает разработку новых проектов судов, среди которых важное место занимают средние двухпалубные траулеры. Известно, что основным методом определения элементов проектируемого судна является решение системы уравнений проектирования, а для снижения объемов проектных работ и выполнения необходимых сопоставлений вариантов решений целесообразно использовать суда-аналоги и судно-прототип. Для того, чтобы наиболее полно и качественно учесть при разработке нового судна лучшие технические решения, реализованные в известных проектах судов, необходим подробный статистический анализ основных характеристик и элементов этих судов, а также их технико-экономических и эксплуатационных показателей. Отсутствие статистических данных для судов этого типа в открытой печати затрудняет проведение работ, связанных с разработкой новых проектов. В статье представлены некоторые результаты исследований, позволяющие определить главные размерения, полное водоизмещение, коэффициенты общей полноты и энерговооруженности, относительную длину, координаты центра величины на ранних стадиях проектирования судна.

*судостроение, рыболовные суда, системный анализ, теоретический чертеж, кривые элементов теоретического чертежа*

The concept of creation of the modern domestic fishing fleet provides the development of new projects of ships, among which the important place occupied by average double-deck trawlers. It is known that the main method of definition of elements of the projected vessel is the decision of system of the equations of design, and for decrease in volumes of project works and performance of necessary comparisons of versions of decisions, it is expedient to use analogs of vessels and a prototype. In order to more fully and accurately take into account the development of new vessel the best technical solutions implemented in certain projects of ships required detailed statistical analysis of the main characteristics and elements of these vessels, as well as their technical - economic and operational performance. The lack of statistical data for this type of vessels in the press hampers the work associated with the development of new projects. This article presents the results of some studies to identify the main dimensions, total displacement,

coefficients of the general completeness and power availability, relative length, coordinates of the center of magnitude in the early stages of designing the ship.

*shipbuilding, fishing vessels, system analysis, theoretical drawing, curves of elements of the theoretical drawing*

## ВВЕДЕНИЕ

В условиях рыночной экономики создание эффективного, с точки зрения экономических и эксплуатационных показателей, промыслового флота требует обоснованного принятия решений по основным элементам и характеристикам уже на ранних стадиях проектирования. Применение системного подхода при проектировании объектов морской техники [1, 2] и современного программного обеспечения позволяет значительно расширить перечень исследуемых элементов и характеристик судна и улучшить те или иные его качества за счет проведения оптимизационных расчетов. Современные двухпалубные средние рыболовные траулеры в России и других странах отличаются архитектурным исполнением, конструкцией корпуса, гидродинамическим, энергетическим, добывающим и технологическим комплексами, а также условиями жизнедеятельности и количеством экипажа. Известные проекты судов данного типа имеют отличия в расчетной длине, ширине, высоте борта и осадке, а также мощности главного двигателя и автономности. Для систематизации существующих проектных решений и обоснованного выбора оптимальных решений при создании новых проектов предусмотрен многофакторный анализ элементов и характеристик судов. Такой анализ был ранее выполнен для всех типоразмеров средних рыболовных судов [3]. Вместе с тем современные требования к проектированию судов предусматривают уже на ранних стадиях проектирования использование более точных математических моделей и расчетных зависимостей для определения их элементов и характеристик. Этим обусловлена актуальность исследований исходных проектных элементов и характеристик судов данного типа с использованием методического аппарата системного анализа. Такой подход позволяет получить математические модели применительно к судам этого типа, выбрать наилучший прототип из судов-аналогов, определить области допустимых значений основных элементов проектируемого судна, выявить достоинства и недостатки судна-прототипа, существенно снизить объемы оптимизационных исследований и обеспечить выполнение требований технического задания при создании нового проекта судна.

Целями выполненных исследований, направленных на создание современных двухпалубных траулеров и траулеров-сейнеров, являются определения:

- закономерностей изменения их ширины, высоты борта, осадки в грузу и полного водоизмещения от расчетной длины судна;
- коэффициента энерговооруженности;
- коэффициента общей полноты и относительной длины судна от чисел Фруда;
- зависимостей изменения абсциссы и аппликаты центра величины от осадки судна.

Объектом исследований служат проектные данные двухпалубных средних рыболовных траулеров, рассмотренных в работе [4].

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Начиная с самого первого этапа проектирования, необходимо определить водоизмещение судна, его главные размерения, коэффициенты полноты, мощность энергетической установки, характеристики центра величины и некоторые другие характеристики. Первым этапом системного анализа стало определение общих закономерностей изменения главных размерений – наибольшей ширины  $B$ , высоты борта  $H$  и осадки в грузу  $T$  от расчетной длины судна  $L_{\perp\perp}$  (рис. 1). Как видно из рис. 1, зависимости имеют ярко выраженный линейный характер. Проведено сопоставление полученных расчетных зависимостей главных размерений с известными расчетными зависимостями, полученными для всех типоразмеров средних рыболовных судов [3]. Расхождение результатов при сопоставлении не превышает 10%.

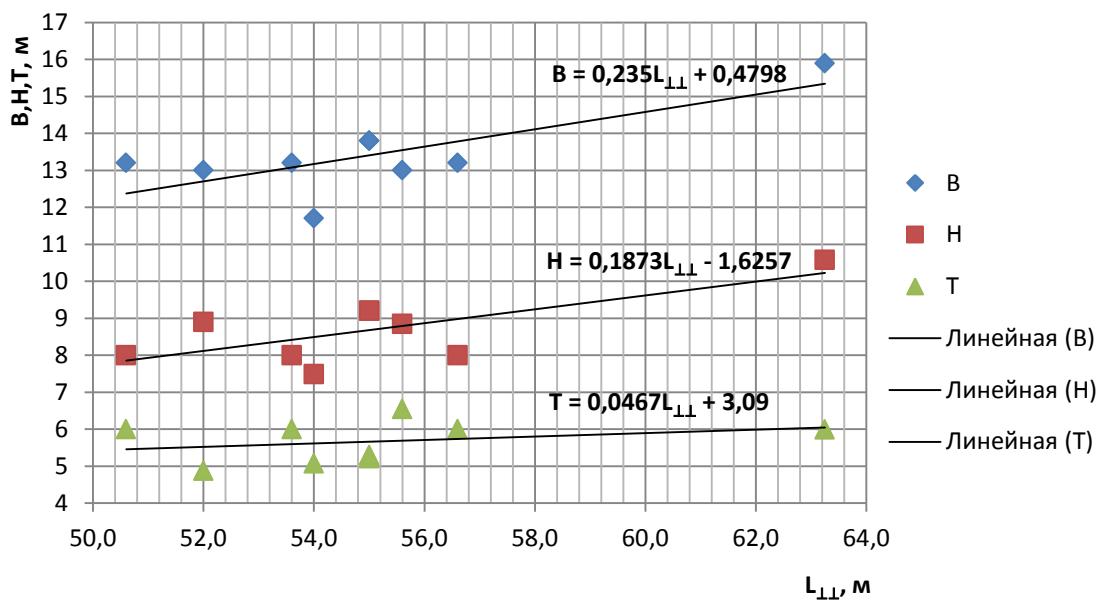


Рис. 1. Зависимость наибольшей ширины  $B$ , высоты борта  $H$  и осадки в грузу  $T$  от расчетной длины судна  $L_{\perp\perp}$

Fig. 1. Dependence of width  $B$ , height of aboard  $H$  and the draught  $T$  from the computational length of the vessel  $L_{\perp\perp}$

В процессе проектирования часто задаются соотношениями главных размерений по прототипу. Это позволяет, определив водоизмещение судна в первом приближении, определить его главные размерения, используя уравнение плавучести. Поскольку эти соотношения влияют на различные качества судна, некорректно принимать их только по прототипу. Выполнен статистический анализ изменения соотношений основных элементов  $L_{\perp\perp}/B$ ,  $B/T$ ,  $H/T$  для двухпалубных средних судов от расчетной длины, результаты которого представлены на рис. 2. Важнейшим элементом рыболовных судов является полное водоизмещение. Определение водоизмещения на ранних стадиях проектирования позволяет перейти к определению наилучших элементов теоретического чертежа и статей нагрузки судна. Получена линейная зависимость изменения водоизмещения судна от его расчетной длины (рис. 3).

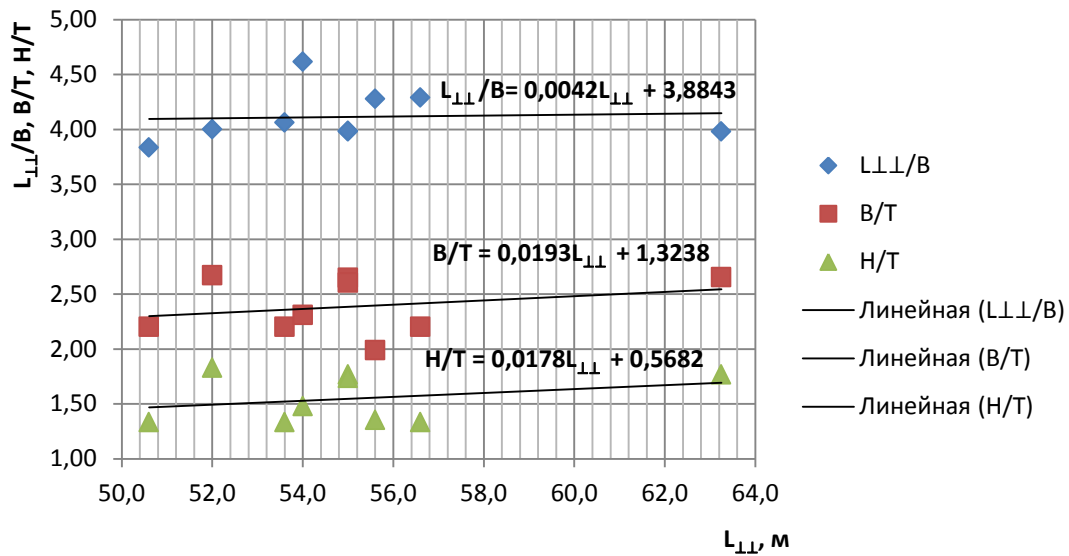


Рис. 2. Зависимость соотношений основных элементов  $L_{\perp}/B$ ,  $B/T$ ,  $H/T$  от расчетной длины судна  
 Fig. 2. Dependence of ratios of basic elements  $L_{\perp}/B$ ,  $B/T$ ,  $H/T$  from the computational length of the vessel

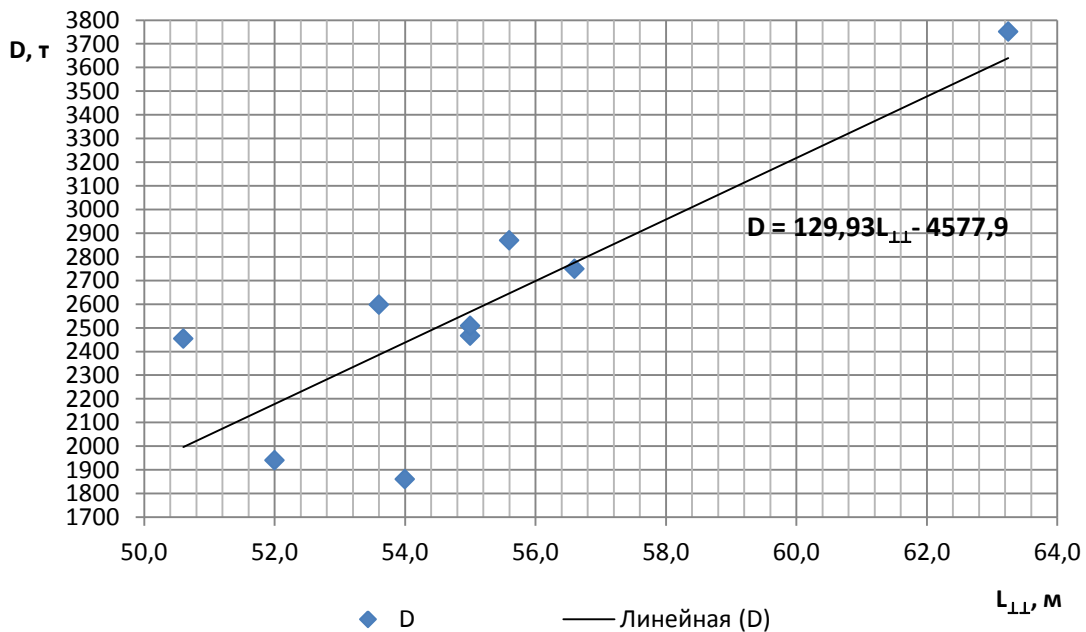


Рис. 3. Зависимость полного водоизмещения от расчетной длины судна  
 Fig. 3. Dependence of full displacement from the computational length of the vessel

С помощью коэффициента энерговооруженности, величина которого определяется по формуле  $k_3 = N/D$ , можно судить об энергетическом комплексе типовых проектов судов. Здесь  $N$  - суммарная мощность главных двигателей, кВт;  $D$  - максимальное водоизмещение судна, т. На рис. 4 и 5 представлены соответ-

ственно результаты анализа статистических данных величин коэффициентов энерговооруженности и общей полноты в зависимости от числа Фруда для рассматриваемых средних рыболовных траулеров.

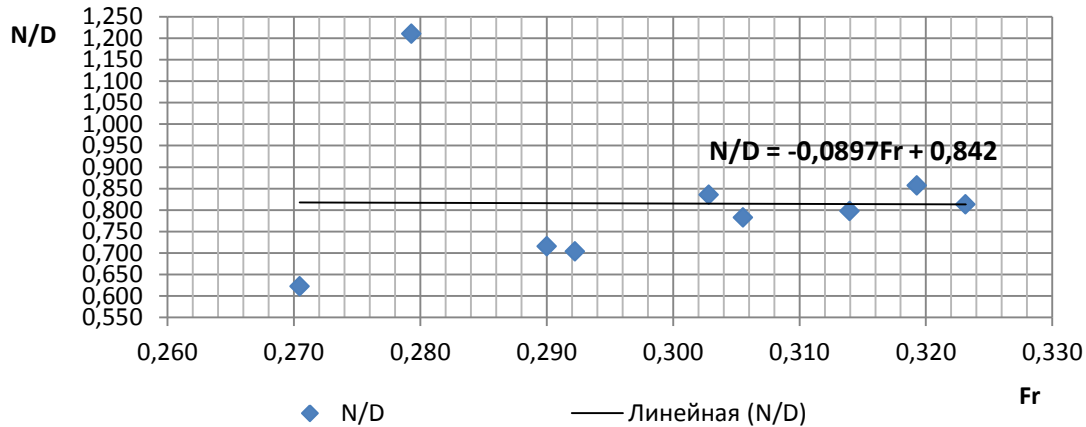


Рис. 4. Зависимость коэффициента энерговооруженности от числа Фруда  
 Fig. 4. Dependence of the installed power from the Froude's number

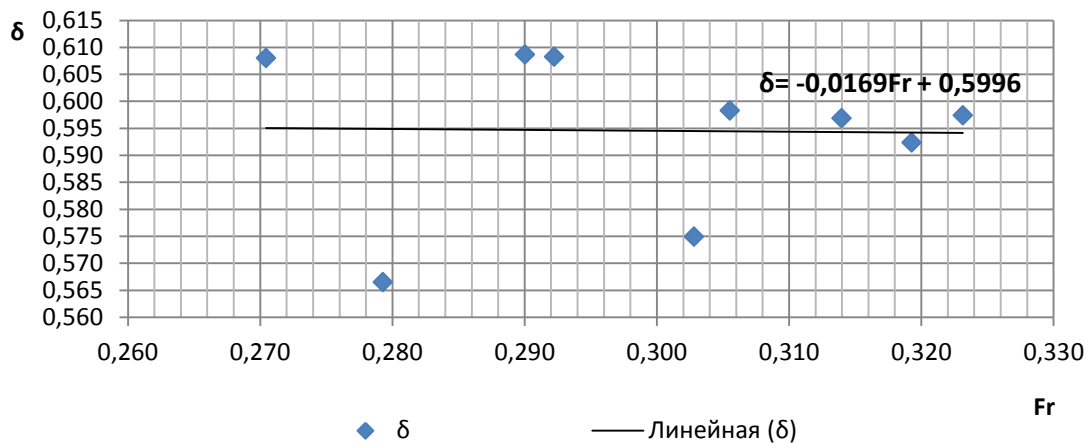


Рис. 5. Зависимость коэффициента общей полноты  $\delta$  от относительной скорости судна Fr  
 Fig. 5. Dependence of coefficient of the general completeness  $\delta$  from the Froude's number Fr

При постоянном коэффициенте общей полноты сопротивление воды движению судна убывает с увеличением относительной длины. Вместе с тем следует понимать, что при выборе относительной длины необходимо также учитывать показатели грузоподъемности и грузоподъемности, которые существенно влияют на экономические показатели судна. Получена статистическая зависимость изменения относительной длины судна  $l$  от его относительной скорости Fr в диапазоне  $0,270 < Fr < 0,323$  для двухпалубных средних рыболовных траулеров (рис. 6).

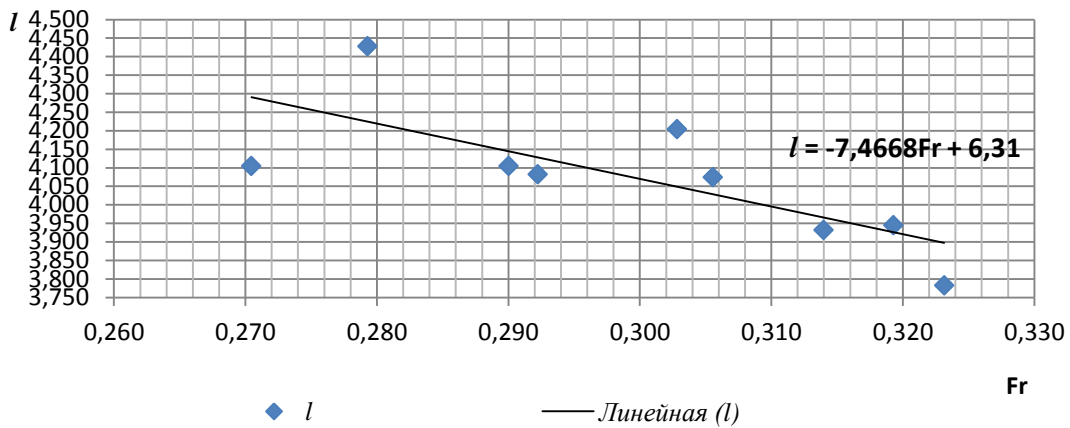


Рис. 6. Зависимость относительной длины судна  $l$  от относительной скорости судна  $Fr$

Fig. 6. Dependence of relative length of the vessel  $l$  from the Froude's number  $Fr$

Для оценки влияния выбираемых типоразмеров на остойчивость судна важно на ранних стадиях проектирования иметь статистические данные зависимости абсциссы и аппликаты центра величины от осадки двухпалубных рыболовных траулеров. На рис. 7 представлены статистические данные, характеризующие изменение абсциссы центра величины от осадки двухпалубных рыболовных траулеров. Рассмотрены варианты нагрузки масс от состояния судна порожнем до состояния 100%-ной загрузки. На рис. 8 представлены статистические данные, характеризующие изменение аппликаты центра величины от осадки двухпалубных рыболовных траулеров.

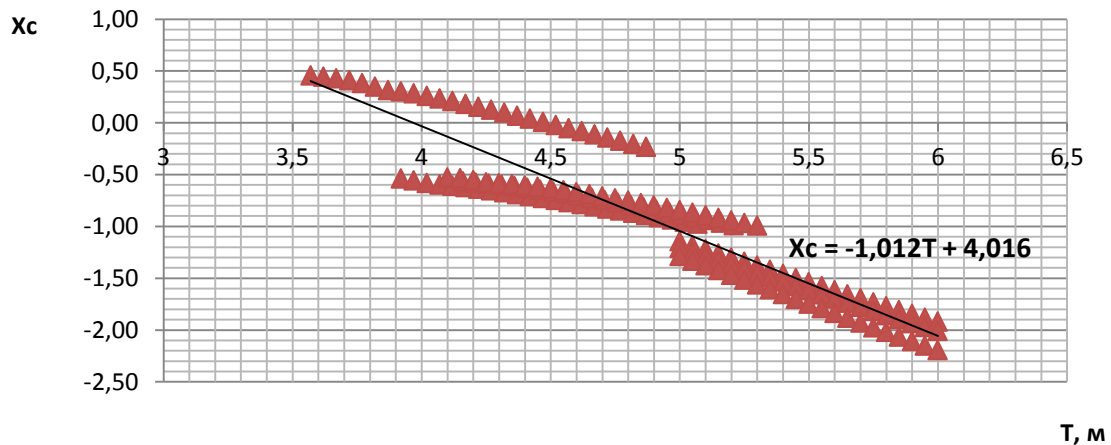


Рис. 7. Зависимость абсциссы центра величины  $x_c$  от осадки судна  $T$

Fig. 7. Dependence of  $x_c$  from the ship's draft  $T$

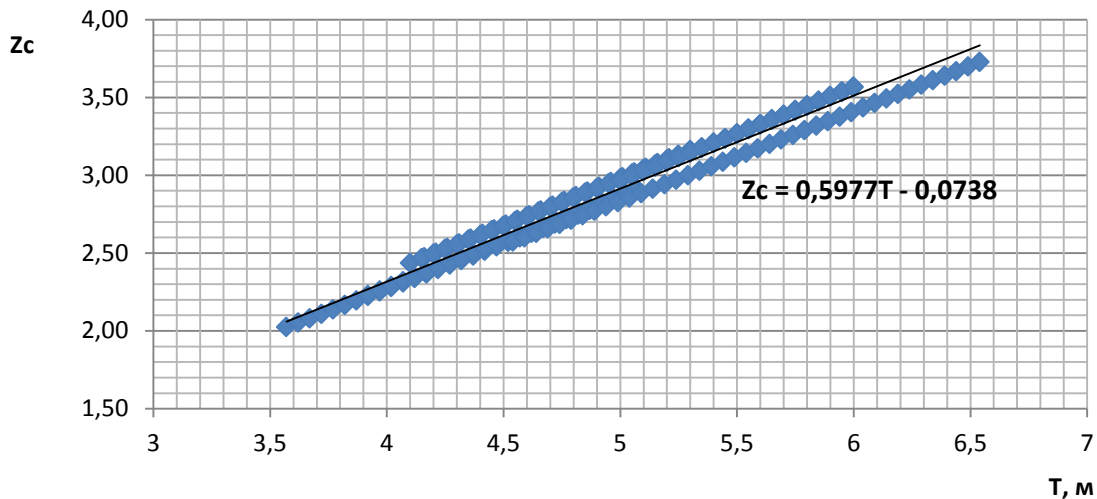


Рис. 8. Зависимость аппликаты центра величины  $Z_c$  от осадки судна  
 Fig. 8. Dependence of  $Z_c$  from the ship's draft

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для выполнения проектных работ, связанных с определением основных элементов двухпалубных средних рыболовных траулеров (с расчетной длиной от 50,6 до 63,25 м), получены расчетные зависимости (1) - (7), позволяющие определить наибольшую ширину, высоту борта, осадку в грузу, соотношения основных элементов  $L_{\perp\perp}/B$ ,  $B/T$ ,  $H/T$ , полное водоизмещение в зависимости от его расчетной длины:

$$B = 0,235 \cdot L_{\perp\perp} + 0,4798, \text{ м}; \quad (1)$$

$$H = 0,1873 \cdot L_{\perp\perp} - 1,6257, \text{ м}; \quad (2)$$

$$T = 0,0467 \cdot L_{\perp\perp} + 3,09, \text{ м}; \quad (3)$$

$$L_{\perp\perp}/B = 0,0042 \cdot L_{\perp\perp} + 3,8843; \quad (4)$$

$$B/T = 0,0193 \cdot L_{\perp\perp} + 1,3238; \quad (5)$$

$$H/T = 0,0178 \cdot L_{\perp\perp} + 0,5682; \quad (6)$$

$$D = 129,93 \cdot L_{\perp\perp} - 4577,9, \text{ т}; \quad (7)$$

расчетные зависимости изменения коэффициента общей полноты и относительной длины судна от изменения числа Фруда (8) и (9):

$$\delta = -0,0169 \cdot Fr + 0,5996; \quad (8)$$

$$l = -7,4668 \cdot Fr + 6,31; \quad (9)$$

расчетные зависимости, позволяющие определить абсциссу и аппликату центра величины от осадки двухпалубных средних рыболовных траулеров, (10) и (11):

$$x_c = -1,012 \cdot T + 4,016, \text{ м}; \quad (10)$$

$$z_c = 0,5977 \cdot T - 0,0738, \text{ м}; \quad (11)$$

расчетная величина энерговооруженности двухпалубных средних рыболовных траулеров (12):

$$N/D = -0,0897 \cdot Fr + 0,842. \quad (12)$$



## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гайкович, А. И. Теория проектирования водоизмещающих кораблей и судов / А. И. Гайкович: в 2 т. – Санкт-Петербург: Изд-во НИЦ МОРИНТЕХ, 2014. – Т.1. Описание системы «Корабль». - 819 с.
2. Гайкович, А. И. Теория проектирования водоизмещающих кораблей и судов / А. И. Гайкович: в 2 т. – Санкт-Петербург: Изд-во НИЦ МОРИНТЕХ, 2014. – Т.2. Анализ и синтез системы «Корабль». - 812 с.
3. Дятченко, С. В. Определение основных элементов и характеристик средних рыболовных траулеров на начальных этапах проектирования / С. В. Дятченко, Н. Х. Лыонг // Вестник АГТУ. Морская техника и технология. – 2009. – №2. – С. 19-25.
4. Коробчинский, В. А. Разработка эскизного проекта среднетоннажного траулера для районов Севера России / В. А. Коробчинский, С. В. Дятченко, И. В. Костюк // Известия КГТУ. – 2015. – № 39. – С. 159-160.

## REFERENCES

1. Gajkovich A.I. *Teorija projektirovanija vodoizmeshhajushhih korablej i sudov* [Design theory of displacement-type ships and vessels]. Saint-Petersburg, Izd-vo NIC MORINTEH, 2014, vol. 1, 819 p.
2. Gajkovich A.I. *Teorija projektirovanija vodoizmeshhajushhih korablej i sudov* [Design theory of displacement-type ships and vessels]. Saint-Petersburg, Izd-vo NIC MORINTEH, 2014, vol. 2, 812 p.
3. Djatchenko S.V., Lyong N.H. *Opređenje osnovnyh jelementov i harakteristik srednih rybolovnyh traulerov na nachal'nyh jetapah projektirovanija* [Recognition of the main elements and characteristics of fishing trawlers at the initial stage of design]. *Vestnik AGTU. Morskaja tehnikaja i tehnologija*, 2009, no. 2, pp. 19-25.
4. Korobchinskij V.A., Djatchenko S.V., Kostjuk I.V. *Razrabotka Jeskiznogo proekta srednetonnazhnogo traulera dlja rajonov Severa Rossii* [Preliminary design of double – deck medium – tonnage trawler for the regions of Russian North]. *Izvestija KGTU*, 2015, no. 39, pp. 159-160.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Коробчинский Валерий Анатольевич* – Калининградский государственный технический университет; аспирант кафедры кораблестроения

*Korobchinskiy Valeriy Anatolievich* – Kaliningrad State Technical University; postgraduate student of the Department of shipbuilding

*Дятченко Сергей Васильевич* – Калининградский государственный технический университет; доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой кораблестроения; E-mail: svd.ks@mail.ru

*Dyatchenko Sergey Vasilevich* – Kaliningrad State Technical University; Doctor of technical sciences, Associate Professor, Head of the Department of shipbuilding; E-mail: svd.ks@mail.ru

УДК 624.042: 629.5.024

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТА ГИДРОДЕМПФИРОВАНИЯ  
В СИСТЕМАХ ДВУХКАСКАДНОЙ АМОТИЗАЦИИ СУДОВЫХ МАШИН,  
МЕХАНИЗМОВ И ОБОРУДОВАНИЯ

Е. И. Короткая, В. И. Сутырин, С. В. Тананыкин

NUMERICAL ANALYSIS OF HYDRODYNAMIC DAMPING EFFECT  
IN TWO-STAGE AMORTIZATION SYSTEMS OF MACHINERY, MECHANISMS  
AND EQUIPMENT

E. I. Korotkaya, V. I. Sutyurin, S. V. Tananykin

Корпусные конструкции характеризуются исключительно плотными спектрами частот собственных колебаний, в связи с чем имеющаяся практика применения конструктивно-технологических способов снижения вибрации оказывается весьма проблематичной. Среди способов уменьшения уровней вибрации следует выделить виброизоляцию, требующую формирования виброзащитной системы, назначения характеристик ее элементов и оценки эффективности. Проектируя виброизоляцию, важно исключить резонансные колебания и максимально демпфировать колебательные процессы.

Рассмотрен способ снижения вибрации с целью повышения эффективности двухкаскадной виброизоляции объекта в широком диапазоне частот вынужденных колебаний. Проведено сравнение амплитуд вынужденных колебаний вблизи резонансной частоты при виброизоляции с помощью двухкаскадной амортизации объекта массивным телом и емкостью с водой вместо массивного тела. Рассмотрено влияние размеров и свойств конструкции амортизаторов на вибрационные характеристики виброзащитной системы.

Выявлен значительный демпфирующий эффект жидкости, находящейся внутри вибрирующей металлической конструкции. Проведен анализ влияния размеров элементов системы виброизоляции на величину демпфирующего эффекта.

*анализ колебаний, корпусные конструкции, метод конечных элементов, виброизоляция*

Hull structures are characterized by extra dense frequency spectrum of fluctuations, and in this connection an existing practice of application of technological ways of vibration reduction appears rather problematic. Among ways for vibration reduction it is necessary to emphasize vibration isolation which requires formation of vibration isolation system, assignment of characteristics of its elements and efficiency evaluation. In design of vibration isolation it is important to exclude resonant fluctuations and maximum damp oscillatory processes.

We have proposed a method for reduction of vibration which aims to improve the efficiency of two-stage vibration insulation of an object in the broad frequency range of oscillation. Comparison of amplitudes of the forced fluctuations near resonant frequency at vibration isolation has been conducted by means of two-stage amortization

of an object by a massive body and by a reservoir with water instead of a massive body. Influence of the dimensions and properties of the damper structure on vibration characteristics of vibration isolation system has been considered.

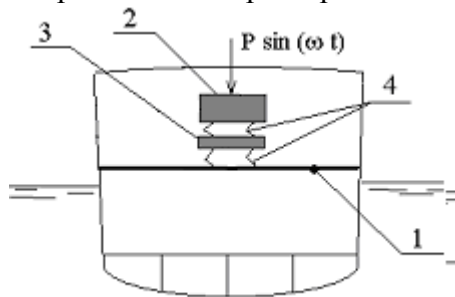
A significant damping effect of the liquid inside a vibrating metal structure has been revealed. The results of the proposed method of amortization have been presented and analyzed.

*vibration analysis, ship hull structures, finite elements method, vibration insulation*

Динамические нагрузки, возникающие при работе судовых машин, механизмов и оборудования, неизбежно приводят к вибрации поддерживающих (опорных) и рядом расположенных конструкций. Значительное увеличение уровня колебаний подобных конструкций в области резонансных частот нередко становится причиной разрушения корпусов судов, снижения надежности и долговечности оборудования и механизмов, ухудшения условий обитаемости и состояния здоровья экипажа и пассажиров.

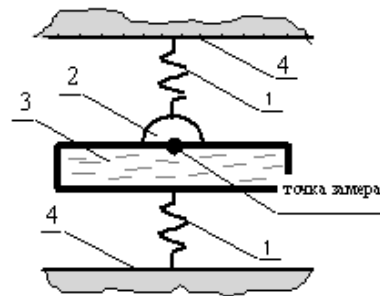
Действенным методом борьбы с повышенной вибрацией на судах является виброизоляция. Как показывает практика, наибольшую эффективность демонстрирует двухкаскадная система амортизации (рис. 1). В ней амортизируемый объект (2) через амортизаторы первого каскада опирается на промежуточную опорную раму (3), которая, в свою очередь, через амортизаторы второго каскада – на палубу (1), платформу или днище судна. Проектируя двухкаскадную амортизацию объекта, важно, с одной стороны, обеспечить вывод конструкции из области резонансных частот, а с другой – создать максимально возможный каскадный перепад характеристик вынужденной вибрации.

Размеры и свойства конструкции амортизаторов значительно влияют на вибрационные характеристики виброзащитной системы.



1 – палуба; 2 – механизм, оборудование;  
3 – платформа; 4 – амортизаторы

Рис. 1. Двухкаскадная амортизация  
Fig. 1. Two-stage amortization



1 – амортизатор; 2 – сосредоточенная масса; 3 – герметичная емкость с водой;  
4 – основание конструкции

Рис. 2. Двухкаскадная амортизация с промежуточной емкостью  
Fig. 2. Two-stage amortization with intermediate volume

Расчетные исследования показывают, что в качестве промежуточной платформы в системе двухкаскадной амортизации рационально использовать герметичную металлическую емкость, заполненную жидкостью (рис. 2) [1-3]. Изменяя геометрию и материал емкости, можно получить значительный

гидродемпфирующий эффект. Целью настоящей статьи являются численное моделирование и анализ указанного эффекта средствами программного комплекса САЕ-класса ANSYS [4].

В расчетах сопоставлялась эффективность амортизации конструкций со стальной промежуточной плитой и стальной герметичной емкостью, полностью заполненной водой. Сравнимые конструкции имели одинаковую по величине массу. При этом длина, высота и толщина стенок емкости варьировались.

Каскады амортизации создавались двумя одинаковыми пружинными амортизаторами с жесткостью 125000 Н/м каждый. Двигатель был представлен в расчетах в виде сосредоточенной массы. Колебания конструкций возбуждались вертикальной единичной сосредоточенной силой, приложенной к электродвигателю и изменяющейся по гармоническому закону.

Для моделирования пружинных амортизаторов использовались конечные элементы COMBIN14, для стенок емкости – оболочечные элементы SHELL63, для воды – элементы FLUID30, для двигателя – MASS21. Стальная плита моделировалась объемными элементами SOLID45. Независимо от размеров конструкции конечно-элементная сетка состояла из 1000 объемных или водяных элементов.

На рис. 3-6 представлены гармонические отклики колебательной системы в виде амплитуд вертикальных колебаний в месте установки двигателя (см. рис. 2).

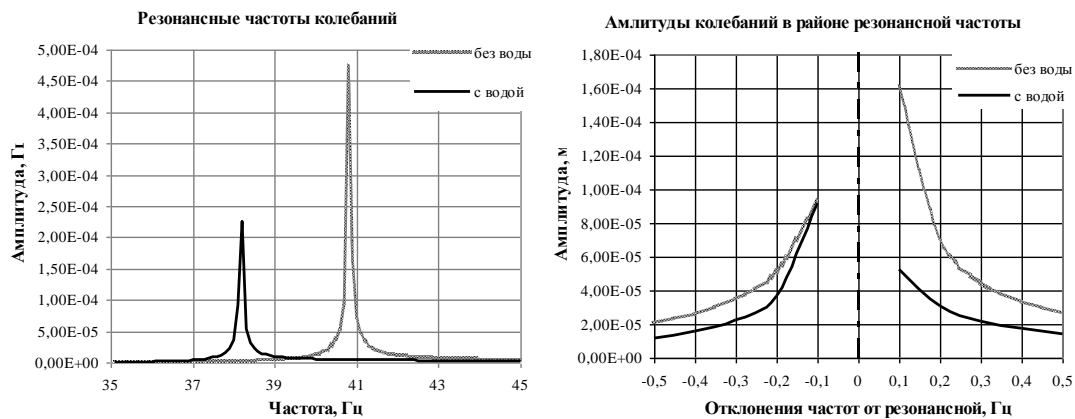


Рис. 3. Гармонические отклики (амплитуды) колебательной системы:  
 $L = 200$  мм,  $h = 75$  мм,  $t = 2$  мм

Fig. 3. Harmonic responses (amplitude) of the oscillating system:  
 $L = 200$  mm,  $h = 75$  mm,  $t = 2$  mm

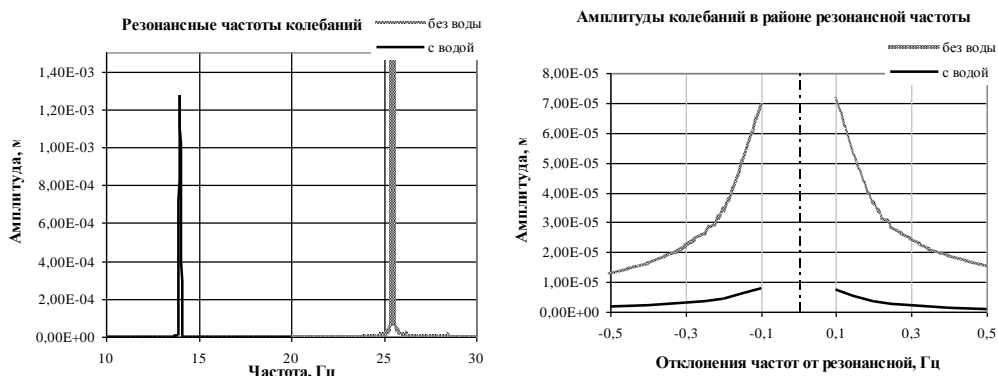


Рис. 4. Гармонические отклики (амплитуды) колебательной системы:  
 $L = 500$  мм,  $h = 75$  мм,  $t = 2$  мм

Fig. 4. Harmonic responses (amplitude) of the oscillating system:  
 $L = 500$  mm,  $h = 75$  мм,  $t = 2$  мм

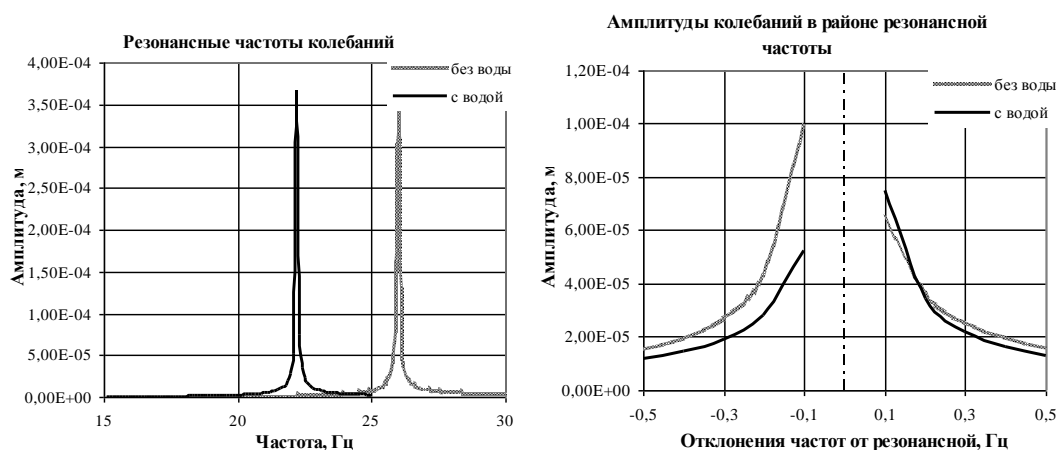


Рис. 5. Гармонические отклики (амплитуды) колебательной системы:  
 $L = 200$  мм,  $h = 500$  мм,  $t = 2$  мм  
 Fig. 5. Harmonic responses (amplitude) of the oscillating system:  
 $L = 200$  mm,  $h = 500$  mm,  $t = 2$  мм

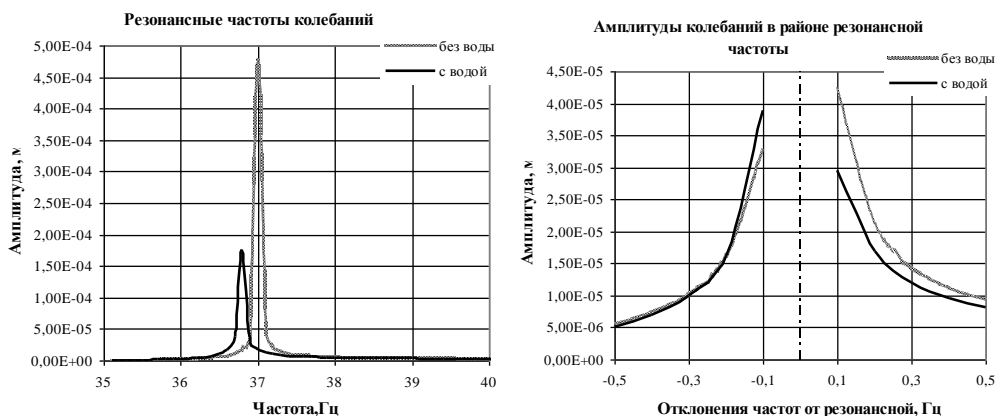


Рис. 6. Гармонические отклики (амплитуды) колебательной системы:  
 $L = 200$  мм,  $h = 75$  мм,  $t = 5$  мм  
 Fig. 6. Harmonic responses (amplitude) of the oscillating system:  
 $L = 200$  mm,  $h = 75$  mm,  $t = 5$  мм

### ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Сравнивая амплитуды колебаний конструкций со стальной плитой и промежуточной герметичной емкостью с водой в районах резонансных частот, можно заметить значительный гидродемпфирующий эффект. Размеры герметичной емкости с водой существенно влияют на величину демпфирующего эффекта.

2. Расчетные исследования показали (рис. 3–6), что демпфирование герметичной емкостью с водой приводит к смещению спектра резонансных частот рассматриваемой системы в сторону уменьшения.

3. Результаты сопоставления гармонических откликов конструкции показывают, что с увеличением размера емкости с водой в плане и неизменных высоте и толщине стенок (т.е. при увеличении объема жидкости и уменьшении жесткости емкости) демпфирующий эффект повышается. На рис. 3 и 4 приводится сравнение амплитуд колебаний конструкции при различных размерах

емкости с водой в плане (200×200 мм (рис. 3) и 500×500 мм (рис. 4)) и неизменной высоте 75 и толщине стенок 2 мм.

4. При увеличении высоты емкости и неизменной длине, ширине и толщине стенок демпфирующий эффект в значительной мере ослабевает. Для подтверждения этого факта на рис. 3 и 5 сопоставлены амплитуды колебаний конструкции при различной высоте емкости с водой (75 мм (рис. 3) и 500 мм (рис. 4)) и неизменных размерах в плане 200×200 мм и толщине стенок 2 мм.

5. При увеличенной толщине стенок емкости с водой влияние демпфирующего эффекта воды на амплитуды колебаний в конструкции рассматриваемого вида практически не прослеживается. На рис. 3 и 6 сопоставлены амплитуды колебаний конструкции при различной толщине стенки емкости с водой (2 мм (рис. 3) и 5 мм (рис. 6)) и неизменных размерах емкости в плане 200 мм × 200 мм и высоте 75 мм.

Таким образом, рациональный выбор геометрии гидродемпфирующего элемента позволяет максимизировать величину каскадного перепада характеристик колебаний в системах амортизации машин, механизмов и оборудования.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Короткая, Е. И. Эффект гидродинамического демпфирования в системах двухкаскадной амортизации опорных связей машин, механизмов и оборудования / Е. И. Короткая, А. И. Сапожников, В. И. Сутырин // Научное обозрение. – Москва: Издательский дом “Наука образования”, 2014. - № 2. – С. 138-143.

2. Короткая, Е. И. Методика моделирования и расчетно-экспериментального исследования эффективности виброизоляции судовых механизмов и оборудования / Е. И. Короткая, В. И. Сутырин // Морской вестник. – Санкт-Петербург: ООО “МорВест”, 2014. - № 2(50). – С. 45-48.

3. Влияние конструктивного оформления элементов системы виброизоляции на величину демпфирующего эффекта судового оборудования: тезисы докладов Балтийского морского форума (26-30 мая 2014 г.). – Ч. I. – Калининград: Издательство БГАРФ, 2014. – С. 129-136.

4. Каплун, А. Б. ANSYS в руках инженера / А. Б. Каплун, Е. М. Морозов, М. А. Олферьева. Москва: УРСС, 2008. – 270с.

#### REFERENCES

1. Korotkaja E.I., Sapozhnikov A.I., Sutyurin V.I. Jeffect gidrodynamiceskogo dempfirovanija v sistemah dvuhkaskadnoj amortizacii opornyh svjazej mashin, mehanizmov i oborudovanija [Hydrodynamic damping effect in two-stage amortization systems of support of machinery, mechanisms and equipment]. Moscow, *Nauchnoe obozrenie*, 2014, no. 2, pp. 138-143.

2. Korotkaja E.I., Sutyurin V.I. Metodika modelirovanija i raschetno-eksperimental'nogo issledovanija jeffektivnosti vibroizoljicii sudovyh mehanizmov i oborudovanija [Methods of simulation and computational and experimental research of

vibration isolation efficiency of ship machinery and equipment]. Saint-Petersburg, *Morskoy vestnik*, 2014, no. 2(50), pp. 45-48.

3. Vlijanie konstruktivnogo oformlenija jelementov sistemy vibroizoljicii na velichinu dempfirujushhego jeffekta sudovogo oborudovanija [Influence of the design of elements of vibration isolation system on the damping effect of the ship equipment]. *Tezisy dokladov Baltijskogo morskogo foruma (26-30 maja 2014 g.)*. Part 1. 2014, Kaliningrad, Izdatel'stvo BGARF, pp. 129-136.

4. Kaplun A.B., Morozov E.M., Olfer'eva M.A. *ANSYS v rukah inzhenera* [ANSYS in engineer's hands]. Moscow, URSS, 2008, 270 p.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Короткая Елена Ивановна* – Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота ФГБОУ ВПО «Калининградский государственный технический университет»; доцент кафедры инженерной механики;  
E-mail: ekkat82@gmail.com

*Korotkaya Elena Ivanovna* – Baltic Fishing Fleet State Academy FSGEI HPE “Kaliningrad State Technical University”; Associate Professor of the Department of Engineering Mechanics; E-mail: ekkat82@gmail.com

*Сутырин Валерий Игоревич* – Балтийский федеральный университет им. И. Канта; доктор технических наук, профессор института транспорта и технического сервиса; E-mail: vsutyurin@mail.ru

*Sutyurin Valerij Igorevich* – Immanuel Kant Baltic Federal University; Doctor of Engineering, professor of the Institute of Transport and Technical Services;  
E-mail: vsutyurin@mail.ru

*Тананыкин Сергей Валерьевич* – Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота ФГБОУ ВПО «Калининградский государственный технический университет»; доцент кафедры инженерной механики;  
E-mail: poleks@mail.ru

*Tananykin Sergey Valerievich* – Baltic Fishing Fleet State Academy FSGEI HPE “Kaliningrad State Technical University”; Associate Professor of the Department of Engineering Mechanics; E-mail: poleks@mail.ru

УДК 338.24.01

ДИНАМИКА ПАРАМЕТРОВ И ЭКОНОМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ  
ПОКАЗАТЕЛЕЙ ФИНАНСОВО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ  
РЫБОХОЗЯЙСТВЕННОГО КОМПЛЕКСА РОССИИ

Л. И. Сергеев

DYNAMICS OF PARAMETERS AND ECONOMETRIC MODELING  
OF THE INDICATORS OF FINANCIAL AND ECONOMIC PERFORMANCE  
OF THE FISHERY INDUSTRY OF RUSSIA

L. I. Sergeev

Обобщаются состояние и динамика основных финансово-экономических показателей функционирования рыбохозяйственного комплекса России за 2003-2014 гг. Рассматривается динамика и анализируются объемы вылова по рыбохозяйственным бассейнам России. Подчеркиваются проблемы старения флота. В целях совершенствования количественных методов планирования и управления деятельностью отрасли предлагаются эконометрические формы построения зависимости финансово-экономических показателей от результатов деятельности. Обобщаются экзогенные и эндогенные показатели рыбохозяйственной отрасли страны. Рассчитываются корреляционные зависимости выручки отрасли от стоимости основных фондов, себестоимости продукции, объемов добычи, прибыли, инвестиций в основной капитал, численности работников и других основных финансово-экономических показателей. Анализируется попарная степень связи основных финансово-экономических параметров деятельности отрасли и делается вывод о степени взаимосвязи отдельных показателей. Рассматриваются наиболее значимые взаимосвязи отдельных финансово-экономических показателей функционирования отрасли. Построены эконометрические модели взаимосвязи выручки, прибыли, себестоимости продукции, использования ресурсов и других показателей отрасли. Приводится экономическая и логическая интерпретация выявленных зависимостей, что дает возможность обобщать влияние на результаты работы отрасли основных входящих параметров инвестиций, численности работников, стоимости фондов и др. Оценивается степень влияния цен от продаж продукции на выручку предприятий отрасли, что подчеркивает актуальность учета динамики натурально-стоимостных пропорций в обобщении проблем развития рыбохозяйственного комплекса. Даются выводы по возможности и необходимости использования полученных зависимостей в научно-прикладной работе и планировании деятельности рыбохозяйственной отрасли России.

*балансовая таблица, отрасли, рыбоводство, рыболовство, чистая отрасль, хозяйственная отрасль, затраты – выпуск, стоимость, конечное использование, промежуточное потребление*



The paper presents generalized state and dynamics of the main financial and economic indicators of the functioning of the fishery industry of Russia in 2003 - 2014. It considers the dynamics and analyses volume of catch in the fishery water bodies of Russia. Ageing of fleet is emphasized. In order to improve quantitative methods of planning and management in the industry, econometric forms are proposed for building the dependence of financial and economic indicators on performance results. Exogenous and endogenous indicators of the fishery industry of Russia are summarized. Correlation dependences of the industry revenue from the cost of the key assets, production cost, catch volumes, profit, capital investment, number of employees and other key financial and economic indicators are calculated. Pairwise degree of interrelation of the main indicators of financial and economic performance is analyzed, on account of which a conclusion is drawn on the degree of interrelation between particular indicators. Major interrelations between certain financial and economic indicators of the industry performance are reviewed. Econometric models are built which show interrelation between revenue, profit, production cost, employment of resources and other indicators of the industry. Economic and logical interpretation of the revealed dependencies are presented, which gives the opportunity to summarize the impact of the main input parameters such as investment, number of employees, cost of funds, etc. on the industry performance. Impact of production sales on the revenue of the enterprises in the industry is evaluated, which emphasizes the relevance of taking into account the dynamics of natural –cost proportions in generalization of the development problems of the fishery industry. Conclusions on possibility and necessity of using the obtained dependences in applied research and planning of the activity of the fishery industry in Russia are given.

*worksheet table, branches, fish breeding, fishery, pure industry, economic sector, input – output, cost, end use, intermediate consumption*

Рыбохозяйственный комплекс (РХК) России является важной специфической составляющей социально-экономического блока развития государства. Состояние этого комплекса оказывает значительное влияние на решение продовольственных проблем страны, развитие отдельных регионов (особенно приморских) и социально-экономическое положение государства [1-3].

Устойчивое развитие отечественного рыбохозяйственного комплекса, позволило повысить долю рыбной продукции российского производства на внутреннем рынке за 2014 г., по экспертным оценкам, до 79,4% и еще более приблизилось к значению, определенному Доктриной продовольственной безопасности Российской Федерации (80%). По оперативным данным Центра системы мониторинга рыболовства и связи, в 2014 г. российскими пользователями добыто (выловлено) водных биоресурсов во всех районах Мирового океана, а также во внутренних пресноводных объектах 4 215,7 тыс. т, что на 81,1 тыс. т или на 1,9% ниже уровня 2013 г. Объем валовой добавленной стоимости в рыбной отрасли в 2014 г. составил 124,3 млрд. руб., что на 10,8 % больше, чем в 2013 г. В 2014 г. оборот организаций отрасли составил 170,1 млрд. руб., что в действующих ценах на 18,5 % больше, чем в 2013 г. Результаты работы могли быть лучше в случае успешного решения проблем с кредитованием, совершенствованием управления финансово-экономической деятельности РХК.

В настоящий момент доля прибыльных организаций отрасли по данным за 2014 г. составляет 77,7 %, что на 0,5 % меньше по сравнению с аналогичным периодом 2013 г. По доле прибыльных организаций среди основных отраслей экономики у рыбной в настоящее время четвертое место, после государственного управления и обеспечения военной безопасности, сельского хозяйства, охоты и лесного хозяйства, а также оптовой и розничной торговли. Важным показателем финансового благополучия отрасли является рост оборота организаций рыболовства и рыбоводства. В 2014 г., к примеру, оборот организаций отрасли составил 170,1 млрд. руб., что в действующих ценах на 18,5 % больше, чем в 2013 г. Объем добычи водных биоресурсов представлен в табл. 1.

Таблица 1. Объем добычи (вылова) водных биоресурсов в 2007-2014 гг. в целом и по рыбохозяйственным бассейнам (тыс. т)

Table 1. Volume of extraction (catch) of water bioresources in 2007-2014 in general and in fishery water bodies (thousand tons)

Рыбохозяйственные бассейны	Годы							
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Дальневосточный	2189,9	2182,6	2483,5	2613,3	2862,5	2910,9	2813,6	2721,3
Северный	312	295,6	425,9	504,7	579,3	566,6	653,93	569,5
Западный	41,5	37,8	46,2	42,7	37,4	46,7	65,2	48,1
Азово-Черноморский	24,9	27,8	34	30,4	30,9	29,0	39,8	51,1
Волжско-Каспийский	34,4	23,2	40,9	37,7	37,6	36,3	69,9	36,6
Зоны иностранных государств, конвенционные районы и открытая часть Мирового океана	840,5	807,5	821,3	949,1	558,8	526,5	616,9	645,7
<b>ВСЕГО</b>	<b>3438</b>	<b>3336,1</b>	<b>3801,4</b>	<b>4027,9</b>	<b>4264,7</b>	<b>4269,8</b>	<b>4296,8</b>	<b>4215,7</b>

Основной объем добычи (вылова) водных биоресурсов в 2007-2014 гг. приходится на Дальневосточный рыбохозяйственный бассейн. На втором месте находятся зоны иностранных государств, конвенционные районы и открытая часть Мирового океана [4], на третьем – Северный рыбохозяйственный бассейн, Волжско-Каспийский, Азово-Черноморский и Западный занимают незначительное место в общем объеме вылова водных биоресурсов России. На рисунке представлена диаграмма добычи биоресурсов по рыбохозяйственным бассейнам.

Дальневосточный рыбохозяйственный бассейн по добыче водных биологических ресурсов является приоритетным в части объемов массового вылова (около двух третей всего Российского объема). При этом важное значение имеет своевременная доставка рыбной продукции на Европейскую территорию страны, где проживает основная часть населения России.

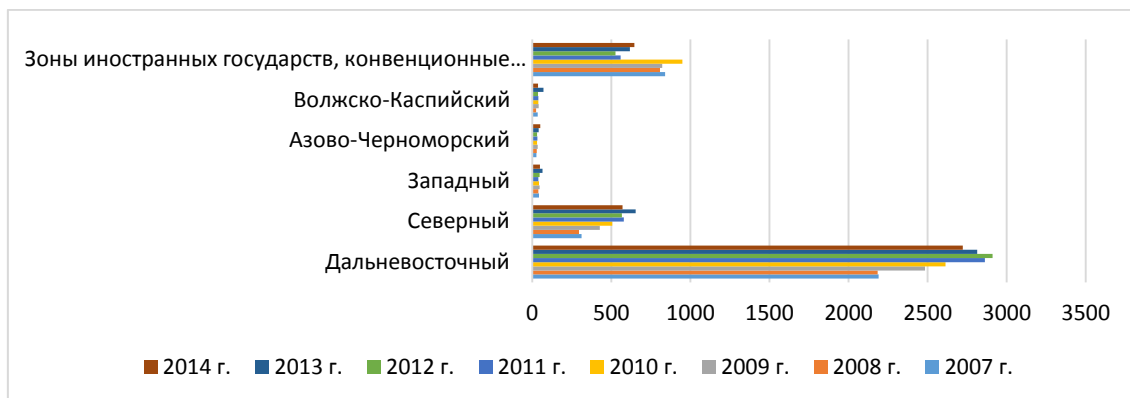


Рис. Распределение добычи биоресурсов по рыбохозяйственным бассейнам  
Fig. Distribution of harvesting of bioresources in fishery water bodies

Важнейшая проблема дальнейшего развития РХК страны – необходимость обновления рыбопромыслового флота [5, 6]. В настоящий момент сверх нормативного срока службы (НСС) работают свыше 90% судов. Особенно тяжелое положение сложилось с обрабатывающими судами и приемно-транспортными рефрижераторами, 97,4% которых имеют превышение нормативных сроков службы (судов со сроком службы меньше 16 лет нет). Значительно также число судов рыбопромыслового флота, у которых срок службы свыше 20 лет (87,3% от всего количества рыбопромысловых судов РХК). Следует отметить при этом, что основная часть судов рыбохозяйственного комплекса страны приходится на добывающий флот (86,0% от всех судов рыбопромыслового флота от 55 кВт и выше) (табл. 2). Все это требует проведения серьезной работы по модернизации и обновлению флота РХК страны.

Таблица 2. Численность и возрастной состав судов рыбопромыслового флота в целом по отрасли по состоянию на 01.01.2014г. (ед.)

Table 2. Size and age composition of fishing fleet vessels in the industry in general as of 01.01.2014 (units)

Группы судов	Всего, ед.	В том числе по возрастным группам, лет					Суда, используемые сверх НСС	
		до 5	6-10	11-15	16-20	св. 20	ед.	%
Добывающие	1888	19	20	81	114	1654	1736	91,9
Обрабатывающие	20	-	-	-	5	15	18	90,0
Приемно-транспортные рефрижераторы	231	-	-	-	13	218	225	97,4
НИС, учебные, рыбоохранные морские и спасательные	57	1	1	14	10	31	30	52,6
Всего судов рыбопромыслового флота (от 55 кВт и выше)	2196	20	21	95	142	1918	2009	91,5

Решение поднятых проблем в первую очередь зависит от финансово-экономического состояния и результатов функционирования РХК. Одним из путей управления процессами модернизации и развития является детальный эконометрический статистический анализ деятельности отрасли, с помощью которого можно выработать инструментарий планирования, прогнозирования и определения направлений развития РХК [7-9].

Нами проанализированы статистические годовые показатели деятельности РХК России за 2003-2014 гг.: выручка (нетто) от продажи товаров, продукции, работ и услуг; объем добычи (вылова) водных биоресурсов; себестоимость проданных товаров, продукции, работ и услуг; коммерческие и управленческие расходы; наличие основных фондов на конец года; валовая прибыль (без учета коммерческих и управленческих расходов); сальдо прочих расходов и доходов; прибыль от продаж; инвестиции в основной капитал; сальдированный финансовый результат (прибыль минус убыток); среднегодовая численность работников; сальдо прочих расходов и доходов [10-14].

Зависимость выручки ( $y$ , млн. руб.) от исследуемых параметров ( $x$ ) по статистическим показателям деятельности предприятий РХК за 2003-2014 гг. представлена в табл. 3.

Таблица 3. Зависимость выручки от основных финансово-экономических параметров деятельности РХК России

Table 3. Dependence of the revenue from the main financial and economic indicators of the performance of the fishery industry in Russia

Финансово-экономические параметры	Коэффициент корреляции	Уравнение однофакторной регрессии
Себестоимость проданных товаров, работ и услуг, млн. руб.	0,993	$y = 0,6359x_6 + 12105$
Коммерческие и управленческие расходы, млн. руб.	0,985	$y = 0,1536x_7 - 5344,5$
Наличие основных фондов на конец года, млн. руб.	0,985	$y = 0,7089x_5 + 6487,3$
Валовая прибыль (без учета коммерческих и управленческих расходов), млн. руб.	0,982	$y = 2,9853x_{10} + 32648,8$
Прибыль от продаж, млн. руб.	0,954	$y = 0,2508x_8 - 10561$
Объем добычи (вылова) водных биоресурсов, тыс. т	0,940	$y = 56,043x_3 - 130408$
Инвестиции в основной капитал, млрд. руб.	0,937	$y = 5730,1x_1 + 36321$
Сальдированный финансовый результат (прибыль минус убыток), млн. руб.	0,865	$y = 3,9054x_2 + 52396$
Среднегодовая численность работников, тыс. чел.	0,665	$y = 1315,5x_4 - 112570$
Сальдо прочих расходов и доходов, млн. руб.	0,285	$y = -0,0231x_9 - 300,8$

Важным элементом грамотного анализа и обобщения регрессионных связей экономических показателей является вначале (и прежде всего) логическое обоснование степени взаимозависимости параметров, которое подкрепляется затем экономико-математическими расчетами на базе совместной динамики изменения статистических параметров [15-17]. Учитывая важность для хозяйственной деятельности в настоящий момент объемных стоимостных параметров, нами проведен анализ связи выручки (нетто) от продажи товаров, продукции, работ и услуг с вышеперечисленными показателями функционирования РХК. Коэффициент корреляции выручки (нетто) от продажи товаров, продукции, работ и услуг предприятий РХК с отдельными показателями деятельности отрасли за 2003-2014 гг. составила от 0,993 (себестоимость проданных товаров, работ и услуг) до 0,285 (сальдо прочих расходов и доходов).

Аналитика степени связи на базе математических расчетов по статистическим параметрам показывает, что как и прежде расходы на эксплуатацию флота, добычу, переработку и выработку рыбопродукции (себестоимость проданных товаров, работ и услуг) являются основной базой затрат ресурсов, на основе которой формируются объемы выручки РХК. Себестоимость и выручка, таким образом, обладают наиболее тесной взаимосвязью (0,993), которую следует учитывать при регулировании деятельности предприятий рыбной отрасли. Это является объективной составляющей того обстоятельства, что каждый хозяйствующий субъект стремится покрыть свои расходы соответствующими доходами (выручкой) от продажи своей продукции и получить прибыль. При этом, величина прибыли (без учета коммерческих и управленческих расходов) имеет меньшую связь с выручкой (0,982), чем корреляция выручки с себестоимостью. Данное обстоятельство объясняется, на наш взгляд, вмешательством в совместную динамику отмеченных параметров ценовых факторов, которые определяются рынком и являются трудноформализуемыми факторами. Формализация связи выручки с прибылью требует включения в расчеты взаимосвязи соответствующей динамики уровня цен на продукцию РХК, что труднопредсказуемо в условиях рыночного хозяйства. Кроме того, прибыль – это результат вычитания из выручки соответствующих объемов расходов (себестоимости), и если фактическая статистика по одному и другому показателю отличается от нормативно рассчитанной динамики в разные стороны, то результирующая связь прибыли с выручкой будет иметь более низкую взаимосвязь, чем отдельная корреляция двух параметров – выручки и себестоимости.

Коммерческие и управленческие расходы коррелируют с выручкой в меньшей степени (0,985), чем связанная с ней себестоимость продукции. Логическое объяснение данного экономического обстоятельства характеризуется, на наш взгляд, своеобразным традиционным делением расходов на основные и накладные, а также на условно зависящие и условно не зависящие от объемов работы. Без основных расходов и затрат, прямо зависящих от объемов работ, невозможно осуществление производства. Поэтому данные расходы тесно связаны с объемом производства, чего нельзя сказать в такой же мере о связи накладных и условно независящих от объемов работ затрат с объемом продукции предприятий РХК.

Наличие основных фондов на конец года связано с выручкой (0,985) в такой же мере, как коммерческие и управленческие расходы коррелируют с выручкой предприятий РХК. Данное обстоятельство в определенной мере подтверждает наше вышеприведенное рассуждение о том, что качество используемых ресурсов

– накладных расходов и овеществленных затрат (основных фондов) – имеет в основном однозначное экономическое содержание. Эти ресурсы ступенчато зависят от результатов работы в форме получаемой выручки, поэтому степень их связи с последней ниже, чем у основных затрат с выручкой от продаж, которые имеют условно устойчивую линейную взаимозависимость.

Валовая прибыль (без учета коммерческих и управленческих расходов) теснее, чем прибыль от продаж, связана (0,982) с объемом выручки. Объяснение данного обстоятельства также основывается на ступенчатости условной зависимости коммерческих и управленческих расходов от объемов работ. Динамика этих расходов сокращает силу связи прибыли от объема выручки. Поэтому прибыль от продаж слабее связана с выручкой (0,954), чем валовая прибыль (без учета коммерческих и управленческих расходов) с данным показателем.

Выручка от объема добычи (вылова) водных биоресурсов зависит менее значительно (0,940), чем от всех вышеотмеченных параметров. На наш взгляд, данное обстоятельство вызвано большим числом факторов, которые вмешиваются в итоговую взаимосвязь объема добычи (вылова) биоресурсов и выручки предприятий РХК. Натуральные показатели связываются со стоимостными прежде всего посредством цен (включая индекс цен), тарифов и уровня организационно-управленческой деятельности во всех многочисленных процессах рыбохозяйственного производства.

Отчасти аналогичными обстоятельствами характеризуется связь выручки с инвестициями в основной капитал предприятий РХК. Коэффициент корреляции определяется значением параметра, равного 0,937. Данный показатель ниже коэффициента корреляции между выручкой и добычей биоресурсов. Сюда, кроме всего, включается объективный фактор неодновременности отдачи инвестиций и получения выручки от рыбохозяйственного производства. Существует лаг отдачи капитальных вложений, т. е. постепенное суммируемое разновременное наращивание вложений в основные фонды приносит отдачу в РХК через два-четыре года. С помощью регрессионного анализа можно определить более точно отдачу финансовых вложений в основные фонды предприятий РХК, что может быть самостоятельной научно-исследовательской задачей.

Сальдированный финансовый результат (прибыль минус убыток) имеет коэффициент корреляции с выручкой от продаж предприятий РХК в размере 0,865. Во взаимосвязь данных показателей вмешиваются параметры убытка убыточных предприятий РХК, которые в сравнении по годам приводят к сокращению степени связи валовой прибыли с выручкой. Число убыточных организаций и величина убытка по предприятиям РХК (на 1 сентября каждого года) представлены в табл. 4.

Как следует из таблицы, объем убытков убыточных предприятий не имеет ярко выраженной тенденции роста или уменьшения. Поэтому данный фактор (убытки) ухудшает степень корреляции общей сальдированной прибыли с выручкой от продаж.

Таблица 4. Число убыточных организаций и величина убытка предприятий РХК  
Table 4. Number of unprofitable organizations and losses of the companies in the fishery industry

Параметры	Годы										
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Число убыточных организаций	183	177	138	110	82	58	48	43	35	44	49
Сумма убытка, млн. руб.	1 690	1 593	1 105	1 266	3 136	870	1 325	1 837	1 248	1 468	10 22

Среднегодовая численность работников слабо связана с выручкой от продаж предприятий РХК. Коэффициент корреляции имеет значение 0,665. Здесь ярко проявляется имеющаяся тенденция роста производительности труда в рыбохозяйственной отрасли. Численность работников отрасли за проанализированный период (2003-2014 гг.) увеличилась в 1,25, а выручка от продажи выросла в 3,1 раза. Поэтому связь численности работников и продаж предприятий РХК незначительна.

Сальдо прочих расходов и доходов рыбохозяйственной отрасли имеет (как пример) самую незначительную связь с выручкой от продаж (коэффициент корреляции – 0,285). Это характеризует объективную необходимость низкого объема непрофильной финансово-хозяйственной деятельности предприятий РХК. Объемы результатов непрофильной деятельности в отрасли колебались в проанализированном периоде (2003-2014 гг.) с величины убытков в 4,6 (2003 и 2013 гг.) до прибыли в 2,1 млрд. руб. (2004 г.). При этом ярко выраженная тенденция роста или падения сальдо прочих расходов и доходов предприятий РХК отсутствует, что и приводит к низкой связи данного показателя с выручкой от продаж в отрасли.

Обобщая регрессионные однофакторные статистические линейные модели зависимости выручки от отмеченных показателей деятельности предприятий РХК, следует отметить, что некоторые полученные уравнения (даже с высоким коэффициентом корреляции) сложно поддаются экономической интерпретации (модель зависимости выручки от объемов вылова, модель зависимости прибыли от объема продаж, модель зависимости выручки от инвестиций и др.). Это обстоятельство требует рассмотрения возможности и необходимости использования многофакторных регрессионных моделей для углубления изучения процессов формирования финансово-экономических показателей функционирования РХК.

С учетом вышеприведенных корреляционных связей и их логического обоснования, нами построена линейная многофакторная статистическая модель зависимости выручки предприятий РХК от шести параметров, которая, на наш взгляд, в определенной мере описывает их влияние на исследуемый показатель:

$$y = -7483,6 + 2345,7x_1 + 5,2180x_3 - 0,0484x_5 + 0,9130x_6 - 2,2089x_7 + 1,5348x_8.$$

Однако влияние некоторых показателей на выручку в построенной модели сложно объяснить экономической логикой. Чистое эконометрическое статистическое моделирование, которое основывается только на математическом анализе с

помощью метода наименьших квадратных отклонений от прямой линии системы взаимосвязи исследуемых показателей с выручкой, не позволяет дать, зачастую, логического обоснования влияния отдельных показателей на исследуемый параметр. В полученной модели отрицательное влияние на рост прибыли предприятий РХК с различной степенью оказывают коммерческие и управленческие расходы ( $x_7$ ) и наличие основных фондов ( $x_5$ ). Такой факт (особенно наличие основных фондов) противоречит логике роста выручки предприятий РХК: без роста стоимости фондов в отрасли представить увеличение выручки. Такое может произойти только в случае сокращения стоимости основных фондов с одновременным ростом (сравнительно большими темпами) цен на продукцию предприятий РХК. Коммерческие и управленческие расходы также связаны с получаемой выручкой от продаж прямой зависимостью однонаправленного изменения (но, может быть, разными темпами). Поэтому слабое экономическое обоснование полученной шестифакторной эконометрической модели требует усиления экономической составляющей в подходах к построению эконометрической модели.

Для того, чтобы исключить неоднозначную экономическую интерпретацию регрессионных зависимостей, нами проанализирована попарная корреляционная связь исследуемых показателей деятельности предприятий РХК. Такой анализ следует проводить для исключения возможности двойного влияния на исследуемый показатель динамики сразу двух факторов. Наибольшие значения коэффициентов корреляции проанализированных показателей при попарном сравнении представлены в табл. 5.

Таблица 5. Максимальные значения коэффициентов корреляции финансово-экономических показателей при попарном сравнении  
Table 5. Maximum values of correlation coefficients of financial and economic indicators in pairwise comparison

Взаимосвязанные показатели	Коэффициент корреляции
Среднегодовая численность работников - Коммерческие и управленческие расходы	0,733
Себестоимость проданных товаров - Коммерческие и управленческие расходы	0,981
Сальдированный финансовый результат (прибыль минус убыток) - Коммерческие и управленческие расходы	0,925
Объем добычи водных биоресурсов - Наличие основных фондов на конец года	0,955
Наличие основных фондов на конец года - Коммерческие и управленческие расходы	0,973
Коммерческие и управленческие расходы - Прибыль (убыток) от продаж	0,926
Инвестиции в основной капитал – Себестоимость проданных товаров	0,948

Проведенный регрессионный анализ показывает, что имеются три наиболее сильных связи группы показателей. Самой тесной связью в системе проанализи-



зированных параметров является корреляция себестоимости проданных товаров с коммерческими и управленческими расходами (0,981). Затем идет связь показателей наличия основных фондов на конец года с коммерческими и управленческими расходами (0,973). Следующим по тесноте связи является соотношение объема добычи водных биоресурсов с наличием основных фондов на конец года (0,955). Четвертая пара по силе связи – соотношение параметров инвестиций в основной капитал с себестоимостью проданных товаров (0,948). Наименьшая связь наблюдается в отношении среднегодовой численности работников с коммерческими и управленческими расходами (0,733). Данный анализ показывает, что в технологию построения многофакторной модели зависимости выручки предприятий РХК не следует одновременно включать оба показателя с высокой корреляционной связью в расчеты соответствующей регрессионной зависимости. По экономической природе и однонаправленной сущности влияния двух параметров регрессии на результирующий показатель следует выбирать только один влияющий фактор, так как использование сразу двух параметров будет затруднять определение коэффициентов регрессии и может исказить результаты эконометрических расчетов.

Сопоставляя ранее проанализированные связи выручки ( $y$ ) с показателями деятельности предприятий РХК, следует, на наш взгляд, первым фактором для регрессионной модели определить себестоимость проданных товаров, вторым – наличие основных фондов на конец года, третьим – валовую прибыль (без учета коммерческих и управленческих расходов), четвертым – объем добычи (вылова) водных биоресурсов, пятым – инвестиции в основной капитал. Всю глубину экономических взаимосвязей данных показателей между собой и в конечном итоге с выручкой предприятий РХК выразить одной эконометрической моделью чрезвычайно сложно. Но даже это регрессионное моделирование поможет выявлению тенденций изменения и обоснования основных факторов влияния на выручку различных основополагающих экономических параметров:

$$y = -8594,77 + 1,13x_4 + 0,12x_3 + 0,61x_6.$$

Построенная эконометрическая регрессионная модель поддается соответствующей экономической интерпретации. Она характеризует установившиеся за последние 11 лет логически сложившиеся экономические зависимости выручки от трех основополагающих параметров: себестоимости (расходов) ( $x_4$ ), наличия основных фондов ( $x_3$ ) и получаемой прибыли от продажи продукции ( $x_6$ ) предприятий РХК. С ростом или падением данных показателей в различной степени происходит увеличение или сокращение выручки, которая является важнейшим экономическим индикатором развития предприятий РХК. Прогнозируемые с помощью эконометрической модели объемы выручки будут способствовать формированию ресурсов для обновления рыбопромыслового флота, увеличения возможностей роста вылова биоресурсов. Прибыль, которая может быть собственным финансовым источником для решения текущих и долговременных задач отрасли, вычисляется в этом случае с помощью ранее найденной зависимости по формуле:

$$x_6 = 14089,8 + 1,64y - 1,85x_4 - 0,196x_3.$$

Предложенная форма связи имеет логическое экономическое содержание, которое естественным образом характеризует такое соотношение, когда из выручки вычитаются себестоимость продукции (расходы), затраты овеществленного труда (стоимость фондов) для определения прибыли предприятий РХК.

Следует отметить, что планирование прибыли как важнейшего результата деятельности предприятий РХК – сложная задача, которая по своей сути является результирующим элементом системы многочисленных плановых расчетов большого количества производственно-стоимостных параметров работы рыбохозяйственного комплекса. При этом регрессионные модели и эконометрические подходы основываются на анализе статистических показателей, прежде всего связи выручки и прибыли, с такими параметрами, которые имеют с ними тесную связь.

Исходя из рассмотренных ранее параметров динамики вылова биоресурсов по различным бассейнам, нами проанализирована корреляционная связь объемов вылова в них с выручкой предприятий РХК. Результаты расчетов показали, что наибольшая связь прослеживается в Северном бассейне (коэффициент корреляции – 0,9023), несмотря на то, что там было добыто в среднем за анализируемый период всего около 12% всех биоресурсов РХК. Наименьшая связь выявилась в Черноморско-Каспийском бассейне (коэффициент корреляции – 0,5203). При этом коэффициент корреляции выручки всех предприятий РХК с объемами вылова в Дальневосточном бассейне составил только 0,8597 при выловах в данном бассейне около 66% от объема вылова всех биоресурсов отрасли. Этот факт характеризует необязательность тесной связи динамики выручки отрасли с основным местом добычи биоресурсов предприятий РХК.

Динамика выручки отрасли с изменением объема выловленных биоресурсов за анализируемый период была связана в целом незначительно (коэффициент корреляции - 0,7899). Обоснование более жесткой связи выручки в первую очередь, на наш взгляд, должно учитывать в динамике параметров ценовые показатели работы отрасли – прежде всего изменение цен на продукцию предприятий РХК. С использованием индекса цен на данную продукцию (среднегодовой индекс цен составил за анализируемые годы 110,6%) нами подсчитана динамика этих цен и выявлена их связь с выручкой. Коэффициент корреляции составил 0,9602, что характеризует высокий уровень связи динамики выручки от продаж и цен на продукцию предприятий РХК. Динамика связи прибыли с ценами и выручкой была незначительной (коэффициенты корреляции, соответственно, – 0,6636 и 0,7598), что еще раз подчеркивает всю сложность эконометрического моделирования прибыльности работы отрасли и необходимость совершенствования методологического и методического инструментария планирования финансово-хозяйственной деятельности РХК с использованием эконометрического моделирования.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 07 марта 2013 года № 315-р «О Государственной программе Российской Федерации «Развитие рыбохозяйственного комплекса».
2. Росстат. Национальные счета России в 2003-2010 гг.: стат. сб. – Москва: Росстат, 2011 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.gks.ru/bgd/regl/B11\\_15/Main.htm](http://www.gks.ru/bgd/regl/B11_15/Main.htm)
3. Мнацакян, А. Г. Совершенствование экономических знаний (на примере рыбохозяйственного комплекса России): монография /

А. Г. Мнацаканян, А. В. Иванов, В. А. Теплицкий / под общ. ред. В. А. Теплицкого. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2014. – С. 17-44.

4. Bulmer-Thomas, V. Input-Output Analysis in Developing Countries: Sources, Methods, and Applications. – Chichester: Wiley, 1982. – 278 с.

5. Минэкономразвития России. Переходной ключ между Общесоюзным классификатором отраслей народного хозяйства (ОКОНХ) и Общероссийским классификатором видов экономической деятельности (ОКВЭД) (окончательная редакция). – Москва: Минэкономразвития России, Центр по экономическим классификациям, 2002. – 123 с.

6. Гранберг, А. Г. Василий Леонтьев в мировой и отечественной экономической науке / А. Г. Гранберг // Экономический журнал ВШЭ. – 2006. – Т. 10, № 3. – С. 471-491.

7. Баранов, Э. Ф. Вопросы построения таблиц «затраты – выпуск» России в международных классификаторах / Э. Ф. Баранов [и др.] // Экономический журнал ВШЭ. – 2014. – №1. – С. 7-38.

8. Баранов, Э. Методологические вопросы реконструкции системы таблиц «затраты – выпуск» России за 2003 и последующие годы в структуре ОКВЭД/ОКПД / Э. Баранов, И. Ким, Е. Старицына // Вопросы статистики. – 2011. – № 12. – С. 3-8.

9. Росстат. Система таблиц «затраты – выпуск» России за 2003 г.: стат. сб. – Москва: Росстат, 2006. – 116 с.

10. <http://www.gks.ru/> – сайт Госкомстата – Официальная статистика. Национальные счета. 2015, 20 декабря.

11. <http://fish.gov.ru/> – сайт Федерального агентства по рыболовству. – Открытое агентство. Экономика отрасли. 2015, 20 декабря.

12. Drew, S., Dunn M. Blue Book 2011: Reclassification of the UK Supply and Use Tables. 2011. (<https://www.ons.gov.uk>)

13. Erumban, A. E., Gouma R., Timmer M., de Vries G., de Vries K. Sources for National Supply and Use Table. Input files. 2012. (<http://www.wiod.org>)

14. Eurostat. Manual of Supply, Use and Input-Output Tables. Luxembourg: Eurostat, 2010.

15. Котов, Н. М. Методический подход к оценке эффективности государственного управления рыбохозяйственным комплексом региона / Н. М. Котов // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1. – С. 15-25.

16. Каширская, С. И. О некоторых результатах исследований статистической базы, выполнявшихся при разработке экспертных оценок таблиц «затраты – выпуск» / С. И. Каширская // Сб. научных трудов ИМЭИ. – 2012. – № 2. – С. 101-104.

17. Губанов, А. Анализ эффективности использования ресурсов на основании таблиц «Затраты-выпуск» / А. Губанов // Портал «Капитал страны», 3 июня 2013 года [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://kapital-rus.ru/about/>

## REFERENCES

1. Rasporjazhenie Pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 07 marta 2013 goda № 315-г «О Gosudarstvennoj programme Rossijskoj Federacii «Razvitie rybohozjajstvennogo kompleksa».

2. *Nacional'nye scheta Rossii v 2003-2010 gg.* [National accounts of Russia in 2003-2010]. Rosstat, 2011, available at: [http://www.gks.ru/bgd/regl/B11\\_15/Main.htm](http://www.gks.ru/bgd/regl/B11_15/Main.htm) (Accessed 20 December 2015).
3. Mnacakanjan A.G., Ivanov A.V., Teplickij V.A. *Sovershenstvovanie jekonomicheskikh znaniy (na primere rybohozjajstvennogo kompleksa Rossii)* [Improvement of economic knowledge (the case of the fishery industry of Russia)]. Kaliningrad, Izd-vo FGBOU VPO «KGTU», 2014, pp. 17-44.
4. Bulmer-Thomas V. *Input-Output Analysis in Developing Countries: Sources, Methods, and Applications.* Chichester: Wiley, 1982, 278 p.
5. *Minjekonomrazvitija Rossii. Perehodnoj kljuch mezhdu Obshhesojuznym klassifikatorom otraslej narodnogo hozjajstva (OKONH) i Obshherossijskim klassifikatorom vidov jekonomicheskoy dejatel'nosti (OKVJeD) (okonchatel'naja redakcija)* [The Ministry for Economic Development of Russia. Transitional key between All-Russia Classifier of Economy Sectors and Russian National Classifier of Economic Activities (final version)]. Moscow, Minjekonomrazvitija Rossii, Centr po jekonomicheskim klassifikacijam, 2002, 123 p.
6. Granberg A.G. Vasilij Leont'ev v mirovoj i otechestvennoj jekonomicheskoy nauke [Vasilij Leontyev in international and national economics]. *Jekonomicheskij zhurnal VShJe*, 2006, vol. 10, no. 3, pp. 471-491.
7. Baranov Je. F., Kim I. A., Piontkovskij D. I., Staricyna E. A. Voprosy postroenija tablic «zatraty–vypusk» Rossii v mezhdunarodnyh klassifikatorah [Aspects of construction of tables “Input-output” of Russia in international classification]. *Jekonomicheskij zhurnal VShJe*, 2014, no. 1, pp. 7-38.
8. Baranov Je., Kim I., Staricyna E. Metodologicheskie voprosy rekonstrukcii sistemy tablic «zatraty–vypusk» Rossii za 2003 i posledujushhie gody v strukture OKVJeD/OKPD [Methodological aspects of reconstruction of “Input-output” table system of Russia in 2003 and consecutive years within Russian National Classifier of Economic Activities]. *Voprosy statistiki*, 2011, no. 12, pp. 3-8.
9. Sistema tablic «zatraty – vypusk» Rossii za 2003 g. Moscow, Rosstat, 2006, 116 p.
10. *Oficial'naja statistika. Nacional'nye scheta* [Official statistics. National accounts]. Goskomstat, 2015, available at: <http://www.gks.ru/> (Accessed 20 December 2015).
11. *Jekonomika otrasli* [Economy of the industry]. Federal'noe agentstvo po rybolovstvu, 2015, available at: <http://fish.gov.ru/> (Accessed 20 December 2015).
12. Drew S., Dunn M. *Blue Book 2011: Reclassification of the UK Supply and Use Tables.* 2011, available at: <https://www.ons.gov.uk> (Accessed 20 December 2015).
13. Erumban A. E., Gouma R., Timmer M., de Vries G., de Vries K. *Sources for National Supply and Use Table. Input files.* 2012, available at: <http://www.wiod.org> (Accessed 20 December 2015).
14. Eurostat. *Manual of Supply, Use and Input-Output Tables.* Luxembourg: Eurostat, 2010.
15. Kotov N.M. Metodicheskij podhod k ocenke jeffektivnosti gosudarstvennogo upravlenija rybohozjajstvennym kompleksom regiona. [Methodological approach to efficiency estimation of government control of the fishery industry of the region]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovanija*, 2015, no. 1, pp. 15-25.

16. Kashirskaja S.I. O nekotoryh rezul'tatah issledovanij statisticheskoj bazy, vypolnjavshijsja pri razrabotke jekspertnyh ocenok tablic «zatraty–vypusk» [On the research results of the database in developing expert evaluations of “Input-output” tables]. *Sb. nauchnyh trudov IMJeI* [Proceedings of the Institute of the World Economy and Informatization]. 2012, no. 2, pp. 101-104.

17. Gubanov A. *Analiz jeffektivnosti ispol'zovanija resursov na osnovanii tablic «Zatraty–vypusk»* [Effectiveness analysis of resources employment using “Input-output” tables] Portal «Kapital strany», available at: <http://kapital-rus.ru/about/> (Accessed 3 Juny 2013).

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

*Сергеев Леонид Иванович* – Калининградский государственный технический университет; доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой экономической теории; E-mail: [doc\\_sergeevli@mail.ru](mailto:doc_sergeevli@mail.ru)

*Sergeev Leonid Ivanovich* – Kaliningrad State Technical University; Doctor of economic science, professor, head of the Department of economic theory; E-mail: [doc\\_sergeevli@mail.ru](mailto:doc_sergeevli@mail.ru)