

ИЗВЕСТИЯ

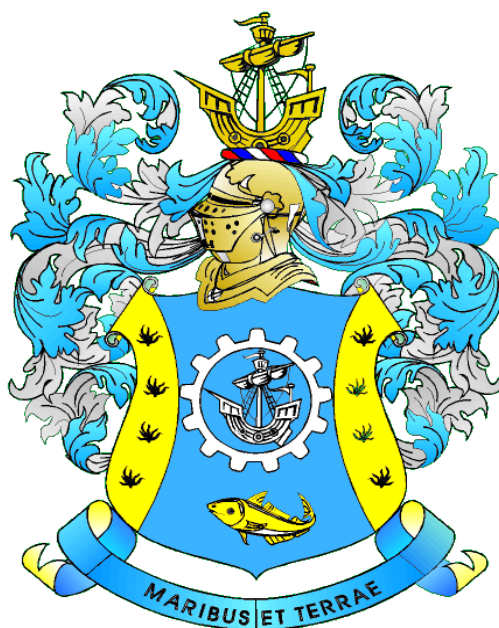
КГТУ

2016

№ 41

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

Научный журнал



Калининград

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

Научный журнал
Основан в 2002 г.

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

Редакционный совет:

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

С. Т. Антипов, д-р техн. наук, проф., проректор по НИР ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», Заслуж. изобретатель РФ;
А. В. Бараненко, д-р техн. наук, проф., ректор Института холода и биотехнологий ФГБОУ ВПО «С.-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики», Заслуж. деятель науки РФ;
Г. Н. Белоглазова, д-р экон. наук, проф., зав. кафедрой банковского дела ФГБОУ ВПО «С.-Петербургский государственный экономический университет»;
А. М. Газалиев, д-р хим. наук, проф., ректор Карагандинского государственного технического университета, акад. НАН РК;
А. М. Еришов, д-р техн. наук, проф., ФГБОУ ВПО «Мурманский государственный технический университет», Заслуж. работник рыбн. хоз- ва РФ;
В. В. Козловский, д-р экон. наук, проф. кафедры экономики и предпринимательства Белорусского государственного экономического университета;
Е. А. Криксунов, д-р биол. наук, проф., зав. лабораторией онтогенеза кафедры ихтиологии МГУ им. М. В. Ломоносова, чл.-корр. РАН;
С. Е. Кузнецов, д-р техн. наук, проф., нач. кафедры САЭЭС Государственного университета морского и речного флота им. адм. С. О. Макарова, Заслуж. деятель науки РФ, акад. РАТ;
О. М. Лапшин, д-р техн. наук, директор ФГУП «Камчатский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии» (КамчатНИРО);
Ю. И. Нечаев, д-р техн. наук, проф. кафедры вычислительной техники и информационных технологий С.-Петербургского государственного морского технического университета;
В. А. Панфилов, д-р техн. наук, ФГБОУ ВПО «Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия им. К. А. Тимирязева», акад. РАН;
Тадеуш Пецух, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой техники водной очистки и утилизации отходов Кошалинского политехнического университета (Польша);
А. М. Салецкий, д-р физ.-мат. наук, проф., зав. кафедрой общей физики МГУ им. М. В. Ломоносова;
Ю. Т. Сечин, д-р биол. наук, проф. кафедры «Биоэкология и ихтиология» Московского государственного университета технологий и управления, Заслуж. деятель науки РФ, Почетный работник рыбн. хоз- ва РФ;
А. С. Холодов, д-р физ.-мат. наук, проф., зам. директора ФГБУН «Институт автоматизации проектирования РАН», зав. кафедрой мат. моделирования ФГАОУ ВПО «Московский физико-технический институт», акад. РАН;
Хугес-Халлетт Эндрю Джонатан, д-р экон. наук, проф. Университета им. Джорджа Масона (штат Вирджиния, США)

Выпускающий редактор С. В. Супрунова

Редакционная коллегия:

Б.А. Альтиуль, д.т.н., проф.; *Ю.Н. Антипов*, д. физ.-мат. н., проф.; *О.М. Бедарева*, д.б.н., проф.;
В.Ф. Белей, д.т.н., проф.; *Н.Д. Бобарыкин*, д.т.н., проф.; *В.В. Брюханов*, д. физ.-мат.н., проф.;
Р.Н. Буруковский, д.б.н., проф.; *Н.Л. Великанов*, д.т.н., проф.; *А.А. Герасимов*, д.т.н., проф.;
Л.Т. Главинская, д.экон.н., проф.; *С.В. Дятченко*, д.т.н., проф.; *А.В. Иванов*, д.экон.н., проф.;
Л.М. Лукьянова, д.т.н., проф.; *О.Я. Мезенова*, д.т.н., проф.; *А.Г. Мнацаканян*, д.экон.н., проф.;
А.Б. Муромцев, д.вет.н., проф.; *В.А. Наумов*, д.т.н., проф.; *В.И. Панасин*, д. с.-хоз. н., проф.;
М.М. Розенштейн, д.т.н., проф.; *Е.С. Роньжина*, д.б.н., проф.; *В. И. Саускан*, д.б.н., проф.;
Н.А. Сберегаев, канд.экон.н., проф.; *С.П. Сердобинцев*, д.т.н., проф.; *Г.Г. Серпунин*, д.б.н., проф.;
О.С. Сухарев, д.экон. н., проф.; *Ю.А. Фатыхов*, д.т.н., проф.; *С.В. Фёдоров*, д.т.н., проф.;
В.А. Фунтиков, д.хим.н., проф.; *Р.Ш. Хаджаев*, д.экон.н., проф.; *В.И. Шендерюк*, д.т.н., проф.;
С.В. Шибаев, д.б.н., проф.; *В.Н. Эрлихман*, д.т.н., проф.; *А.В. Юров*, д.физ.-мат.н., проф.

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

© ФГБОУ ВПО «Калининградский государственный технический университет», 2016

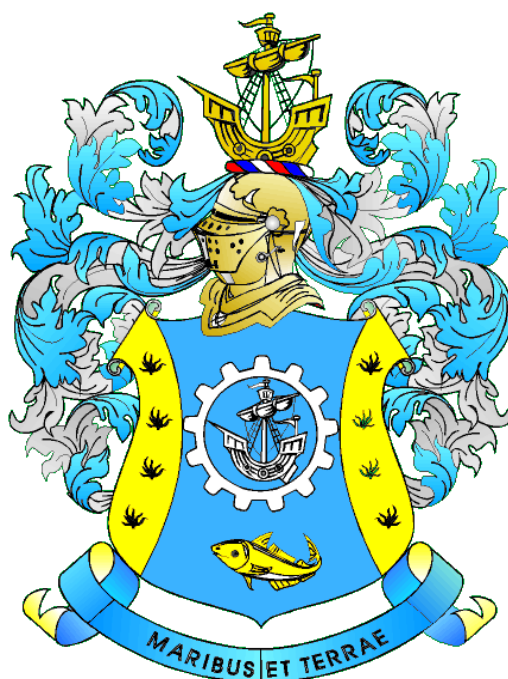
KSTU NEWS

2016

№ 41

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

SCIENTIFIC JOURNAL



Kaliningrad

СОДЕРЖАНИЕ

Биология, экология и рыбное хозяйство

Дубравин В. Ф., Маслянкин Г. Е. Эволюции сезонной изменчивости потоков тепла над Балтийским морем 11

Заре П., Шibaев С. В., Касаткина С. М., Фазли Х. Изменчивость акустической силы цели кильки обыкновенной (*Clupeonella cultriventris*) ... 20

Лулева Е. В. Унифицированная программа экологического мониторинга водного объекта, предполагаемого к использованию в системе технического водоснабжения АЭС до ввода в эксплуатацию, на примере Балтийской АЭС 28

Мезенова О. Я., Кешткар С., Ромиань Е., Зарей М. Влияние изменений солености воды на содержание Cl^- , Na^+ и глюкозы в плазме крови морского окуня (*Sparidentex hasta*) 39

Пьянов Д. С., Дельмухаметов А. Б., Хрусталева Е. И. Результаты выращивания судака (*Sander lucioperca*, L.) в режиме полного цикла в установках замкнутого водоснабжения 49

Ткаченко Г. М., Грудневская Й. Эффект вакцинации против *Yersinia ruckeri* на содержание биомаркеров окислительного стресса в печени и сердце иммунизированной форели (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum) 59

Шумак В. В. Потери массы и энергии зимующим сеголетком разных пород карпа 68

Техника и технология пищевых производств

Алексеев Г. В., Усманов И. И., Хрипанкова М. С. Возможности ресурсосбережения при механотермической обработке орехов 81

Байдалинова Л. С., Мельникова В. А. Исследование антиоксидантных свойств заменителя кофе из топинамбура Калининградского региона..... 91

Максимова С. Н., Богданов В. Д., Шадрин Е. В., Панчишина Е. М. Применение ферментативного гидролиза в технологии кормовой добавки из морских звезд 100

Фатыхов Ю. А., Шуманов В. А., Шуманова М. В. Результаты экспериментального исследования посола сельди при отрицательных температурах 111

Сельское хозяйство и природопользование

Анциферова О. А. Окислительно-восстановительные условия и динамика подвижного железа в катене с эродированными почвами 125

Брюханов А. Ю., Уваров Р. А. Математическая модель технологии ускоренного компостирования отходов животноводства в биоферментационных установках закрытого типа..... 137

Розенштейн М. М., Пелешенко В. А. Учет взаимного влияния гидродинамических характеристик и угла атаки траловых распорных досок разноглубинного трала при расчете его балансировочного значения 148

Чекин Г. В. Некоторые параметры гумусного состояния пойменных почв верхнего течения реки Десны 157

Судостроение, машиностроение и энергетика

Александров Ю. П. Идентификация природных и декоративных смол по твердости..... 167
Кладов К. В., Говязина Е. Ю., Бондарь А. В. Метеорологические и экономические условия эксплуатации малых рыболовных судов в Балтийском море 174
Сутырин В. И., Шинкаренко И. А., Короткая Е. И. Демпфирующий эффект жидкости при колебаниях судовых трубопроводов малого диаметра 186
Францев М. Э. Принципы проектирования корпуса скоростного судна из композитов по условиям его весовой эффективности и обеспечения жизненного цикла 196

Экономика и управление АПК

Козляковская Е. Я., Гегечкори О. Н. Бифуркационный анализ развития сельского хозяйства эксклавного региона 211

CONTENT

Biology, Ecology and Fishing Industry

<i>Dubravin V. F., Maslyankin G. E.</i> Evolution of seasonal variation of heat fluxes in the Baltic sea	11
<i>Zare P., Shibaev S. V., Kasatkina S. M., Fazli H.</i> Variations in the acoustic target strength of common kilka (<i>Clupeonella cultriventris</i>)	20
<i>Luneva E. V.</i> Unified environmental monitoring of a water body intended to be used in the system of NPP technical water supply prior to initial operation, the case of the Baltic NPP	28
<i>Mezenova O. Ya., Keshtkar S., Romiani E., Zarei M.</i> The effects of water salinity changes on CL^- , NA^+ and glucose in the blood plasma of <i>Sparidentex hasta</i>	39
<i>Pyanov D. S., Delmukhametov A. B., Khrustalyov E. I.</i> The results of pikeperch (<i>Sander lucioperca</i> , L.) cultivation in the ras complete cycle conditions	49
<i>Tkachenko H., Grudniewska J.</i> Effect of vaccination against <i>Yersinia ruckeri</i> on oxidative stress biomarkers in the liver and heart of rainbow trout (<i>Oncorhynchus mykiss</i> Walbaum)	59
<i>Shumak V. V.</i> Loss of mass and energy among wintering fingerlings of different carp breeds	68

Food Production Techniques and Technology

<i>Alexeev G. V., Usmanov I. I., Khripankova M. S.</i> Possibilities for cost-effective use of resources in mechanical-thermal treatment of nuts	81
<i>Baydalinova L. S., Melnikova V. A.</i> Study of antioxidant properties of coffee substitute from local raw material of vegetable origin - jerusalem artichoke	91
<i>Maksimova S. N., Bogdanov V. D., Shadrina E. V., Panchishina E. M.</i> Technology of feed additive from sea stars on the basis of enzymatic hydrolysis	100
<i>Fatykhov Yu. A., Shumanov V. A., Shumanova M. V.</i> Experimental results of the process of salting herring at subzero temperatures	111

Agriculture and Nature Management

<i>Antsiferova O. A.</i> Redox conditions and dynamics of free iron in catena with eroded soils	125
<i>Bryukhanov A. Yu., Uvarov R. A.</i> Mathematical model for accelerated composting technology of farm animal waste in closed-type installations	137
<i>Rozenshtein M. M., Peleshenko V. A.</i> Account of mutual influence of hydrodynamic characteristics and attack angle of otter boards of a mid-water trawl when calculating its trim value	148
<i>Chekin G. V.</i> Some parameters of the humus content of flood plain soils of the upper Desna river	157

Ship Building, Machinery and Power-Engineering

<i>Alexandrov Yu. P.</i> Hardness-based identification of natural and decorative resins	167
---	-----

<i>Kladov K. V., Govyazina E. Yu., Bondar A.V.</i> Meteorological and economic operating condition of small fishing vessels in the Baltic sea	174
<i>Sutyurin V. I., Shinkarenko I. A., Korotkaya E. I.</i> Damping effect of a liquid under vibrations of small diameter pipelines of ships	186
<i>Frantsev M. E.</i> Principles of designing high-speed ship hull from composites based on its weight efficiency and life cycle	196

Economy and Management of agribusiness industry

<i>Kozlyakovskaya E. Ya., Gegechkori O. N.</i> Bifurcation analysis of the agriculture development of the exclave region	211
--	-----

БИОЛОГИЯ, ЭКОЛОГИЯ И РЫБНОЕ ХОЗЯЙСТВО

УДК 551.465.71 (261.24)

ЭВОЛЮЦИИ СЕЗОННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ПОТОКОВ ТЕПЛА
НАД БАЛТИЙСКИМ МОРЕМ

В. Ф. Дубравин, Г. Е. Маслянкин

EVOLUTION OF SEASONAL VARIATION OF HEAT FLUXES
IN THE BALTIC SEA

V. F. Dubravin, G. E. Maslyankin

В настоящей работе на основании данных гидрометеополей, представленных в атласе [1], за период 1951-2000 гг. выполнена оценка климатических средних (для месяцев и года) интегральной теплоотдачи (10^{12} Вт) и потоков тепла (Вт/м^2): явного Q_H , скрытого Q_E , суммарного Q , используемого атмосферой Q_{Pr} и остаточного Q_Σ по методике С. К. Гулева [2]. Рассчитан вклад каждого из потоков тепла (Q_H , Q_E , Q_{Pr} и Q_Σ) в суммарное тепло, а также доля каждого суббассейна для всех типов потоков тепла. Рассмотрена сезонная изменчивость этих потоков – по данным гармонического анализа в сезонном ходе выявлено преобладание годовой волны. Наименьшей амплитудой годовой волны отличается Q_{Pr} ($A_1 = 11,3 \text{ Вт/м}^2$), для Q_H и Q_E амплитуда возрастает до 34,0 и 37,4, а для Q_Σ и Q – до 59,7 и 63,8 Вт/м^2 . Наступление максимума в годовом ходе потоков в среднем для моря приходится на холодное полугодие – от сентября (Q_{Pr}) до декабря (Q_H).

Для выяснения причин сезонной изменчивости потоков тепла над Балтийским морем были использованы внешние факторы (вынуждающие силы): а) геокосмические силы: потенциал приливообразующих сил Луны и Солнца (ППОСЛиС) ($\text{см}^2/\text{с}^2$) [3]; угловая скорость суточного вращения Земли (v') [4] и б) параметры механизма взаимодействия океана и атмосферы: частота встречаемости типов атмосферной циркуляции Вангенгейма-Гирса (западный W, восточный E, меридиональный C) [5]. Показано, что индексы форм циркуляции Вангенгейма-Гирса W и E вполне могут служить предиктором для сезонной изменчивости потоков тепла Q_H , Q_E , Q , Q_{Pr} и Q_Σ .

сезонная изменчивость, потоки тепла (явного, скрытого, суммарного, используемого атмосферой, остаточного), типы циркуляции атмосферы

Based on the data of hydro-meteorological fields presented in the Atlas [1], over the period of 1951-2000, the present article presents an assessment of climatic heat fluxes (monthly and annual mean values) (W/m^2) and integral heat transfer (10^{12} W) carried out including sensible Q_H , latent Q_E , total Q , atmosphere-used Q_{Pr} , and residual Q_Σ using methodology suggested by S.K.Gulev [2]. The contribution of each heat flux (Q_H , Q_E , Q_{Pr} and Q_Σ) to the total Q has been calculated as well as the share of each sub-basin for all types of the heat flux. Seasonal variations in the fluxes have been examined. Harmonic analysis data revealed predominance of the annual wave in the seasonal

trend. The minimum amplitude of the annual wave was marked for Q_{Pr} ($A_I = 11.3 \text{ W/m}^2$). The amplitude increased up to 34.0 and 37.4 W/m^2 for Q_H and Q_E , while for Q_Σ and Q it increased up to 59.7 and 63.8 W/m^2 . In general, the maximum annual variation of fluxes in the Baltic Sea was observed during cold half-year period, between September (Q_{Pr}) and December (Q_H).

In order to identify causes of seasonal variation in heat fluxes over the Baltic Sea, the following external factors (constraining forces) have been studied: a) geocosmic forces: tide-generating potential of the sun and the moon (cm^2/s^2) [3]; angular velocity of the Earth's daily rotation (v) [4] and b) parameters of interaction mechanism between the ocean and atmosphere: frequency of occurrence of Wengenheim-Gierce atmospheric circulation types (western W, eastern E, meridional C) [5]. It has been shown that Wengenheim-Gierce circulation form indices W and E may predict seasonal variation of heat fluxes Q_H , Q_E , Q , Q_{Pr} and Q_Σ .

seasonal variation, heat fluxes (sensible, latent, total, atmospheric, residual), types of atmospheric circulation

ВВЕДЕНИЕ

В системе взаимодействия океана и атмосферы значительная роль принадлежит круговороту воды. Он обеспечивает круговорот тепла. Вместе с общей циркуляцией атмосферы эти процессы формируют климат Земли. Важной количественной характеристикой взаимодействия атмосферы и океана являются крупномасштабные потоки тепла и влаги. Еще В. В. Тимоновым [6] была отмечена значимость учета суммарного воздействия одной среды на другую в системе взаимодействия океана и атмосферы. Сводку по расчетам отдаваемого Балтийским морем тепла можно найти в [7], а карты Q_{Pr} , если не считать работы М. И. Будыко [8], нам не известны.

В настоящей работе рассматриваются основные особенности сезонной изменчивости потоков тепла (Вт/м^2): явного Q_H , скрытого Q_E , суммарного Q , используемого атмосферой Q_{Pr} и остаточного Q_Σ над Балтийским морем, рассчитанных по методике С. К. Гулева [2]. Проанализировано влияние изменчивости индексов циркуляции атмосферы Вангенгейма-Гирса [5] и космогеофизических факторов [3, 4] на временные колебания потоков тепла. Выявлены предикторы для регулярного сезонного хода (СезХ) этих потоков в Балтийском море – индексы форм циркуляции W и E.

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

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Известно, что потоки суммарного тепла Q складываются из потоков тепла (явного) Q_H и влаги (скрытого тепла) Q_E :

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

Прямые измерения потоков Q_H и Q_E в океане (море) редки и трудновыполнимы; одним из косвенных методов, применяемых при этом, является аэродинамический, в котором турбулентные потоки тепла и влаги выражаются через средние значения характеристик на стандартном уровне измерений (как правило,

сравниваются высота уровня наблюдателя $z = 10$ м и поверхность моря). Не останавливаясь на обосновании этого метода (сводка работ по физическим основам параметризаций приводится в источниках [7, 9]), перейдем к формулам для расчета потоков:

$$Q_H = C_p \times \rho \times C_T \times (T_w - T_a) \times W; \quad (2)$$

$$Q_E = L \times \rho \times 0,622 / P_0 \times C_E \times (E_{0w} - e_a) \times W,$$

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

В формулы (2) входят коэффициенты обмена теплом (C_T) и влагой (C_E), определение которых и является задачей параметризации потоков на границе океан-атмосфера [2]. Ранее в работах [7, 9] было показано, что как для Северной и Центральной Атлантики, так и для Юго-Восточной Балтики *при расчете потоков по климатическим среднемесячным значениям предпочтение следует отдавать методике С. К. Гулева [2], а при расчете потоков по среднегодовым данным можно использовать любую методику из источников [2, 8, 10].* На этом основании для расчетов потоков Q_H и Q_E с поверхности Балтики нами использовалась методика С.К. Гулева [2].

Поскольку в нашем распоряжении имеются данные по осадкам из атласа [7], то, умножив количество осадков P_r (мм) на скрытую теплоту парообразования L , получим количество используемого атмосферой тепла (теплота конденсации водяного пара) Q_{Pr} :

$$Q_{Pr} = L \times P_r. \quad (3)$$

Остаточное тепло Q_{Σ} – разность между суммарным теплом (Балтики) и теплом, используемым атмосферой (над ней):

$$Q_{\Sigma} = Q - Q_{Pr}. \quad (4)$$

Для расчета климатических средних (для месяцев и года) потоков тепла с поверхности Балтики послужили данные гидрометеополей за период 1951-2000 гг., представленные в атласе [1]. Для выяснения причин сезонной изменчивости потоков тепла над Балтийским морем были использованы внешние факторы (вынуждающие силы): а) геокосмические силы: потенциал приливообразующих сил Луны и Солнца (ППОСЛиС) (см 2 /с 2) [3]; угловая скорость суточного вращения Земли (v^*) [4] и б) параметры механизма взаимодействия океана и атмосферы: частота встречаемости типов атмосферной циркуляции Вангенгейма-Гирса (западный W, восточный E, меридиональный C) [5]. Оценка СезХ потоков тепла и внешних факторов, а также связи между ними исследованы с помощью гармонического и корреляционного методов анализа [11].

* Безразмерная величина, равная отношению отклонения действительной длительности земных суток T от эталонной $P = 86400$ с к длительности эталонных суток P , $v = -(T-P)/P$ [4].

РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты наших расчетов потоков тепла представлены в табл. 1 и 2. В табл. 1 показаны величины потоков ($Вт/м^2$), средние для моря в целом и экстремальные для морских районов [7, рис. 1], а в табл. 2 – доля отдельных суббассейнов в интегральной теплоотдаче (10^{12} Вт), общей для всего моря. Из этих таблиц следует, что наибольший вклад в суммарное тепло Q ($28,04 \cdot 10^{12}$ Вт) составляет скрытое Q_E ($21,47 \cdot 10^{12}$ Вт или 77 %), при этом максимальная доля Q_E приходится на Собственно Балтику ($13,97 \cdot 10^{12}$ Вт или 65 %), наименьшая – на Рижский залив ($1,01 \cdot 10^{12}$ Вт или 5 %). Доля остаточного тепла Q_Σ в потоке суммарного Q составляет ($15,05 \cdot 10^{12}$ Вт или 54 %), при этом, как и для других потоков тепла, максимальная доля Q_Σ ($9,57 \cdot 10^{12}$ Вт или 64 %) приходится на Собственно Балтику, минимальная ($0,62 \cdot 10^{12}$ Вт или 4 %) – на Рижский залив.

Таблица 1. Средние и предельные за 1951-2000 гг. значения потоков тепла ($Вт/м^2$) в Балтийском море, рассчитанные по данным атласа [1] и методике С. К. Гулева [2]
Table 1. Mean and maximum values of heat fluxes (W/m^2) in the Baltic Sea for the period of 1951-2000, calculated on the basis of the data from the Atlas [1], methodology suggested by S. K. Gulev [2]

Статистики	Характеристики потоков тепла				
	Q_H	Q_E	Q	Q_{Pr}	Q_Σ
Среднее	17,6	57,6	75,2	34,8	40,4
Максимум	43,4	62,9	101,8	66,2	65,3
Минимум	1,9	50,7	55,5	30,8	17,4

Таблица 2. Суммарная годовая за 1951-2000 гг. теплоотдача и количество усвоенного атмосферой тепла (10^{12} Вт) в Балтийском море, рассчитанные по данным атласа [1] и методике С. К. Гулева [2]
Table 2. Total annual heat transport for the period of 1951-2000 and amount of heat absorbed by the atmosphere (10^{12} W) in the Baltic Sea, calculated on the basis of the data from the Atlas [1], methodology suggested by S. K. Gulev [2]

Регион	Площадь зеркала		Q_H		Q_E		Q		Q_{Pr}		Q_Σ	
	($км^2$)	(%)	10^{12} Вт	(%)	10^{12} Вт	(%)	10^{12} Вт	(%)	10^{12} Вт	(%)	10^{12} Вт	(%)
Ботнический залив	93279	25,0	2,08	31,7	5,02	23,4	7,10	25,3	3,51	27,0	3,59	23,8
Финский залив	25112	6,7	0,76	11,6	1,47	6,9	2,24	8,0	0,96	7,4	1,28	8,5
Рижский залив	19314	5,2	0,38	5,7	1,01	4,7	1,39	4,9	0,77	5,9	0,62	4,1
Собственно Балтика	235030	63,1	3,35	51,0	13,97	65,1	17,32	61,8	7,75	59,7	9,57	63,6
Балтика в целом	372735	100	6,57	100	21,47	100	28,04	100	12,99	100	15,05	100

Соотношение явного тепла к скрытому составляет $Q_H/Q_E = 0,31$, явного к суммарному – $Q_H/Q = 0,23$, используемого атмосферой к суммарному – $Q_{Pr}/Q = 0,46$ (см. табл. 1, 2). Следовательно, атмосфера над Балтикой использует 46 % морского тепла.

Результаты гармонического анализа СезХ потоков тепла над Балтикой и вынуждающих сил представлены в табл. 3, 4. Как видно, для всех потоков в СезХ

выявлено преобладание годовой волны, причем не только для моря в целом (квота годовой волны $q_I = 0,86 \div 0,96$), но и для отдельных морских районов, для которых вклад первой гармоники $q_I \geq 0,56$. Наименьшей амплитудой годовой волны отличается Q_{Pr} ($A_I = 11,3 \text{ Вт/м}^2$), для Q_H и Q_E амплитуда возрастает до $34 \div 37$, а для Q_Σ и Q – до $60 \div 64 \text{ Вт/м}^2$. Наступление максимума в годовом ходе потоков в среднем для моря приходится на холодное полугодие – от сентября (Q_{Pr}) до декабря (Q_H) (см. табл. 3).

Таблица 3. Гармонические постоянные (средние и предельные значения) сезонного хода потоков тепла (Вт/м^2) в Балтийском море за 1951-2000 гг., рассчитанные по данным атласа [1] и методике С. К. Гулева [2]

Table 3. Harmonic components (mean and maximum values) of seasonal variation of heat fluxes (W/m^2) in the Baltic Sea for the period of 1951 – 2000, calculated on the basis of the data from the Atlas [1], methodology suggested by S. K. Gulev [2]

Параметр	Гармоники						A_I/A_{II}	A_0
	I (годовая волна)			II (полугодовая волна)				
	Амплитуда I	Дата I	Квота I	Амплитуда II	Дата II	Квота II		
Q_H	34,0	10.12	0,860	13,0	01.01(01.07)	0,125	2,62	17,6
Максимум	114,1	31.12	0,946	43,6	19.06(19.12)	0,258	4,53	43,4
Минимум	24,2	01.01	0,646	4,19	02.01(02.07)	0,046	1,58	1,9
Q_E	37,4	16.10	0,956	6,5	08.02(08.08)	0,029	5,72	57,6
Максимум	77,9	05.12	0,970	19,6	08.02(08.08)	0,195	16,66	62,9
Минимум	10,9	16.08	0,564	2,2	22.06(22.12)	0,003	1,99	50,7
Q	63,8	11.11	0,929	16,1	13.01(13.07)	0,059	3,96	75,2
Максимум	43,6	21.12	0,994	53,4	16.06(16.12)	0,299	30,71	101,8
Минимум	7,6	06.09	0,622	2,5	09.01(09.07)	0,001	1,44	14,8
Q_{Pr}	11,3	08.09	0,921	1,1	23.01(23.07)	0,009	10,12	34,8
Максимум	116,1	23.09	0,952	3,5	27.06(27.12)	0,093	44,2	39,7
Минимум	12,7	21.08	0,742	0,4	08.01(08.07)	0,000	2,82	30,1
Q_Σ	59,7	21.11	0,928	15,0	12.01(12.07)	0,059	3,97	43,8
Максимум	116,1	28.12	0,995	53,4	05.06(05.12)	0,290	39,21	65,3
Минимум	35,1	09.09	0,592	1,9	10.01(10.07)	0,001	1,43	19,3

Анализ осредненного СезХ первых двух внешних факторов показал, что их ход характеризуется двумя максимумами и двумя минимумами. Причем ППОСЛиС совершает две почти правильные полуволны с максимумами в апреле и октябре и минимумами в январе и июле ($q_{II} = 0,97$), а v – две неправильные: с января по апрель вращение Земли замедляется, с апреля по август – ускоряется, с августа по ноябрь – вновь замедляется и с ноября по январь – снова ускоряется ($q_{II} = 0,42$). В годовом ходе индексов циркуляции атмосферы максимум повторяемости формы W отмечается в октябре, минимум – в апреле-мае ($q_I = 0,76$); формы E – максимум – в апреле-мае и июле, минимум – в октябре ($q_I = 0,69$) и формы C – максимум – в мае и сентябре,

минимум – в марте и ноябре ($q_I = 0,20$; $q_{II} = 0,23$). Таким образом, в годовом ходе индексы W и E меняются в противофазе (табл. 4).

Таблица 4. Гармонические постоянные сезонного хода геокосмических сил (ППОСЛиС (m^2/c^2) [3] и угловая скорость вращения Земли v [4]) и индексов циркуляции атмосферы (W, E и C) [5] за 1951-2000 гг.

Table 4. Harmonic components of seasonal variation of geo-cosmic forces: potential of tide-generating force of the moon and the sun (m^2/s^2) [3]; earth's angular velocity v [4] and atmospheric circulation indices (W, E and C) [5] for the of period 1951 –2000

Параметр	Гармоники						A_I/A_{II}	A_0
	I (годовая волна)			II (годовая волна)				
	Амплитуда I	Дата I	Квота I	Амплитуда II	Дата II	Квота II		
ППОСЛиС	17,8	14.12	0,025	111,8	28.03(28.09)	0,972	0,16	3,0
v	42,7	03.08	0,556	37,2	22.01(22.07)	0,416	1,17	-229,3
W	2,5	07.11	0,758	0,1	18.05(18.11)	0,001	48,00	8,2
E	2,2	05.05	0,690	0,4	27.01(27.07)	0,018	6,28	14,8
C	0,5	04.07	0,201	0,5	04.05(04.11)	0,225	0,95	7,4

Анализ распределения корреляционных функций между СезХ геокосмических сил и потоков тепла позволяет отметить следующее:

1. ППОСЛиС не может служить предиктором потоков тепла Q_H , Q_E , Q , Q_{Pr} , Q_{Σ} на Балтике. Во-первых, из-за невысокой тесноты связи между потенциалом и параметрами ($r \leq 0,35 \div r \geq (-0,48)$), во-вторых, из-за выявленной полугодовой периодичности (в то время как СезХ потоков в основном определяется годовой волной).

2. При анализе корреляционных функций между v и потоками для среднего СезХ по Балтике, хотя и отмечаются их высокие максимальные положительные значения связи ($r = 0,65 \div 0,86$), однако корреляционная функция выявила две неправильных полуволны.

Анализ распределения корреляционных функций между СезХ индексов циркуляции атмосферы и потоков тепла (рисунок) показал:

- высокую синхронную (или с учетом сдвига) тесноту связи между формой циркуляции W или E и потоками тепла ($r = 0,79 \div 0,85$ или $r = (-0,76) \div (-0,85)$);

- синхронную (или с учетом сдвига) тесноту связи между формой циркуляции C и потоками тепла ($r = 0,45 \div 0,56$ или $r = (-0,42) \div (-0,51)$);

- существование годовой периодичности между W или E и потоками тепла;

- синхронно с наступлением максимума индекса W появление максимумов в годовом ходе для Q и Q_{Σ} , через 9 мес. после прихода максимума – для Q_H , через 10 мес. – Q_{Pr} , через 11 мес. – Q_E (см. рис. а);

- через 3 мес. после наступления максимума индекса E появление максимума для Q_H , через 4 мес. – Q_{Pr} , через 5 мес. – Q_E , через 6 мес. – Q и Q_{Σ} , поскольку индексы W и E противофазны (см. рис. б);

- через 2 мес. после наступления максимума индекса C появление максимума в годовом ходе для Q_H и Q_{Pr} , через 3 мес. – Q_E , через 4 мес. – Q и Q_{Σ} .

Таким образом, индексы форм циркуляции W и E вполне могут служить предиктором для СезХ потоков тепла Q_H , Q_E , Q , Q_{Pr} , Q_Σ .

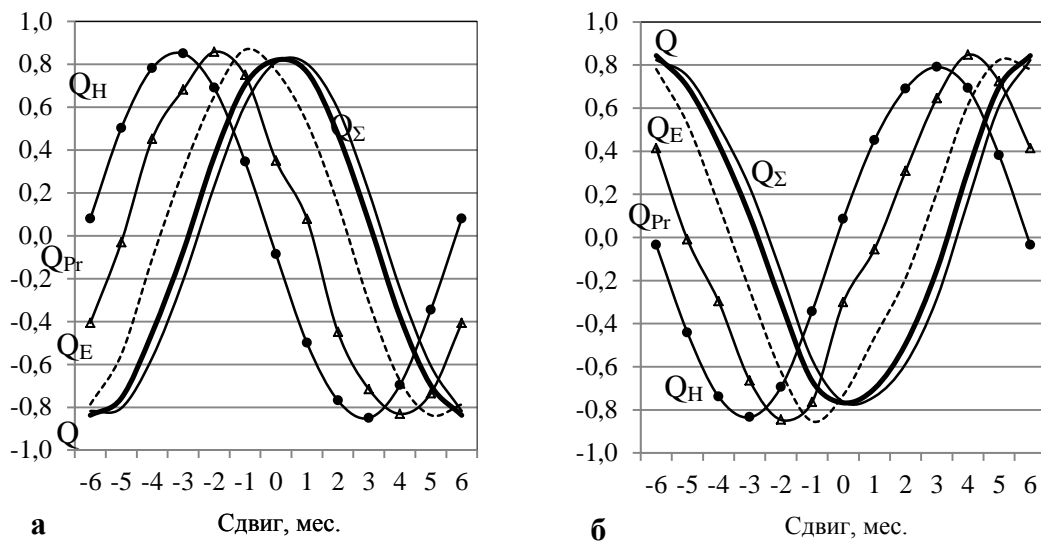


Рис. Корреляционные функции между сезонным ходом, средним за 1951-2000 гг., индексов циркуляции атмосферы W (а) или E (б) и потоков тепла (рассчитано по данным источников [1, 5])

Fig. Correlation functions between mean seasonal variation in atmospheric circulation indices W (a) or E (b) for the period of 1951 – 2000 and heat fluxes (calculated using the data from sources [1, 5])

ВЫВОДЫ

1. На основании данных гидрометеополей, представленных в атласе [1], получены климатические (средние для месяцев и года за 1951-2000 гг.) значения потоков тепла ($Вт/м^2$) для Балтийского моря, его суббассейнов и морских районов: явного Q_H , скрытого Q_E , суммарного Q , используемого атмосферой Q_{Pr} и остаточного Q_Σ по методике С. К. Гулева [2]. Климатические средние для Балтики потоки таковы: $Q_H = 17,6$; $Q_E = 57,6$; $Q = 75,2$; $Q_{Pr} = 34,8$ и $Q_\Sigma = 40,4$ $Вт/м^2$.

2. Внутригодовая изменчивость потоков тепла характеризуется годовой волной, при этом не только для моря в целом (квота $q_1 = 0,86 \div 0,96$), но и для отдельных морских районов (вклад первой гармоники $q_1 \geq 0,56$). Наименьшей амплитудой годовой волны отличается Q_{Pr} ($A_1 = 11,3$ $Вт/м^2$), для Q_H и Q_E амплитуда возрастает до 34,0 и 37,4 $Вт/м^2$, а для Q_Σ и Q – до 59,7 и 63,8 $Вт/м^2$. Наступление максимума в годовом ходе потоков в среднем для моря приходится на холодное полугодие – от сентября (Q_{Pr}) до декабря (Q_H).

3. Корреляционный анализ между СезХ потоков тепла Балтики в целом и некоторых вынуждающих сил показал, что индексы форм циркуляции W и E вполне могут служить предиктором для СезХ потоков (Q_H , Q_E , Q , Q_{Pr} , Q_Σ). Это утверждение основывается на следующем:

- установлена высокая (значимая) синхронная (или с учетом сдвига) теснота связи между формой циркуляции W или E и потоками тепла ($r = 0,79 \div 0,85$ или $r = (-0,76) \div (-0,85)$);

- имеется четкое указание на существование годовой периодичности между W или E и потоками тепла;
- синхронно с наступлением максимума индекса W наблюдаются максимумы в годовом ходе для Q и Q_{Σ} , через 9 мес. после появления максимума – для Q_H , через 10 мес. – Q_{Pr} , через 11 мес. – Q_E ;
- через 3 мес. после прихода максимума индекса E отмечен максимум для Q_H , через 4 мес. – Q_{Pr} , через 5 мес. – Q_E , через 6 мес. – Q и Q_{Σ} .

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Feistel, R. State and Evolution of the Baltic Sea, 1952–2005. A Detailed 50-Year Survey of Meteorology and Climate, Physics, Chemistry, Biology, and Marine Environment / R. Feistel, G. Nausch, N. Wasmund. – 2008. – <http://www.io-warnemuende.de/projects/baltic/index.html>.
2. Гулев, С. К. Роль различных временных масштабов в процессах энергообмена океана и атмосферы / С. К. Гулев, В. В. Украинский // Известия АН СССР. ФАО. – 1989. – Т. 25. – № 7. – С. 675-687.
3. Воробьев, В. Н. Долгопериодные приливы в морях Советской Арктики: приложение к дис. / В. Н. Воробьев. – Ленинград: Фонды ЛВИМУ, 1967.
4. Сидоренков, Н. С. Планетарные атмосферные процессы / Н. С. Сидоренков // Атлас временных природных, антропогенных и социальных процессов: в 2 т. – Т. 2. Циклическая динамика в природе и обществе. – 1998. – С. 274-277.
5. Дмитриев, А. А. Космос, планетарная климатическая изменчивость и атмосфера полярных регионов / А. А. Дмитриев, В. А. Белязо. – Санкт-Петербург: Гидрометеиздат, 2006. – 358 с.
6. Тимонов, В. В. Очаги взаимодействия океана и атмосферы / В. В. Тимонов // Труды ЛГМИ. – 1970. – Вып. 32 [Iss. 32]. – С. 69-75.
7. Дубравин, В. Ф. Атлас пресноводного баланса Балтийского моря / В. Ф. Дубравин, Г. Е. Маслянкин. – Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, Saarbrücken, 2012. – 172 с.
8. Атлас теплового баланса земного шара / ред. М. И. Будыко. – Москва, 1963. – 69 с.
9. Дубравин, В. Ф. Эволюции гидрометеорологических полей в Балтийском море / В. Ф. Дубравин. – Калининград: Капрос, 2014. – 438 с.
10. Шулейкин, В. В. Связь между климатом Европы и переносом тепла в Атлантике / В. В. Шулейкин // Известия АН СССР. ФАО. – 1968. – Т. IV. – № 3. – С. 243-261.
11. Брукс, К. Применение статистических методов в метеорологии / К. Брукс, Н. Карузертс. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1963. – 416 с.

REFERENCES

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

2. Gulev S. K., Ukrainskij V. V. Rol' razlichnyh vremennyh masshtabov v processah jenergoobmena okeana i atmosfery [The role of different time scales in the process of ocean - atmosphere energy exchange]. *Izvestija AN SSSR, FAO*, 1989, vol. 25, no. 7, pp. 675-687.
3. Vorob'ev V. N. *Dolgoperiodnye prilivy v morjah Sovetskoj Arktiki: prilozhenie k dis.* [Long-period tides in the seas of the Soviet Arctic: supplement to the disk.]. Leningrad, Fondy LVIMU, 1967.
4. Sidorenkov N. S. *Atlas vremennyh prirodnyh, antropogennyh i social'nyh processov* [Atlas of temporary natural, anthropogenic and social processes]. 1998, vol. 2, pp. 274-277.
5. Dmitriev A. A., Beljazo V. A. *Kosmos, planetarnaja klimaticeskaja izmenchivost' i atmosfera poljarnyh regionov* [Space, planetary climatic variability and atmosphere of polar regions]. Saint-Petersburg, Gidrometeoizdat, 2006, 358 p.
6. Timonov V. V. Ochagi vzaimodejstvija okeana i atmosfery [Areas of the ocean-atmosphere interaction]. *Trudy LGMI* [Proceedings of the Leningrad Hydrometeorological Institute]. 1970, iss. 32, pp. 69-75.
7. Dubravin V. F., Masljankin G. E. *Atlas presnovodnogo balansa Baltijskogo morja* [Atlas of the Baltic Sea fresh-water balance]. Germany, Izd-vo LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, Saarb-rücken, 2012, 172 p.
8. *Atlas teplovogo balansa zemnogo shara* [Atlas of heat balance on the Earth]. Moscow, 1963, 69 p.
9. Dubravin V. F. *Jevoljucii gidrometeorologicheskikh polej v Baltijskom more* [Evolutions of the hydrometeorological fields in the Baltic Sea]. Kaliningrad, Kapros, 2014, 438 p.
10. Shulejkin V. V. Svjaz' mezhdu klimatom Evropy i perenosom tepla v Atlantike [Relationship between the climate in Europe and the heat transfer in the Atlantic]. *Izvestija AN SSSR, FAO*, 1968, vol. 4, no. 3, pp. 243-261.
11. Bruks K., Karuzers N. *Primenenie statisticheskikh metodov v meteorologii* [Application of statistical methods in meteorology]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1963, 416 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

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

Dubravin Vladimir Filippovich – The Atlantic Branch of the P.P. Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences; Grand PhD in Geographic sciences, Associate Professor, leading researcher; E-mail: v_dubravin@mail.ru

Маслянкин Григорий Евгеньевич – Атлантический научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (АтлантНИРО); кандидат биологических наук, заместитель директора; E-mail: promrazvedka_05@mail.ru

Maslyankin Grigory Evgen'evich – Atlantic Research Institute of Fisheries and Oceanography (AtlantNIRO); PhD in Biological sciences, Deputy Director; E-mail: promrazvedka_05@mail.ru

УДК 597.54(262.81)(06)

VARIATIONS IN THE ACOUSTIC TARGET STRENGTH OF COMMON
KILKA (*CLUPEONELLA CULTRIVENTRIS*)

P. Zare, S. V. Shibaev, S. M. Kasatkina, H. Fazli

ИЗМЕНЧИВОСТЬ АКУСТИЧЕСКОЙ СИЛЫ ЦЕЛИ КИЛЬКИ
ОБЫКНОВЕННОЙ (*CLUPEONELLA CULTRIVENTRIS*)

П. ЗАРЕ, С. В. ШИБАЕВ, С. М. КАСАТКИНА, Х. ФАЗЛИ

The objective of this study was to improve knowledge about the acoustic target strength (TS) of common kilka (*Clupeonella cultriventris*) and to provide a target strength model for this species based on some biological factors (length, weight, percentage of maturing females, and the condition factor). Understanding the influence of biological characteristics on the target strength of fish is important in obtaining accurate acoustic assessments of fish biomass and abundance. In situ acoustic target strength measurements of common kilka were collected during winter (February-March) 1997 in Iranian waters of Caspian Sea, using a calibrated Simrad EK500 echosounder with 38 kHz split-beam transducer. The results of this study showed a rather large variability in the mean TS estimates of common kilka (4.5 dB), despite a small range in the mean fish length at the sampling sites (0.6 cm). This variability in target strength of individuals of the same length is attributable to factors other than size because a significant correlation between the mean TS and the percentage of maturing females was found. On the basis of analysis of the data on TS we obtained a new TS-L dependence for common Kilka. The TS model was estimated to be $TS = 20 \log L - 67.2$ for the conventional relationship between TS and length, but $TS = 20 \log L - 0.067(MF) - 64.1$ when the effect of percentage of maturing females (MF, %) was included in the equation. These results will help improve the acoustic estimates of common kilka abundance.

Clupeonella cultriventris, in situ target strength, biological factors, Caspian Sea

Цель настоящей работы состоит в том, чтобы повысить знания о силе цели (TS) акустической кильки обыкновенной (*Clupeonella cultriventris*) и обеспечить модель силы цели этого вида, основываясь на некоторых биологических факторах (длина, вес, процентное содержание половозрелых самок, коэффициент упитанности). Понимание влияния биологических характеристик на силу цели рыбы имеет важное значение для получения точных акустических оценок биомассы и численности рыб. *In situ* акустическая сила цели кильки обыкновенной была собрана в течение зимнего сезона (февраль-март) 1997 г. в иранских водах Каспийского моря с использованием калиброванного научного эхолота EK500 (вибратор с расщепленным лучом, частота 38 кГц). Результаты этого исследования показали существенные изменения в средних оценках TS кильки обыкновенной (4,5 дБ), несмотря на небольшой диапазон в средней длине рыбы в зонах отбора проб (0,6 см). Эта изменчивость TS особей одинаковой длины не связана с их разме-

ром, так как нами была обнаружена значительная корреляция (взаимоотношение) между средними значениями TS и процентным содержанием половозрелых самок. На основе анализа данных TS в статье представлены полученные нами новые TS-L зависимости на частоте 38 кГц для кильки обыкновенной. Модель TS была оценена как $TS = 20 \log L - 67.2$ для обычного соотношения между силой цели и длиной, но $TS = 20 \log L - 0.067(MF) - 64,1$, когда эффект процентного содержания половозрелых самок (MF,%) был включен в уравнение. Эти результаты помогут улучшить акустические оценки численности кильки обыкновенной.

Clupeonella cultriventris, акустические съемки, сила цели *in situ*, биологические параметры, Каспийское море

INTRODUCTION

For many fisheries hydroacoustic applications, it is desirable to accurately estimate the size of individual fish detected acoustically [1]. Acoustic surveys often rely on a measure of total backscattering from the surveyed fish (echo integration [EI]) in assessing fish populations. The target strength (TS) is the log₁₀ value in decibels (dB) of an individual backscattering cross-sectional area [2]. Absolute fish abundance can be calculated from EI if TS is known. When interpreting results from an acoustic survey of fish, it is important to recognize the stochastic nature of the TS [3] and its possible dependence on many factors. It has been known that TS is influenced significantly by fish length, fish orientation, and acoustic frequency, feeding state and gonad development, depth (for fish with swimbladder), fat content, and physical environment [3-6]. Despite the importance of TS value in fisheries hydroacoustics, very few measurements on target strength have been made for three species kilka of the Caspian Sea.

Common kilka (*Clupeonella cultriventris*) is a small pelagic fish of the herring family, Clupeidae. It is found in the Black Sea, Caspian Sea and Sea of Azov and rivers of its basins. This fish, along with two other kilka species anchovy kilka (*Clupeonella grimmi*), and bigeye kilka (*Clupeonella grimmi*), is considered an important component in the Caspian ecosystem being the food source of fish especially sturgeon species and Caspian seal [7] as well as a target for local fisheries. In the Caspian Sea ecosystem, common kilka inhabits in the coastal zone with depth less than 70 m and its high density was observed in depths less than 50 m [8]. This euryhaline species [9] spends a wintering period in southern Caspian and afterwards, mainly has a northward spring migration for spawning [8].

The annual catches of common kilka increased from about 3075 t in 1995 to 13015 t in 1999, and then dropped to less than 5000 t in 2001. From 2002 onwards, the relative catch of anchovy and big-eye kilka collapsed, and their levels reached to 1.8 and 1.2 %, respectively, in 2009. However, the catch rate of the common kilka was recorded as 24400 t in 2009 (comprising 97% of total catches) [10].

With decreasing of catches and changing of catch composition of three species kilka in the recent years, there is a demand for fishery-independent data (acoustic surveys) to support kilka abundance estimation and management. However, one of the major problems regarding the estimates of acoustically derived abundance and biomass is the knowledge of target strength (TS) of a target fish species in the study area. At present, this problem remains unresolved for clupeids species of the Caspian Sea.

The purpose of the present study is to estimate the target strength for common kilka using data obtained from the acoustic surveys carried out in winter 1997 and to pay special attention to analyze variations in TS values in relation to fish biological characteristics (length, weight, percentage of maturing females, and the condition factor), and depth of the fish distribution.

MATERIALS AND METHODS

The data used in this study were made on board the RV “Guilan”, a 29.5-m stern trawler designed for trawl-acoustic surveys. Data were collected during winter (February- March) season in 1997 in the Iranian waters of the Caspian Sea. During survey, the expected areas were covered by a network of parallel (in deep waters) or zigzag (in shallow waters) transects adapted to the topography.

The Simrad EK500 scientific echo sounder was run continuously during surveys, so acoustic data were available for each trawl station. The echosounder was calibrated using a standard copper sphere at the start of survey [11-12]. Relevant instrument settings are listed in Table 1.

Table 1. Simrad EK500 echosounder parameters and settings for common kilka TS measurements

Таблица 1. Параметры и настройки эхолота Simrad EK500 для измерений TS кильки обыкновенной

Echosounder parameter	Value	Unit
Frequency	38	kHz
Transducer model	Simrad split-beam ES38B	
Pulse duration	1.0	ms
Maximum power	2000	W
Bandwidth	3.8	kHz
Beam width - 3 dB power	7.2	degree
Absorption coefficient	4	dB km ⁻¹
Angle sensitivity	21.9	
Pulse interval	auto-calibration	S
TS threshold	-70	dB
TS transducer gain	26.6	dB
SV transducer gain	26.9	dB
TS of sphere	-33.6	dB
Alongship offset angle	0.15	degree
Athwardship offset angle	-0.02	degree

Fish were collected by midwater trawl (stretched-mesh size of 250 mm in the forward sections and 8 mm in the codend) concurrent with target strength measurements. The trawl was towed at a speed of about 2.5 knots. The haul duration varied from 30-60 minutes, depending on the fish density. The trawl had a mouth height of ~ 24 m during trawling.

A random sample of about 3 kg fish was taken from each trawl catch and sorted to estimate the species composition. For common kilka, about 200 individuals caught were sorted into 0.5-cm fork length groups, and the number of fish in each 0.5-cm group

was counted to calculate the mean length of the fish. Then, the mean weight for each length group was calculated.

In this study, the maturity stage for female fish was determined using the six-degree macroscopic maturity. Fulton's condition factor (CF) [13] was calculated from:

$$CF = \frac{W}{(FL)^3} \times 100, \quad (1)$$

where CF is Fulton's condition factor, W the body weight of the fish (g), and FL the fork length (cm).

For those trawl stations where the number of by-catch species contributed >15% by number in catch or if fish length or TS values exhibited a bimodal distribution were not used in this study.

In our study, fish fork lengths (FL) were recorded. However, for comparison with other published TS results as a function of length, values of FL were converted to total length (TL) in centimeter, using the following regression:

$$TL = 0.0116 + 1.1101(FL). \quad (2)$$

The regression between TS and fish length was estimated as the widely used model:

$$TS = 20 \log TL + b_{20}, \quad (3)$$

where TL denotes the total length of the common kilka in centimeter and b_{20} the intercept term b with the slope term preset to "20".

Then, the general linear regression was utilized in an attempt to explain variations in TS or b_{20} using predictor variables: length, weight, percentage of maturing females, condition factor, and depth of the fish distribution.

The mean TS for each sample was calculated from the equivalent linear values, the acoustic backscattering cross-section (σ_{bs} in m^2) [6]. The results were then reconverted into the logarithmic form (TS) with:

$$TS = 10 \log_{10}(\sigma_{bs}). \quad (4)$$

RESULTS

The assumptions concerning dominance of only one species in each individual catch strongly limited the number of data taken into further analysis. Of 78 collections, only 3 were considered appropriate for TS estimation of common kilka. Table 2 shows the basic statistics of the collections of material included in determining common Kilka target strength. In this study, the mean lengths varied within very narrow limits, with mean fork length ranging from 9.4 to 10 cm. The size distributions of common kilka in the 3 samples suitable for TS analysis were unimodal. The state of maturity of the common kilka was variable from immature to stage IV of maturity in the three samples. However, the gonads of most fish were in maturity stages 2-3. The mean Fulton's condition factor for species was in the range 0.786-0.829 (with a mean of 0.810 from combined data).

The mean TS value of the common kilka ranged from -43.7 to -48.2 dB (with a mean of -46.0 from combined data).

The relationship between TS and total length in the conventional form (Equation 2) was estimated to be:

$$TS = 20 \log TL - 67.2. \quad (5)$$

Table 2. Summary statistics of in situ target strength and the trawl catch data
Таблица 2. Сводная статистика данных силы цели *in situ* и тралового лова

Sample	Date	Time	Collection depth (m)	Mean length (FL, cm)	<i>C. cul-triventris</i> (% numbers)	Mean TS (dB)
1	97/02/17	13:56 – 14:56	31	9.8	88	-47.7
2	97/03/06	16:29 – 17:29	41	10	90	-48.2
3	97/03/06	20:58 – 21:28	31	9.4	87	-43.7

Of all factors considered, only the percentage of mature females had a significant effect on TS or b_{20} and a decreasing trend of TS or b_{20} with increasing the number of maturing females was clearly demonstrated. This trend was illustrated by Figure 1, where a shift of the mean TS or b_{20} towards lower TS or b_{20} with increasing the number of maturing females is evident. The equations to describe the dependency are:

$$TS = 0.058(\%MF) - 48.73, \quad (6)$$

$$b_{20} = 0.065(\%MF) - 69.08. \quad (7)$$

The coefficient of determination (r^2) of the regression was 0.99, i.e. 99 % of the variation of the TS of anchovy can be explained by the effect of maturing females.

There was no significant linear relationship between TS and other variables in common kilka ($P > 0.05$). However, there was a negative trend between TS and length, and between TS and weight. The negative effect of weight and length on TS could be due to different percentages of mature females in samples. It is assumed that ovary decreases swimbladder volume, which gave the less target strength.

The final TS model was obtained then substituting equation 7 into equation 2:

$$TS = 20 \log TL - 0.067(\%MF) - 64.1. \quad (8)$$

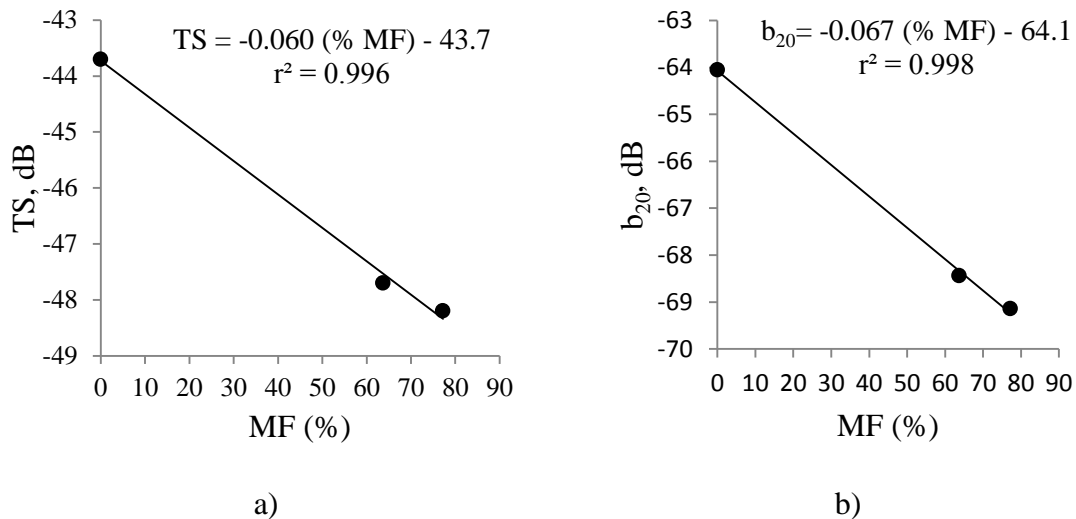


Fig. The dependence of target strength (TS) (a) and the coefficient b_{20} (b) on the percentage of females of anchovy kilka in the catch

Рис. Зависимость силы цели (TS) (a) и коэффициента b_{20} (b) от процентного содержания самок большеглазой кильки в улове

DISCUSSION

Abundance indices based on the data of acoustic surveys are the most important information to assess stock status and spatial distribution of fish. The accuracy of the acoustical estimates depends on the knowledge of fish target strength (TS). Few attempts, however, have been made to assess the TS of three species of kilka (*Clupeonella spp.*) in the Caspian Sea.

The fitted TS-to-length relationship for common kilka, in the standard form, based on *in situ* TS measurements at 38 kHz in the southern Caspian Sea from this study suggested the value b_{20} of this species is 3.6 dB lower than that found during *in situ* TS measurements in a previous study with three observations ($TS = 20 \log L - 70.8$) [14]. We conclude that the difference between TS-length relationships (in the standard form) for common kilka can be partly attributed to differences in data interpretation and methodology because the mean calculated in linear space is greater than the mean calculated in logarithmic space or the mode of the TS distribution.

To our knowledge, there are no studies on the factors affecting target strength of common kilka. Although the range of mean fish lengths for this study was low (9.4 to 10.0 cm), but we found that the TS can differ near for fish having the same values of the mean length. The difference of the mean TS was 4.5 dB in our investigation, despite a small range in the mean fish length (0.6 cm) at the sampling sites. A possible reason for this rather large variability in TS of common kilka could be due to different percentages of maturing females in samples. It is evident from our data (Fig.) that the percentage of maturing females has a significant effect on the acoustic-backscattering from this species. This indicated that the sexual dimorphism that exists between maturing females and males [15] may affect the acoustic properties of this species. Jørgensen showed that the maturing females of capelin (*Mallotus villosus*) tended to have lower normalised TS (b_{20}) than spent females and maturing males [16]. Ona reported that the decreasing of ~60% of swimbladder volume by gonad could reduce the target strength of the fish up to ~5 dB [5]. The results of our own investigations confirm previous conclusion that maturity stage, and sexual dimorphism may have important effects on swimbladder size, shape, and ultimately, TS, which may partly explain the rather large spread in the TS results for common kilka of nearly the same size.

CONCLUSION

Based on *in situ* TS measurements conducted from common kilka (1997), new TS-length relationships are suggested. It was found that the target strength of common kilka depends not only on the size of the fish, but also its biological state, and, above all, on the sexual dimorphism (the percentage of mature females). Seasonal and spatial variability of this indicator can be a significant factor of uncertainty in the estimates of indices of abundance and biomass obtained from acoustic surveys. This fact must be taken into account when developing the methodology of data collection and processing of acoustic surveys in the Caspian Sea. The use of equation (8) is likely to result in improving common kilka biomass and abundance indices estimation.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors are grateful to the Iranian Fisheries Research Organization (IFRO) which supported this research. We would like to thank the Caspian Sea Ecology Research Center of IFRO, for providing acoustic and biological data. We also

acknowledge the captain and crew of R/V “Guilan” for their kind assistance with the sampling and measurements.

REFERENCES

1. Warner, D. M., L. G. Rudstam, and R. A. Klumb. 2002. In situ target strength of alewives in freshwater. *Transactions of the American Fisheries Society* 131: 212–223.
2. Brandt, S.B. 1996. Acoustic assessment of fish abundance and distribution. Pages 385–432 in B.R. Murphy and D.W. Willis, editors. *Fisheries techniques* 2nd edition. American Fisheries Society, Bethesda, Maryland.
3. Fässler, S.M.M., Brierley, A.S., Fernandes, P.G., 2009. A Bayesian approach to estimating target strength. *ICES Journal of Marine Science*, 66, 1197–1204.
4. Foote, K.G. 1979. On representations of length dependence of acoustic target strengths of fish. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 36: 1490–1496.
5. Ona, E., 1990. Physiological factors causing natural variations in acoustic target strength of fish. *Journal of the Marine Biological Association UK*, 70, 107–127.
6. Simmonds E. J., MacLennan D. N. 2005. *Fisheries Acoustics: Theory and Practice*, Blackwell Science, London. 437 pp.
7. Leppäkoski, E., Shiganova, T., Alexandrov, B., 2009. European enclosed and semi-enclosed seas, in: Rilov, G., Crooks, J.A. (Eds.), *Biological invasions in marine ecosystems*. Berlin, Springer-Verlag, pp. 529–548.
8. Prikhodko B.I. 1981. Ecological features of the Caspian kilka (genus *Clupeonella*) // *Scripta Publishing Co.*, Pp. 27-35.
9. Svetovidov, A. N., 1963. *Fauna of U.S.S.R. fishes*. Vol. II. No. 1. Clupeidae, IPST, pp. 8-20.
10. Fazli, H, 2011. Some environmental factors effects on species composition, catch and CPUE of kilkas in the Caspian Sea. *International Journal of Natural Resources and Marine Sciences*, 1(2), 157-164.
11. Foote, K.G., Knudsen, H.P., Vestnes, G., MacLennan, D.N., Simmonds, E.J., 1987. Calibration of acoustic instruments for fish density estimation: a practical guide, 144. *ICES Cooperative Research Report*, pp. 69.
12. Anon. 1990, EK500 Scientific echo sounder. Instruction manual. P2172E. Operators manual, P2170E. Simrad AS, Horten, Norway.
13. Ricker, W.E., 1975. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations, 191. *Bulletin of the Fisheries Research Board of Canada*, pp. 382
14. Ermolchev, V.A., Bushueva, S.A. 2004. On the results of research on the target strength of main fishes in the Caspian Sea, in: Chernook V. (Eds.), *Improvement of instrumental methods for stock assessment of marine organisms*, Proceedings of the Russian-Norwegian Workshop on Hydroacoustics, PINRO Press, Murmansk, Russia. pp. 32-41.
15. Huse, G. 1998, Sex-specific life-history strategies in capelin (*Mallotus villosus*)? *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 55, 631–638.
16. Jørgensen, R. 2004. The effects of behaviour on the acoustic target strength of capelin (*Mallotus villosus*) and implications for acoustic abundance estimation. PhD thesis introduction, The Norwegian College of Fishery Science, University of Tromsø, Norway, pp.33.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Заре Парвиз – Калининградский государственный технический университет; аспирант кафедры «Ихтиологии и экологии»; E-mail: parvizzare58@yahoo.com

Zare Parviz – Kaliningrad State Technical University; Postgraduate student of the Department “Ichthyology and Ecology”; E-mail: parvizzare58@yahoo.com

Шибает 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 biological sciences, Professor, Head of the Department of Ichthyology and Ecology; E-mail: shibaev@klgtu.ru

Касаткина Светлана Михайловна – Атлантический научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии; заведующий лабораторией электронной техники морских исследований; E-mail: ks@atlant.baltnet.ru

Kasatkina Svetlana Mikhailovna – Research Institute of Marine Fisheries and Oceanography; Head of the Laboratory of Electronic Technology of Marine Researches; E-mail: ks@atlant.baltnet.ru

Фазли Хасан – Исследовательский центр экологии Каспийского моря; доцент, заведующий кафедрой биологии и оценке запасов рыб; E-mail: hn_fazli@yahoo.com

Fazli Hassan – Caspian Sea Ecology Research Center; Associate Professor, Head of the Department of Biology and Stock Assessment; E-mail: hn_fazli@yahoo.com

УДК 621.039:574.56+504.5

УНИФИЦИРОВАННАЯ ПРОГРАММА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА
ВОДНОГО ОБЪЕКТА, ПРЕДПОЛАГАЕМОГО К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ
В СИСТЕМЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ АЭС ДО ВВОДА
В ЭКСПЛУАТАЦИЮ, НА ПРИМЕРЕ БАЛТИЙСКОЙ АЭС

Е. В. Лунева

UNIFIED ENVIRONMENTAL MONITORING OF A WATER BODY INTENDED
TO BE USED IN THE SYSTEM OF NPP TECHNICAL WATER SUPPLY PRIOR
TO INITIAL OPERATION, THE CASE OF THE BALTIC NPP

E. V. Luneva

Проанализированы подходы к осуществлению экологического мониторинга естественных и искусственных водоемов, используемых в технологическом цикле АЭС. Доказано, что при проведении исследований отсутствует единый комплексный подход. Предложена структура унифицированной программы экологического мониторинга водного объекта, предполагаемого к использованию в системах водоснабжения и водопотребления АЭС до ввода ее в эксплуатацию, на примере Балтийской АЭС. Установлено, что оценку водоема необходимо проводить по совокупности факторов и компонентов экосистемы посредством организации комплексного экологического мониторинга. Основными направлениями при реализации наблюдательных работ должны стать: предварительное обследование с целью определения основных компонентов природной среды, нуждающихся в мониторинге; определение системы наблюдаемых показателей; измерение фоновых значений; отслеживание и моделирование экологической ситуации; составление краткосрочных и долгосрочных прогнозов; выдача рекомендаций и разработка мероприятий по минимизации негативного воздействия. Приоритетными при формировании программы комплексных наблюдений являются статус рассматриваемого водоема и степень его изученности. Так, в программу Балтийской АЭС были включены дополнительные ихтиологические наблюдения за массовыми видами в данной экосистеме; редкими видами, в том числе занесенными в Красную книгу области и России; хозяйственно ценными видами, используемыми в промысловом рыболовстве. Результаты, полученные в ходе проведения работы, применяются при разработке природоохранных мероприятий и обосновании инженерно-технических решений по минимизации воздействия сбросных вод Балтийской АЭС на биоту р. Неман на стадии ее проектирования и сооружения.

АЭС, экологический мониторинг, естественный фон, природно-техногенная система, водоем-охладитель, унифицированная программа мониторинга, Балтийская АЭС

The article is concerned with the analysis of approaches to the environmental monitoring of natural and artificial water bodies used in a technological cycle of nuclear

power plants. It has been proved that there is no a single comprehensive approach in conducting research. We proposed a structure for the unified program of environmental monitoring of a water body intended to be used in the systems of water supply of nuclear power plants prior to initial operation, using the example of the Baltic NPP. The main areas in the implementation of supervisory works should be a preliminary survey to determine the main components of the environment that require monitoring; definition of the system of observable parameters; measurement of background values; monitoring and modeling of the environmental situation; short-term and long-term forecasting, providing recommendations and elaboration of measures to minimize negative impact. A status of the observed water body and exploration degree should play a decisive role in formation of the program for complex observations. Thus, the program for the Baltic NPP included additional ichthyological observations over: dominant species that play an important role in this ecosystem; rare species, including those listed in the Red Book of the Russian Federation and the region; economically valuable species used in commercial fisheries. The results obtained in this research are used in the development of environmental actions and justification of engineering designs aimed at minimization of the impact of waste water of the Baltic NPP on the biota of the Neman River at the stage of its design and construction.

NPP, environmental monitoring, natural background, natural and technogenic system, cooling pond, a unified program of environmental monitoring of natural water bodies, the Baltic NPP

ВВЕДЕНИЕ

Обеспечение экологической безопасности работы атомных станций является приоритетной целью на всех этапах жизненного цикла АЭС и достигается за счет разных видов деятельности, в том числе:

- строгого следования требованиям законодательства Российской Федерации, действующих правил и норм по безопасности в атомной энергетике и государственных стандартов;
- обеспечения должной квалификации, организованности, четкости и исполнительности в работе персонала;
- воспитания приверженности персонала АЭС принципам культуры безопасности;
- открытого диалога с общественными и международными организациями.

Одним из важнейших видов деятельности, организуемых на АЭС для обеспечения экологической безопасности и защиты окружающей среды, является комплексный экологический мониторинг.

Обязанность организации и проведения экомониторинга на АЭС закреплена в ряде законодательных и нормативных документов. Система экологического мониторинга атомных станций описана отраслевыми нормативными документами, которые имеют общий характер. Каждая АЭС, руководствуясь ими, разрабатывает свою индивидуальную систему экологического мониторинга с учетом ее расположения, местных климатических, гидрогеологических и других условий. Необходимость создания такой системы особенно важна для строящейся Балтийской АЭС по следующим причинам:

1) район расположения АЭС находится на пограничной с Литовской Республикой территории Калининградской области, которая, в свою очередь, граничит с Республикой Польшей [1];

2) использование в технологическом цикле АЭС воды естественного водоема высшей рыбохозяйственной категории, имеющего большое рыбохозяйственное значение, – р. Неман [2];

3) биоресурсы р. Неман используются тремя государствами – Литовской Республикой, Республикой Беларусь и Российской Федерацией [3].

Вопросам экологического мониторинга эксплуатируемых АЭС уделяется достаточное внимание, в то время как экологический мониторинг строящихся АЭС проводится в большинстве своем формально, в рамках инженерных изысканий. Этим определяется актуальность работы. Предлагается разработка единого алгоритма проведения исследований естественных водоемов, предполагаемых к использованию в системах охлаждения АЭС до ввода ее в эксплуатацию посредством разработки унифицированной программы экологического мониторинга.

Цель данной работы – обоснование системы проведения экологического мониторинга р. Неман до ввода в эксплуатацию АЭС на примере Балтийской атомной электростанции.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалом для настоящей работы послужили отчеты по инженерным изысканиям строящихся и эксплуатируемых АЭС России, а также проектные данные по организации экологических наблюдений. Проанализирован подход к проведению экологического мониторинга естественных водоемов, планируемых к использованию в цикле оборотного техводоснабжения АЭС – строящихся Балтийской АЭС, Курской АЭС-2, Нововоронежской АЭС-2. Отмечено, что сооружение Курской и Нововоронежской АЭС ведется территориально на тех же площадках, в непосредственной близости от действующих АЭС. Соответственно, подходы к проведению мониторинга основываются на накопленных данных службами эксплуатации действующих АЭС. В период проведения проектно-изыскательских работ имеющаяся информация анализируется, проводятся дополнительные работы, необходимые для оценки влияния намечаемой хозяйственной деятельности на окружающую среду и население в соответствии с законодательными и нормативными актами РФ.

Проанализированы системы экологического мониторинга водоемов-охладителей действующих АЭС (Курской, Балаковской, Смоленской, Ростовской, Нововоронежской). Отмечено, что единого подхода к осуществлению исследований экосистем водоемов нет. Установлено, что при проведении экологического мониторинга водоемов отсутствует комплексный подход. Часто исследования сконцентрированы на изучении представителей только одного или нескольких компонентов экосистемы водоема или проводятся исключительно по гидрохимическим показателям, что не дает полной характеристики состояния водной среды. Использование искусственно-созданного водоема для технологических нужд АЭС отражается на осуществлении его исследований. Экомониторинг водоема-охладителя начинается с момента его наполнения, с пуском энергоблока. Естественные водные объекты, планируемые к использованию в технологическом цикле АЭС, требуют иного подхода, основанного на многолетних исследованиях, проводимых до ввода в эксплуатацию атомных станций.

Основными направлениями при реализации наблюдательных работ должны стать:

- предварительное обследование с целью определения основных компонентов природной среды, нуждающихся в мониторинге,
- определение системы наблюдаемых показателей,
- измерение фоновых значений;
- отслеживание и моделирование экологической ситуации,
- составление краткосрочных и долгосрочных прогнозов, выдача рекомендаций и разработка мероприятий по минимизации негативного воздействия.

На сегодняшний день Балтийская АЭС – это единственная АЭС России, сооружаемая на новой площадке. Ее территориальное расположение не только предполагает организацию мониторинга с «нуля», но и ставит первостепенные вопросы о необходимости оценки намечаемой хозяйственной деятельности на окружающую среду и население в трансграничном контексте.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Эксплуатация АЭС невозможна без использования водных объектов, необходимых для отвода остаточного тепла из теплоносителя контура реактора и подпитки агрегатов систем технического водоснабжения. С этой целью сооружаются искусственные водохранилища или используются существующие естественные водные объекты. В таком случае систему водоем - АЭС можно считать природно-техногенной системой (ПТС) с начала эксплуатации данных объектов. В ПТС условия работы АЭС определяют условия жизнедеятельности экосистемы водоема, а работа станции, в свою очередь, зависит от состояния этой экосистемы [4-6].

Известно, что на водные объекты, используемые в качестве источников технического водоснабжения, оказывается комплексное влияние.

В настоящее время все более очевидным становится тот факт, что конструирование технических систем, имеющих связь с водными объектами, невозможно без учета многих биотических и экологических факторов. Технические системы не только не должны оказывать негативного влияния на природную среду, здоровье человека, но и находиться под воздействием биологических факторов, нарушающих их нормальную работу [7].

В случае использования естественного водного объекта для целей охлаждения и подпитки систем технического водоснабжения АЭС в естественную структуру водоема встраиваются техногенные элементы, воздействующие на него в той или иной мере и приводящие к изменениям в его экосистеме. С момента начала взаимодействия АЭС с естественным водоемом система АЭС – естественный водный объект становится ПТС, элементы которой будут зависимыми друг от друга.

Таким образом, в период эксплуатации АЭС объектом исследования должна стать не просто экосистема водоема в ее биоэкологическом понимании, а нечто большее – система, образуемая самим водоемом, включающим абиотическую и биотическую составляющие, и АЭС. В этом случае АЭС рассматривается как один из элементов системы, которая оказывается в тесной связи со многими другими компонентами (рис. 1).

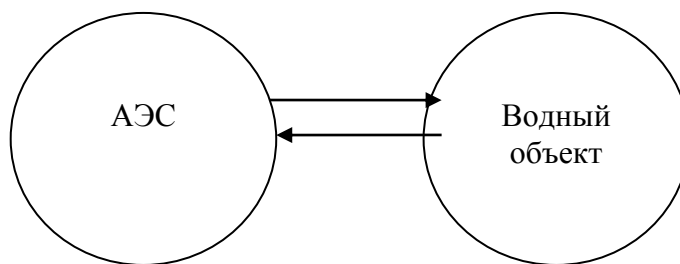


Рис. 1. Схема природно-техногенной системы (ПТС)
Fig. 1. Diagram of the natural and technogenic system

Поэтому данные, получаемые на стадии проектирования и строительства АЭС, особенно важны, так как определяют естественные параметры водоема. В период эксплуатации АЭС необходимо будет продолжить такой мониторинг, добавив в него элементы техносистемы. Накопленные сведения о состоянии экосистемы водоема должны подвергаться тщательному анализу для составления краткосрочных и долгосрочных прогнозов и разработки мероприятий для минимизации техногенного и/или биологического воздействия на ПТС.

Исходя из вышеприведенного, в настоящей работе предлагаются системные подходы к проведению экологического мониторинга естественного водного объекта, планируемого к использованию в технологическом цикле АЭС, – р. Неман.

Это даст возможность решить следующие приоритетные задачи:

1. Определить фоновые параметры естественного водоема до ввода в эксплуатацию АЭС, что позволит уточнить степень загрязненности водоема, наличие и состояние компонентов его экосистемы.

2. Организовать комплексный экологический мониторинг водного объекта, позволяющий проводить анализ изменений, происходящих в водной среде. Он станет базой для периода эксплуатации АЭС и позволит отслеживать эти изменения.

3. Спрогнозировать воздействие на естественный водный объект в период эксплуатации АЭС.

4. Оптимизировать технологические решения по минимизации негативного влияния на биоту водоема.

5. Минимизировать затраты на проведение мониторинга за счет правильно выстроенной структуры программы и определения основных индикаторов воздействия.

Разработка программы экологического мониторинга р. Неман является первым шагом в организации комплексных наблюдений естественного водоема.

Для этих целей была организована система предварительного мониторинга р. Неман, выявившая ряд технологических аспектов, которые потребовали доработки некоторых проектных решений [8]:

1. Изначально вместо проектируемого сосредоточенного выпуска было принято решение использовать рассеивающий выпуск, состоящий из десяти струенаправляющих насадок. Гидродинамическое моделирование в русле реки, проведенное с целью прогнозирования влияния сбросных вод Балтийской АЭС на экосистему р. Неман, показало, что благодаря процессам смешения и рассеивающему характеру сброса химическое, а также тепловое загрязнение речных вод ло-

кализуется вблизи водовыпуска и уже на расстоянии несколько метров соответствует природоохранным требованиям, снижая потенциальные (негативные) последствия теплового барьера (по сравнению с сосредоточенным водовыпуском) [9]. Выполненные гидродинамические модельные расчеты являются основой для оценки ущерба водным биоресурсам, прежде всего рыбным запасам р. Неман.

2. Оснащение рыбозащитного устройства водозаборного ковша запанью на входе, что позволит снизить ущерб от попадания молоди рыбы в водозаборный ковш. На сегодняшний день конструкция запани прорабатывается и на следующих стадиях проектирования будет включена в состав проектной документации Балтийской АЭС.

3. Рассмотрение возможности установки устройства дополнительного разбавления продувочной воды добавочной водой для снижения температуры на выходе в реку. Необходима детальная проработка целесообразности использования такого устройства, обоснованная расчетами с учетом дополнительных расходов на водозабор, увеличения ущерба от забора водных биоресурсов и необходимых эксплуатационных затрат.

Оценку водоема необходимо проводить по совокупности факторов и компонентов экосистемы посредством организации комплексного экологического мониторинга. Наглядно это продемонстрировано на рис. 2.

Предлагается последовательная организация комплексных работ, направленных на получение естественных характеристик водного объекта до ввода в эксплуатацию АЭС. Структура программы состоит из основных разделов:

1. Определение природно-климатических характеристик, включающее в себя следующие виды данных:

- топографические;
- аэрометеорологические;
- геологические;
- гидрологические;
- гидрогеологические;
- экологические.

2. Определение антропогенной нагрузки на водоем на водосборной площади в месте предполагаемого сброса сточных вод АЭС.

Стоит обратить внимание, что в условиях сформировавшихся промышленности, производства и сельского хозяйства, естественные водоемы, используемые АЭС в развитом урбанизированном секторе, уже испытывают значительное антропогенное воздействие. Такие водные объекты являются сложными ПТС, состоящими из множества элементов, воздействие которых способно повлиять на качество вод и, как следствие, условия обитания организмов в них. Следует отметить, что к загрязнению природных вод приводит даже самая примитивная хозяйственная деятельность на водосборной территории. Если экосистема водосбора не способна ассимилировать загрязняющие вещества, то они в конечном счете попадают в водные объекты. Интенсивная хозяйственная деятельность приводит к изменению биогеохимических условий на водосборе, что также сказывается на качестве поверхностных вод [10]. Поэтому необходимо выполнить исследования техногенной нагрузки на водоем в зоне размещения Балтийской АЭС на последующих стадиях сооружения в рамках комплексного экологического мониторинга. Учитывая, что река протекает по территории трех государств, которые потенци-

ально имеют источники негативного влияния на экосистему водоема (населенные пункты, объекты производства, сельскохозяйственные угодья, рекреационные объекты), нужно оценить воздействие каждого такого объекта, расположенного выше по течению от места размещения АЭС, на природные воды. Также следует провести анализ возможных аварийных ситуаций на потенциально опасных объектах, которые впоследствии могут привести к увеличению ПДК загрязняющих веществ ниже по течению от места водовыпуска атомной станции и негативно отразиться на деятельности гидробионтов.

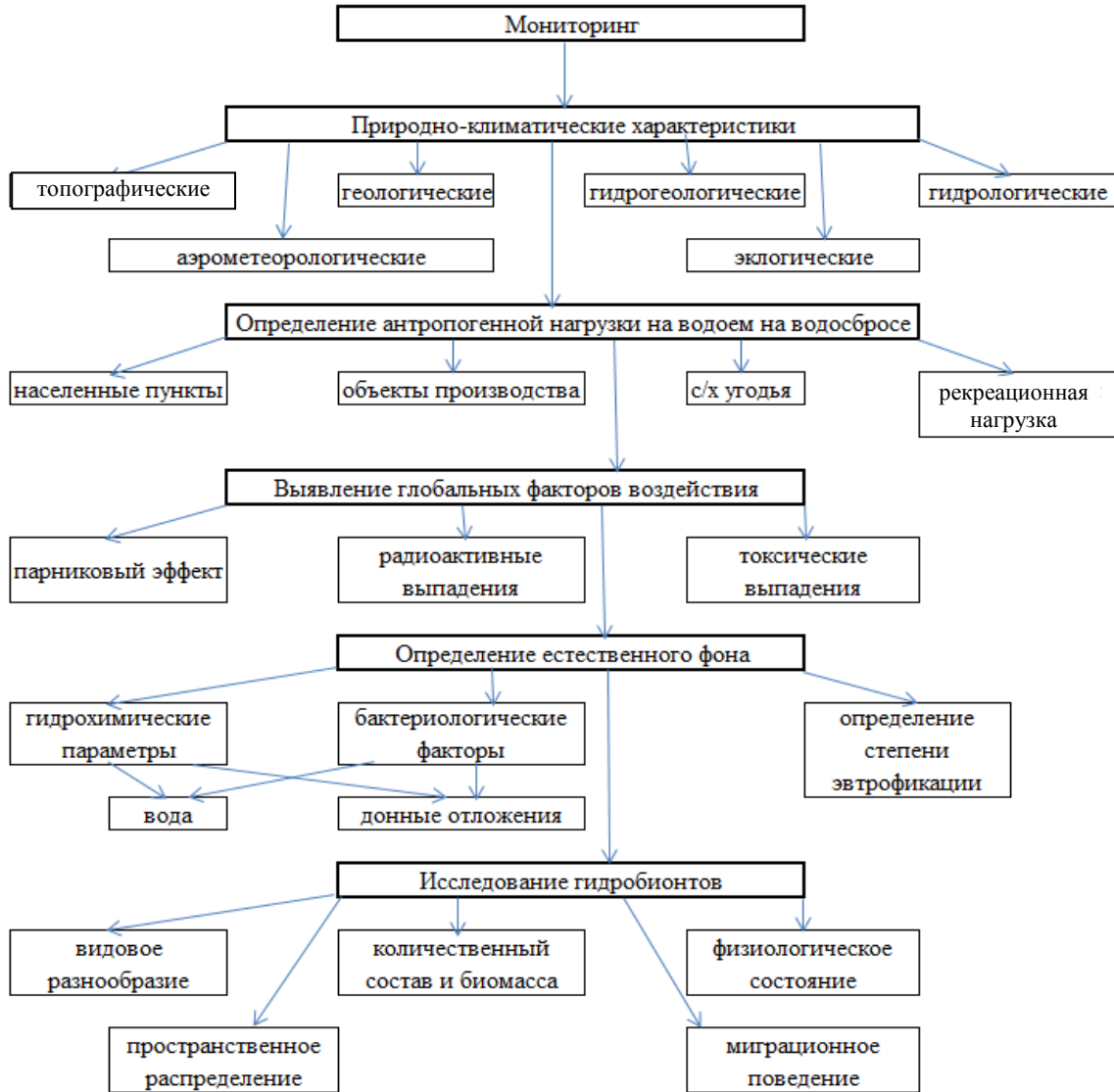


Рис. 2. Унифицированная схема экологического мониторинга естественного водоема до ввода в эксплуатацию АЭС

Fig. 2. Unified diagram of the environmental monitoring of a natural water body prior to the initial operation of NPP

Разделы 1, 2 нужно выполнить на стадии выбора площадки и начала проектных работ. Далее, до ввода в эксплуатацию АЭС необходимо определить есте-

ственный фон водоема. Здесь должен быть организован непрерывный комплекс работ, который в последующем будет базой для экомониторинга в процессе эксплуатации станции.

3. Выявление факторов, обусловленных воздействием антропогенных процессов, определенных глобальными явлениями, такими как:

- радиоактивные выпадения в результате аварий на радиационно опасных объектах, расположенных в других регионах;

- атмосферные выпадения, содержащие химические загрязнители, токсический эффект которых усиливается подогревом вод и др.;

4. Определение фоновых концентраций химических и биогенных элементов в воде и донных отложениях, а также уточнение степени эвтрофикации водного объекта.

5. Исследование гидробионтов, которому необходимо уделить особое внимание. Связано это, прежде всего, с высоким рыбохозяйственным статусом водоема и его сопредельным расположением. Река Неман обладает богатой ихтиофауной. Здесь обитают представители оседлых, проходных и полупроходных видов рыб, большинство из которых имеют ценное промысловое значение. В зависимости от специфики водоема необходимо определить объекты исследования, среди которых в обязательном порядке должны присутствовать:

- массовые виды, играющие важную роль в данной экосистеме;

- редкие виды, в том числе занесенные в Красную книгу области и России;

- хозяйственно ценные виды, используемые в промысловом рыболовстве.

Промысловое рыболовство на р. Немане ведут не только российские рыбаки, но и литовские. Одним из ценных видов, добываемых двумя странами, является корюшка, которая заходит на нерест в эту реку ранней весной [11]. Начиная с 2011 г. был организован мониторинг нерестового хода корюшки в р. Неман в зоне возможного воздействия Балтийской АЭС (при нормальной её эксплуатации) с целью уточнения ущерба рыбным запасам. Полученные результаты мониторинга нерестовой миграции корюшки в 2011-2014 гг. позволяют объективно подойти к оценке предварительного ущерба для этого вида рыб при предполагаемой деятельности Балтийской АЭС. Вместе с тем в настоящее время фактические данные о межгодовой изменчивости протяженности нерестовой миграции корюшки все еще слабо обоснованы, получение же корректных данных предполагает дальнейшее проведение мониторинговых работ до ввода в эксплуатацию Балтийской АЭС.

Учитывая изложенное, ихтиологический мониторинг будет важным элементом в период не только строительства, но и эксплуатации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, до начала эксплуатации АЭС, с момента выбора площадки под ее размещение, должны быть проведены комплексные исследования водоемов, предполагаемых к использованию в технологическом цикле АЭС. Полученные данные позволят оптимизировать проектные решения и обосновать мероприятия по охране окружающей среды на стадии получения лицензии на эксплуатацию. Основные работы должны быть проведены по следующим направлениям:

1) по уточнению современного состояния водного объекта, включая все его компоненты;

2) по выявлению промышленных и бытовых предприятий - загрязнителей, находящихся на территории водосборного бассейна, особенно в верховьях водотока:

- населенные пункты;
- сельскохозяйственные угодья;
- промышленные объекты;
- строительные объекты;
- рекреационная нагрузка;

3) по выявлению факторов, обусловленных воздействием антропогенных процессов, определенных глобальными явлениями, радиоактивными выпадениями в результате аварий на радиационно опасных объектах, расположенных в других регионах; атмосферные выпадения, содержащие химические загрязнители, токсический эффект которых усиливается подогревом вод;

4) по выявлению видов-индикаторов, имеющих выраженные тест-реакции на специфические токсиканты, которые будут использоваться в системе мониторинга АЭС;

5) по определению видов деятельности, так или иначе способных повлиять на качество водной среды.

Результаты проделанной работы используются при разработке природоохранных мероприятий и обосновании инженерно-технических решений по минимизации воздействия сбросных вод на биоту р. Неман на стадии проектирования и сооружения Балтийской АЭС.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Лунева, Е. В. Общий анализ влияния АЭС на экосистемы водоемов-охладителей / Е. В. Лунева // Водные биоресурсы, аквакультура и экология водоемов-2013: науч. конф. к 100-летию высшего рыбохозяйственного образования в России: труды (25-27 сент.) / Федер. Агентство по рыболовству; ФГБОУ ВПО «КГТУ». – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2013. – С. 345-347.

2. Лунева, Е. В. Оценка влияния эксплуатации атомных электростанций на биоту водоемов-охладителей / Е. В. Лунева // Экология, рациональное природопользование и охрана окружающей среды-2013: III Всерос. науч.-практ. конф.: материалы (14-15 ноября) / Лф СибГТУ. – Лесосибирск: Изд-во Лф СибГТУ, 2014. – Т.1 – С. 336-338.

3. Лунева, Е. В. Экологическая политика Балтийской АЭС и ее реализация на современном этапе строительства / Е. В. Лунева // Инновации в науке, образовании и бизнесе-2012: X Междунар. науч. конф.: материалы: в 3 ч. / Федер. Агентство по рыболовству; ФГБОУ ВПО «КГТУ». – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2012. – Ч. 1. – С. 138-140.

4. Егоров, Ю. А. Экологический мониторинг – основа обеспечения экологической безопасности человеческой деятельности для общества (на примере экологического мониторинга в регионах АЭС) / Ю. А. Егоров, А. Л. Суздалева // Региональная экология – 1999. – №3. – С. 17-22.

5. Егоров, Ю. А. Экологический мониторинг антропогенно-нагруженных водных экосистем / Ю. А. Егоров, А. Л. Суздалева // Экология 2000 - море и человек. - Таганрог: Известия ТРТУ (Тем. вып.) – 2006. С. – 13-18.

6. Егоров, А. Ю. Экологический мониторинг антропогенно-нагруженных водных экосистем (цели и задачи) на примере водоемов-охладителей АЭС / Ю. А. Егоров, А. Л. Суздалева // Тезисы докладов VIII съезда Гидробиологического общества РАН: в 3 т. – Калининград, 2001. – Т.2. – С. 123-124.
7. Протасов, А. А. Контурные группировки гидробионтов в техноэкосистемах ТЭС и АЭС / А. А. Протасов, А. А. Силаева. – Киев: Изд-во Ин-та гидробиологии НАН Украины, 2012. – 16 с.
8. Лунева, Е. В. Характеристика систем водоснабжения атомных станций в связи с оценкой воздействия строящейся Балтийской АЭС на водные биоресурсы реки Неман / Е. В. Лунева // Известия КГТУ. – 2013. – № 28. – С. 164-172.
9. Лунева, Е. В. Прогноз теплового воздействия сбросных вод Балтийской АЭС в период эксплуатации на основе численной гидродинамической модели реки Неман / Е. В. Лунева, Л. Н. Синдаловский, В. Г. Румынин // Известия КГТУ. – 2014. – № 32. – С. 63-73.
10. Сольский, С. В. Инженерная защита вод в природно-технических системах на техногенно-нагруженных территориях: автореф. дис. ...докт. техн. наук: 25.00.36 / Сольский Станислав Викторович; ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева – Санкт-Петербург. – 2007. – 8 с.
11. Биологические показатели корюшки реки Неман в период нерестовой миграции / С. В. Шибяев [и др.] // Известия КГТУ. – 2014. – № 32. – С. 99-106.

REFERENCES

1. Luneva E. V. Obshhij analiz vlijanija AJeS na jekosistemy vodoemov-ohladiatelej [General analysis of NPP influence on the ecosystems of cooling ponds] *Trudy nauchnoj konferencii k 100-letiju vysshego rybohozjajstvennogo obrazovanija v Rossii "Vodnye bioresursy, akvakul'tura i jekologija vodoemov-2013" (25-27 sentjabrja)* [Proceedings of the scientific conference dedicated to the 100th anniversary of higher fishery education in Russia "Water bioresources, aquaculture and ecology of water bodies-2013" (September 25-27)]. Kaliningrad, FGBOU VPO «KGTU», 2013, pp. 345-347.
2. Luneva E. V. Ocenka vlijanija jekspluatacii atomnyh jelektrostantsij na biotu vodoemov-ohladiatelej [Assessment of the impact of NPPs operation on the biota of cooling ponds]. *Materialy 3-j Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii "Jekologija, racional'noe prirodopol'zovanie i ohrana okruzhajushhej sredy-2013" (14-15 nojabrja)* [Proceedings of the 3rd All-Russian scientific conference "Ecology, environmental conservancy and environmental protection" (November 14-15)]. Lesosibirsk, Lf SibGTU, 2014, vol. 1, pp. 336-338.
3. Luneva E. V. Jekologicheskaja politika Baltijskoj AJeS i ee realizacija na sovremennom jetape stroitel'stva [Environmental policies of the Baltic NPP and its implementation at the present stage of construction]. *Materialy 10-j Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii "Innovacii v nauke, obrazovanii i biznese-2012"* [Proceedings of the 10th International scientific conference "Innovations in science, education and business-2012"]. Kaliningrad, FGBOU VPO "KGTU", 2012, vol. 1, pp. 138-140.
4. Egorov Ju. A., Suzdaleva A. L. Jekologicheskij monitoring – osnova obespechenija jekologicheskoi bezopasnosti chelovecheskoj dejatel'nosti dlja obshhestva (na primere jekologicheskogo monitoringa v regionah AJeS) [Environmental monitoring – the basis of ensuring the ecological safety of human activity for society (on the example of ecological monitoring in the regions of AJeS)]

УДК 664.9.022: 664.952/957

THE EFFECTS OF WATER SALINITY CHANGES ON Cl^- , Na^+ AND GLUCOSE
IN THE BLOOD PLASMA OF *SPARIDENTEX HASTA*

O. Ya. Mezenova, S. Keshtkar, E. Romiani, M. Zarei

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ СОЛЕННОСТИ ВОДЫ НА СОДЕРЖАНИЕ Cl^- , Na^+
И ГЛЮКОЗЫ В ПЛАЗМЕ КРОВИ МОРСКОГО ОКУНЯ (*SPARIDENTEX HASTA*)

О. Я. Мезенова, С. Кешткар, Е. Ромианй, М. Зарей

The blood markers are widely used as good indicators for fixing internal changes in the body of any living organism. In order to determine the responses of *Sparidentex hasta* to hypersaline and oligohaline water, we studied short term and long term exposure to different salinities. Obtained results suggest that the *Sparidentex hasta* is capable of tolerating direct exposure to salinities from 5 to 60‰ without showing mortalities. We studied the content of Cl^- , Na^+ and Glucose in fish under experiment. The amount of Cl^- in 5‰ samples at 12h and 24h was lower than in the control group at the same times. The content of sodium of 5‰ in the experimental group was significantly lower than in the control group at 12h. The amount of Glucose at 12h had significant difference in comparison with 6h and 24h in 5‰ ($P<0.05$). But there was no significant difference in the amount between plasma Cl^- , Na^+ , and Glucose samples of the experimental groups at the end of the experiment. The results indicate that although changes in environmental salinity cause variation in the inner electrolyte of body of the *Sparidentex hasta*, these species have enormous power to restore electrolyte balance in their own bodies to the normal situation after a few days.

salinity, Glucose, Chloride, Sodium, Sparidentex hasta

Показатели крови широко используются в качестве эффективных маркеров для фиксирования изменений внутренней среды живого организма как следствия внешних воздействий. Были проведены специальные эксперименты краткосрочного и долгосрочного воздействия гипер- и малосоленой воды на окуневых рыб *Sparidentex hasta* для определения их реакции по биохимическим изменениям крови. Полученные результаты свидетельствуют о том, что окунь *Sparidentex hasta* способен воспринимать прямое воздействие солености в пределах диапазона от 5 до 60‰ без летального исхода. В экспериментах было изучено содержание в плазме крови рыб ионов Cl^- , Na^+ и глюкозы. Содержание Cl^- -иона в исследуемых образцах, подвергнутых воздействию воды с соленостью 5‰ в течение 12 и 24 ч, было ниже, чем в контрольной группе, за те же самые периоды. Содержание Na^+ -иона в этих же опытных рыбах было значительно меньше в экспериментах с продолжительностью 12 ч по сравнению с контрольной группой. Количество Na^+ и глюкозы в плазме образцов 12-часовой выдержки существенно различалось относительно рыб, выдержанных 6 и 24 ч в воде с соленостью 5‰ (надежность вывода $P<0,05$). Не

установлено никаких существенных различий в содержании Cl^- , Na^+ и глюкозы в плазме крови опытных групп в конце эксперимента. Результаты показали, что независимо от солености воды морской окунь *Sparidentex hasta* имеет огромный потенциал регулирования гомеостаза крови и быстро восстанавливает баланс электролитов. Это свидетельствует о высоких защитных силах данного вида рыб от внешних повреждающих факторов и возможности его использования на пищевые цели независимо от района обитания.

соленость, глюкоза, хлорид, натрий, морской окунь Sparidentex hasta

INTRODUCTION

Salinity is one of the main constraints for agricultural productivity affecting almost 80 million hectares of arable lands worldwide (20% of arable and 50% of irrigated lands) in the arid and coastal regions. Salt stress is induced by a wide range of dissolved salts, but NaCl is the most widespread one which explains the intensive investigations carried out. To enhance understanding of the mechanisms of tolerance in high salinity and low salinity conditions, several studies have been performed during the last years, worldwide. Salinity of water resources is considered as a limiting factor to the expansion of aquaculture and food industries, this limiting factor prevented lots of people around the world from fresh marine foods, especially in this time that we know how many marine products and their proteins, are essential for human health. This has been a frequent reason for researchers to find new ways, instrument or species to increase the accessibility for marine products, even in areas far from marine water. Marine fishes are capable of maintaining constant internal ionic concentrations relative to external or environmental ionic concentrations and maintain homeostasis in a specific range [1, 2]. But this tolerance often is limited to a salinity level about the marine salinity.

In teleost fish, osmoregulation is the result of integrated activities of the gills, kidneys and intestine [3]. And fish exposed to changes in osmolality in water, regulate their body fluid osmolality by controlling ion concentration and water content by changing drinking rate and level of different hormones as well as maintaining osmoregulatory surfaces [1, 4]. MRCs (Mitochondria Rich Cell) are most important cells in osmoregulation system of fishes. these cells in teleosts are round or ovoid and are characteristically very different from normal epithelial cells. The MRCs are equipped with many mitochondria and an extensive intracytoplasmic membranous tubular system which is an expansion of their basolateral plasma membrane and is the site of expression for the active transport enzyme Na^+/K^+ -ATPase showing their high ability in active transport of ions. The apical surface of MR cells is exposed to the ambient environment. Three types of stress indicators can be detected in fishes: release of corticosteroid hormones (e.g. cortisol) into blood circulation [5], changes in hematological parameters [6], and the whole animal performance like growth and survival rates [7]. Hormonal and blood parameters have frequently been used as indicators of stress in fishes [8, 9]. The specific fish species that is used in this study is a tropical one, which is more presented in Persian Gulf (salinity ≈ 40 ppt.)

MATERIALS AND METHODS

Fish and acclimation period: “*Sparidentex hasta*”s required for this study were obtained from the Imam Khomeini Mariculture Research Station located in the North of the

Persian Gulf in Southwest Iran (Khouzestan Province, Imam Khomeini Port) in March 2010. All the fish were one year of age, produced in 2009 at the same research station and were maintained in 6000 L indoor tanks containing filtered seawater treated with UV. 180 fish specimens assigned for the present research were transferred to the research lab. The fish were randomly distributed in 12, 300L tanks (15 fish per tank). Each of the acclimation tanks were filled with seawater. To prevent pollution and possible disease outbreaks in fish which might affect the histological and physiological effects of salinity in this stage and during the experimental stage, in addition to filtration and UV treatment, seawater was subjected to chlorination and dechlorination in 1500 L reservoirs. Fishes were kept in these tanks two weeks to acclimatize to the experimental conditions in the 300 L tanks filled with seawater (42‰, 1162 mOs mol kg⁻¹ H₂O) before exposing them to salinity variations and thus reduce potentially confounding effects of handling stress (such as increased cortisol levels) on osmoregulation [10]. All tanks were provided with aeration at a rate of 1000 mL min⁻¹ so that least degree of physical stress was caused.

Salinity (to the nearest 0.1‰), pH (to the nearest 0.01 value) and **dissolved oxygen** concentrations (to the nearest 0.1 mg L⁻¹) were monitored daily in acclimation period and adaptation period using a digital conductivity meter (Hach company model Sension 5), portable digital pH meter (SUNTEX model TSI) and a digital oxygen meter (DO 5510), respectively.

Fish were fed formulated diets in the form of pellets (protein 58%; fat 13%; carbohydrate 10% fibre 5%; ash 7%) at 2% body weight per day, two times a day at 9:00 to 9:30 h and 14:30-15:00 h. Pellets were cut into 4-7 mm pieces and distributed in the tanks. Uneaten pellets were siphoned out from the bottom of the tanks 1/2 h after feeding to prevent water pollution [11]. Ammonia levels in the water were reduced by a 50% water change every day [12]. A black shade cloth lid was used 1 m over the experimental tanks to reduce the effect of sunlight.

Experimental period: After acclimation period, adaptation of fish under study to different salinities was examined. To do this, the fish were subject to sudden changes in salinities of 5, 20 and 60‰. First the tank water was drained so that only 10% of water remained. The control tanks were then filled with seawater, while the experimental tanks were filled immediately with water of required salinity (5, 20 or 60‰) [13]. Three samples were used for each experimental group and also for the control group (total of 12 tanks). At each sampling time (6h, 12h, 24h, 48h and seventh and fourteenth day), three or four animals were selected from each tank, after anesthesia via 2-phenoxy ethanol 1 ‰, one ml blood was taken from the caudal vein of each tagged fish using a heparinized 2-ml syringe [14]. Blood samples were stored in ice and transferred to the laboratory where plasma was separated by centrifugation at 7000 rpm during 7 minutes. Samples were stored at -80°C for later analyses. Plasma Cl⁻ concentrations were measured using ion-selective electrodes (Electrolyte analyzer XI-921E, Caretium Medical Instruments Co) and results were reported in mmol l⁻¹. Sodium concentrations were determined by flame photometry (PFP 7 Flame Photometer, Jenway Ltd., Essex, England) output reported in mmol l⁻¹, and content of plasma glucose was measured by Technicon-RA-1000 using Spectrophotometric method. The experiment was run for 14 days.

Statistical Analysis: statistical analyses were performed using ANOVA (One-Way ANOVA) in SPSS.13 software and in case of significant differences between the groups,

the Duncan test were used to compare pairwise differences. Confidence level of 95% ($P < 0.05$) was accepted.

RESULTS

Based on measurements, amount of dissolved oxygen (O_2) was maintained and stabilized in the range of 6 to 6.8 milligram per liter in all the tanks due to aeration flow setting. The water pH was in the range of 8.39 to 7.81 during whole period. Temperature of water along both periods was controlled in the range of 21-19°C by heater network placed in tanks.

To compare the changes in plasma electrolytes with corresponding changes in different salinities, water samples were also measured by same methods. The trend of changes in chloride and sodium in different water salinities is shown in fig. 1.

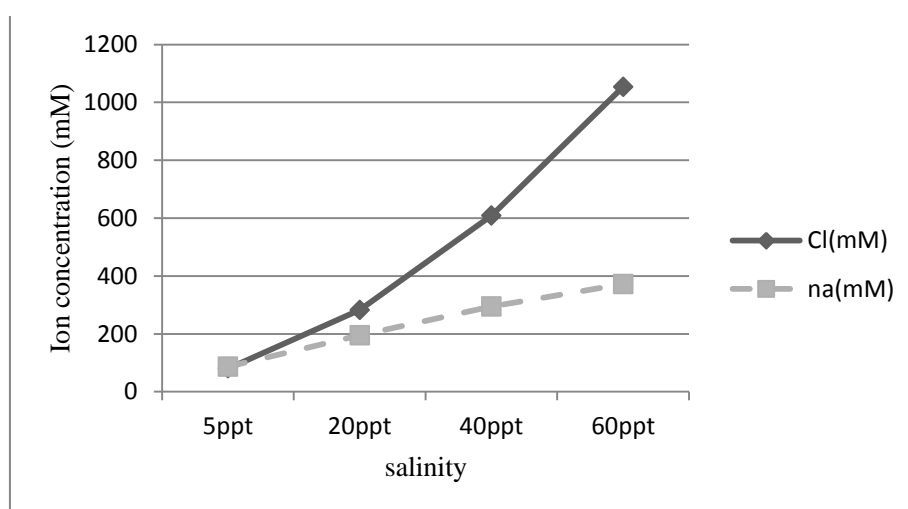


Fig. 1. Changes of Cl^- and Na^+ in different water salinities

Рис. 1. Изменение содержания ионов Cl^- и Na^+ в зависимости от солености воды

Sparidentex hasta was capable of tolerating direct exposure to salinities from 5 to 60‰ without showing mortalities.

Changes of chloride: the amount of plasma Cl^- didn't show significant difference among salinity groups at 6h after beginning experimental period, but at 12h the amount of Cl^- in experimental group of 5‰ had significant difference in comparison with control group (and with 60‰ also) ($P < 0.05$). These significant differences were increased at 24h. There were no significant difference among other groups in these times. The plasma Cl^- samples didn't show significant differences between treatments on the second day by the end of the experiment period. Separated study conducted on each of the groups showed that, the amount of Cl^- of 5‰ group at 12h and 24h are significantly lower than the concentration of this factor on the seventh and fourteenth day and also similar results were observed for experimental group 20‰. The opposite trend was observed in experimental group 60‰ where the average of Cl^- at 6, 12 and 24h were significantly higher than the average of that on the seventh and fourteenth days (fig. 2).

Changes of Sodium: Intergroup studies are shown ascending trend of Na^+ from 12h to 24h in experimental group 60‰ and actually the greatest amount of sodium in different treatments and different times was observed here (at 24h in 60‰). The other treatments did not show significant intergroup differences. The content of plasma Na^+ in experimental group 5‰ was significantly lower than group 60‰ at 6h, and at 12h was lower from 60‰ and control group also ($P < 0.05$). At 24h the amount of Na^+ in groups 5‰ and 20‰ were significantly lower than experimental group 60‰ (but they hadn't significant differences in comparison with control group). In the following days (from day 2 to day 14) was not found anymore significant difference between Na^+ samples (fig. 3).

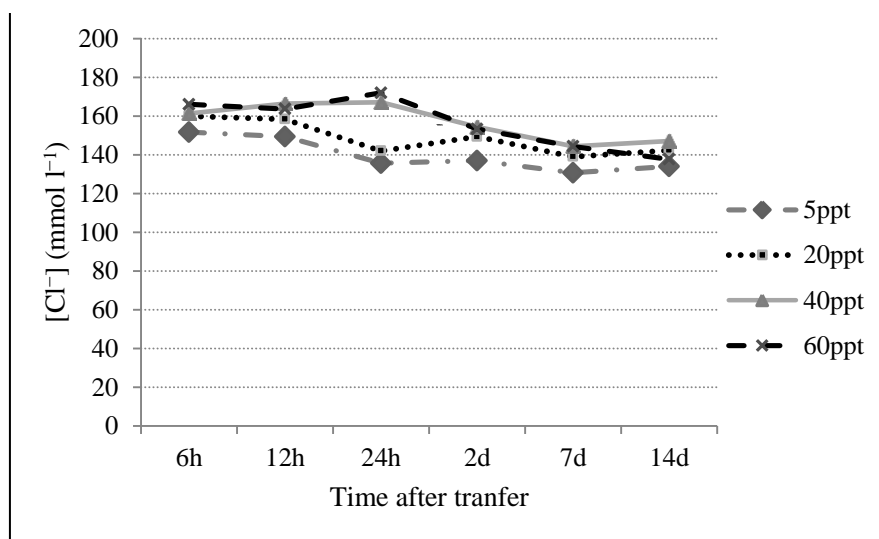


Fig. 2. Changes of Cl^- concentration in the blood plasma of *Sparidentex hasta* exposed to different salinities during the experimental periods

Рис. 2. Изменение концентрации Cl^- в плазме крови морского окуня *Sparidentex hasta* в зависимости от продолжительности эксперимента

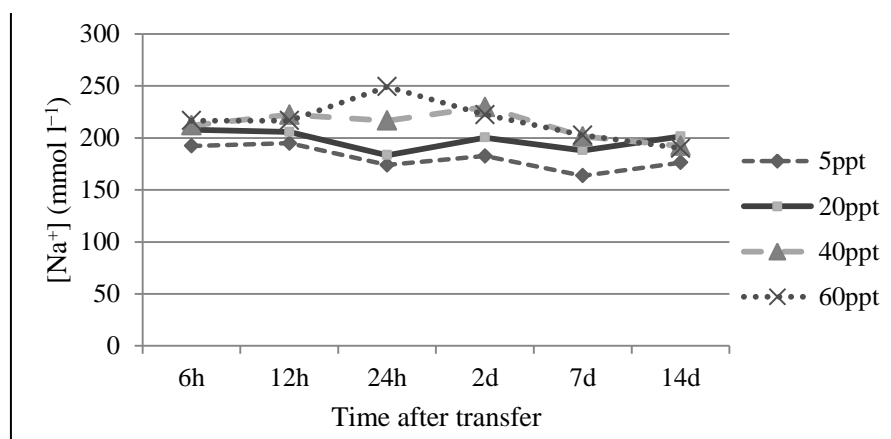


Fig. 3. Changes of Na^+ concentration in the blood plasma of *Sparidentex hasta* exposed to different salinities during the experimental periods

Рис. 3. Изменение концентрации иона Na^+ в плазме крови морского окуня в зависимости от продолжительности эксперимента

Changes of glucose: The content of glucose at 6 and 12 hours after applying the new salinities did not show any significant differences between treatments ($P < 0.05$). But as intergroup difference, the amount of glucose at 12h had significant difference in comparison with 6h and 24h in 5‰ ($P < 0.05$). At the 24th level of glucose of experimental group 5‰ had significant difference in comparison with control group (fig. 4). On the seventh day in addition to group 5‰, the glucose content of experimental group 60‰ also was different from the content of glucose in control group. But after two weeks (on the fourteenth day), there was no significant difference between treatments ($P < 0.05$).

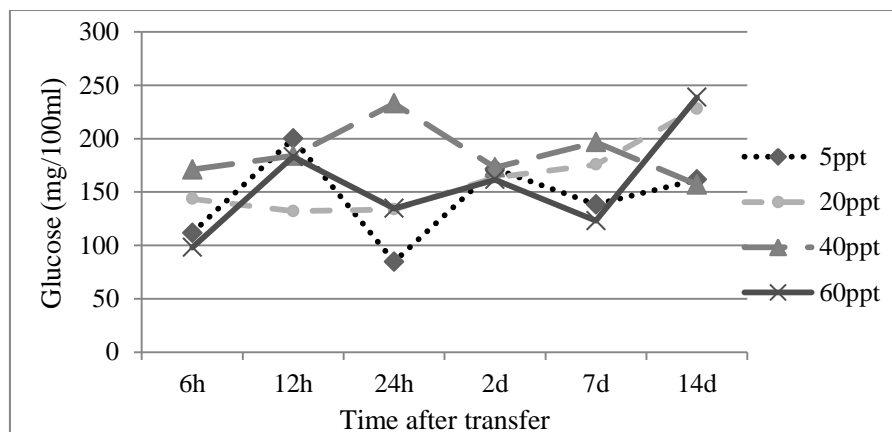


Fig. 4. Changes of Glucose concentration in the blood plasma of *Sparidentex hasta* exposed to different salinities during the experimental periods

Рис. 4. Изменение содержания глюкозы в плазме крови морского окуня в зависимости от продолжительности эксперимента

DISCUSSION

Fishes are very sensitive to modifications of the aquatic environment, and variations of the physical and chemical characteristics of water affect their homeostatic equilibrium and elicit behavioural and physiological responses [15], but it is shown by the results of this study that *Sparidentex hasta* is able to tolerate direct exposure to salinities ranging from 5 to 60‰ without showing mortality. The amount of Cl^- of 5‰ and 20‰ experimental group at 12h and 24h were significantly lower than the concentration of this factor on the seventh and fourteenth days, and similar results were observed about Na^+ (at 12h plasma Na^+ was lower from control group) this trend is showing the reflection of reduction in external ions, in the body's internal environment of this fish. In other words, these significant changes in amount of plasma Cl^- , and Na^+ of fish transferred abruptly to hypoosmotic environments, indicate that osmotic influx and diffusional ion efflux occurred with consequent dilution of serum electrolytes or redistribution of ions between plasma and tissue cells [16, 17].

The content of plasma Cl^- of *Sparidentex hasta* in experimental group 60‰ was increased up to 24h and the maximum amount of Na^+ also was observed at 24h. This changes indicate that initial dehydration occurred due to osmotic efflux of water from the fish and diffusional ion influx of electrolytes from the hyperosmotic environment [15, 18]. Actually in the early hours after the starting of the experiment still MRCs (that are most important cells in osmoregulation system of fishes) are not enough ready to make essential

changes in their optional membrane system in order to resistant against these new situations and that's why fish's body starts losing blood ions. But over time, MRCs begin to change their membrane permeability. In fact, in such circumstances, MRCs are trying to return their osmolality condition to the initial situation, so thay start to remove unwanted ions from their body, or attract needed ions from the external environment (fig. 5).

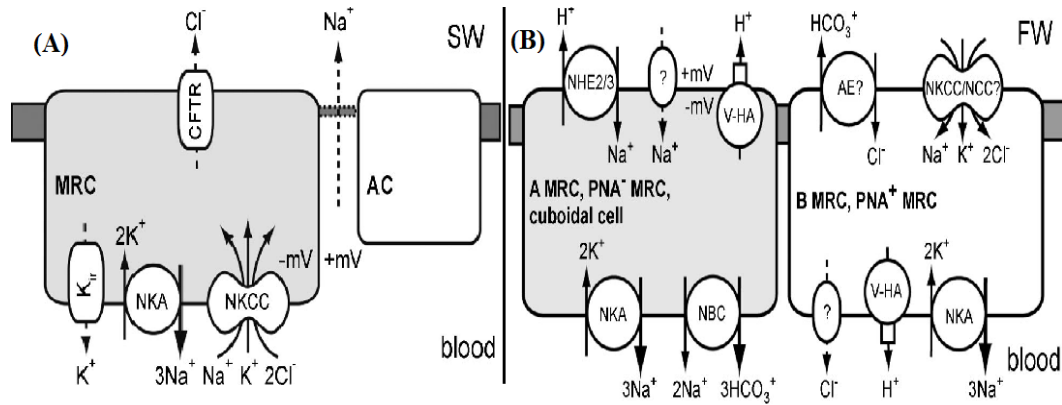


Fig. 5. Working model for the mechanisms of NaCl secretion (A) and uptake (B) in Mitochondria-Rich Cells of the teleost fish (MRC)

Рис. 5. Рабочая модель механизмов секреции NaCl (A) и поглощения (B) в митохондриях клеток костистых рыб (MRC)

Although the content of Glucose is considered as one of the factors that may reflect the osmoregulation situation, but this factor is very sensitive, and some other factors may affect it, For example, level of some haematocrit parameters of snapper decreased following exposure to stress due to handling and confinement [19]. Stress hormones such as cortisol and catecholamine can be responsible for promoting active branchial extrusion of monovalent ions in marine species [20]. In our results it seems that these reductions (at 24h in group 5‰ and on day 7 in groups 5‰ and 60‰) are the results of an increase in transportation energy resources, to meet the increased metabolic requirements of tissues involved in osmotic adjustment. In conclusion, the results of this study suggest that successful adaptation to a wide range of salinities in *Sparidentex hasta* is not accompanied by mortality and they are able to conform to sudden exposures to hypoosmotic (5‰) as well as to hyperosmotic environments (60‰). Present findings revealed that it took 7 to 14 days for this species to reach a constant condition in new salinities. This study has demonstrated the ability of *Sparidentex hasta* to adapt to a diverse range of environmental salinities and hence it can be used as a reliable model for osmoregulation in teleosts. It has proved by this study that *sparidentex hasta* can withstand sever changes in salinity , and restore its normal initial conditions. so the outputs of our study may lead to extend aquaculture infrastructures of *sparidentex hasta* even in areas far from sea water, or in areas that the salinity of water is higher than usual sea waters, therefore this study might be useful for increase fresh seafoods in families food baskets [21].

ACKNOWLEDGMENTS

The authors would like to thank Mr. Sahraeean, Prof. Ahmad Savari, Dr. Eskandari, Dr. Abtahi, for their technical guidance in conducting this study. We are also grateful to the staff at the Imam Khomeini Mariculture Research Station.

REFERENCES

1. Fielder, D. S., G. L. Allan, D. Pepperall and P. M. Pankhurst. The effects of changes in salinity on osmoregulation and chloride cell morphology of juvenile Australian snapper, *Pagrus auratus*. *Aquaculture*, 2007, no. 272, pp. 656-666.
2. Uchida, K., T. Kaneko, K. Yamauchi and T. Hirano. Morphometrical analysis of chloride cell activity in the gill filaments and lamellae and changes in Na⁺/K⁺-ATPase activity during seawater adaptation in chum salmon fry. *J. Exp. Zool*, 1996, no. 276, pp. 193-200.
3. Kaneko, T. and F. Katoh. Functional morphology of chloride cells in killifish *Fundulus heteroclitus*, a euryhaline teleost with seawater preference. *Fish. Sci*, 2004, no. 70, pp. 723-733.
4. Kelly, S. P. and N. Y. S. Woo. The response of sea bream following abrupt hyposmotic exposure. *J. Fish Biol.*, 1999, no. 55, pp. 732-750.
5. Bolasina, S., Tagawa, M., Yamashita, Y. and Tanaka, M. Effect of stocking density on growth, digestive enzyme activity and cortisol level in larvae and juveniles of Japanese flounder, *Paralichthys olivaceus*. *Aquaculture*, 2006, no. 259, pp. 432-443.
6. Valenzuela, A., Silva, V. and Klempau, A. Effects of different artificial photoperiods and temperatures on haematological parameters of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Fish Physiology and Biochemistry*, 2008, no. 34, pp. 159-167.
7. Barton, B. A., Rahn, A. B., Feist, G., Bollig, H. and Schreck, C. B. Physiological stress responses of the freshwater chondrosteian paddlefish (*Polyodon spathula*) to acute physical disturbances. *Comparative Biochemistry Physiology*, 1998, no. 120(A), pp. 355-363.
8. Falahatkar, B., Poursaeid, S., Shakoorian, M. and Barton, B. Responses to handling and confinement stressors in juvenile great sturgeon *Huso huso*. *Journal of Fish Biology*, 2009, no. 75, pp. 784-796.
9. Zarejabad, A. M., Sudagar, M., Poralimotlagh, S. and Bastami, K. D. Effects of rearing temperature on hematological and biochemical parameters of great sturgeon (*Huso huso*) juvenile. *Comparative Clinical Pathology*, 2009, no. 19, pp. 367-371.
10. Biswas, A. K., M. Seoka, K. Takii, M. Maita and K. Kumai. Stress response of red sea bream *Pagrus major* to acute handling and chronic photoperiod manipulation. *Aquaculture*, 2006, no. 252, pp. 566-572.
11. Imsland, A.K., S. Gunnarsson, A. Foss and S.O. Stefansson, 2003. Gill Na⁺/K⁺-ATPase activity, plasma chloride and osmolality in juvenile turbot (*Scophthalmus maximus*) reared at different temperatures and salinities. *Aquaculture*, 2007, no. 218, pp. 671-683.

12. Altinok, I., S. M. Galli and A. Chapman, Ionic osmotic regulation capabilities of juvenile Gulf of Mexico sturgeon, *Acipenser oxyrinchus*. *Comp. Biochem. Physiol*, 1998, no. 120, pp. 609-616.

13. Kalujnaia, S., I. S. McWilliam, V. A. Zaguinaiko, A. L. Feilen and J. Nicholson. salinity adaptation and gene proWling analysis in the European eel (*Anguilla anguilla*) using microarray technology. *Gen. Comp. Endocrinol.* 2006, no. 152, pp. 274-280.

14. Trenzado, C. E., Carrick, T. R. and Pottinger, T. G. Divergence of endocrine and metabolic responses to stress in two rainbow trout lines selected for differing cortisol responsiveness to stress. *General and Comparative Endocrinology*, 2003, no. 133, pp. 332-340.

15. Alderdice, D. F., Osmotic and ionic regulation in teleost eggs and larvae. In: Hoar, W. S., Randall, D. J. (Eds.), *Fish Physiology*, vol. XI. Academic Press, Inc. (London) Ltd, 1988, pp. 220-251.

16. Bath, R. N., Eddy, F. B., Salt and water balance in rainbow trout *Salmo gairdneri* rapidly transferred from fresh water to sea water. *J. Exp. Biol*, 1979, no. 83, pp. 193-202.

17. Munro, J., Audet, C., Besner, M., Dutil, J.-D. Physiological response of American plaice (*Hippoglossoides platessoides*) exposed to low salinity. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 1994, no. 51, pp. 2448-2456.

18. Hwang, P. P. & Lee, T. H. New insights into fish ion regulation and mitochondrionrich cells. *Comparative Biochemistry and Physiology A* 148, pp. 479-497.

19. Cleary, J. J., Battaglione, S. C. & Pankhurst, N. W. (). Capture and handling stress affects the endocrine and ovulatory response to exogenous hormone treatment in snapper (*Pagrus auratus*) (Bloch & Schneider). *Aquaculture Research*, 2002, no.33, pp. 829-838.

20. Tort, L., Montero, D., Robaina, L., Fernández-Palacios, H., Izquierdo, M.S. Consistency of stress response to repeated handling in the gilthead sea bream *Sparus aurata* Linnaeus. *Aquacult. Res.*, 2001, no. 32, pp. 593-598.

21. Wendelaar Bonga, S. E. The stress response in fish. *Physiol. Rev*, 1997, no. 77, pp. 591-625.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

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

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

Саид Кешткар – Калининградский государственный технический университет; аспирант кафедры пищевой биотехнологии; E-mail: keshtkar.bio@gmail.com

Saeid Keshtkar – Kaliningrad State Technical University; Ph.D student of Food Biotechnology Department; E-mail: keshtkar.bio@gmail.com

Эхсан Ромиани – Тегеранский университет, Иран; аспирант специальности сравнительной гистологии; E-mail: eroomiani@ut.ac.ir

Ehsan Roomiani – University of Teheran, Iran; Ph.D student of Comprative Histology; E-mail: eroomiani@ut.ac.ir

Мохаммад Зарей – Университет Барселоны, Испания; аспирант специальности фармакологии, магистр рыболовства; E-mail: biotech.zarei@gmail.com

Mohammad Zarei – University of Barcelona, Spain; Ph.D student of Pharmacology, Master of Engineering Fisheries; E-mail: biotech.zarei@gmail.com

УДК 639.3:597.556.33(06)

РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫРАЩИВАНИЯ СУДАКА (*SANDER LUCIOPERCA*, L.)
В РЕЖИМЕ ПОЛНОГО ЦИКЛА В УСТАНОВКАХ ЗАМКНУТОГО
ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Д. С. Пьянов, А. Б. Дельмухаметов, Е. И. Хрусталеv

THE RESULTS OF PIKEPERCH (*SANDER LUCIOPERCA*, L.) CULTIVATION
IN THE RAS COMPLETE CYCLE CONDITIONS

D. S. Pryanov, A. B. Delmukhametov, E. I. Khrustalyov

В данной работе представлены результаты исследований по выращиванию двух генераций судака (*Sander lucioperca*, L) в установках замкнутого водоснабжения (УЗВ). Одна из них – генерация родителей, выращенная от оплодотворенной икры дикого судака в условиях с «искусственной зимовкой», другая – первая генерация, выращенная от икры собственных производителей в условиях стабильного температурного режима. Все исследования проводились в Калининградской области.

Анализ полученных данных по температурному балансу показывает, что сумма градусо-дней за 24 мес. исследований составила 12004 и 14693 для родительской и первой генераций соответственно. Отмечено, что на протяжении всего периода у рыб родительской генерации наблюдалось постепенное снижение скорости роста. Среднее значение общепродукционного коэффициента массонакопления в условиях «искусственной зимовки» было ниже ($0,031 \pm 0,003$) такового у рыб первой генерации ($0,049 \pm 0,004$). При этом средняя масса рыб в возрасте двух лет составила, соответственно, $435 \pm 3,9$ и $723 \pm 31,4$ г. Более того, в первой генерации группа с опережающим ростом имела среднюю массу 836,3, при этом отдельные особи превышали массу 1000 г.

Средняя величина кормового коэффициента за весь исследуемый период в генерации судака, выращиваемого при «стабильном» температурном режиме, не превысила 1,5, что следует признать удовлетворительным результатом на этапах выращивания товарной рыбы.

С учетом результатов исследований была рассчитана потенциальная масса судака (1363 г), которая может быть достигнута в возрасте 24 мес. при выращивании в оптимальных условиях, что показывает высокий потенциал роста судака на этапах товарного выращивания.

судак, две генерации, УЗВ, градусо-дни, кормовой коэффициент, модель роста рыбы

The article presents research results related to the cultivation of two generations of pikeperch (*Sander lucioperca*, L) in the RAS. The parental generation was cultivated from fertilized eggs of wild pikeperch and grown in conditions of artificial overwintering, while the first generation (F1) was cultivated from fertilized eggs of broodstock and

grown in stable temperature conditions. The research was carried out in the Kaliningrad region, Russia.

The amount of degree-days for 24 months for parental and F1 generations were 12004 and 14693 respectively. It was noted that during the research period the fish of parental generation had a gradual decrease in the growth rate. The mean value of growth rate coefficient (by Kupinsky) for parental generation (0.031 ± 0.003) was lower than that for F1 generation (0.049 ± 0.004). At the same time, the average weight of 2-year-old fish was 435 ± 3.9 g and 723 ± 31.4 g respectively. Moreover, in F1 generation one of the fish groups had an average weight of 836.3 g with some individuals weighing more than 1000 g.

For fish cultivated in stable temperature conditions, the overall mean values of food coefficient did not exceed 1.5. While noting the progress that has been achieved in this study, we calculated the potential body mass of pikeperch (1363 g) after 24 months of cultivation under optimal conditions. This result shows a high growth potential of pikeperch which means that cultivation of this species is reasonable.

pikeperch, two generations, RAS, degree-days, food coefficient, fish growth model

ВВЕДЕНИЕ

Выращивание судака в УЗВ является новым направлением в отечественной индустриальной аквакультуре. Ранее в КГТУ на опытно-промышленных УЗВ ООО «КМП Аква» разработали технологию разведения маточного стада судака [1]. Поэтому логичным явилось проведение работ по освоению технологии его товарного выращивания в УЗВ. Полигоном для исследований явились экспериментальная УЗВ на базе ООО «КМП «Аква» и промышленные установки ООО «ТПК Балтптицепром». Полученные в ходе исследований данные позволяют провести их полноценный анализ и определить пути оптимизации технологии товарного выращивания судака в УЗВ.

Анализ разработанности проблемы показал, что доступные в открытой печати зарубежные материалы по данной тематике дают противоречивые данные. Так, по мнению немецких ученых и практиков, выращивание товарного судака включает два этапа: выращивание за 3 мес. посадочного материала средней массой 10-15 г и выращивание за 12 мес. товарного судака средней массой 600-800 г [2]. Польские ученые утверждают, что этап выращивания товарного судака до указанной массы должен быть более продолжительным, не менее 16-18 мес. [3]. Также неоднозначны имеющиеся в литературе данные по величине снимаемой с 1 м³ воды в бассейнах рыбопродукции, значения которой указываются в диапазоне от 40-60 до 200 кг/м³.

В настоящей статье нами была поставлена цель проанализировать результаты собственной работы, приведшей к реализации первой в России промышленной партии выращенного в УЗВ судака средней массой 800-1000 г, и попытаться разработать теоретическую модель его роста, на основе которой можно было бы прогнозировать временные сроки, охватывающие этапы выращивания, товарные весовые кондиции рыб, затраты кормов, а также величину продукции, получаемой с единицы площади (объема) бассейнов.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

В исследованиях использовались две генерации судака:

- генерация родителей, выращиваемая от оплодотворенной икры «дикого» судака Куршского залива, завезенной на инкубацию в мае 2007 г.;
- первая генерация, выращиваемая от оплодотворенной икры, полученной в апреле 2011 г. от собственных производителей.

Исследования проводились в мобильной рыбоводной лаборатории (МРЛ КГТУ, Калининград), на базе экспериментальной УЗВ ООО «КМП “Аква”» (г. Светлый) и промышленной УЗВ ООО «ТПК “Балтптицепром”» (г. Калининград).

Для содержания судаков на самых ранних стадиях их развития на МРЛ использовали бассейны объемом 1,0 м³ с уровнем воды 0,5 м. На стадии «малька» – объемом 0,2 м³ с уровнем воды 0,3 м. Выростными емкостями на УЗВ ООО «КМП “Аква”» служили пластиковые бассейны объемом 0,7 м³ с уровнем воды 0,4 м. Помимо них, УЗВ включала в себя механический фильтр-отстойник, биофильтр конструктивного типа биореактор, блоки ультрафиолетовой обработки и аэрации воды.

В состав промышленной УЗВ ООО «ТПК “Балтптицепром”» входили бассейны с площадью 7 м² и уровнем воды до 1 м. Система водоподготовки включала механические фильтры со стабильным наклонным сетным полотном с ячейей 0,3 мм, дегазаторы, биофильтры «кипящего слоя», оксигенаторы и ультрафиолетовые устройства.

Водообмен во всех установках – 1 раз в час. Поддержание температуры воды осуществлялось за счет обогрева помещения цеха.

Для оценки скорости роста рыб использовали формулу общепродукционного коэффициента массонакопления (1) [4]:

$$K_M = \frac{(\sqrt[3]{M_K} - \sqrt[3]{M_H}) \times 3}{\Delta T}, \quad (1)$$

где M_H и M_K – масса рыб начальная и конечная, г; ΔT – период выращивания, сут.

Эффективность усвоения питательных веществ оценивали по величине кормового коэффициента – соотношения количества корма, съеденного рыбами, к приросту единицы массы тела [5].

Температуру воды и содержание растворенного в воде кислорода измеряли ежедневно перед каждым кормлением с помощью оксиметра «Hanna Instruments - 9145» (PLC, Woonsocket, Rhode Island, USA). Величину водородного показателя (не допускали снижения ниже 6,5 и повышения более 7,5), производных азота (не допускали повышения более рекомендуемых значений) определяли раз в трое суток с помощью отечественного ионометра «Аквилон И-500» (ООО «НПО Аквилон», Подольск, Россия).

Оценку сравниваемых генераций судака проводили на протяжении 24 мес. исследований. Весь собранный в ходе работ материал обрабатывался статистически с помощью программного пакета R 3.2.3.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На рис. 1 отражены данные по тепловому балансу в УЗВ, учитывающие сумму градусо-дней в каждый месяц исследований.

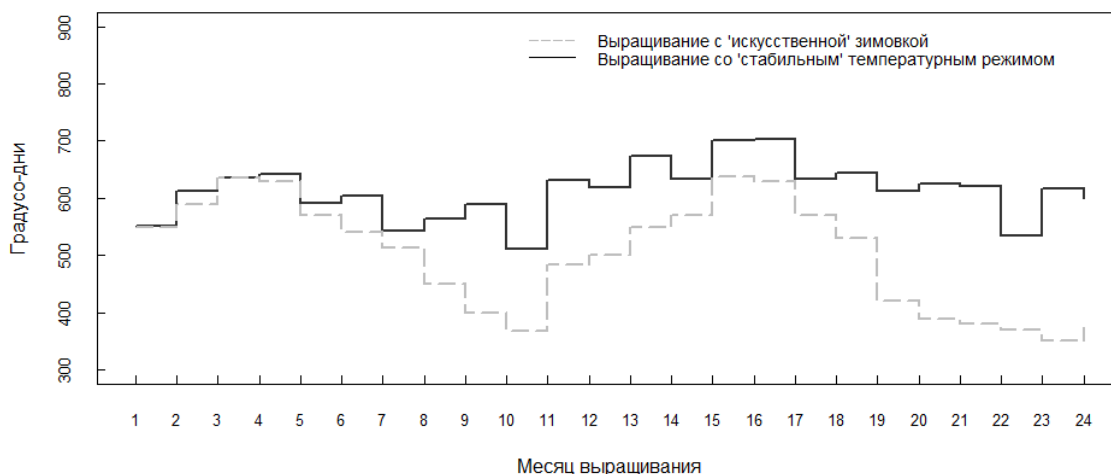


Рис. 1. Сумма градусо-дней при выращивании судака в искусственных условиях
 Fig. 1. Amount of degree-days during artificial cultivation of pikeperch

Для родительской генерации судака на рис. 1 показаны два пика снижения температуры воды (имитация зимовки), когда сумма градусо-дней составила 368 и 350 соответственно. Максимальная величина этого показателя 638.

Для первой генерации судака снижение месячного теплового баланса доходило максимум до 560 градусо-дней, повышение – до 710 градусо-дней.

Если учитывать, что оптимальная для роста температура воды в естественных водоемах, когда содержание кислорода не опускается ниже 80-100 % насыщения, составляет 18 – 23 °С [6, 7], то следует признать, что для первой генерации судака температура воды в УЗВ на протяжении всего периода соответствовала уровню этих значений. При этом насыщение воды кислородом было близким к 100 %.

За 24 мес. исследований для родительской генерации минимальная среднемесячная температура воды составляла 11,7, максимальная – 22,5 °С, для первой генерации – 17,9±1,0 и 20,2±0,1 °С соответственно. Сумма градусо-дней за означенный период – 12004 для родительской и 14693 для первой генерации. Средняя масса рыб в возрасте 24 мес. составила, соответственно, 435±3,9 и 723±31,4 г.

Оценка скорости роста за исследуемый период показала, что практически во все месяцы при «стабильном» температурном режиме значения K_m были выше (рис. 2), за исключением февраля 2011 г. – апреля 2012 г. (10-12 мес.). Вероятно, это вызвано переориентацией обменной энергии на сохраняющемся у проходящей первый этап доместикации генерации судака циркадным циклом развития. Это проявилось, но в меньшей степени, и в конце второго года в декабре 2012 г. – январе 2013 г. (20, 21 мес.).

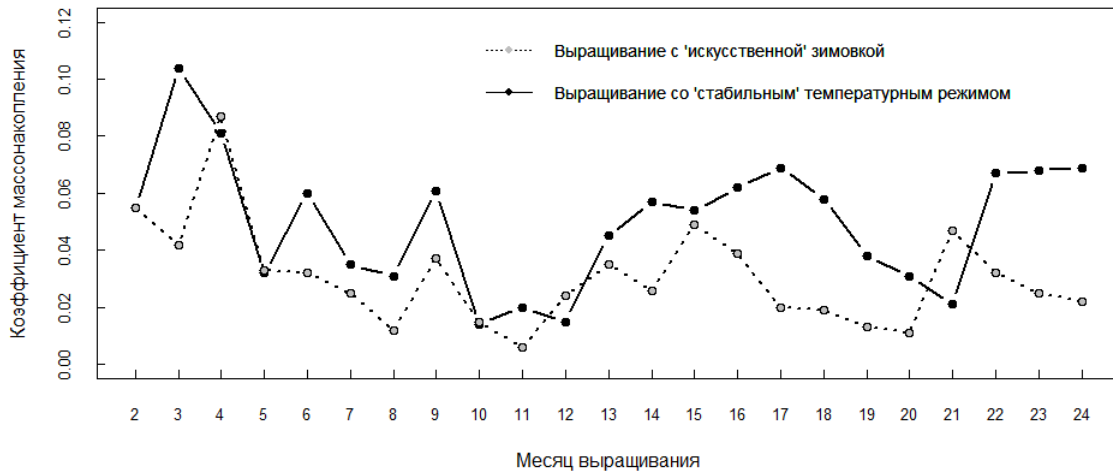


Рис. 2. Значения общепродукционного коэффициента массонакопления у двух генераций судака, выращенных в искусственных условиях
 Fig. 2. Values of growth rate coefficient of two pikeperch generations cultivated in artificial conditions

Для родительской генерации показано сходство с первой генерацией в увеличении значений K_m до самых высоких на четвертом месяце (соответственно, 0,087 и 0,081), когда молодь судака достигла $13,2 \pm 0,2$ и $21,2 \pm 1,6$ г, соответственно.

В дальнейшем, на протяжении всего периода выращивания, у рыб родительской генерации отмечено постепенное снижение скорости роста. В генерации рыб, выращиваемых при «стабильном» температурном режиме, средние значения K_m изменялись в диапазоне 0,014-0,104. За 24 мес. они составили, соответственно, $0,031 \pm 0,003$ и $0,049 \pm 0,004$. Следует признать, что эти значения выше, чем среднегодовые значения K_m для судака Куршского залива (0,018) [8]. Однако они сравнимы со скоростью роста в варианте со «стабильным режимом» в УЗВ, если учитывать скорость роста судака в Куршском заливе только за период с благоприятной для этого температурой воды (выше $12-14^{\circ}\text{C}$). В то же время для многих рыб, выращиваемых в УЗВ (радужная форель, осетровые и др.), показаны средние значения K_m 0,05-0,08 [9; 10, 11]. Для угря, на основании статических и собственных данных [8, 12], нами определена величина K_m 0,04.

Учитывая меняющийся вектор скорости роста судака при стабильном температурном режиме, следует признать, что имеется резерв для ее увеличения. Подтверждением этому служат данные по изменению величины кормового коэффициента в течение исследуемого периода (рис. 3).

Следует отметить определенную капризность судака в питании, когда высокая активность сменяется периодами слабого реагирования на корм. Поэтому на рисунке также отображены данные по нормированию кормления, в большей степени учитывающие периодичность активности в питании судака. Представляется закономерным, что при выращивании судака при «стабильном» температурном режиме суточная доза кормления была преимущественно ниже, что свидетельствует о лучшей усвояемости питательных веществ, согласующейся с более интенсивным их обменом. В целом это находит отражение в изменении величины

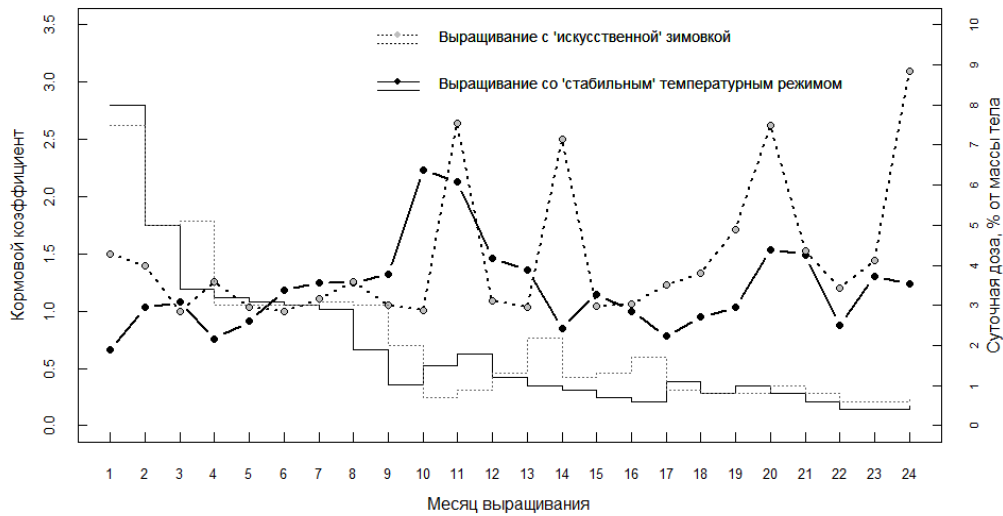


Рис. 3. Значения кормового коэффициента и суточной дозы (% от массы тела) для двух генераций судака, выращенных в искусственных условиях
 Fig. 3. Values of food coefficient and daily feed intake (% of body mass) of two pikeperch generations cultivated in artificial conditions

кормового коэффициента (см. рис. 3). Обращает внимание, что максимальные значения показателя при выращивании рыб при «стабильном» температурном режиме, отмеченные в природе, приходится на зимне-ранне-весенние месяцы, в то время как у родительской генерации эти периоды охватывают также и летние месяцы. Здесь может говорить о большей интенсивности генеративной функции, с одной стороны, и сложных процессах в организме рыб, проходящих первый этап доместикации, с другой стороны. В то же время следует отметить, что средняя величина кормового коэффициента за весь исследуемый период в генерации судака, выращиваемого при «стабильном» температурном режиме, не превысила 1,5. Данный результат следует признать удовлетворительным на этапах выращивания товарной продукции.

Для расчета потенциальной массы судака можно воспользоваться исходной формулой коэффициента массонакопления (2) [4]:

$$K_M = K_T \times K_E, \quad (2)$$

где K_T – генетический коэффициент массонакопления; K_E – экологический коэффициент массонакопления.

K_T для судака составляет 0,231. Это значение определено в результате обработки уже опубликованных данных по росту рыбы, расчету на их основе показателей K_M , формированию из них статистического массива и установлению для судака по заранее выбранному критерию предварительного значения K_T [4].

K_E характеризует всю совокупность экологических факторов от порогового до оптимального значения ($0 < K_E < 1$) и может быть представлен как произведение частных экологических коэффициентов [4]. Таким образом, структура K_E выглядит следующим образом (3):

$$K_E = K_T \times K_{O_2} \times K_K \cdots K_{i+n}, \quad (3)$$

где K_i – это количественное выражение действия отдельного частного экологического коэффициента.

Если принять значения коэффициентов: температурного $K_T = 0,9$, кислородного $K_{O_2} = 1$, гидрохимического $K_{\text{гидрохим}} = 1$, влияния кормления $K_K = 0,7$ (с учетом нестабильности в питании), влияния уровня биотехники $K_{\text{биот}} = 0,5$ (с учетом первого опыта разработки отечественной технологии), влияния неучтенных факторов $K_{\text{нф}} = 0,6$, то значение K_3 составит (4):

$$K_3 = 0.9 \times 1 \times 1 \times 0.7 \times 0.5 \times 0.6 = 0.189 . \quad (4)$$

Тогда значение K_M равно:

$$K_M = 0.231 \times 0.189 = 0.044 . \quad (5)$$

Потенциальную массу рыб, которая могла быть ими достигнута в возрасте 24 мес., можно рассчитать, исходя из формулы определения K_M (6):

$$M_K = \left(\frac{K_M \times \Delta T + 3 \sqrt[3]{M_H}}{3} \right)^3 . \quad (6)$$

Таким образом, с учетом достигнутого уровня исследований потенциальная масса рыб составит (7):

$$M_K = \left(\frac{0.044 \times 730 + 3 \sqrt[3]{0.1}}{3} \right)^3 = 1363 \text{ г} . \quad (7)$$

Следует отметить, что при достигнутой средней массе $723 \pm 31,40$ г в варианте со «стабильным» температурным режимом группа с опережающим ростом имела среднюю массу 836,3 г, при этом отдельные особи превышали массу 1000 г.

Именно в группе судака с опережающим ростом была достигнута величина рыбопродукции, близкая к 100 кг/м^3 .

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные в ходе исследований результаты отражают единственный в стране опыт доместикации судака в условиях индустриальных рыбоводных хозяйств, в частности, в установках замкнутого водообеспечения. Очевидным представляется, что первый этап доместикации на этапах товарного выращивания сопровождался определенной нестабильностью в раскрытии ростовой потенции. В большей степени это проявилось после четвертого месяца выращивания, когда масса посадочного материала достигла 20 г.

Сходной нестабильностью отличалось изменение величины коэффициента массонакопления. В соответствии с апробированными формулами, основываясь на фактических данных, удалось установить потенциал роста судака на этапах товарного выращивания. К расчетному значению удалось приблизиться только группе с опережающим ростом, что можно рассматривать, с одной стороны, как закономерное разделение рыб в генерации на несколько модальных групп, с другой – как основание для повышения степени раскрытия ростовой потенции у судака в УЗВ при дальнейшей его доместикации. Примером этого могут служить многочисленные данные по доместикации в индустриальных хозяйствах лососевых и осетровых рыб, когда за последние 40-50 лет нормативная база, отражающая показатели средней массы посадочного материала и товарной рыбы, изменилась в сторону их увеличения [13-15].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Дельмухаметов, А. Б. Биотехника формирования и эксплуатации ремонтно-маточного стада судака в установках замкнутого цикла водообеспечения: дис. ... канд. биол. наук: 03.02.06 / Дельмухаметов Артем Борисович. – Калининград, 2012. – 157 с.
2. Schmidt G. Experiences with the production cycle of pikeperch in a RAS. - European Percid Fish Culture (EPFC) workshop 2015: “Big is beautiful – isn’t it? Upscaling of percid fish culture in Europe”. – Rotterdam, 2015. Доступно на: http://www.epfc.net/files/workshops/2015/EPFC2015_02_Schmidt.pdf (Обращение 16.02.2016).
3. Zakeš Z., Szczepkowski M. Introduction of Out-Of-Season Spawning of Pikeperch, Sander Lucioerca (L.) // Aquaculture International. – 2004. – Vol. 12. – №1. – P. 11-18.
4. Купинский, С. Б. Продукционные возможности объектов аквакультуры / С. Б. Купинский. – Астрахань: ДФ АГТУ, 2007. – 133 с.
5. Щербина, М. А. Кормление рыб в пресноводной аквакультуре / М. А. Щербина, Е. А. Гамыгин. – Москва: Изд-во ВНИРО, 2006. – 360 с.
6. Zakeš Z. The effect of body size and water temperature on the results of intensive rearing of pike-perch, Stizostedion lucioerca (L.) fry under controlled conditions // Archives of Polish Fisheries. – 1999. – № 7. – P. 187-199.
7. Frisk M., Skov P.V., Steffensen J.F. Thermal optimum for pikeperch (Sander lucioerca) and the use of ventilation frequency as a predictor of metabolic rate // Aquaculture. – 2012. – Vol. 324-325. – P. 151-157
8. Хрусталёв, Е. И. Биологические и технологические основы угреводства: моногр. / Е. И. Хрусталёв. – Ольштын: Солярис Друк, 2013. – 305 с.
9. Молчанова, К. А. Особенности выращивания ремонтного поголовья радужной форели второй генерации в установке замкнутого водоснабжения / К. А. Молчанова, Е. И. Хрусталев // Известия КГТУ. – 2015. – № 36. – С. 23-31.
10. Сорокина, Н. А. Разработка норм кормления стерляди продукционным комбикормом с использованием стандартной модели массонакопления / Н. А. Сорокина, А. Р. Лозовский // Естественный науки. – 2013. – № 1 (42). – С. 75-80.
11. Пономарев, С. В. Результаты научной оценки эффективности и продуктивного действия новых продукционных кормов зарубежного производства в условиях хозяйств с естественным и регулируемым термическим режимом выращивания / С. В. Пономарев [и др.] // Вестник Астраханского государственного технического университета. Сер. Рыбное хозяйство. – 2009. – №2. – С. 102-108.
12. Хрусталев, Е. И. Мониторинг рыбоводного процесса выращивания угря в УЗВ / Е. И. Хрусталев, О. В. Казимирченко, В. В. Пекарскайте // III Балтийский морской форум // Водные биоресурсы, аквакультура и экология водоемов: Междунар. науч. конф.: труды – Калининград: ФГБОУ ВПО «КГТУ». – 2015. – С. 72-75.
13. Величко, М. С. Адаптационные возможности молоди стерляди (Acipenser Ruthenus Linnaeus, 1758) при выращивании в различных рыбоводных системах: дис. ... канд. биол. наук: 03.00.10 / Величко Марк Сергеевич. – Калининград, 2009. – 209 с.

14. Пономарев, С. В. Технологии выращивания и кормления объектов аквакультуры юга России / С. В. Пономарев [и др.]. – Астрахань: Нова плюс, 2002. – 263 с.

15. Породы радужной форели (*ONCORHYNCHUS MYKISS W.*) / под ред. А. К. Богерук. – Москва: Росинформротех, 2006. – 316 с.

REFERENCES

1. Del'muhametov A. B. *Biotehnika formirovanija i jekspluatacii remontno-matochnogo stada sudaka v ustanovkah zamknutogo cikla vodoobezpechenija*. Diss. kand. biol. nauk [Biotechnology for formation and exploitation of replacement and brood stock of pikeperch in recirculating aquaculture systems. Dis. Ph.D. Biol. Sci.]. Kaliningrad, 2012, 157 p.

2. Schmidt G. Experiences with the production cycle of pikeperch in a RAS. European Percid Fish Culture (EPFC) workshop 2015: “Big is beautiful – isn't it? Upscaling of percid fish culture in Europe”. Rotterdam, 2015. Available at: http://www.epfc.net/files/workshops/2015/EPFC2015_02_Schmidt.pdf (Accessed 16 February 2016).

3. Zakęs Z., Szczepkowski M. Introduction of Out-Of-Season Spawning of Pikeperch, Sander *Lucioperca (L.)*. *Aquaculture International*, 2004, vol. 12, no. 1, pp. 11-18.

4. Kupinskij S. B. *Produkcijonnye vozmozhnosti ob#ektov akvakul'tury* [Production potentials of the objects of aquaculture]. Astrahan', DF AGTU, 2007, 133 p.

5. Shherbina M. A., Gamygin E. A. *Kormlenie ryb v presnovodnoj akvakul'ture* [Fish feeding in fresh water aquaculture]. Moscow, Izd-vo VNIRO, 2006, 360 p.

6. Zakęs Z. The effect of body size and water temperature on the results of intensive rearing of pike-perch, *Stizostedion lucioperca (L.)* fry under controlled conditions. *Archives of Polish Fisheries*, 1999, no. 7, pp. 187-199.

7. Frisk M., Skov P. V., Steffensen J. F. Thermal optimum for pikeperch (*Sander lucioperca*) and the use of ventilation frequency as a predictor of metabolic rate. *Aquaculture*, 2012, vol. 324-325, pp. 151-157

8. Hrustalev E. I. *Biologicheskie i tehnologicheskie osnovy ugrevodstva* [Biological and technological basis of eel cultivation]. Solaris Druk, Stawiguda k./Olsztyna, 2013, 306 p.

9. Molchanova K. A., Hrustalev E. I. Osobennosti vyrashhivaniya remontnogo pogolov'ja raduzhnoj foreli vtoroj generacii v ustanovke zamknutogo vodosnabzhenija [Features of breeding of the second generation trout broodstock in recirculating aquaculture systems]. *Izvestija KGTU*, 2015, no. 36, pp. 23-31.

10. Sorokina N. A., Lozovskij A. R. Razrabotka norm kormlenija sterljadi produkcijonnym kombikormom s ispol'zovaniem standartnoj modeli massonakoplenija [Development of norms for feeding starlet with productional combined feed using a standard growth rate model]. *Estestvennyj nauki*, 2013, no. 1 (42), pp. 75-80.

11. Ponomarev S. V., Grozesku Ju. N., Ponomareva E. N., Chalov V. V., Bakaneva Ju. M., Bolonina N. V., Chipinov V. G., Absaljamov R. B., Kovalenko M. V. Rezul'taty nauchnoj ocenki jeffektivnosti i produktivnogo dejstvija novyh produkcijonnyh kormov zarubezhnogo proizvodstva v uslovijah hozjajstv s estestvennym i reguliruемым termicheskim rezhimom vyrashhivaniya [Results of

scientific assessment of efficiency and productive effect of new foreign feeds in conditions of natural and regulated thermal regimes of cultivation]. *Vestnik Astrahanskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta*. Serija: Rybnoe hozjajstvo. 2009, no. 2, pp. 102-108.

12. Hrustalev E. I., Kazimirchenko O. V., Pekarskajte V. V. Monitoring rybovodnogo processa vyrashhivaniya ugrja v UZV [Process monitoring of eel cultivation in the RAS]. 3-j Baltijskij morskij forum. *Trudy Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii "Vodnye bioresursy, akvakul'tura i jekologija vodoemov"* [3th Baltic Marine Forum. Proceedings of the International scientific conference "Water bioresources, aquaculture and ecology of water reservoirs"]. Kaliningrad, FGBOU VPO "KGTU", 2015, pp. 72-75.

13. Velichko M. S. *Adaptacionnye vozmožnosti molodi sterljadi (Acipenser Ruthenus Linnaeus, 1758) pri vyrashhivanii v različnyh rybovodnyh sistemah*. Diss. kand. biol. nauk [Adaptive capabilities of sterlet fingerlings (Acipenser Ruthenus Linnaeus, 1758) in different fish-breeding systems. Dis. Ph.D. Biol. Sci.]. Kaliningrad, 2009, 209 p.

14. Ponomarev S. V., Gamygin E. A., Nikonorov S. I., Ponomareva E. N., Grozesku Ju. N. *Tehnologii vyrashhivaniya i kormleniya ob#ektov akvakul'tury juga Rossii* [Technology for growing and feeding objects of aquaculture in the south of Russia]. Astrahan', Nova pljus, 2002, 263 p.

15. *Porody raduzhnoj foreli (Oncorhynchus mykiss W.)* [Rainbow trout (Oncorhynchus mykiss W.) breeds]. Moscow, Rosinformagroteh, 2006, 316 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Пьянов Дмитрий Сергеевич – Калининградский государственный технический университет; аспирант; E-mail: dmitry.pyanov@klgtu.ru

Ryanov Dmitry Sergeevich – Kaliningrad State Technical University; PhD-student; E-mail: dmitry.pyanov@klgtu.ru

Дельмухаметов Артем Борисович – Санкт-Петербургский государственный аграрный университет (Калининградский филиал); кандидат биологических наук; E-mail: delmuchametov@list.ru

Delmukhametov Artyom Borisovich – Saint-Petersburg State Agrarian University (Kaliningrad department); PhD; E-mail: delmuchametov@list.ru

Хрусталеv Евгений Иванович – Калининградский государственный технический университет; кандидат биологических наук, профессор кафедры аквакультуры; E-mail: chrustaqua@rambler.ru

Khrustalyov Eugeny Ivanovich – Kaliningrad State Technical University; PhD, professor of the department of aquaculture; E-mail: chrustaqua@rambler.ru

UDK 619:615.03:612.062:612.017

EFFECT OF VACCINATION AGAINST *YERSINIA RUCKERI* ON OXIDATIVE STRESS BIOMARKERS IN THE LIVER AND HEART OF RAINBOW TROUT (*ONCORHYNCHUS MYKISS* WALBAUM)

H. M. Tkachenko, J. Grudniewska

ЭФФЕКТ ВАКЦИНАЦИИ ПРОТИВ *YERSINIA RUCKERI* НА СОДЕРЖАНИЕ БИОМАРКЕРОВ ОКИСЛИТЕЛЬНОГО СТРЕССА В ПЕЧЕНИ И СЕРДЦЕ ИММУНИЗИРОВАННОЙ ФОРЕЛИ (*ONCORHYNCHUS MYKISS* WALBAUM)

Г. М. Ткаченко, Й. Грудневская

Yersiniosis (enteric red mouth disease) is a contagious bacterial disease caused by *Yersinia ruckeri*, which primarily affects salmonids. Oxidative stress biomarkers have been used to clarify the effects of vaccination against *Y. ruckeri* on liver and heart function on the 61st day after immunization of fish. The level of lipid peroxidation in the liver and heart of the vaccinated trout does not significantly differ from that in the control. Vaccination caused a slight decrease of the aldehydic and ketonic derivatives level in the heart and liver against the backdrop of a significant decrease of total antioxidant activity in the cardiac tissue of the trout treated by the vaccine against *Y. ruckeri* on the 61st day after immunization. This is possibly a result of a long-term adaptation to immunization. Studying the role of biochemical changes in the tissues of vaccinated trout is important for understanding of the complex physiological changes that occur after immunization as well as for improving aquaculture practices to maximize tissue growth and preservation of health of vaccinated trout.

rainbow trout Oncorhynchus mykiss, Yersinia ruckeri, immunization, oxidative stress, liver, heart

Йерсиниоз – септическое заболевание, поражающее лососевых рыб, особенно радужную форель. Оно известно также как «*Enteric red mouth, ERM*» – энтерит, сопровождающийся покраснением рта. Биомаркеры окислительного стресса были использованы для уточнения последствий вакцинации против возбудителя этой болезни *Yersinia ruckeri* на функционирование печени и сердца радужной форели на 61-й день после иммунизации рыб. Уровень перекисного окисления липидов в печени и сердце вакцинированной форели существенно не отличается от такового в контроле. Вакцинация вызвала незначительное понижение уровня альдегидных и кетоновых производных окислительно модифицированных белков в сердце и печени рыб на фоне значительного снижения общей антиоксидантной активности в сердечной ткани форели вакцинированной против *Y. Ruckeri* в 61-й день после иммунизации. Это, вероятно, является результатом длительной адаптации рыб к иммунизации. Изучение биохимических изменений в тканях вакцинированных рыб имеет важное значение для понимания сложных физиологических изменений, которые

происходят после иммунизации, а также для улучшения методов в аквакультуре с целью максимизировать рост тканей и сохранения здоровья иммунизированных рыб.

радужная форель Oncorhynchus mykiss, Yersinia ruckeri, иммунизация, окислительный стресс, печень, сердце

INTRODUCTION

Enteric redmouth disease (ERM) caused by *Yersinia ruckeri* is a serious septicemic bacterial disease of salmonid fish species. *Yersinia* is a genus of Gram-negative, rod-shaped, facultative anaerobes within the family Enterobacteriaceae. *Yersinia* comprises several pathogenic species, which cause diseases in humans and other animals, including fish [1]. Infection may result in a septicaemic condition with haemorrhages on the body surface and in the internal organs. signs of disease include exophthalmia and darkening of the skin, and subcutaneous hemorrhages in and around the mouth and throat, which give the disease its common name. Petechial hemorrhages may occur on the surfaces of the liver, pancreas, pyloric caeca, swim bladder and in the lateral muscles [1]. Despite the significance of the disease, very little information is available on the pathogenesis, hampering the development of preventive measures to efficiently combat this bacterial agent [2].

Histopathological examination shows general septicaemia with inflammation in most organs, and particularly kidney, spleen, liver, heart, gills and in areas with petechial haemorrhage. Pathological changes in the gills, including hyperemia, oedema and desquamation of the epithelial cells in the secondary lamellae have been described. Focal areas of necrosis can be present in the spleen, kidney and liver. In the kidney, degenerated renal tubules, glomerular nephritis and a marked increase in melanomacrophages may be observed [1].

ERM was one of the first fish diseases for which an effective commercial vaccine was developed [3]. The vaccine utilizes monovalent, inactivated whole cell suspensions of *Y. ruckeri* serotype O1 biotype 1, which can be administered to fish by several routes, e.g. immersion, injection and oral [1, 4]. A bivalent vaccine was developed using formalin inactivated biotypes 1 and biotype 2 *Y. ruckeri* strains, and provides good protection against the biotype 2 strains [1, 5]. Predictive indicators of vaccine success include: non-protective/pathological response genes (cathelicidin, C-type lectin and collagenase), vaccine-induced protective genes (immunoglobulin heavy chain, selenoprotein, 60S ribosomal protein L37 and unknown) and transcriptional biosignature of predominantly immune-relevant genes including hepcidin, immunoglobulin mu heavy chain, myelin and lymphocyte protein [1].

The success of the vaccine has been reported to be variable under field conditions, and often does not completely prevent disease outbreaks when the level of infection is high, as seen when fish are stressed [3]. Clearly, a greater understanding of the fish response against *Y. ruckeri* and during vaccination against Yersiniosis would help improve this situation.

Therefore, exploring the effects of vaccination against *Y. ruckeri* on health condition of trout in general, and oxidative stress biomarkers in different tissues specifically, would be valuable. The present study aims to clarify the effects of vaccination against *Y. ruckeri* on liver and heart function, and the oxidative mechanism

underlying those effects, by detecting relevant lipid peroxidation and protein oxidation biomarkers, as well as total antioxidant activity in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum).

MATERIALS AND METHODS

Experimental animals. Clinically healthy rainbow trout with a mean body mass of (107.9±3.1) g were used in the experiments. The study was carried out in a Department of Salmonid Research, Inland Fisheries Institute near the village Żukowo (Poland). Experiments were performed at a water temperature of 14.5±0.5°C and the pH was 7.5. The dissolved oxygen level was about 12 ppm with additional oxygen supply with a water flow of 25 L/min, and a photoperiod of 7 hours per day. The fish were fed with commercial pelleted diet. All enzymatic assays were carried out at Department of Zoology and Animal Physiology, Institute of Biology and Environmental Protection, Pomeranian University (Słupsk, Poland).

Experimental design. The fish were divided into two groups: I) control, II) immunized by vaccine against *Y. ruckeri*. Fish were held in 250-L square tanks (70-75 fish per tank) with the same conditions. The vaccine against Yersiniosis is a vaccine containing an inactivated strain of *Y. ruckeri*. Vaccine contained three *Y. ruckeri* strains originated from rainbow trout cultured on the different farms, where fish exhibiting clinical signs of Yersiniosis. The bacteria isolates belonged to O1 serotype and showed some differences in their biochemical properties. Concentrated vaccine was closed in the fish food, and three times at intervals of one day was administrated. One month after immunization the liver and heart samples from rainbow trout were collected. The vaccine was produced in Department of Fish Diseases, National Veterinary Research Institute (Pulawy, Poland). The fish were kept for 60 days after vaccination at a water temperature 14.5±0.5°C and the pH 7.5. In our study, 15 rainbow trout from unhandled control and 15 vaccinated trout were used at second month after immunization.

Sampling. The animals were quickly captured and killed on 61 days post vaccination (n=15 in each group). Liver and heart were removed *in situ*. Tissue samples were homogenized in ice-cold buffer (100 mM Tris-HCl, pH 7.2) using a glass homogenizer immersed in an ice water bath to a yield a 10% homogenate. Homogenates were centrifuged at 3,000g for 15 min at 4°C. After centrifugation, the supernatant was collected and frozen at -20 °C until analyzed. Protein contents were determined using the method of Bradford (1976) with bovine serum albumin as a standard [6]. Absorbance was recorded at 595 nm. All enzymatic assays were carried out at 22±0.5°C using a Specol 11 spectrophotometer (Carl Zeiss Jena, Germany) in duplicate. The enzymatic reactions were started by the addition of the tissue supernatant. The specific assay conditions were as follows.

TBARS assay for lipid peroxidation. Lipid peroxidation level was determined by quantifying the concentration of 2-thiobarbituric acid reactive substances (TBARS), expressed as µmol of malondialdehyde (MDA) per mg of protein, according to Kamyshnikov (2004) [7]. The TBARS level was expressed in nmol MDA per mg protein by using $1.56 \cdot 10^5 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ as molar extinction coefficient.

Carbonyl derivatives of oxidatively modified protein (OMP) assay. The rate of protein oxidative destruction was estimated from the reaction of the resultant carbonyl derivatives of amino acid reaction with DNFH as described by Levine et al. (1990) [8] and as modified by Dubinina et al. (1995) [9]. The carbonyl content was calculated from

the absorbance measurement at 370 nm and 430 nm and an absorption coefficient $22,000 \text{ M}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$. Carbonyl groups were determined spectrophotometrically from the difference in absorbance at 370 nm (aldehydic derivatives, OMP_{370}) and 430 nm (ketonic derivatives, OMP_{430}) and expressed in nmol per mg of tissue protein.

Total antioxidant capacity (TAC) assay. The TAC level in the sample was estimated spectrophotometrically at 532 nm following the method with Tween 80 oxidation [10]. TAC was expressed in %.

Statistical analysis. The mean \pm S.E.M. values was calculated for each group to determine the significance of inter group difference. All variables were tested for normal distribution using the Kolmogorov-Smirnov and Lilliefors test ($p > 0.05$). In order to find significant differences (significance level, $p < 0.05$) between control and vaccinated groups, Mann-Whitney *U* test was applied to the data [11]. Differences were considered significant at $p < 0.05$. In addition, the relationships between oxidative stress biomarkers and biochemical parameters of all individuals were evaluated using Spearman's correlation analysis. All statistical analysis was performed by STATISTICA 10.0 software (StatSoft, Poland).

RESULTS

The level of lipid peroxidation in the liver and heart of trout treated by vaccine did not significantly differ from that in the control (Fig. 1).

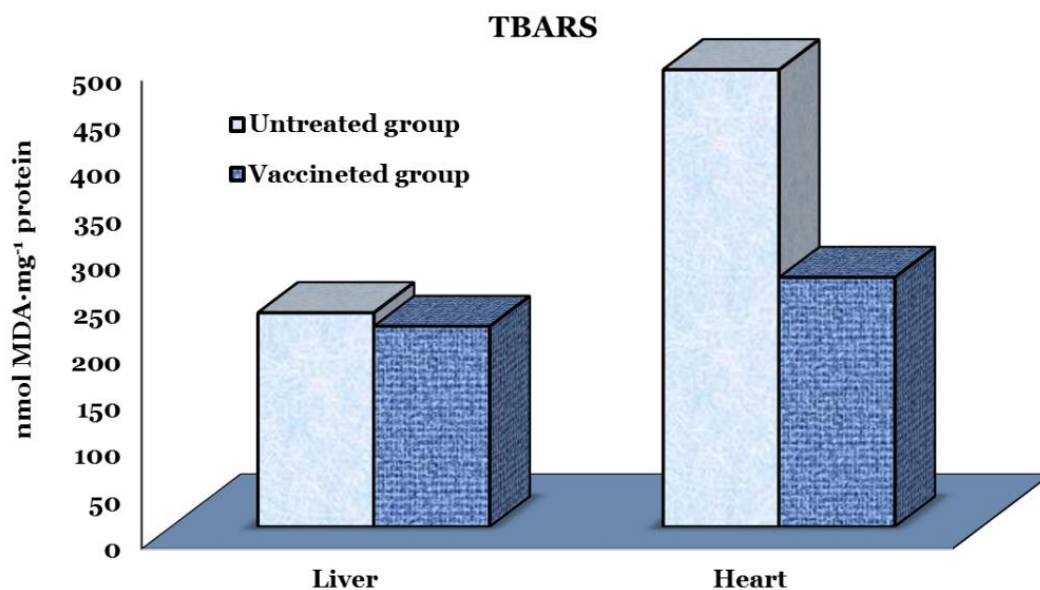


Fig. 1. The level of lipid peroxidation (nmol MDA per mg protein) in the liver and heart of the trout treated by vaccine against *Y. ruckeri* on the 61st day after immunization

Data are represented as mean \pm S.E.M.

Рис. 1. Уровень перекисного окисления липидов (нмоль МДА на мг белка) в печени и сердце форели, иммунизированной вакциной против *Y. ruckeri* на 61-й день после вакцинации

Aldehydic and ketonic derivatives of oxidatively modified proteins in the liver and heart of the trout treated by vaccine against *Y. ruckeri* on the 61st day after immunization are presented in Fig. 2.

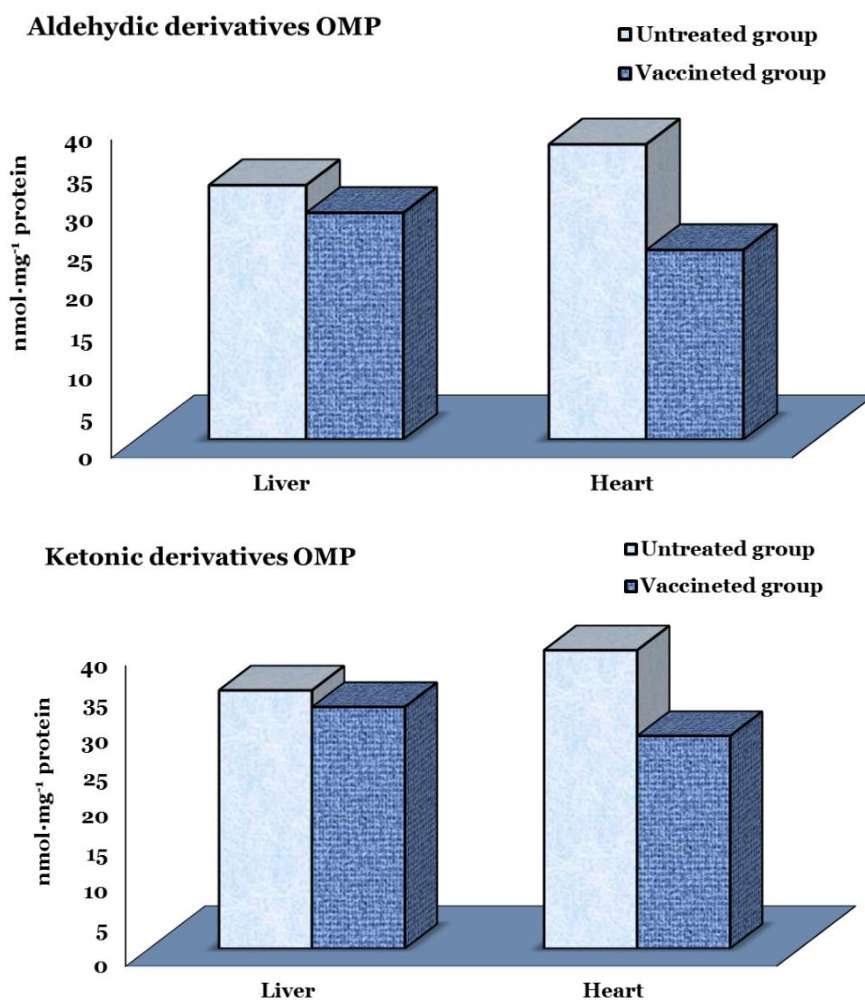


Fig. 2. Aldehydic and ketonic derivatives of oxidatively modified proteins in the liver and heart of the trout treated by vaccine against *Y. ruckeri* on the 61st day after immunization
Data are represented as mean \pm S.E.M.

Рис. 2. Альдегидные и кетоновые производные окислительно модифицированных белков в печени и сердце форели, иммунизированной вакциной против *Y. ruckeri* на 61-й день после вакцинации

The content of aldehydic derivatives of oxidatively modified proteins in the liver and heart was non-significantly decreased in the group vaccinated against *Y. ruckeri* at second month compared to unhandled group (Fig. 2). Vaccination caused a non-significant decrease the aldehydic and ketonic derivatives level in the heart by 36% and 29% ($p > 0.05$) compared to control (Fig. 2). The aldehydic and ketonic derivatives of OMB in hepatic tissue of fish treated by vaccine against *Y. ruckeri* on the 61st day after immunization was non-significant lower (by 11% and 6.4%, $p > 0.05$, respectively) compared to unhandled control (Fig. 2).

Significant decrease of TAC level (by 26%, $p = 0.010$) in the cardiac tissue of trout treated by vaccine against *Y. ruckeri* on the 61st day after immunization was found (Fig. 3).

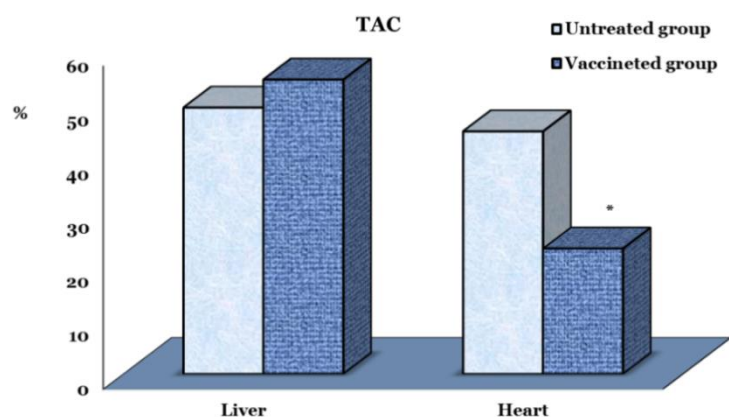


Fig. 3. Total antioxidant capacity (TAC, %) in the liver and heart of the trout treated by vaccine against *Y. ruckeri* on the 61st day after immunization.

Data are represented as mean \pm S.E.M.

* the significant difference was shown as $p < 0.05$ when compared unhandled group and vaccinated group values on the 61st day after immunization

Рис. 3. Общая антиокислительная активность в печени и сердце форели, иммунизированной вакциной против *Y. ruckeri* на 61-й день после вакцинации.

Статистически достоверные изменения ($p < 0,05$) в значениях между контрольной группой рыб и группой форели иммунизированной вакциной против *Y. ruckeri* на 61-й день после вакцинации

Several correlations between checked parameters were found (Fig. 4). Hepatic TBARS level correlated positively with aldehydic ($r=0.876$, $p=0.000$) and ketonic derivatives of oxidatively modified proteins ($r=0.708$, $p=0.015$) (Fig. 4).

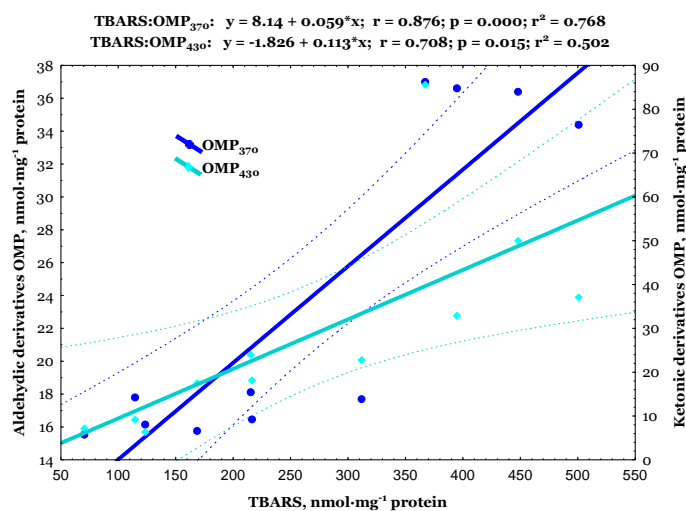


Fig. 4. Correlations between TBARS, aldehydic and ketonic derivatives of oxidatively modified proteins content in the hepatic tissue of the trout treated by vaccine against *Y. ruckeri* on the 61st day after immunization

Рис. 4. Корреляционные зависимости между биомаркерами перекисного окисления липидов, альдегидными и кетоновыми производными окислительно модифицированных белков в печени форели, иммунизированной вакциной против *Y. ruckeri* на 61-й день после вакцинации

DISCUSSION

In the present study, vaccination against *Y. ruckeri* showed a significant association with decreased carbonyl derivatives of oxidatively modified proteins as biomarkers of protein damage in the liver and heart of trout (Fig. 2). The non-significant decreased levels of lipid peroxidation and protein oxidation established on the 61st day after immunization (Fig. 1) might be a result of adaptation to immune activation caused by vaccination against *Y. ruckeri*.

Many studies contribute to our understanding of how the innate and adaptive immune systems in rainbow trout respond to both primary infection (first infection) and re-infection (secondary infection). Studies were based on mRNA expression, which may not always accurately reflect protein expression and biochemical changes [12]. Non-specific and specific immune responses of fish against *Y. ruckeri* strains have been studied extensively [1]. Both O-antigen and formalin-inactivated *Y. ruckeri* cells induced an immune response in rainbow trout, producing peak levels of antibody in the spleen on 14th day post exposure and overall maximum titer on 28th day post exposure [1, 13, 14]. Afonso et al. (1998) showed that phagocytic cells, such as neutrophils and macrophages, are an important part of the fish host immune system, and an inflammatory response to *Y. ruckeri* has been observed in the body cavity of rainbow trout. When *Y. ruckeri* was injected into resting peritoneal cavities, bacteria were ingested by the resident macrophages. When the bacteria were injected into cavities with high numbers of neutrophils, more neutrophils than macrophages contained bacteria. Results show that the macrophages are the resident phagocytes of the peritoneal cavity of trout, while neutrophils are present in that body cavity in significant numbers only in situations of inflammation and only as long as the inflammation persists [15]. Gene expression levels of CXCL, cytokine, chemokine, interleukin, cell receptor, immunoglobulin, SCOR and CISH genes have been measured in rainbow trout in response to *Y. ruckeri* biotype 1 strains and *Y. ruckeri* biotype 2 strains [1]. Production of specific antibodies against *Y. ruckeri* as well as serum amyloid A, which belongs to a highly conserved group of apolipoproteins, are considered to be an important innate immune molecule in rainbow trout during the course of *Y. ruckeri* infection [1, 16, 17].

Response of oxidative stress biomarkers in different tissues of fish is dependent of immune system activation and reactive oxygen species (ROS) generation due to respiratory burst in response to microbe recognition induced by vaccination. Paiva and Bozza (2014) described the mechanisms by which ROS directly kill microbes or interfere with the immune response, the role of ROS in pathogenic viral, bacterial, and protozoan infections. Phagocytes recognize microbes through many molecular patterns displayed by them and try to engulf them. Once a microbe is phagocytosed, the nature of the molecules recognized on microbe's surface dictates the treatment enacted within the phagosome. Respiratory burst, a process by which NADPH oxidase generates ROS in response to microbe recognition, is a possible outcome of this process and helps to get rid of many microbes [18].

In our study, vaccination against *Y. ruckeri* results in metabolic plasticity predominantly in the liver. We found decrease of aldehydic and ketonic derivatives of oxidatively modified proteins level and lipid peroxidation in the liver during the second month after immunization against *Y. ruckeri* while significant changes occurred in the cardiac tissue for total antioxidant capacity (decrease by 26%, $p=0.010$, compared to

control). Changes in markers of protein oxidation and correlations between carbonyl contents and lipid peroxidation biomarker suggest that oxidative stress biomarkers may contribute to metabolic state in the liver and heart of trout vaccinated against *Y. ruckeri*. We did not find any changes in the hepatic and cardiac tissue after 60 days of immunization. This is probably a result of long-term adaptation to immunization. Understanding the role of biochemical changes in the tissues of vaccinated trout has important implications for understanding of the complex physiological changes that occur in immunization as well as for improving aquaculture practices to maximize tissues growth and health of vaccinated trout.

This work was supported by grant of the Pomeranian University for Young Scientists.

REFERENCES

1. Kumar, G., Menanteau-Ledouble, S., Saleh, M., El-Matbouli, M. 2015. *Yersinia ruckeri*, the causative agent of enteric redmouth disease in fish. *Vet. Res.*, 46(1): 103.
2. Tobback, E., Decostere, A., Hermans, K., Haesebrouck, F., Chiers, K. 2007. *Yersinia ruckeri* infections in salmonid fish. *J. Fish Dis.*, 30(5): 257–268.
3. Horne, M.T., Barnes, A.C. 1999. Enteric redmouth disease (*Yersinia ruckeri*). In: Woo, P.T.K. and Bruno, D.W. (eds.), *Fish Diseases and Disorders*, Vol. 3. CAB International, pp. 456–477.
4. Cagirgan, H., Tanrikul, T. 1998. Testing the effectiveness of a *Yersinia ruckeri* in infected and chemically treated juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *J. Appl. Ichthyol.*, 14: 239–243.
5. Temprano, A., Riano, J., Yugueros, J., Gonzalez, P., de Castro, L., Villena, A., Luengo, J.M., Naharro, G. 2005. Potential use of a *Yersinia ruckeri* O1 auxotrophic *aroA* mutant as a live attenuated vaccine. *J. Fish Dis.*, 28: 419–427.
6. Bradford, M.M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal. Biochem.*, 72: 248–254.
7. Kamyshnikov, V.S. 2004. Reference book on clinic and biochemical researches and laboratory diagnostics, MEDpress-inform, Moscow (In Russian).
8. Levine, R.L., Garland, D., Oliver, C.N., Amici, A., Climent, I., Lenz, A.-G., Ahn, B.-W., Shaltiel, S., Stadtman, E.R. 1990. Determination of carbonyl content in oxidatively modified proteins. *Methods Enzymol.*, 186: 465–478.
9. Dubinina, E.E., Burmistrov, S.O., Khodov, D.A., Porotov, I.G. 1995. Oxidative modification of human serum proteins. A method of determining it. *Vopr. Med. Khim.*, 41: 24–26 (In Russian).
10. Halaktionova, L.P., Molchanov, A.V., Elchaninova, S.A., Varshavskiy, B.Y. 1998. The lipid peroxidation processes in patients with ulcerous illness of stomach and duodenum. *Clin. Lab. Diagnostics*, 6: 10–14 (In Russian).
11. Zar, J. H. 1999. *Biostatistical Analysis*. 4th ed., Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.

12. Paulson, L., Martin, P., Persson, A., Nilsson, C.L., Ljung, E., Westman-Brinkmalm, A., Eriksson, P.S., Blennow, K., Davidsson, P. 2003. Comparative genome and proteome analysis of cerebral cortex from MK-801-treated rats. *J. Neurosci.*, 71: 526–533.

13. Anderson, D.P., Dixon, O.W., Roberson, B.S. 1979. Kinetics of the primary immune response in rainbow trout after flush exposure to *Yersinia ruckeri* O-antigen. *Dev. Comp. Immunol.*, 3: 739–744.

14. Cossarini-Dunier, M. 1986. Secondary response of rainbow trout to DNP-haemocyanin and *Y. ruckeri*. *Aquaculture*, 52: 81–86.

15. Afonso, A., Lousada, S., Silva, J., Ellis, A.E., Silva, M.T. 1998. Neutrophil and macrophage responses to inflammation in the peritoneal cavity of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. A light and electron microscopic cytochemical study. *Dis. Aquat. Organ.*, 34: 27–37.

16. Raida, M.K., Nylén, J., Holten-Andersen, L., Buchmann, K. 2011. Association between plasma antibody response and protection in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* immersion vaccinated against *Yersinia ruckeri*. *PLoS One*, 6: e18832.

17. Kania, P.W., Chettri, J.K., Buchmann, K. 2014. Characterization of serum amyloid A (SAA) in rainbow trout using a new monoclonal antibody. *Fish Shellfish Immunol.*, 40: 648–658.

18. Paiva, C.N., Bozza, M.T. 2014. Are reactive oxygen species always detrimental to pathogens? *Antioxid. Redox Signal.*, 20(6): 1000–1037.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

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

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

Грудневская Йоанна – Институт пресноводного рыбного хозяйства, Жуково, Польша, отдел исследований лососевых рыб; кандидат биологических наук, докторант; E-mail: jgrudniewska@infish.com.pl

Grudniewska Joanna – Inland Fisheries Institute, Żukowo, Poland, Department of Salmonid Research; Candidate of Biological Sciences, Assistant Professor; E-mail: jgrudniewska@infish.com.pl

УДК 639.371.05

ПОТЕРИ МАССЫ И ЭНЕРГИИ ЗИМУЮЩИМ СЕГОЛЕТКОМ
РАЗНЫХ ПОРОД КАРПА

В. В. Шумак

LOSS OF MASS AND ENERGY AMONG WINTERING FINGERLINGS OF
DIFFERENT CARP BREEDS

V. V. Shumak

При выращивании рыбы изучались физиологические процессы в ее организме во время зимовки. Исследования проводили на базе селекционно-племенного участка (СПУ) «Изобелино» Минской области.

Впервые описаны процессы накопления или убывания вещества путем расчета соответствующих коэффициентов. Были проанализированы данные биохимических исследований по структуре организма рыбы при посадке на зимовку и весеннем облове. За период изучения принимали 180 сут (с 10 октября по 10 апреля), при детализации исследуемых показателей до одних суток.

В качестве начала отсчета были взяты значения показателей посаженной на зимовку рыбы. Коэффициент накопления выше единицы, например влаги, указывал на то, что рыба имела определенный среднесуточный процент прироста исследуемых значений. То есть соблюдался принцип сложных процентов, который отражен в накоплении процентов на сумму значений и накопленных ранее процентов.

Коэффициент убывания ниже единицы указывал на то, что рыба теряла, например, сухое вещество, протеины и липиды во время зимовки, имела определенный среднесуточный процент потерь исследуемых значений массы.

Сопоставимые с нормативными данными потери энергии наблюдались в течение периода зимовки в условиях прудов у лахвинского карпа – около 24 %, или 330–350 ккал/кг. Основу метаболизма в зимний период составляли потери энергии липидов (до 40 %), протеина (около 4 %). В итоговом показателе затрат отражены потери в 500 ккал/кг для черепетского карпа, около 36 %, что в два раза больше потерь энергии отводки три прим изобелинской породы карпа (17%).

сеголеток, средняя масса, зимовка, потери живой массы, энергия

In fish breeding it is necessary to study physiological processes in its bodies during hibernation period. The investigations were carried out at the selection and breeding sector (SBS) "Izobelino", Minsk region.

We were the first who described the process of substance accumulation or decrease by calculating the appropriate coefficients. We took biochemical research data on the fish body structure when planting in winter and spring fish catch for the values under study. The period of study was 180 days, since 10th October till 10th April under detailed elaboration of test items up to twenty-four hours.

The zero point was indicator values of the fish planted for winter. Accumulation coefficient of more than 1 (for instance, moisture coefficient), showed that there was a certain daily average percentage of fish growth. In other words, we observed the principle of compound interest which is reflected in accumulation of interests on the sum of the values and previously accumulated interest.

Decreasing coefficient which was below 1 denoted that fish were losing, for example, dry substance, proteins and lipids during wintering and had a certain daily average percentage of loss of the studied values.

Energy losses comparable to the standard data were observed among Lakhvenskiy carp during the period of hibernation in the ponds, and they were about 24%, or 330–350 kcal/kg. The losses of lipids energy (to 40%) and the losses of protein energy (about 4%) formed the basis of metabolism in winter. The total value of expenses reflects energy losses, which are about 500 kcal/kg for Cherepetskiy carp (about of 36%) which is two times more than energy losses of three prim Izobelinskiy carp (17%).

fingerligs, average mass, hibernation, loss of live weight, energy

ВВЕДЕНИЕ

Готовность молоди к зимовке обеспечивается условиями нагула в летний период выращивания и как итог хорошим физиологическим состоянием организма рыбы к моменту похолодания. В результате снижения температуры окружающей среды рыба начинает сосредотачиваться в понижениях ложа водоема в поисках благоприятных условий. Любое изменение гидрологического, газового режима и гидрохимического состава воды в это время вызывает дополнительные ответные реакции в организме рыб, что приводит к повышению затрат энергии на поддержание жизнедеятельности.

В условиях рыбохозяйственных предприятий большое внимание уделяют выращиванию стандартного сеголетка карпа средней массой не менее 25 г. Для обеспечения качества выращиваемого посадочного материала применяют различные методы интенсификации рыбоводства в летний период.

Каждому виду рыбы, в соответствии с физиологическим состоянием, свойственны оптимальные соотношения влаги и сухого вещества, которые отражают процессы обмена веществ. Рост рыбы одного и того же вида в различном возрасте сопровождается нормативными значениями для каждого технологического периода. Отдельные значения, соответствующие норме на ранних стадиях развития, заметно изменяются с течением времени. Так, для сеголетка карпа норма сухого вещества принята 24 % [1].

МЕТОДЫ

При изучении роста организма рыбы необходимо достаточно точно представлять процессы накопления влаги и прогнозировать изменение ее количества. За исследуемый материал взяты данные по сеголетку карпа из литературных источников, а также собранные нами в процессе его выращивания.

Рост рыбы, факторы и показатели, описывающие его, всегда были актуальны для изучения. Так, разрабатывались различные модели массонакопления и показатели комплексной оценки при селекции рыб [2, 3].

Определение содержания воды и сухого вещества проводили в соответствии с практическим руководством для рыбоводов, разработанным А.П. Ивановым (1963) [4].

Многие известные ученые-рыбоводы считали основной причиной больших отходов сеголетков рыб за время зимовки именно низкое качество посадочного материала [3, 5-7].

Качество посадочного материала обеспечивает как зимовку рыбы, так и эффективность процесса выращивания товарной рыбы в последующем технологическом периоде.

Методологической основой изучения процессов зимовки является представленный ранее подход к определению количества вещества при наличии данных по конечным значениям за изучаемый период. Во время зимовки рыбы отмечены потери сухого веса на фоне накопления минеральных веществ в структуре тела. Применили ранее разработанную формулу определения коэффициента массонакопления [8] с расчетом динамики показателей в целях детализации технологических процессов и их наглядного изображения. Проведено описание процессов накопления или убывания вещества путем расчета соответствующих коэффициентов. За изучаемые значения брали данные биохимических исследований по структуре организма рыбы при посадке на зимовку и весеннем облове. За период изучения принимали 180 сут (с 10 октября по 10 апреля).

За единицу отсчета брали состояние организма рыбы в период посадки ее на зимовку. Коэффициент накопления выше единицы указывал на то, что рыба имела определенный среднесуточный процент прироста исследуемых значений в период зимовки. При накоплении один и тот же процент прироста начисляется на полученные ранее значения. То есть соблюдается принцип сложных процентов, который отражен в накоплении их на сумму значений и накопленных ранее процентов.

Коэффициент убывания ниже единицы указывал на то, что рыба теряла, например, сухое вещество во время зимовки организма, имела определенный среднесуточный процент потерь исследуемых значений. При снижении показателя один и тот же процент потерь начислялся на полученные ранее значения. То есть соблюдался принцип сложных процентов, который отражен в снижении суммы значений с учетом предыдущих потерь. К моменту весеннего облова рыба находилась в качественно другом физиологическом состоянии.

Для сухого веса, протеина и липидов были рассчитаны коэффициенты убывания на период зимовки, т.е. значения K_u для них были меньше единицы.

По накоплению влаги также был рассчитан коэффициент накопления (K_n) на период 180 сут. Причем если за единицу брали содержание влаги в организме рыбы на момент посадки её на зимовку и значение коэффициента накопления было выше единицы, это указывало на то, что рыба имела определенный среднесуточный процент прироста исследуемых значений. При накоплении один и тот же процент прироста начисляется на полученные ранее значения.

При просчете расхода питательных веществ можно определить процент потерь в течение одних суток. Так, по сырому протеину суточный процент потерь $P_{\text{тп}}$ определяли по разнице двух ближайших значений.

При просчете потерь сырого протеина в течение одних суток в натуральных значениях, например в граммах, суточный процент потерь умножали на массу рыбы в предыдущие сутки и делили на 100 %. Проценты сокращаются. Единицы измерения результата являлись единицами измерения массы рыбы за предыдущие сутки.

Обменная, или физиологически полезная, энергия определяется расчетным способом путем умножения количества переваренного белка на энергетический эквивалент, предполагающий выделение жидких и газообразных продуктов его распада с образованием аммонийных соединений, который (из-за отсутствия точных определений) принимается за 4,4 ккал (18,41 кДж/г белка), а также умножением количества переваренного жира на 9,5 ккал/г (39,75 кДж/г), переваренных углеводов на 4,2 ккал/г (17,57 кДж/г) [9].

Энергетический эквивалент потерь сырого протеина в течение одних суток на единицу массы рыбы \mathcal{E}_{16} рассчитывали как произведение массы потерь за сутки в граммах и энергетического эквивалента, предполагающего выделение жидких и газообразных продуктов его распада с образованием аммонийных соединений, который (из-за отсутствия точных определений) принимался за 4,4 ккал/г, или 18,41 кДж/г белка.

Те же расчеты соответствовали изучению потерь по липидам на обеспечение жизнедеятельности организма рыбы в зимний период. Все основные результаты расчетов изображены графически на рис. 1.

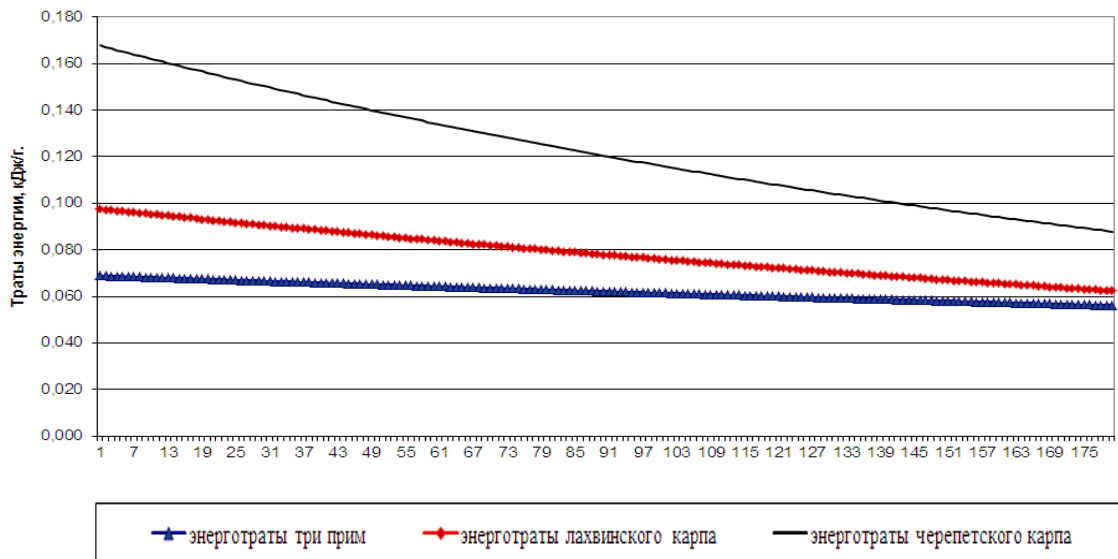


Рис. 1. Расходы энергии на поддержание жизнедеятельности 1 г живой массы племенного сеголетка карпа во время зимовки, СПУ «Изобелино» 2011-2012 гг.

Fig. 1. Power consumptions on maintenance of activity of 1 g of live mass of a breeding yearling of a carp during wintering, SPU "Izobelino" of 2011-2012

Принимая во внимание тот факт, что в период зимовки организм рыбы теряет сухое вещество и влагу и в конечном итоге живую массу, за каждые сутки рассчитали в граммах эти потери.

Затем на каждые сутки определили в граммах значения по каждой из пород зимующего сеголетка карпа, представляющие собой разницу суммы потерь сухого вещества и влаги и потери живой массы тела.

Все расчетные значения потерь зимующим сеголетком в течение 180 сут в качестве результирующих показателей изображены графически на рис. 2.

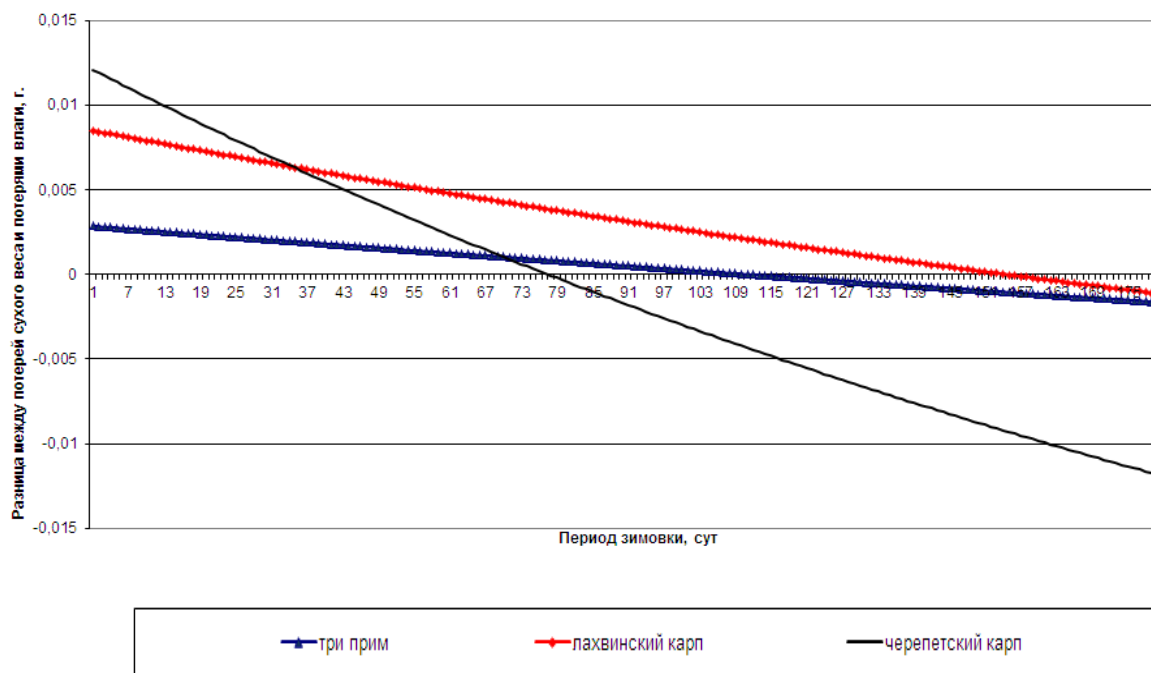


Рис. 2. Обмен веществ у зимующего сеголетка племенного карпа, СПУ «Изобелино» 2011-2012 гг

Fig. 2. A metabolism at the wintering yearling of a breeding carp, SPU "Izobelino", 2011-2012

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Изучали процессы физиологической подготовки сеголетка карпа к зимнему периоду. Были приняты к рассмотрению данные из научной литературы, а также отобраны и обработаны пробы рыбы в СПУ «Изобелино» в 2011-2012 гг., начинались работы 10 октября, заканчивались 10 апреля.

По собранным материалам установлено, что рыба была в удовлетворительном физиологическом состоянии. После посадки в зимовальные пруды отход был представлен лишь единичными особями, травмированными за время облова.

Общий ход потери живой среднештучной массы проходил по принципу массонакопления. Так как происходило снижение среднештучной массы рыбы, то коэффициент массонакопления был ниже единицы. Он, по сути, являлся отражением того, во сколько раз изменяется среднештучная масса рыбы за исследуемый период с учетом хода процесса по принципу сложных процентов. Для проведения расчетов взяты одни сутки в качестве единицы исследуемого временного периода.

Структура тела карпа изучена еще в начале XX в. По питательности мясо карпа стоит высоко, так как содержит (%): протеина - 21,9, жира – 1,1, воды – 76,8 [10]. Катаболические траты могут быть выражены в весовых единицах белка, жира и углеводов, а также в ккал/(кг×сут) [11]. При обильном корме культурные карпы могут в течение первого года своей жизни достигать веса 1 фунт, двухгодовалые весят 2, а в некоторых случаях 4 фунта [12].

Изучали материалы по динамике живой массы, содержанию сырого протеина и липидов в теле сеголетков трех различных пород, были рассчитаны затраты энергии на зимовку 1 кг живой массы рыбы в течение 180 сут. Так, таблица содержит сведения о затратах энергии на поддержание жизнедеятельности отводки три прим изобелинского карпа, лахвинского и черепетского карпа.

Таблица. Потери энергии сеголетком разных пород карпа во время зимовки в прудах СПУ "Изобелино", 180 сут, 2011-2012 гг.

Table. Energy losses among yearlings of different carp breeds during wintering in ponds of SPS "Izobelino", 180 days, 2011-2012

Показатели	Энергетический эквивалент живой массы сеголетка, ккал/кг	Энергетический эквивалент живой массы годовика, ккал/кг	Энергетический эквивалент потерь за зимовку, ккал/кг	Энергетический эквивалент потерь за зимовку, %
Ляхвинский карп				
Энергетический эквивалент жира, ккал/кг	779,00	475,00	304,00	39,02
Энергетический эквивалент протеина, ккал/кг	598,40	572,00	26,40	4,41
Сумма, ккал/кг	1377,40	1047,00	330,40	23,99
Черепетский карп				
Энергетический эквивалент жира, ккал/кг	741,00	332,50	408,50	55,13
Энергетический эквивалент протеина, ккал/кг	642,40	550,00	92,40	14,38
Сумма, ккал/кг	1383,40	882,50	500,90	36,21
Отводка три прим изобелинского карпа				
Энергетический эквивалент жира, ккал/кг	750,50	579,50	171,00	22,78
Энергетический эквивалент протеина, ккал/кг	695,20	620,40	74,80	10,76
Сумма, ккал/кг	1445,70	1199,90	245,80	17,00

Отводка три прим изобелинской породы карпа содержалась в СПУ "Изобелино" с 50-х гг. XX в. Все производители, используемые для получения потомства и сохранения чистой линии отводки, в 2011 г. были выращены в этом хозяйстве. Таким образом, отводка три прим породы изобелинского карпа районирована для данных условий содержания, что подтвердили низкие расходы протеина и липидов за зимний период, отраженные в итоговом показателе затрат как в единицах энергии – 245,80 ккал/кг, так и в процентном отношении – 17 %.

Представлены данные по зимовке сеголетка лахвинского карпа, производители которого были завезены с ОАО "Рыбхоз Лахва" Брестской области. Географически регион, в котором расположен этот рыбхоз, находится почти на 400 км южнее и климатически имеет отличительные особенности. Так, если СПУ "Изобелино" Минской области принято считать расположенным во II зоне рыбоводства, то ОАО "Рыбхоз Лахва" находится в III зоне рыбоводства.

Анализируя данные таблицы, следует отметить, что очень низкие расходы протеина сопровождалось значительными потерями липидов в зимний период.

В итоговом показателе затрат отражены потери в единицах энергии (330,40 ккал/кг) и в процентном отношении (почти 24 %).

Подобные значения (около 24 % затрат энергии организма на зимовку в прудовых условиях) были отмечены по зимовке сеголетка лахвинского карпа на базе СПУ "Изобелино", а также ОАО «Рыбхоз Полесье», выращенного и зимовавшего в прудах 2010–2011 гг. Расчеты, выполненные по литературным данным, подтвердили затраты энергии во время зимовки карпа в 24 % [13]. Результаты проведенных исследований сочетаются с основными положениями работ по массонакоплению различных видов рыб [14-16]. Использование питательных веществ на физиологические нужды организма рыбы считают нормальным явлением [17, 18].

Отмечено, что большой практический опыт ученых и рыбоводов прошлых лет, которые разработали нормативы содержания карпа в период зимовки, получил подтверждение в расчетах затрат энергии.

В таблице представлены данные по зимовке сеголетка черепетского карпа, производители которого были завезены с Черепетского рыбхоза Тульской области (Российская Федерация). Климатические особенности указанного рыбхоза формируются за счет того, что он расположен и ведет рыбохозяйственную деятельность на базе теплых сбросных вод Суворовской ГРЭС. Поэтому сумма эффективных температур позволяет Черепетскому рыбхозу соответствовать IV зоне рыбоводства.

При анализе таблицы отмечено, что достаточно низкими были расходы протеина, но значительными потери липидов в зимний период. В итоговом показателе затрат отражены потери в единицах энергии (около 500 ккал/кг) и в процентном отношении они превышали 36 % (что в 1,5 раза больше, чем теряли сеголетки лахвинской породы, или в два раза больше потерь изобелинского карпа). Для более наглядного представления информации по данным расчетов сделаны графические изображения потерь энергии на рис. 1. По отводке три прим изобелинского карпа выделяем то, что незначительные потери энергии в течение зимовки снижались на 20 % к концу изучаемого периода.

Наблюдается очень высокий уровень потерь энергии и питательных веществ черепетским карпом с самого начала зимовки – в 2,5 раза выше, чем у отводки три прим изобелинского карпа, которые к концу периода снижались более чем в два раза на единицу живой массы.

Потери энергии лахвинским карпом умеренные, они соответствовали полученным ранее значениям при условии стабильной ситуации в зимовальных прудах, были немного выше, чем у отводки три прим изобелинского карпа. За время зимовки потери энергии на обеспечение жизнедеятельности снижались в два раза на единицу живой массы.

Причиной уменьшения потерь энергии черепетским карпом в течение зимовки на единицу живой массы почти вдвое являлось накопление влаги в структуре организма, что подтверждено расчетными данными биохимических исследований (рис. 2). Выращивание тепловодного черепетского карпа в условиях II зоны рыбоводства в летний период позволило получить достаточно сопоставимого по качеству с другими породами сеголетка, но энергозатраты за время зимовки были выше нормативных [1].

Значительные потери сухого вещества, т. е. питательных веществ, приводили к изменению структуры организма. Можно сделать вывод, что организмы с меньшим содержанием сухого вещества требуют меньших затрат энергии на поддержание жизнедеятельности. Гораздо менее энергозатратен и обмен веществ у организмов с большим количеством воды в структуре тела.

Анализируя рис. 2, отмечаем наличие зависимости в выделении излишней влаги в результате обмена веществ в положительной области массообмена (выше отметки ноля) и накоплении влаги извне организмом рыбы в отрицательной области массообмена.

Были зафиксированы крайне высокие значения выведения излишнего количества влаги из организма сеголетка черепетского карпа на первых этапах зимнего содержания, проходило также замещение ею сухого вещества тела рыбы. При этом количество выделяемой организмом воды на первых порах значительно превышало потребности во влаге, образуемой за счет распада питательных веществ особи. После 80 сут зимовки отмечено потребление черепетским карпом значительных количеств влаги для компенсации потерь организма и замещения потери сухого вещества.

Такая ситуация в первые дни зимовки наблюдалась и в изменении состояния организмов сеголетков отводки три прим изобелинского карпа и лахвинского карпа. Наступление момента интенсивного замещения потерь сухого вещества организма карпа отводки три прим влагой из окружающей среды происходило значительно позже, к 110 сут.

Ллахвинский карп занимал промежуточное положение, умеренный расход веществ и энергии указывал, что условия зимовки для него были достаточно комфортными. Обменной влаги, образовавшейся в организме сеголетка в процессе жизнедеятельности, во время зимовки было достаточно до 155 сут. Далее наступало потребление влаги для компенсации потерь сухого вещества.

ВЫВОДЫ

Отмечено, что организм карпа с меньшим содержанием сухого вещества требует меньших затрат энергии на поддержание жизнедеятельности. Гораздо

более энергозатратен обмен веществ у организмов с меньшим количеством воды в структуре тела.

По итогам зимовки сеголетка карпа в прудах получали жизнестойкого годовика с содержанием сырого протеина не менее 12 %, липидов 3–4 %, что соответствовало принятым в рыбном хозяйстве требованиям к качеству посадочного материала.

Сопоставимые с нормативными данными потери энергии отмечены в течение периода зимовки в условиях прудов у лахвинского карпа (около 24 %, или 330–350 ккал/кг). Основу метаболизма в зимний период составляли потери энергии липидов (до 40 %) и протеина (около 4 %). В итоговом показателе затрат отражены потери в единицах энергии (около 500 ккал/кг) и в процентном отношении (превышали 36 % для черепетского карпа, что в два раза больше потерь энергии отводки три прим изобелинской породы карпа (17%)).

Потребление организмом рыбы воды из окружающей среды начиналось значительно раньше и проходило более интенсивно при некомфортных условиях зимовки. Наступление момента замещения потерь сухого вещества тела на влагу извне при комфортных условиях зимовки было отмечено гораздо позже и менее интенсивное. Графическое изображение расчетных материалов дало наглядную информацию для анализа полученных результатов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Инструкция по физиолого-биохимическим анализам рыб / В. В. Лиманский [и др.]. – Москва: Изд-во ВНИИПРХ, 1984. – 55 с.
2. Катасонов, В. Я. Методы комплексной оценки при селекции рыб / В. Я. Катасонов, А. В. Поддубная // Актуальные вопросы пресноводной аквакультуры: сб. науч. тр. - Вып. 78. – Москва: Изд-во ВНИРО, 2002. – С. 141–146.
3. Поляков, Г. Д. Истощение как одна из причин гибели сеголетков карпа во время зимовки / Г. Д. Поляков // Труды совещаний по физиологии рыб. – Москва, 1958. – С. 255–260.
4. Иванов, А. П. Химический анализ рыб и их кормов / А. П. Иванов. – Москва, 1963. – 37с.
5. Себенцов, Б. М. Зимование карпа в прудовых хозяйствах / Б. М. Себенцов. - Москва: Пищепромиздат, 1943. – 24 с.
6. Сигов, В. А. Биометрические критерии жизнеспособности первозимующих карпов / В. А. Сигов // Труды ВНИОРХ. – Москва, 1946. – Т.4. – С. 9–24.
7. Суховерхов, Ф. М. Прудовое рыбоводство / Ф. М. Суховерхов. - Москва: Сельхозгиз, 1953. – 180 с.
8. Шумак, В. В. Моделирование роста сеголетка племенного карпа / В. В. Шумак // Известия КГТУ. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВПО «КГТУ», №32, 2014. – С. 186–194.
9. Щербина, М. А. Кормление рыб в пресноводной аквакультуре / М. А. Щербина, Е. А. Гамыгин. - Москва: Изд-во ВНИРО, 2006. – 360 с.

10. Баранова, В. П. Определение количества потребленного рыбами естественного и искусственного корма по уравнению энергетического баланса / В. П. Баранова, Л. П. Максимова, А. М. Сахаров // Интенсификация разведения карповых рыб. - Ленинград: ГОСНИОРХ, 1974. – Т.88. – С.47–64.
11. Аминова, В. А. Физиология рыб / В. А. Аминова, А. А. Яржомбек. - Москва: Легкая и пищевая промышленность, 1984. – 200 с.
12. Гримм, О. А. Рыбоводство: научные основы и практика рыбоводства / О. А. Гримм. - Москва-Ленинград: Госсельхозиздат, 1931. – 263 с.
13. Канаев, А. И. Новый метод зимовки рыбы / А. И. Канаев. - Москва: Пищевая промышленность, 1975. – 48 с.
14. Резников, В. Ф. Стандартная модель массонакопления рыб / В. Ф. Резников // Механизация и автоматизация рыбоводства и рыболовства во внутренних водоемах: сб. науч. тр. – Москва: Изд-во ВНИИПРХ. 1978. –Вып. 22. – С.182–196.
15. Brett, J. R., Groves, T. D. Physiological energetic. - Fish physiology. Randall D. J. L. W. S. Hoar (ed). New York. Acad. Press, 1979, Vol. 8. – pp. 280–344.
16. Cowey, C. B., Sargent, J. R. Nutrition fish physiology. - Fish physiology. Randall D. J. L. W. S. Hoar (ed). New York. Acad. Press, 1979, Vol. 8. – pp. 1–58.
17. Adron, J. W., Blair, A., Cowey, C. B., Shanks A. Effect of dietary energy level and dietary energy source on growth, feed conversion and body composition of turbot (*Scophthalmus maximus* L.). – Aquaculture, 1976, Vol. 7. – pp. 125–132.
18. Page, J. W., Andrews, J. W. Interaction of dietary levels of protein and energy on channel catfish (*Ictalurus punctatus* Raf.). – J. Nutrition, 1973, Vol. 103. – pp. 1339–1346.

REFERENCES

1. Limanskij V. V., Jarzhombek A. A., Bekina E. N., Andronikov S. B. *Instrukcija po fiziologo-biohimicheskim analizam ryb* [Instruction on physiology-biochemical analyses of fish]. Moscow, VNIIPRH, 1984, 55 p.
2. Katasonov V. Ja., Poddubnaja A. V. *Metody kompleksnoj ocenki pri selekcii ryb* [Methods of complex assessment at selection of fish]. *Aktual'nye voprosy presnovodnoj akvakul'tury: sbornik nauchnyh trudov* [Topical issues of fresh-water aquaculture: proceedings]. Moscow, VNIRO, 2002, vol. 78, pp.141–146.
3. Poljakov G. D. *Istoshhenie kak odna iz prichin gibeli segoletkov karpa vo vremja zimovki* [Exhaustion as one of causes of carp fingerlings death during the period of wintering]. *Trudy soveshhanij po fiziologii ryb* [Proceedings of the meetings on fish physiology]. Moscow, 1958, pp. 255–260.
4. Ivanov A. P. *Himicheskij analiz ryb i ih kormov* [Chemical analysis of fish and their forages]. Moscow, 1963, 37 p.
5. Sebencov B. M. *Zimovanie karpa v prudovyh hozjajstvah* [Wintering of carp in pond farms]. Moscow, Pishhepromizdat, 1943, 24 p.
6. Sigov V. A. *Biometricheskie kriterii zhiznesposobnosti pervozimujushhih karpov* [Biometric criteria of carps viability during their first wintering]. Moscow, Trudy VNIORH, 1946, vol. 4, pp. 9–24.
7. Suhoverhov F. M. *Prudovoe rybovodstvo* [Fish breeding in ponds]. Moscow, Sel'hozgiz, 1953, 180 p.

8. Shumak V. V. Modelirovanie rosta segoletka plemennogo karpa [Growth modeling of breeding carp fingerlings]. *Izvestija KGTU, Kaliningrad*, 2014, no. 32, pp. 186–194.
9. Shherbina M. A., Gamygin E. A. *Kormlenie ryb v presnovodnoj akvakul'ture* [Fish feeding in a fresh-water aquaculture]. Moscow, VNIRO, 2006, 360 p.
10. Baranova V. P., Maksimova L. P., Saharov A. M. Opredelenie kolichestva potreblennogo rybami estestvennogo i iskusstvennogo korma po uravneniju jenergeticheskogo balansa [Definition of quantity of natural and artificial forage consumed by fish on the equation of power balance]. Intensifikacija razvedeniya karpovyh ryb [Stimulation of carps breeding]. Leningrad, *Izv. GOSNIORH*, 1974, vol. 88, pp. 47–64.
11. Amineva V. A., Jarzhombek A. A. *Fiziologija ryb* [Fish physiology]. Moscow, Legkaja i pishh. prom-st', 1984, 200 p.
12. Grimm O. A. *Rybovodstvo: nauchnye osnovy i praktika rybovodstva* [Fish breeding: scientific foundations and practice of fish breeding]. Moscow-Leningrad, Gossel'hozizdat, 1931, 263 p.
13. Kanaev A. I. *Novyj metod zimovki ryby* [A new method of fish wintering]. Moscow, Pishhevaja promyshlennost', 1975, 48 p.
14. Reznikov V. F., Baranov S. A., Starikov E. A., Tolchinskij G. I. Standartnaja model' massonakoplenija ryb [A standard model for weight accumulation of fish]. *Sbornik nauchnyh trudov "Mehanizacija i avtomatizacija rybovodstva i rybolovstva vo vnutrennih vodoemah"* [Proceedings "Mechanization and automation of fish breeding and fishery in internal reservoirs"]. Moscow, VNIIPRH, 1978, vol. 22, pp. 182–196.
15. Brett J. R., Groves T. D. Physiological energetic. Fish physiology. Randall D. J. L. W. S. Hoar (ed). New York. Acad. Press, 1979, vol. 8, pp. 280–344.
16. Cowey C. B., Sergent J. R. Nutrition fish physiology. Fish physiology. Randall D. J. L. W. S. Hoar (ed). New York. Acad. Press, 1979, vol. 8, pp. 1–58.
17. Adron J. W., Blair A., Cowey C. B., Shanks A. Effect of dietary energy level and dietary energy source on growth, feed conversion and body composition of turbot (*Scophthalmus maximus* L.). *Aquaculture*, 1976, vol. 7, pp. 125–132.
18. Page J. W., Andrews J. W. Interaction of dietary levels of protein and energy on channel catfish (*Ictalurus punctatus* Raf.). *J. Nutrition*, 1973, vol. 103, pp. 1339–1346.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Шумак Виктор Викторович – Полесский государственный университет, Республика Беларусь; кандидат биологических наук, доцент, заведующий кафедрой промышленного рыбоводства и переработки рыбной продукции;
E-mail: vshumak@yandex.ru

Shumak Victor Victorovich – Polesky State University, Republic of Belarus; candidate of Biology, associate professor, head of the department of industrial fish breeding and processing of fish production of establishment education;
E-mail: vshumak@yandex.ru

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

УДК 676.164

ВОЗМОЖНОСТИ РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ
ПРИ МЕХАНОТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ ОРЕХОВ

Г. В. Алексеев, И. И. Усманов, М. С. Хрипанкова

POSSIBILITIES RESURSOSBEREZHENIYA
UNDER MEHANOTERMICHESKOY PROCESSING NUT

G. V. Alexeev, I. I. Usmanov, M. S. Khripankova

В настоящее время изделия из ядер орехов и арахиса пользуются высокой популярностью у населения многих стран и как продукт питания в сыром и поджаренном виде, и как пищевое сырье, используемое в промышленных масштабах. Благодаря своим ценным качествам ядра орехов и арахиса и продукты, получаемые из них, широко используются в производстве мороженого, хлебобулочных и кондитерских изделий. Таким образом, совершенствование современного оборудования для термомеханической обработки орехов на современном этапе является актуальной задачей. В рамках решения этой проблемы излагаются особенности реализации процесса ресурсосберегающей обработки орехов, как ингредиента, обогащающего продукты питания важными пищевыми веществами. Приведены соображения, теоретически обосновывающие возможность и необходимость совмещения измельчения и термообработки в одном процессе. Рассмотрены недостатки существующих технологий термомеханической обработки орехов. Для поиска разумного компромисса между энергией, затраченной на за жаривание орехов (их упрочнение), и энергией, затраченной на измельчение (мощность мельницы), спроектировано новое устройство. Технической задачей разработанного устройства при измельчении орехов является повышение эффективности, производительности и снижение потребляемых как энергетических, так и сырьевых ресурсов, что обеспечивается конструктивными особенностями и оптимизацией параметров. Предлагаемое инновационное техническое решение обеспечивает повышение производительности, ресурсосбережение и улучшение качества готового продукта. Эффективность предлагаемого устройства достигнута за счёт построения конструкции на основе размещения механизма измельчения в обогреваемом корпусе с возможностью его вертикального перемещения. Перечислены преимущества механизма по сравнению с традиционными устройствами. Изображена схема экспериментальной установки, приводится описание её работы. Сформулированы основные научные задачи для создания методики расчёта промышленного устройства.

термомеханическая обработка, орехи, ресурсосберегающие технологии, измельчительный механизм, опытная установка, предварительные экспериментальные данные, перспективы промышленного использования

At present products from nut and peanuts use high popularity beside populations of the many countries and as product of the feeding in cheese and roasted type, and as food raw material, used in industrial scale. Due to its valuable quality kernel nut and peanuts and products, got of them, are broadly used in production icecream and pastries. Thereby using the modern equipment for termo of the processing nut is actual.

Within the framework of decision of this problem are stated particularities to realization of the process resours processing nut, as ingrediemt carrying in products of the feeding important food material. The Broughted considerations theoretically motivating possibility and need of the joining of the pulverizing and termo in one process. The Considered defect existing technology termo processing nut. For searching for of the reasonable compromise between energy spent on termo pulverizing (the power of the mill) is designed new device. The Problem of engineering designed device when pulverizing nut is increasing to efficiency of the pulverizing the product, increasing to capacity and reduction comsumed as energy, so and raw materials resource that is provided her constructive particularity and optimization parameter. Proposed new technical decision, provides increasing to capacity, resours and improvement ready product quality. Efficiency proposed device is reached for count of the building to designs on base of the accomodation of the mechanism of the pulverizing in heated body with possibility his(its) vertical displacement. The Enumerated advantage of the mechanism in contrast with traditional device. Izobrazhena scheme of the experimental installation, happens to the description of her work. The main scientific problems are Worded for making the methods calculation industrial device.

termomechanicheskaya processing, nuts, resource technologies, grinding mechanism, experienced installation, preliminary experimental data, prospects of the industrial use

Основное требование к производству продуктов питания – выполнение условий по максимальному сохранению питательных веществ при возможно меньшем расходовании пищевого сырья. Часто для обогащения продуктов питания ценными пищевыми веществами и расширения ассортимента продукции применяются различные дополнительные вкусовые ингредиенты, в том числе разнообразные орехи: грецкий, фундук, кешью, арахис и др., к таким добавкам требования ресурсосбережения и наиболее полного использования всех составляющих предъявляются особенно строго.

Употребление в качестве пищевых ингредиентов семян масличных культур, ядер орехов и примыкающих к этой группе ядер арахиса является весьма перспективным направлением при решении практических задач создания рационов питания, так как в них удачно сочетаются привлекательные вкусовые качества и основные нативные пищевые компоненты: белки, жиры (около 80 % ненасыщенных жирных кислот) и углеводы. Кроме того, они богаты минеральными веществами и содержат витамины А, В1, В2, РР и С.

Вместе с тем практическое решение этой задачи сдерживается из-за недостатка научных знаний по физико-химическому составу сырья, методам оценки качества, способам технологической обработки (в том числе термической) и проектированию продуктов нового поколения на основе орехосодержащего сырья. Изучение широкого спектра вопросов, связанных с технологией переработки орехов и бобов арахиса, позволяет определить перспективные направления полифункционального использования этих продуктов в разнообразных пищевых технологиях.

В настоящее время изделия из ядер орехов и арахиса пользуются высокой популярностью у населения многих стран и как продукт питания, и как пищевое сырье, применяемое в промышленных масштабах. Благодаря своим ценным качествам ядра орехов и арахиса и продукты, получаемые из них, широко используются в производстве мороженого, хлебопекарных и кондитерских изделий [1].

Таким образом, очевидно, что актуальными направлениями поиска являются разработка и внедрение в производство современных технологий переработки ядер орехов и арахиса.

Исследования по данному направлению предусматривают разработку требований к сырью и готовой продукции, методов контроля физико-химических показателей сырья, полуфабрикатов и готовой продукции, параметров технологических процессов переработки ядер орехов и арахиса (очистки, термической обработки, дробления). Также проводится изучение некоторых аспектов воздействия технологических параметров на показатели полуфабриката и готовой продукции, обоснование сроков хранения продукции из ядер орехов и арахиса, гарантирующих высокое качество и пищевую ценность готового продукта.

Опубликованная в открытой печати информация ряда зарубежных фирм о технологии переработки ядер орехов и арахиса дает сведения в стиле «ноу-хау», так как является предметом коммерческой тайны.

Описан, например, способ обработки орехов, согласно которому они помещаются в камеру и нагреваются микроволновым излучением при температуре 100-140 °С под вакуумом 6,7-16 кПа до готовности.

В описании указано, что использование вакуума или конвективного обдува горячим воздухом ускоряет процесс обжарки пищевых продуктов, кроме того, отмечается, что при температуре ниже 100 °С замедляется процесс обжарки, а при температуре выше 140 °С происходит ухудшение их качества.

В действительности же качество пищевых продуктов ухудшается уже при температурах выше 60-65 °С, так как разрушается большинство водорастворимых витаминов, кальциферолы, токоферолы, эфирные масла, а также другие полезные вещества. При снижении температуры в данном способе до не разрушающих полезных веществ значений (60 °С и ниже) процесс обжарки замедлится до практически неприемлемого времени (десятки минут или часы).

Иногда приготовление орехов происходит с предварительным обжариванием и покрытием слоем, содержащим вкусоароматическую добавку. При этом орехи подсушивают до влажности 1,8-4,2 мас. %, помещают в дражировочный котел, покрывают слоем загустителя, масса которого составляет 1,7-3,3% от их массы, а затем посыпают порошкообразной вкусовой добавкой, масса которой – 2,7-8,5 % от массы орехов. Полуфабрикат с нанесенным покрытием подсушивают в течение 2-6 мин воздухом при 45-55 °С, а затем в течение 5-12 мин воздухом при 16-22 °С.

В качестве вкусоароматической добавки используют сухой измельченный острый перец чили, измельченный сухой укроп, ароматизаторы со вкусом и ароматом запеченного мяса или креветки [2].

Применение орехов, приготовленных одним из описанных способов или по другой технологии, предполагает последующее их измельчение.

Обеспечение рационального использования выделяемой для этих этапов энергии и ресурсосбережения невозможно без учета энергозатрат на измельчение.

Наиболее широко для оценки эффективности работы измельчителей применяется коэффициент полезного действия [1-4]

$$\eta = \frac{A_{\Pi}}{A_{\Pi} + A_{y} + A_{o}}, \quad (1)$$

где A_{Π} – работа образования новой поверхности, Дж; A_{y} – работа упругой деформации; A_{o} – работа пластической деформации.

Этот показатель физически вполне обоснован, так как показывает отношение полезных затрат энергии к общим. Однако практическое применение критерия затруднено, так как правильно оценить величину полезных работ в действительности невозможно. Для расчета A_{Π} в формуле Ребиндера необходимо знать величину коэффициента пропорциональности K_s , информация о котором также ограничена:

$$A_{II} = K_S \cdot \Delta S, \text{ Дж}, \quad (2)$$

где ΔS – прирост площади новой поверхности, м^2 .

Чтобы избежать трудностей теоретического расчета A_{II} , многие авторы вводят в рассмотрение косвенные параметры энергетической эффективности. Например, показатель удельной загрузки ротора $P_{уд}$:

$$P_{уд} = \frac{N}{D \cdot L}, \text{ кВт/м}^2, \quad (3)$$

где N - потребляемая мощность, кВт; D - диаметр ротора, м; L - активная длина ротора, м.

Физически этот показатель соответствует энергонапряженности единицы площади диаметрального сечения дробилки [5-6].

В некоторых случаях применяют показатель удельной производительности $P_{уд}$, являющийся отношением производительности мельницы G_M , т/ч к объему ее корпуса V_A , м^3 .

$$P_{уд} = \frac{G_M}{V_A}, \text{ т/м}^3\text{ч}. \quad (4)$$

Производительность дробилки, выраженная в килограммах в час или тоннах в час, никак не характеризует эффективность работы. В этом отношении более обоснованно выразить производительность в абсолютном приросте новой поверхности ΔS в $\text{м}^2/\text{ч}$. Можно выразить прирост поверхности ΔS через характеристики материала и производительность мельницы. Удельная поверхность дисперсного материала S_d , выражается по формуле:

$$S_d = \frac{S_M}{V_M} = \frac{n\pi d_{\text{э}}^2}{n\pi d_{\text{э}}^3} = \frac{6}{\psi \cdot d_{\text{э}}}, \text{ м}^2/\text{м}^3, \quad (5)$$

где S_M – изменение суммарной площади поверхности частиц материала в единицу времени, $\text{м}^2/\text{с}$; V_M – объемная производительность мельницы, $\text{м}^3/\text{с}$; n – счетное число частиц; ψ – фактор формы частицы – отношение площади поверхности частицы неправильной формы к площади поверхности эквивалентной по объему сферы диаметром $d_{\text{э}}$; $d_{\text{э}}$ – средний эквивалентный диаметр частицы материала, м.

Исходя из формулы (5) S_M , получим

$$S_M = \frac{6 V_M}{\psi d_{\text{э}}} \text{ или } S_M = \frac{6 G_M}{\psi d_{\text{э}} \rho_M}, \quad (6)$$

где ρ_M – истинная плотность материала, кг/м^3 ; G_M – массовая производительность мельницы, кг/с ; V_M – объемная производительность мельницы, $\text{м}^3/\text{с}$.

Тогда прирост площади поверхности в единицу времени определится как

$$\Delta S = S_{M_2} - S_{M_1} = \frac{6 G_M}{\rho_M} \left(\frac{1}{\psi_2 d_{\text{э}_2}} - \frac{1}{\psi_1 d_{\text{э}_1}} \right), \text{ м}^2/\text{с}. \quad (7)$$

Обозначим степень измельчения параметром i :

$$i = \frac{d_{\text{э}_1}}{d_{\text{э}_2}}, \quad (8)$$

где $d_{\text{э}_1}, d_{\text{э}_2}$ - средние начальный и конечный размеры частиц измельчаемого материала соответственно.

С учетом (8) формула (7) примет вид:

$$\Delta S = \frac{6 G_M}{\psi_1 \rho_M d_{\varepsilon_1}} \left(\frac{\psi_1}{\psi_2} i - 1 \right) \text{ либо}$$

$$\Delta S = \frac{6 G_M}{\psi_2 \rho_M d_{\varepsilon_2}} \left(\frac{\psi_1}{\psi_2} - \frac{1}{i} \right). \quad (9)$$

Как правило, форма частиц материала до и после измельчения неодинакова, но в тех случаях, когда этим изменением можно пренебречь, формула (9) значительно упростится:

$$\Delta S = \frac{6 G_M}{\psi \rho_M d_{\varepsilon_1}} (i - 1). \quad (10)$$

В формулу (10) входят наиболее часто применяемые в промышленной практике параметры: производительность G_M , степень измельчения i , плотность материала ρ_M , начальный размер кусок d_{ε_1} .

С учетом вышеприведенных рассуждений можно записать параметр энергетической эффективности в виде

$$\varepsilon = \frac{\Delta S}{V_A \cdot N}. \quad (11)$$

Предложенный показатель может быть использован для сравнения любых способов измельчения одного вида орехов, прошедших одинаковую термообработку. При сравнении способов измельчения различных орехов необходимо ввести параметр, характеризующий их прочность

$$\varepsilon = \frac{\Delta S \cdot P_{ps}}{V_A \cdot N}, \quad 1/\text{м}^3, \quad (12)$$

где P_{ps} – показатель прочности материала, Дж/м².

Параметр ε тем выше, чем больший прирост новой поверхности будет достигнут для более прочных орехов при меньших энергетических затратах и минимальном объеме рабочей камеры.

Для поиска разумного компромисса между энергией, затраченной на зажаривание орехов (их упрочнение), и энергией, затраченной на их измельчение (мощность мельницы), спроектировано новое устройство [7-9].

Технической задачей разработанного устройства при измельчении орехов является повышение эффективности измельчения продукта, повышение производительности и снижение потребляемых как энергетических, так и сырьевых ресурсов, что обеспечивается конструктивными особенностями и оптимизацией параметров.

Сущность задачи заключается в том, что в устройстве для измельчения, состоящем из корпуса с загрузочным и выгрузочным отверстиями, измельчающего механизма в виде размещенного по оси корпуса полого вала и закрепленного на нем измельчительного органа, полый вал выполнен перфорированным и размещен с возможностью перемещения вдоль оси корпуса, а его нижний конец, направленный в сторону выгрузочного отверстия, оснащен конической заглушкой с радиально упорным подшипником, при этом верхний конец вала, снабженный

кольцевым магнитом, подпружинен и размещен внутри соленоида, а в средней части вала закреплен фрикционный конус, входящий в соприкосновение с приводом при вертикальном перемещении вала. Кроме того, верхний конец полого вала соединен с подающей магистралью моющей жидкости [10].

Техническим результатом исследования является повышение эффективности измельчения за счет автоматизации переключения режимов измельчения и выгрузки готовой продукции, что осуществляется регулируемым включением соленоида, генерирующего магнитное поле, которое обеспечивает надежное перекрытие выгрузочного отверстия и соединение вала с приводом в процессе измельчения при размещении вала с возможностью перемещения в вертикальном направлении вдоль оси корпуса. Этому же способствует снабжение вала конической заглушкой с радиально упорным подшипником. С другой стороны, выполнение полого вала перфорированным и соединение его верхнего конца с магистралью моющей жидкости позволяют легко дезинфицировать рабочую камеру, удаляя остатки измельченного продукта. При необходимости использования измельченных орехов для приготовления кондитерских изделий, например, печенья, в качестве жидкости может быть добавлен меланж или другая функциональная жидкость с кусковыми компонентами.

Сущность предлагаемого технического решения поясняет рис. 1, на котором представлена принципиальная схема. На ней изображен продольный разрез заявляемого устройства для измельчения орехов, которое состоит из: камеры для хранения измельчаемых продуктов с обогреваемой рубашкой 1; жарочной камеры 2, патрубка для соединения с функциональной жидкостью 3; электромагнита 4; возвратной пружины 5; электропривода с фрикционным редуктором 6; крышки с загрузочным отверстием и пластинчатой пружиной 7; полого перфорированного вала 8, установленного с возможностью осевого перемещения, измельчительного органа 9; конической заглушки 10; направляющей воронки 11; емкости для наполнения 12.

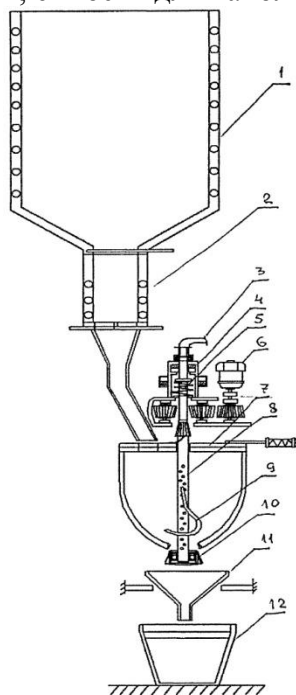


Рис. 1. Устройство для измельчения орехов

Fig. 1. Device for pulverizing nut

Устройство при приготовлении дробленых обжаренных орехов для наполнения кондитерских изделий работает следующим образом. При его включении из камеры 1 предварительно прогретые орехи поступают в жарочную камеру 2, где поддерживается необходимая для этого вида орехов температура, затем определенная доза орехов из накопителя попадает через открытое загрузочное отверстие крышки 7 внутрь измельчительной емкости, при этом пластинчатая пружина держится в сжатом состоянии. Вал 8 находится в крайнем верхнем положении, коническая заглушка 10 замыкает рабочий объем камеры, а конический редуктор привода 6 сцеплен с фрикционным конусом, расположенным на валу 8. Пружина 5 - в сжатом положении под действием включенного электромагнита 4. Патрубок 3 перекрыт и не допускает попадания функциональной жидкости в рабочую полость. После включения привода 6 перекрывается отверстие в крышке 7, а измельчительный орган 9, воздействуя на орехи, измельчает их до необходимой кондиции.

После отключения привода выключается электромагнит 4, пружина 5 перемещает вал 8 в крайнее нижнее положение. Одновременно патрубок 3 открывают для соединения с емкостью функциональной жидкости с вкусовыми ингредиентами, которая поступает внутрь полого вала 8 и через перфорацию вымывает из рабочего объема камеры измельченные орехи сначала в направляющую воронку 11, а затем в емкость 12, одновременно очищая и сам измельчительный орган 9. Далее перекрывается патрубок 3 и включается электромагнит 4, после чего рабочая емкость замыкается. При перемещении полого вала 8 в крайнее верхнее положение открывается отверстие в крышке 7.

Процесс загрузки орехов и измельчение их с вымыванием полуфабриката повторяется. В случае простой дезинфекции камеры через патрубок 3 подается моющий раствор в емкость 12, который удаляет технологические отходы.

Описанная конструкция расширяет возможности устройства для измельчения орехов, поскольку позволяет обжаривать орехи при регулируемых режимах, а количество их определяется объемом накопителя.

Практическое опробование такого устройства проводилось при дроблении ядер фундука и арахиса при постепенном изменении значений температуры обжаривания. Эффективность того или иного способа переработки оценивалась по величине потерь сухих веществ. Сравнительные графики со стандартным режимом переработки приведены на рис. 2 [11-13].

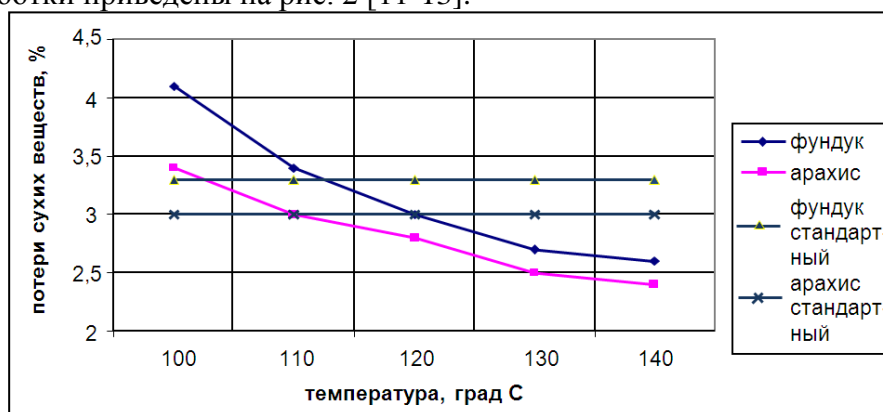


Рис. 2. Сравнительные данные об эффективности термомеханической обработки орехов для разных режимов

Fig. 2. Comparative given termo about efficiency of the processing

nut for miscellaneous mode

Анализ предварительных экспериментальных данных свидетельствует о том, что орехи при достаточно высокой температуре обжарки приобретают дополнительную прочность и разрушаются на отдельные фрагменты без крошек. Это снижает процент потерь, хотя повышение температур ведет к утрате некоторых ценных пищевых веществ. Повышение прочности измельчаемых орехов ведет естественным образом к увеличению мощности самого измельчительного устройства [14-15].

Проведенные исследования в качестве дальнейшего направления совершенствования процессов термомеханической обработки орехов, с точки зрения повышения их ресурсосбережения, позволяют рекомендовать поиск компромиссных вариантов сочетания температур обжарки со скоростью вращения измельчительного рабочего органа и подаваемой на него мощности. Снижение потерь сухих веществ определяет ресурсосберегающие возможности предлагаемых устройства и способа переработки орехов, что ведет и к рациональному энергопотреблению.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Шуляк, В. А. Сушка и механотермическая обработка дисперсных материалов и сред / В. А. Шуляк. – Минск: Изд. центр БГУ, 2003. – 240 с.
2. Baukelmann G., Schmidt P. Doppelzyklon mit Schraubenspalt-Diffusor-Tauchrohr // Aufbereitungs technik. – 1989. – №4. – P. 206-211.
3. Алексеев, Г. В. Основы теории решения изобретательских задач: учеб. пособие / Г. В. Алексеев. – Санкт-Петербург, 2004. – 262 с.
4. Численные методы при моделировании технологических машин и оборудования: учеб. пособие / М. В. Гончаров [и др.]. – Санкт-Петербург, 2014. – 280 с.
5. Biffin M., Syzed N., Sage P. // Chem. Eng. Research and Design. - 1984. – V. 62. – №6. – P. 261-265.
6. Алексеев, Г. В. Перспективы применения кавитационного воздействия для измельчения пищевых продуктов: монография / Г. В. Алексеев, А. В. Кондратов. – Саратов, 2013. – 192 с.
7. Иванова, А. С. Моделирование процесса натекаания неньютоновской жидкости на жесткую преграду / А. С. Иванова, Г. В. Алексеев // Вестник международной академии холода. – 2012. – № 1. – С. 34-35.
8. Emaga T.H. Kinetics of the Hydrolysis of Polysaccharide Galacturonic Acid and Neutral Sugars Chains from Flaxseed Mucilage / T.H. Emaga, N. Rabetafika, C.S. Blecker, M. Paquot // Biotechnol. Agron. Soc. Environ. 2012. – v. 16, № 2. – pp. 139-147.
9. Вороненко, Б. А. Аналитическое исследование процесса импульсного (дискретного) теплового воздействия на перерабатываемое пищевое сырье / Б. А. Вороненко, Г. В. Алексеев, В. А. Головацкий // Новые технологии. – 2012. – № 2. – С. 11-15.
10. Патент РФ №131996 Устройство для измельчения фруктов и овощей / Г. В. Алексеев, Е. П. Башева, Е. В. Кравцова, Т. В. Минаева, Л. В. Минаева. – Заявл. 26.02.2013 №2013108483, опубли. в ФИПС 10.09.2013.
11. Gänzle M.G. From gene to function: metabolic traits of starter cultures for

improved quality of cereal food / M.G. Gänzle // Food Microbiol. 2009. – № 31 – pp. 29-36.

12. Бриденко, И. И. Виртуальный лабораторный практикум по курсу «Механика жидкости и газа» / И. И. Бриденко, Г. В. Алексеев. – Санкт-Петербург: ГИОРД, 2007. – 152 с.

13. Алексеев, Г. В. Современные подходы к рациональному использованию ресурсов при первичной обработке пищевого сырья / Г. В. Алексеев, Е. И. Верболюз // Вестник Международной академии холода. – 2003. – №4. – С. 35-39.

14. Подходы нечеткой логики в исследованиях биотехнологий для рационального использования пищевых ресурсов / Е. В. Егошина [и др.] // Научный журнал НИУ ИТМО. Сер.: Процессы и аппараты пищевых производств. – 2014. – № 4. – С. 244-255.

15. Возможность управления процессом измельчения путем изменения структурно механических свойств пищевой смеси // А. В. Кондратов [и др.] // Известия Санкт-Петербургского государственного университета низкотемпературных и пищевых технологий. – 2008. – №4. – С. 54-58.

REFERENCES

1. Shuljak V. A. *Sushka i mehanotermicheskaia obrabotka dispersnykh materialov i sred* [Drying and mechanical-thermal treatment of disperse materials and mediums]. Minsk, Izd. centr BGU, 2003, 240 p.

2. Baukelmann G., Schmidt P. Doppelzyklon mit Schraubenspalt-Diffusor-Tauchrohr. *Aufbereitungs technik*. 1989, no. 4, pp. 206-211.

3. Alekseev G. V. *Osnovy teorii reshenija izobretatel'skikh zadach. Uchebnoe posobie* [Foundations of the theory of inventive problem solving. Students book]. Saint-Petersburg, 2004, 262 p.

4. Goncharov M. V., Alekseev G. V., Voronenko B. A., Holjavin I. I. *Chislennyye metody pri modelirovanii tehnologicheskikh mashin i oborudovanija. Uchebnoe posobie* [Numerical methods in simulation of technological machines and equipment. Students book]. Saint-Petersburg, 2014, 280 p.

5. Biffin M., Syzed N., Sage P. *Chem. Eng. Research and Design*. 1984, vol. 62, no. 6, pp. 261-265.

6. Alekseev G. V., Kondratov A. V. *Perspektivy primeneniya kavitacionnogo vozdeystviya dlja izmel'chenija pishhevykh produktov* [Perspectives of using cavitation attack for grinding food products]. Saratov, 2013, 192 p.

7. Ivanova A. S., Alekseev G. V. Modelirovanie processa natekanija nen'-jutonovskoj zhidkosti na zhestkuyu pregradu [Simulation of the process of non-Newtonian fluid leaking on a hard barrier]. *Vestnik mezhdunarodnoj akademii holoda*, 2012, no. 1, pp. 34-35.

8. Emaga T. H., Rabetafika N., Blecker C. S., Paquot M. Kinetics of the Hydrolysis of Polysaccharide Galacturonic Acid and Neutral Sugars Chains from Flaxseed Mucilage. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 2012, vol. 16, no. 2, pp. 139-147.

9. Voronenko B. A., Alekseev G. V., Golovackij V. A. Analiticheskoe issledovanie processa impul'snogo (diskretnogo) teplovogo vozdeystviya na pererabatyvaemoe pishhevoe syr'e [Analytical study of the process of impulse (discrete) heat impact on processed raw material]. *Novye tehnologii*, 2012, no. 2, pp. 11-15.

10. Alekseev G. V., Basheva E. P., Kravcova E. V., Minaeva T. V., Minaeva L. V. *Ustrojstvo dlja izmel'chenija fruktov i ovoshhej* [Device for grinding fruit and

vege-tables]. Patent RF №131996. Zajavl. 26.02.2013 № 2013108483, opubl. v FIPS 10.09.20137.

11. Gänzle M. G. From gene to function: metabolic traits of starter cultures for improved quality of cereal food. *Food Microbio.* 2009, no. 31, pp. 29-36.

12. Bridenko I. I., Alekseev G. V. *Virtual'nyj laboratornyj praktikum po kursu "Mehanika zhidkosti i gaza"* [Virtual laboratory practicum on "Fluid mechanics"]. Saint-Petersburg, GIORД, 2007, 152 p.

13. Alekseev G. V., Verboloz E. I. Sovremennye podhody k racional'nomu ispol'zovaniju resursov pri pervichnoj obrabotke pishhevogo syr'ja [Modern approaches to rational use of resources in primary processing of food raw material]. *Vestnik Mezhdunarodnoj akademii holoda*, 2003, no. 4, pp. 35-39.

14. Egoshina E. V., Alekseev G. V., Verboloz E. I., Basheva E. P., Borovkov M. I. Podhody nechetkoj logiki v issledovaniyah biotekhnologij dlja racional'nogo ispol'zovanija pishhevyyh resursov [Fuzzy logic approaches in studies of biotechnologies for the rational use of food resources]. *Nauchnyj zhurnal NIU ITMO. Seriya "Processy i apparaty pishhevyyh proizvodstv"*, 2014, no. 4, pp. 244-255.

15. Kondratov A. V., Alekseev G. V., Aret V. A., Verboloz E. I. Vozmozhnost' upravlenija processom izmel'chenija putem izmenenija strukturno mehanicheskikh svojstv pishhevoj smesi [A possibility for managing grinding process by means of changing structural-mechanical properties of a food mixture]. *Izvestija Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta nizkotemperaturnyyh i pishhevyyh tehnologij*, 2008, no. 4, pp. 54-58.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Алексеев Геннадий Валентинович – Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики; доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Процессы и аппараты пищевых производств»; E-mail: gva2003@mail.ru

Alexeev Gennadiy Valentinovich – Sankt-Petersburg national exploratory university information technology, mechanical engineers and optometrists; the doctor of the technical sciences, professor, managing pulpit "Processes and devices food production"; E-mail: gva2003@mail.ru

Усманов Ильхом Ибрагимович – Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики; аспирант кафедры «Процессы и аппараты пищевых производств»; E-mail: gva2003@mail.ru

Usmanov Ilihom Ibragimovich – Sankt-Petersburg national exploratory university information technology, mechanical engineers and optometrists; the graduate student of the pulpit "Processes and devices food production"; E-mail: gva2003@mail.ru

Хрипанкова Марина Сергеевна – Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики; аспирант кафедры «Процессы и аппараты пищевых производств»; E-mail: gva2003@mail.ru

Khripankova Marina Sergeevna – Sankt-Petersburg national exploratory university

information technology, mechanical engineers and optometrists, graduate student of the
pulpit "Processes and devices food production"; E-mail: gva2003@mail.ru
УДК 604.4; 62.13.99

ИССЛЕДОВАНИЕ АНТИОКСИДАНТНЫХ СВОЙСТВ ЗАМЕНИТЕЛЯ КОФЕ
ИЗ ТОПИНАМБУРА КАЛИНИНГРАДСКОГО РЕГИОНА

Л. С. Байдалинова, В. А. Мельникова

STUDY OF ANTIOXIDANT PROPERTIES OF COFFEE SUBSTITUTE FROM
LOCAL RAW MATERIAL OF VEGETABLE ORIGIN - JERUSALEM ARTICHOKE

L. S. Baydalinova, V. A. Melnikova

Слова «антиоксиданты», «свободные радикалы» вошли в жизнь человека сравнительно недавно. Однако сейчас их довольно часто можно встретить в журналах, на сайтах о здоровом образе жизни, на упаковках косметики, витаминных комплексов и пр. Антиоксиданты – вещества, ингибирующие окисление, любое из многочисленных химических веществ, в том числе естественные продукты деятельности организма и питательные вещества, поступающие из рациона, которые могут нейтрализовать окислительное действие свободных радикалов и других веществ. Иначе говоря, это вещества, приносящие неоспоримую пользу здоровью человека. Эти биоактивные компоненты содержатся в определенных продуктах. При потреблении они защищают клетки организма от окисления, которое может привести к ухудшению здоровья. Негативные последствия низкого антиоксидантного статуса человека часто ассоциируются со старением и, соответственно, сердечнососудистыми и онкологическими заболеваниями. В статье рассматриваются антиоксидантные свойства заменителя кофе, разработанного на кафедре пищевой биотехнологии ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет». В качестве регионального растительного сырья для производства нерастворимого кофейного напитка выбран топинамбур (*Helianthus tuberosus*). Продукт оценивается в сравнении с натуральным жареным зерновым кофе марки Exklusiv Kaffee J.J. Darboven и натуральным нерастворимым цикорием промышленного образца. Полученные результаты сравниваются с материалами отечественного многолетнего изучения антиоксидантной активности различных напитков и экстрактов. Исследования проводились стандартными и специальными аналитическими методами. Доказано, что заменитель кофе «Bietola», хотя и уступает несколько ягодным, овощным и фруктовым сокам, обладает антиоксидантной активностью и может быть включен в рацион человека с целью обеспечения его полезными биологически активными веществами.

топинамбур, заменитель кофе, натуральный жареный кофе, цикорий, антиоксиданты, полифенолы, витамин С

The words «antioxidants» and «free radicals» have recently become ingrained in human life. They can often be found in magazines, on web sites about healthy lifestyles, on packages of cosmetics, vitamins and other. Antioxidants - substances that inhibit oxidation, any of the numerous chemical substances including natural products of organism and the nutrients coming from the diet which may neutralize oxidizing action of free radicals and other substances. In other words, these are substances that bring undeniable benefits for human health. These bioactive elements are present in certain foods. They protect cells from oxidation which damage them and may cause health problems. The negative effects of a low antioxidant status are often associated with aging and, consequently, cardiovascular diseases and cancer. The article deals with antioxidant properties of the coffee substitute developed at the Department of Food biotechnology of Kaliningrad State Technical University. Jerusalem artichoke (*Heliánthus tuberósus*) has been chosen as a local vegetable raw material for the production of the coffee substitute. Obtained results are compared with the experimental samples of natural roasted coffee beans of the brand *Exklusiv Kaffee JJ Darboven* and natural insoluble chicory. Also, for more complete information, publications of domestic long-term study of antioxidant activity of various drinks and extracts are presented. Research has been performed using standard and specialized analytical methods. Our study showed that, in terms of antioxidant activity, «Bietola» coffee substitute does not yield to berry, vegetable and fruit juices and it can be included in the human diet for its useful biologically active substances.

jerusalem artichoke, coffee substitute, natural roasted coffee, chicory, antioxidants, polyphenols, vitamin C

ВВЕДЕНИЕ

Тема свободных радикалов и реакционноспособных кислородсодержащих частиц привлекает повышенное внимание научного сообщества и все в большей степени заинтересовывает широкую общественность. На сегодняшний день каждый производитель стремится указать на упаковке своего продукта наличие в нем антиоксидантов.

Антиоксиданты – общее название соединений, обладающих способностью бороться со свободными радикалами. Свободным радикалом считается химическое соединение, имеющее один или более неспаренных электронов, образованное в результате либо потери, либо приобретения одного электрона. Неспаренным считается электрон, занимающий в единственном числе молекулярную или атомную орбиталь [1].

Высокая реакционная способность свободных радикалов приводит в физиологических условиях к ускорению процессов окисления, разрушающих молекулярную основу клетки, в результате чего вызываются многочисленные патологические состояния.

Антиоксиданты играют важную роль в регуляции процессов свободно-радикальных превращений в организме, существенно влияя на его состояние. Поэтому антиоксиданты и исследование антиокислительных свойств соединений

в последнее время получили широкое распространение. Наиболее перспективными источниками антиоксидантов считаются растительные объекты [2].

К природным антиоксидантам, содержащимся в пищевых продуктах и растительных материалах, относятся:

- флавоноиды (флавоны, флавонолы, флаваноны, изофлавоны, флавананы, флавонолы, хальконы, дигидрохальконы, флаванон-3,4-диолы, антоцианидины);
- производные бензойной кислоты (галловая, протокатехиновая, ванилиновая, сиреневая кислоты);
- производные коричной кислоты (феруловая, р- и о-кумаровые, кофейная, синановая кислоты);
- производные кумарина; фитоэстрогены (лигнаны, эстрогены, лактоны и др.);
- витамин Е (α , β , γ , δ -токоферолы и α , β , γ , δ -токотриенолы);
- витамин С;
- каротиноиды (ликопен, α , β -каротины, лютеин и др.).

Рекомендуемая норма потребления антиоксидантов зависит от возраста, пола, состояния здоровья, генетических особенностей и образа жизни человека. Поэтому отдельные подгруппы людей подвергаются более выраженному оксидативному стрессу, чем другие. Это достоверно для больных диабетом, представителей пожилого возраста со сниженным иммунитетом, у которых происходит накопление свободных радикалов после еды, больных аллергией, профессиональных атлетов и лиц с неблагоприятной генетической предрасположенностью. В подобных группах потребность в антиоксидантах значительно выше.

Еще одним аспектом ухудшения общего самочувствия и учащения случаев гипертонии, особенно у лиц молодого возраста, является чрезмерное потребление кофе. По данным ведущих кофейных компаний, ежегодно по всему миру выпивается 760 млрд чашек кофе. Широко распространена информация о положительных сторонах напитка, однако это справедливо лишь при употреблении двух-трех чашек кофе в день (150 мл). Большинство же людей не ограничиваются 150 мл, а пьют кофе в значительно больших количествах. Их норма составляет пять-шесть чашек в день (300 мл), а то и более. Как следствие, употребление кофе приводит к обезвоживанию организма, вымыванию из него кальция и многих микроэлементов. Кофе содержит стимулятор алкалоидного происхождения – кофеин, который при регулярном употреблении может вызывать привыкание. Исследования показывают, что уже в первые сутки, проведенные без кофе, у человека появляются сильные головные боли, теряется способность концентрироваться, а затем ухудшается и общее самочувствие. Передозировка кофеина (более шести чашек в сутки) может привести к панике, хроническим неврозам, вызвать учащённое сердцебиение и даже судороги. Вследствие этого имеется необходимость создания тонизирующего напитка, способствующего профилактике сердечно-сосудистых заболеваний.

На базе кафедры пищевой биотехнологии Калининградского государственного технического университета проведены исследования, позволившие разработать технологию нерастворимого заменителя кофе на основе топинамбура.

Топинамбур, обладающий набором всех незаменимых аминокислот, инулином, фруктозой, пищевыми волокнами, макроэлементами (калий, натрий, кальций, фосфор, магний), микроэлементами (кремний, железо, цинк, селен, медь, марганец, йод и др.), витаминами (В₁, В₂, В₃, В₅, В₆, В₇, С, РР, каротин), органическими кислотами (лимонная, яблочная, фумаровая, янтарная) и природными антиоксидантами, является ценным сырьем для производства многих продуктов лечебно-профилактического назначения и весьма полезен детям, вегетарианцам и людям пожилого возраста.

Представляет интерес исследование антиоксидантных свойств разработанного кофейного напитка. С этой целью в экспериментальных образцах определяли суммарное содержание водорастворимых антиоксидантов, полифенолов, антирадикальную активность, а также содержание дубильных веществ, витамина С, общую титруемую кислотность.

МЕТОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Суммарное содержание полифенолов измеряли на спектрофотометре при длине волны 720 нм. В колбы на 50 мл добавляли 25 мл бидистиллированной воды, 250 мкл исследуемого растительного экстракта из заменителя кофе, 3 мл FeCl₃ и перемешивали. В качестве контроля использовали бидистиллированную воду. Через 3 мин добавляли 3 мл раствора K₃Fe(CN)₆, перемешивали и спустя 10 мин снимали показания оптической плотности растворов [3].

Антирадикальную активность определяли по методу, основанному на способности связывания молекул реакционно-способного радикала 2,2-дифенил-1-пикрилгидразил (DPPH) с антиоксидантами, содержащимися в исследуемых образцах [4].

Измерение массовой концентрации антиоксидантов, эквивалентной кверцетину, проводили амперометрическим методом с помощью прибора «ЦветЯуза 01-ААА» в диапазоне от 0,2 до 4,0 мг кверцетина/дм³, поскольку данная методика распространяется на водорастворимые антиоксиданты [5].

Содержание дубильных веществ определялось в соответствии с ГОСТ 3318-74 титрованием выделенного из продукта экстракта раствором марганцовокислого калия в присутствии индигосульфокислоты до появления золотисто-желтого окрашивания.

Значения титруемой кислотности устанавливали методом титрования, заключающимся в способности раствора гидроксида натрия количественно нейтрализовать находящиеся в водной вытяжке из продукта свободные кислоты и их кислые соли. Расчёт производили в пересчете на яблочную кислоту.

Содержание витамина С определяли методом йодометрического титрования. Метод основан на том, что при взаимодействии йодида и йодата калия в кислой среде выделяется йод, который окисляет аскорбиновую кислоту в дегидроаскорбиновую. В качестве индикатора реакции используется раствор крахмала.

Результаты анализа содержания биологически активных соединений в заменителе кофе из топинамбура «Vietola» представлены в табл. 1.

Таблица 1. Содержание антиоксидантных компонентов в заменителе кофе из топинамбура «Bietola»

Table 1. Antioxidant components in «Bietola» coffee substitute from Jerusalem artichoke

Наименование показателя	Содержание компонентов
Содержание экстрактивных веществ, %	86,39±1,71
Содержание инулина, %	30,8±2,60
Суммарное содержание водорастворимых антиоксидантов (в пересчете на кверцетин), мг/г	1,13±0,32
Антирадикальная активность (в пересчете на аскорбиновую кислоту), мг/г	3,85±0,31
Суммарное содержание полифенолов, мг/г	8,63±0,57
Титруемая кислотность, %	1,19±0,15
Содержание витамина С, мг %	24,2±1,16
Количественное содержание дубильных веществ в пересчете на танин, % от абсолютно сухой массы	0,41±0,09

Из данных таблицы можно заключить, что разработанный на основе топинамбура заменитель кофе «Bietola» характеризуется весьма высоким содержанием дубильных и красящих веществ (410 мг/100 г), в понятие которых включаются полифенолы, антоцианы и другие каротиноиды. Высокое содержание полифенолов, способных переходить в водный экстракт, в количестве 8,63 мг/г позволяет утверждать, что разработанный нами сыпучий сухой заменитель кофе обладает антиоксидантными, антибактериальными и другими благоприятными для организма свойствами. Антирадикальная активность показывает, что 1г заменителя кофе по эффективности равен 3,85 мг аскорбиновой кислоты или 1,13 мг весьма эффективного антиоксиданта кверцетина. Отмечается высокое содержание в напитке антиоксиданта – аскорбиновой кислоты (витамина С). Слабокислая реакция напитка (рН = 6,0) является положительным фактором для сохранения содержащихся в нем антиоксидантов.

Известно, что натуральный кофе богат мощными антиоксидантами: полифенолами и хлорогеновой кислотой. Полифенолы способны предотвращать болезни сердца, рак, диабет второго типа. Хлорогеновая кислота эффективна для нейтрализации свободных радикалов и предотвращения окислительного процесса, вызванного стрессом. Поэтому в качестве образца сравнения для оценки эффективности разработанного заменителя был принят натуральный жареный зерновой кофе *Exklusiv Kaffee J.J. Darboven*. Для сравнения заменителя кофе с освоенными промышленными образцами исследовали нерастворимый цикорий. Результаты исследования представлены в табл. 2.

Таблица 2. Характеристика антиоксидантной активности натурального жареного кофе и цикория, мг/г

Table 2. Characteristics of the antioxidant activity of natural roasted coffee and chicory, mg/g

Наименование показателя	Анализируемые образцы		
	натуральный жареный кофе Exklusiv Kaffee J.J. Darboven	цикорий нерастворимый	заменитель кофе из топинамбура «Bietola»
Суммарное содержание полифенолов, мг/г	5,5±1,30	23,4±2,10	8,63±0,57
Антирадикальная активность (в пересчете на аскорбиновую кислоту), мг/г	2,8±0,90	7,24±1,03	3,85±0,31
Содержание экстрактивных веществ, %	26,01±0,10	78,99±0,77	86,39±1,71
Содержание общей золы, %	5,55±0,28	4,48±0,08	3,63±0,16

Как видно из данных табл. 2, заменитель кофе превосходит натуральный по суммарному содержанию полифенолов и антирадикальной активности. Более высокие показатели определены для нерастворимого цикория. Однако цикорий значительно уступает разработанному нами заменителю кофе из топинамбура по вкусовым качествам. Кроме того, цикорий как заменитель кофе редко употребляется в чистом виде, а чаще используется в качестве добавки к натуральному жареному молотому кофе, в результате чего в организм человека поступает сравнительно мало полифенолов и БАД.

Отмечается высокое содержание экстрактивных веществ в заменителе кофе «Bietola» из топинамбура. В разработанном напитке они представлены неминеральными компонентами, о чем свидетельствует значение показателя содержания общей золы на уровне 3,63±0,16 % по сравнению с более высокими значениями для образцов натурального кофе и цикория (самое высокое содержание общей золы в образце натурального жареного кофе Exklusiv Kaffee J.J. Darboven). В натуральном кофе значительно меньше растворимых веществ в экстракте. Что касается напитка «Bietola», то экстрактивные вещества в основном представлены растворимыми формами пектинов и пищевых волокон. Эти вещества весьма полезны для организма, так как выполняют роль сорбентов различных токсичных компонентов пищи. Данный факт также является свидетельством биологических достоинств разработанного заменителя кофе как компонента здорового питания.

Большой вклад в изучение вопроса антиоксидантной активности внесли отечественные ученые Я. И. Яшин и А. Я. Яшин. В табл. 3 приведены данные о суммарном содержании природных антиоксидантов в различных продуктах.

Таблица 3. Суммарное содержание антиоксидантов в наиболее распространенных напитках и пищевых продуктах (стандарт - кверцетин), мг/г [6]
Table 3. Total content of antioxidants in the most popular beverages and food (standard - quercetine), mg/g [6]

Наименование продукта	Содержание
Черный чай	40-100
Какао	4,0-5,0
Красные вина	2,0-2,5
Белые вина	0,3-0,5
Бальзамы	0,4-3,0
Мед	0,2-1,1
Соки ягод:	
черная смородина	7,65
черная вишня	5,72
боярышник	5,70
черника	2,91
клюква	2,70
малина	1,71
Соки овощей:	
свекла	2,17
перец сладкий красный	1,88
капуста белокочанная	0,69
томат	0,64
редис	0,62
корень сельдерея	0,15
Соки фруктов:	
яблоки (в зависимости от сорта)	0,64-0,18
груша	0,50
чернослив	0,40
абрикос	0,14
персик	0,12
банан	0,07

Примечание: Если содержание антиоксидантов измеряется в мг/г, это означает, что антиоксидантная активность 1 г продукта равна активности указанного значения мг кверцетина.

Согласно результатам многолетнего исследования установлено большое содержание антиоксидантов в соках фруктов, овощей, ягод. И, хотя разработанный нами заменитель кофе «Vietola» уступает этим сокам по содержанию антиоксидантов, учитывая приверженность многих людей (в том числе и страдающих от избытка кофеина) к повышающим тонус горячим напиткам, этот продукт является

хорошим дополнением к рациону больных сахарным диабетом II типа и людей с пониженным антиоксидантным статусом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Антиоксиданты необходимы человеческому организму для сохранения здоровья и иммунитета, снижения риска серьезных заболеваний, продления срока жизни. На основании представленных данных можно говорить о существенном вкладе разработанного кофейного напитка «Bietola» из топинамбура в расширение ассортимента здоровых продуктов, обладающих антиоксидантной активностью.

Основываясь на результатах исследования, отсутствии кофеина, содержании инулина в количестве 30,8 % (2,156 г в 7 г одной чайной ложки), напиток «Bietola» можно рекомендовать для употребления не только людям, страдающим диабетом II типа, но и лицам с пониженным антиоксидантным статусом или с сердечно-сосудистой гипертензией.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Токаев, Э. С. Сравнительная характеристика антиоксидантной активности растительных экстрактов / Э. С. Токаев, Г. Г. Манукьян // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2009. – № 9. – С. 36-39.
2. Хасанов, В. В. Методы исследования антиоксидантов / В. В. Хасанов, Г. Л. Рыжова, Е. В. Мальцева // Химия растительного сырья. – 2004. – №3. – С. 63-75.
3. Масленников, П. В. Содержание фенольных соединений в лекарственных растениях Ботанического сада / П. В. Масленников, Г. Н. Чупахина, Л. Н. Скрыпник // Известия Российской академии наук. Сер. биологическая. – 2013. – №5. – С. 551-557.
4. Marinova G., Batchvarov V. Evaluation of the methods for determination of the free radical scavenging activity by DPPH. Bulgarian Journal of Agricultural Science, 2011, V.17 (1), pp.11-24.
5. Яшин, А. Я. Новый прибор для определения антиоксидантной активности пищевых продуктов, биологических активных добавок, растительных лекарственных экстрактов и напитков / А. Я. Яшин // Приборы и автоматизация. – 2004. – №1. – С. 45-48.
6. Яшин, Я. И. Антиоксиданты против болезней / Я. И. Яшин, А. Я. Яшин, Н. И. Черноусова // Химия и жизнь. – 2007. – № 11. – С. 24-27.
7. Шевцов, А. А. Поликомпонентные кофейные напитки диетического назначения / А. А. Шевцов, Е. А. Острикова // Пиво и напитки безалкогольные и алкогольные, соки, вино. – 2011. – №4. – С. 36 – 38.

REFERENCES

1. Tokaev Je. S. Sravnitel'naja harakteristika antioksidantnoj aktivnosti rastitel'nyh jekstraktov [Comparative analysis of the antioxidant activity of plant extracts]. *Hranenie i pererabotka sel'hozsy'r'ja*, 2009, no. 9, pp. 36-39.
2. Hasanov V. V., Ryzhova G. L., Mal'ceva E. V. Metody issledovanija antioksidantov [Methods of studying antioxidants]. *Himija rastitel'nogo syr'ja*, 2004, no. 3, pp. 63-75.
3. Maslennikov P. V., Chupahina G. N., Skrypnik L. N. Soderzhanie fenol'nyh soedinenij v lekarstvennyh rastenijah Botanicheskogo sada [Phenol compounds in the medicinal plants of the Botanical garden]. *Izvestija Rossijskoj akademii nauk. Ser. Biologicheskaja*, 2013, no. 5, pp. 551-557.
4. Marinova G., Batchvarov V. Evaluation of the methods for determination of the free radical scavenging activity by DPPH. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 2011, vol. 17 (1), pp. 11-24.
5. Jashin A. Ja. Novyj pribor dlja opredelenija antioksidantnoj aktivnosti pishhevyyh produktov, biologicheskikh aktivnyh dobavok, rastitel'nyh lekarstvennyh jekstraktov i napitkov [New device for measuring antioxidant activity of food products, biologically active additives, herbal extracts and beverages]. *Pribory i avtomatizacija*, 2004, no. 1, pp. 45-48.
6. Jashin Ja. I., Jashin A. Ja., Chernousova N. I. Antioksidanty protiv boleznej [Antioxidants against diseases]. *Himija i zhizn'*, 2007, no. 11, pp. 24-27.
7. Shevcov A. A., Ostrikovala E. A. Polikomponentnye kofejnye napitki dieticheskogo naznachenija [Multicomponent coffee beverages for dieting]. *Pivo i napitki bezalkogol'nye i alkogol'nye, soki, vino*. 2011, no. 4, pp. 36-38.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Байдалинова Лариса Степановна – Калининградский государственный технический университет; кандидат технических наук, профессор, ст. научный сотрудник, доцент; E-mail: baydalinova@newmail.ru

Baydalinova Larisa Stepanovna – Kaliningrad State Technical University; Candidate of Technical Sciences, Professor, Senior Researcher, Associate professor; E-mail: baydalinova@newmail.ru

Мельникова Виктория Александровна – Калининградский государственный технический университет; аспирант; E-mail: yuyake@mail.ru

Melnikova Viktoria Alexandrovna – Kaliningrad State Technical University; postgraduate student; E-mail: yuyake@mail.ru

УДК 577+664.95:593.92

ПРИМЕНЕНИЕ ФЕРМЕНТАТИВНОГО ГИДРОЛИЗА В ТЕХНОЛОГИИ
КОРМОВОЙ ДОБАВКИ ИЗ МОРСКИХ ЗВЕЗД

С. Н. Максимова, В. Д. Богданов, Е. В. Шадрина, Е. М. Панчишина

TECHNOLOGY OF FEED ADDITIVE FROM SEA STARS ON THE BASIS
OF ENZYMATIC HYDROLYSIS

S. N. Maksimova, V. D. Bogdanov, E. V. Shadrina, E. M. Panchishina

Отечественное животноводство и птицеводство постоянно испытывают потребность в полноценных кормовых продуктах. Корма, полученные из водных биологических ресурсов, характеризуются высокой биологической ценностью за счет наличия в них полноценных белков, липидов, аминокислот, ненасыщенных жирных кислот, минеральных веществ и других биологически активных компонентов. Потенциальным источником таких веществ, а значит, и сырьем для биологически ценных кормовых продуктов являются морские звезды, широко распространенные в акваториях, в том числе на территориях морских огородов по выращиванию морского гребешка и трепанга. Экспериментально определены размерно-массовый и химический составы наиболее многочисленных видов морских звезд, выловленных в бухте Северной Хасанского района Приморского края, *Evasterias echinosoma* и *Patiria pectinifera*. На основании полученных данных подтверждена целесообразность использования этих биологических объектов для промышленной переработки в технологии кормовых продуктов.

Использование гидролиза в технологии кормовых продуктов позволяет потребителю получить питательные вещества в более доступной форме. С целью получения кормовой добавки из морских звезд исследован и научно обоснован ферментативный способ гидролиза, который позволяет получить кормовую добавку, содержащую минеральные вещества и белковую фракцию в легкоусвояемом виде. Экспериментально установлено, что рациональными параметрами ферментативного гидролиза являются: концентрация ферментного препарата Протосубтилин ГЗх – 0,5 % (0,4 ПЕ/г сырья); продолжительность процесса – 2-6 ч (в зависимости от видового состава сырья); температура процесса – 55 °С.

На основе ферментативного гидролиза разработана технология белково-минеральной кормовой добавки, которую можно рекомендовать к использованию в рационе птиц.

морские звезды, технология, ферментативный способ, гидролиз, кормовая добавка, биологическая ценность

The domestic animal and poultry husbandry constantly requires complete feed products. Feed derived from water biological resources is characterized by high biological value due to complete proteins, lipids, amino acids, non-saturated fatty acids, mineral substances and other biologically active components. A potential source of such substances and, therefore, raw material for biologically valuable feed products are sea stars, widespread in water areas including sea territories where scallop and trepang are cultivated. Dimensional and weight and chemical composition of the largest species of the sea stars *Evasterias echinosoma* and *Patiria pectinifera* caught in the Northern bay of the Hasansky region of the Primorye Territory are experimentally defined. According to the obtained data, rationale for the use of these biological objects for industrial processing in technology of feed products is confirmed.

The technology of feed products on the basis of hydrolysis allows a consumer to receive nutrients in a more available form. For the purpose of receiving feed additive from sea stars, the fermentative method of hydrolysis is studied and theoretically substantiated, which allows receiving a feed additive containing mineral substances and protein fraction in a highly digestible form. It is deduced from the experiments that rational parameters of enzymatic hydrolysis are the following: concentration of a fermentive preparation Protosubtilin G3kh – 0,5 % (0,4 PE/g of raw materials); process time – 2-6 h (depending on specific structure of raw materials); process temperature – 55 °C.

On the basis of enzymatic hydrolysis, the technology of protein and mineral feed additive has been developed, which can be recommended for diet of birds.

sea stars, technology, fermentative method, hydrolysis, feed additive, biological value

ВВЕДЕНИЕ

Развитие животноводства и птицеводства в РФ, направленное на обеспечение населения страны мясом и разнообразными белковыми продуктами питания отечественного производства, во многом зависит от снабжения этой отрасли полноценными кормами. В настоящее время в производстве кормов для животных (в том числе птицы) широко применяют добавки, позволяющие регулировать массовые, ростовые и качественные показатели биологических объектов. Такие добавки имеют определенную функциональную направленность с выраженным действием одного или нескольких компонентов: минеральных веществ, белков, липидов, полисахаридов [1].

Кормовые продукты из водных биологических ресурсов занимают важное место в рационе сельскохозяйственных животных. Сырьем для кормов служат в основном отходы при обработке водных биоресурсов, которые являются источником незаменимых питательных веществ, таких как полноценные белки, легкоусвояемые жиры, витамины, минеральные и другие биологически активные вещества. При этом поиск новых видов сырья – источников питания и биологически активных веществ, продолжает оставаться актуальным [2].

Потенциальным сырьем для производства ценных кормовых продуктов могут являться морские звезды [3]. Установлено, что в бухте Северной Хасанского района Приморского края, где расположены морские огороды по разведению морского гребешка ФГБОУ ВПО «Дальрыбвтуз», морские звезды представлены в основном следующими четырьмя видами: патирия гребешковая

(*Patiria pectinifera*), эвастерия колючая (*Evasterias echinosoma*), дистоластерия японская (*Distolasterias nipon*), астерия аргонавта (*Asterias argonauta*).

Первичная выборка морских звезд в бухте Северной на площади 405 Га показала, что наиболее многочисленными видами являются эвастерия колючая (51,5 %), патирия гребешковая (30,5 %), дистоластерия японская (11 %), астерия аргонавта (7 %), поэтому для исследований использовали *Evasterias echinosoma*, *Patiria pectinifera*.

Проведенные нами исследования размерно-массового и химического составов морских звезд послужили основанием поиска путей промышленной переработки данных объектов для получения биологически ценных кормовых продуктов [4].

Цель исследований состояла в разработке рациональной технологии кормовой добавки из морских звезд.

Исследования проводили в научно-производственном департаменте марикультуры (пос. Славянка) и лабораториях Института пищевых производств ФГБОУ ВПО «Дальрыбвтуз».

Оценку химического состава образцов осуществляли согласно стандартным методам (ГОСТ 7636-85). Определение аминного азота в гидролизатах проводили формольным титрованием по ГОСТ 7636. Определение общего азота - рефрактометрическим методом. Степень гидролиза рассчитывали как отношение аминного и общего азота, выраженное в процентах.

Биотестирование исследуемых образцов для определения усвояемости азотистого компонента (коэффициента биологической активности, КБА, клетки/час) и относительной биологической ценности (ОБЦ, %) проводили с использованием реснитчатой инфузории *Tetrahymena pyriformis*.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Размерно-массовый и химический составы исходного материала – морских звезд, выловленных в летний период, представлены в табл. 1-2.

Таблица 1. Размерно-массовый состав морских звезд

Table 1. Dimensional and weight composition of the sea stars

Вид	Масса, г	Размах луча, мм	Соотношение частей тела, % от общей массы тела	
			панцирь	внутренности
<i>Patiria pectinifera</i>	31,0-41,5	55-60	78-80	20-22
<i>Evasterias echinosoma</i>	62,4-83,1	60-65	93-95	5-7

Таблица 2. Химический состав морских звезд, %

Table 2. Chemical composition of the sea stars, %

Наименование морских звезд	Вода/сухие вещества	Белок (общ.азот)	Липиды	Минеральные вещества
<i>Evasterias echinosoma</i>	70,10	11,76	1,50	16,64

<i>Patiria pectinifera</i>	56,58	12,36	1,02	30,04
----------------------------	-------	-------	------	-------

Для разработки технологии кормовой добавки использовали все части тела морских звезд: высокоминерализованную покровную ткань и внутренние органы, составляющие от 5 до 22% от массы.

Одно из необходимых условий существования живого организма – относительное динамическое постоянство его внутренней среды – гомеостаз (постоянство pH, осмотического давления, концентрации катионов и анионов), что в значительной мере обусловлено содержанием минеральных веществ [5]. Высокое содержание минеральных веществ позволяет позиционировать морские звезды как ценное сырье для кормовых продуктов.

Наличие белка также обуславливает целесообразность использования данных водных биологических объектов в технологии кормов. Для получения кормовой добавки, содержащей питательные (в том числе белковые) вещества в более доступном для усвоения их организмом-потребителем виде, с учетом специфического химического состава морских звезд, целесообразным является использование в технологии процесса гидролиза.

Гидролиз морских звезд осуществляли ферментативным путем. При выборе способа гидролиза руководствовались тем, что ферментативный гидролиз менее трудоемок, характеризуется мягкими условиями и не требует восстановления pH среды до нейтрального.

Первоначально в эксперименте использовали наиболее минерализованную морскую звезду *Patiria pectinifera*.

В качестве ферментного препарата взята микробная протеаза – Протосубтилин ГЗх. Выбор фермента осуществляли с учетом состава исходного сырья и цели гидролиза – перевода основных веществ, содержащихся в сырье, в более доступную для усвоения форму. Расщепляя высокомолекулярные белки, Протосубтилин ГЗх увеличивает в корме содержание доступных пептидов и аминокислот. При этом используемый фермент не угнетает и не подменяет собственные протеолитические ферменты, а действует в дополнение к пищеварительным протеазам организма. Использование Протосубтилина ГЗх в птицеводстве увеличивает среднесуточный привес до 4 %, уменьшает затраты корма на 4-5 %; в свиноводстве – способствует увеличению привесов на 8-10 %, улучшению мясных качеств, уменьшению сальности туши. Концентрация вносимого ферментного препарата исследована в диапазоне: 0,25; 0,5; 0,75; 1,0 % (0,2; 0,4; 0,6; 0,8 ПЕ/г).

Выбор температурного режима при гидролизе – 45-60 °С – обусловлен оптимумом действия ферментов. Продолжительность гидролиза – 24 ч.

Гидролиз осуществляли следующим образом. Измельченное сырье смешивали с нагретой до температуры 45-50 °С водой (теплая вода способствует более быстрому нагреву системы до заданной температуры ферментации) в соотношении 1:1 (сырье : вода). Предварительно в воду вносили ферментный препарат.

Каждые 2 ч в исследуемых образцах гидролизатов отбирали пробы жидкой фракции для определения количества аминного азота с последующим вычислением степени гидролиза как отношение аминного и общего азота, выраженного в % (табл. 3).

Из полученных результатов следует, что параметры, характеризующие эффективность гидролиза, увеличивались по продолжительности. В то время как концентрация ферментного препарата не значительно влияла на изменение глубины гидролиза.

Для проведения дальнейших исследований принята как рациональная концентрация фермента Протосубтилин Г3х - 0,5 %.

Таблица 3. Влияние концентрации ферментного препарата Протосубтилин Г3х и продолжительности гидролиза на накопление аминного азота (%)

Table 3. Influence of concentration of fermentative preparation Protosubtilin G3x and hydrolysis time on accumulation of amino nitrogen (%)

Продолжительность, ч	Концентрация ферментного препарата, %			
	0,25	0,5	0,75	1,0
2	0,168	0,238	0,364	0,308
4	0,224	0,378	0,392	0,392
6	0,378	0,420	0,434	0,448
8	0,434	0,476	0,434	0,462
24	0,896	1,106	1,036	0,938

Примечание: содержание общего азота во всех исследуемых образцах составило 1,1 %.

Зависимость степени гидролиза от концентрации и продолжительности гидролиза выражена графически и представлена на рис. 1.

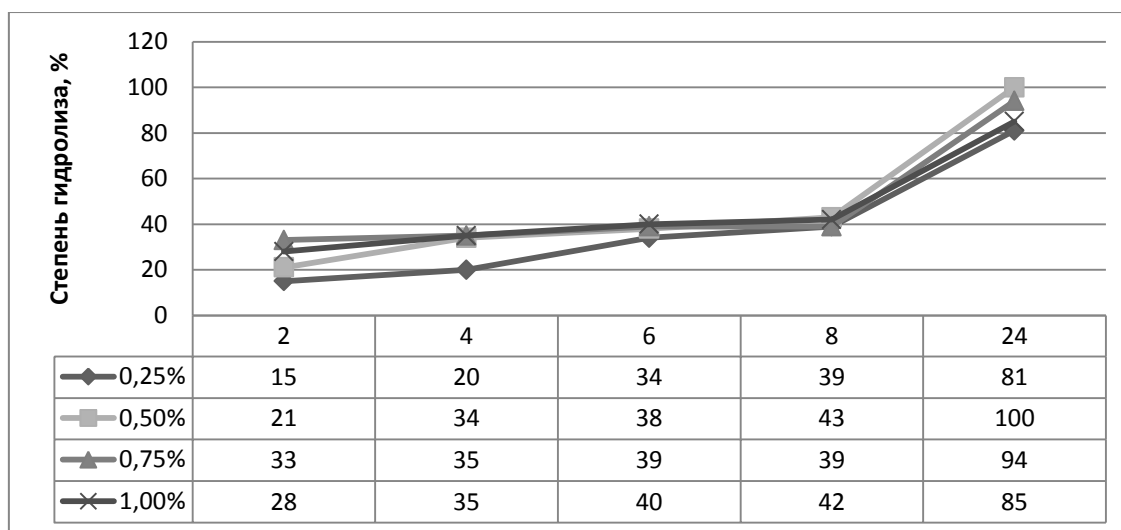


Рис. 1. Зависимость степени гидролиза от продолжительности ферментативной обработки и концентрации ферментного препарата Протосубтилин Г3х

Fig. 1. Dependence of hydrolysis on duration of enzymatic treatment and concentration of fermentative preparation Protosubtilin G3x

Следует отметить, что после 24-часовой ферментативной обработки гидролизаты приобретали запах белковой порчи, вероятно, обусловленный действием ферментов микроорганизмов сырья, в результате чего и достигалась максимальная степень гидролиза, которая составляла 80-100 %.

В связи с вышеизложенным в последующих экспериментах в начале гидролиза вносили сорбиновую кислоту в количестве 0,1 % [6].

Результаты по определению влияния температуры гидролиза на качественные параметры гидролизатов представлены в табл. 4.

Таблица 4. Влияние температуры процесса гидролиза на накопление аминного азота (%)

Table 4. Influence of hydrolysis temperature on the accumulation of amino nitrogen (%)

Продолжительность, ч	Температура, °С			
	35	45	55	65
2	0,028	0,238	0,350	0,294
4	0,056	0,378	0,364	0,392
6	0,140	0,420	0,522	0,392
8	0,210	0,476	0,588	0,448

Зависимость степени гидролиза от температуры процесса во времени выражена графически и представлена на рис. 2.

Из полученных данных следует, что температура процесса при ферментативной обработке сырья значительно влияет на глубину гидролиза. Как рациональная нами определена температура ферментализации 55 °С.

Далее гидролизаты, характеризующиеся степенью гидролиза 15, 47 и 67 % (в течение 2, 6 и 10 ч соответственно), подвергали выпариванию и высушиванию при температуре 60 °С в течение 2-4 ч до содержания воды не более 10 %.

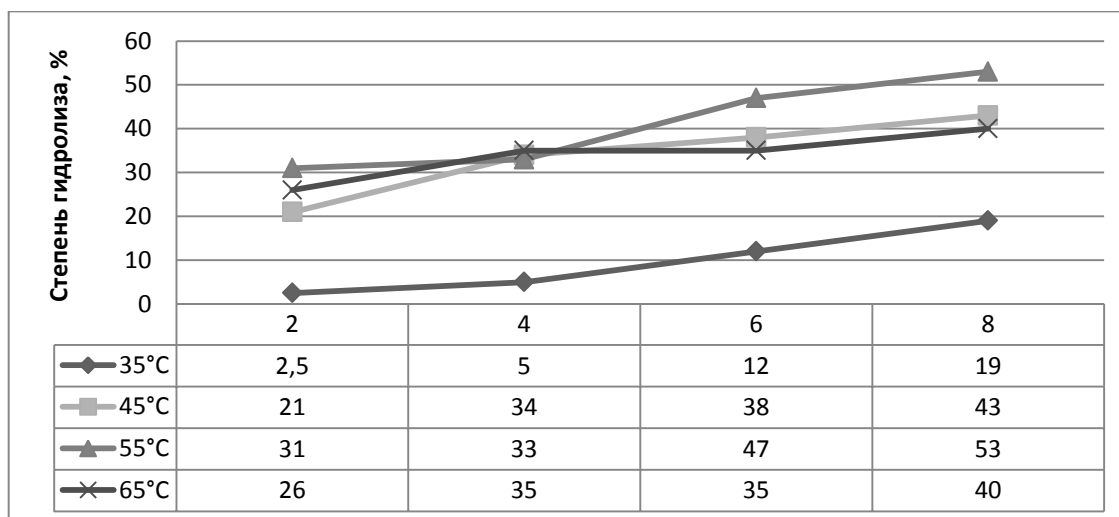


Рис. 2. Зависимость степени гидролиза от температуры процесса

Fig. 2. Dependence of hydrolysis from the process temperature

Для подтверждения рациональных параметров гидролиза морских звезд исследовали влияние степени гидролиза на биологическую ценность полученных образцов кормовой добавки.

Биологическую доступность оценивали по приросту числа инфузорий по дням опыта (рис. 3): чем выше биологическая доступность продукта, тем лучше он усваивается, и отмечается более интенсивный рост инфузорий на средах [7].

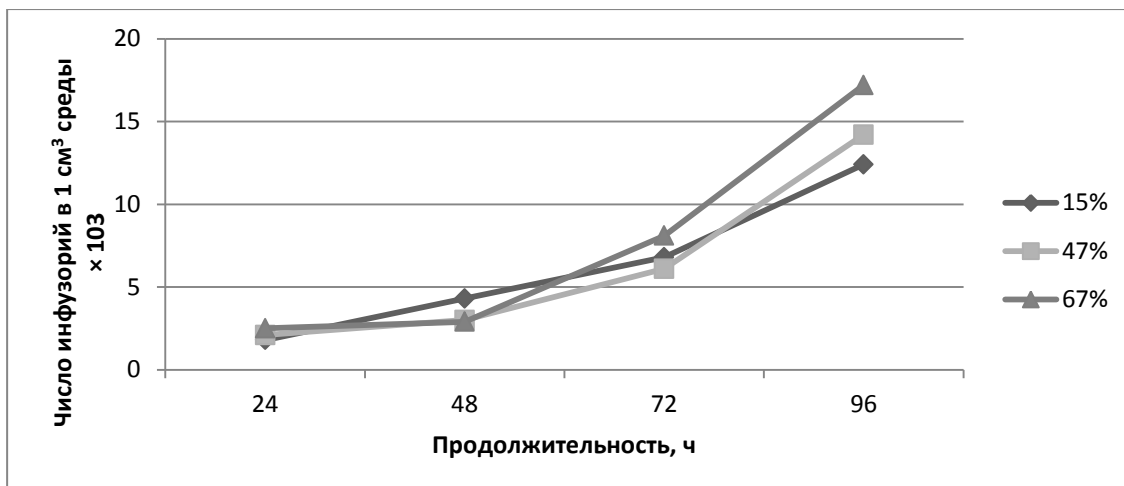


Рис. 3. Динамика роста инфузорий *Tetrahymena pyriformis* на средах с образцами кормовых добавок

Fig. 3. Growth rates of infusoria *Tetrahymena pyriformis* in the environments with feed additive samples

Как следует из представленных данных, с увеличением степени гидролиза повышаются и показатели биологической ценности экспериментальных образцов.

По совокупности полученных результатов проведенного исследования установлено, что с помощью ферментативного гидролиза сырья морских звезд, на примере *Patiria pectinifera*, возможно регулировать качество получаемых кормовых добавок.

С целью получения кормовой добавки, обладающей повышенной биологической ценностью, эффективно проводить протеолиз до достижения глубины гидролиза 47-67 % при следующих параметрах: концентрация ферментного препарата Протосубтилин Г3х (протеолитическая активность 120 ПЕг) 0,4 ПЕ/г сырья; продолжительность гидролиза 6-10 ч; температура 55 ± 2 °С.

Для тканей *Patiria pectinifera* из-за высокого содержания минеральных веществ характерны более прочностные характеристики, чем у *Evasterias echinosoma*. В связи с этим корректировали величину продолжительности гидролиза для тканей *Evasterias echinosoma* и комплекса морских звезд *Evasterias echinosoma* : *Patiria pectinifera* (в природном соотношении) (табл. 5).

Таблица 5. Влияние продолжительности гидролиза на качественные параметры гидролизатов, полученных из *Evasterias echinosoma* и *Evasterias echinosoma*: *Patiria pectinifera*

Table 5. Influence of hydrolysis duration on the qualitative parameters of the hydrolyzates derived from *Evasterias echinosoma* and *Evasterias echinosoma*: *Patiria pectinifera*

Продол-	<i>Evasterias echinosoma</i>	<i>Evasterias echinosoma</i> : <i>Patiria pectinifera</i>
---------	------------------------------	---

житель- ность, ч	аминный азот, %	степень гидролиза, %	аминный азот, %	степень гидролиза, %
2	0,448	40	0,868	79
4	1,05	90	1,54	97

Как видно из приведенных данных (табл. 5), динамика протеолиза у *Evasterias echinosoma* и *Patiria rectinifera* различна. У второго объекта наблюдается замедление гидролиза, что, вероятно, объясняется большим содержанием минеральных веществ в нем. При этом совместное использование тканей приводит к сокращению продолжительности гидролиза до 2 ч, что имеет важное практическое значение.

Полученные гидролизаты далее подвергали упариванию и высушивали до содержания воды не более 10 %.

Технологическая схема получения кормовой добавки на основе способа ферментативного гидролиза морских звезд представлена на рис. 4.



Рис. 4. Технологическая схема получения кормовой добавки способом ферментативного гидролиза

Fig. 4. Flow chart of producing feed additive by means of enzymatic hydrolysis

При технологической обработке морских звезд изменяется (повышается) их относительная биологическая ценность (табл. 6).

Таблица 6. Влияние технологии на биологическую ценность морских звезд
Table 6. Influence of the technology on the biological value of the sea stars

Наименование морской звезды	ОБЦ, %			КБА, кл/ч		
	сырец	мороженая	гидролизат	сырец	мороженая	Гидролизат
<i>Evasterias echinosoma</i>	32,5	25,8	43,3	0,45	0,32	0,46
<i>Patiria pectinifera</i>	16,7	13,5	36,0	0,21	0,16	0,31

Представленные данные (табл. 6) свидетельствуют о целесообразности применения ферментативного гидролиза в технологии кормовой добавки из морских звезд.

ВЫВОДЫ

Проведенные исследования размерно-массовой характеристики и химического состава морских звезд *Patiria pectinifera* и *Evasterias echinosoma*, выловленных в бухте Северной Хасанского района Приморского края, послужили основанием для поиска путей промышленной переработки данных объектов.

Наличие ценных компонентов в исследуемом сырье предопределило возможность получения из морских звезд ценных кормовых продуктов.

Разработана технология, которая позволит дополнительно вовлечь в производство новый вид сырья – морские звезды и производить из них высоко востребованный вид продукции – кормовую добавку для рациона птиц.

Технология кормовой добавки из морских звезд предусматривает следующие основные технологические операции: сортирование по видовому составу и размеру; мойку, стекание; измельчение; ферментативный гидролиз; упаривание; сушку.

Ферментативный гидролиз целесообразно осуществлять в соответствии с параметрами, которые дифференцируются в зависимости от вида исходного сырья. При использовании комплекса морских звезд в природном соотношении условия ферментативного гидролиза наиболее рациональны.

Кормовая добавка из морских звезд, полученная способом ферментативного гидролиза, обладает высокими показателями биологической ценности за счет наличия легкоусвояемых веществ и может быть рекомендована к использованию в птицеводстве.

В настоящее время осуществляются исследования по установлению безопасности и сроков хранения новой кормовой добавки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Использование нетрадиционных кормов в птицеводстве: метод. Рекомендации / под общ. ред. В. И. Фисинина, И. А. Егорова, П. Н. Панькова. – Москва: ВНИТИП, 2000. – 35 с.
2. Егоров, И. А. Научные разработки в области кормления птицы / И. А. Егоров // Птица и птицепродукты. – 2013. – №5. – С.8-12.
3. Wang C., Gu Q., Zhou P. Marine star *Asterias amurens* is the potential marine food resources // *Zhounngguo shuichan kexue. J. fish. Sci. China.* 1999, № 4. С.67-71.
4. Технохимическая характеристика морских звезд как объекта промышленной переработки / В. Д. Богданов [и др.] // *Известия Тинро.* –2015. – Т. 181. – С. 240-257.
5. Биотехнология рационального использования гидробионтов: учебник / под ред. О. Я. Мезеновой. – Санкт-Петербург: Изд-во «Лань», 2013. – 416 с.
6. Телишевская, Л. Я. Белковые гидролизаты / Л. Я. Телишевская. – Москва: Аграрная наука, 2000. – 295 с.
7. Пивненко, Т. Н. Сериновые протеиназы морских организмов: свойства, получение, применение: моногр. / Т. Н. Пивненко, Н. Н. Ковалев. – Владивосток: ФГБОУ ВПО «Дальрыбвтуз», 2015. – 496 с.

REFERENCES

1. *Ispol'zovanie netradicionnyh kormov v pticevodstve. Metodicheskie rekomendacii* [Using non-conventional feed in poultry husbandry. Guidelines]. Pod obshh. red. V. I. Fisinina, I.A. Egorova, P. N. Pan'kova. Moscow, VNI TIP, 2000, 35 p.
2. Egorov I. A. Nauchnye razrabotki v oblasti kormlenija pticy [Research developments applicable to the feeding of birds]. *Ptica i pticeprodukty*, 2013, no. 5, pp. 8-12.
3. Wang C., Gu Q., Zhou P. Marine star *Asterias amurens* is the potential marine food resources. *Zhounngguo shuichan kexue. J. fish. Sci. China.* 1999, no. 4, pp. 67-71.
4. Bogdanov V. D., Maksimova S. N., Tungusov N. G., Shadrina E. V. Tehnohimicheskaja harakteristika morskih zvezd kak ob#ekta promyshlennoj pererabotki [Techno-chemical characteristics of sea starts being objects of industrial processing]. *Izvestija Tinro*, 2015, vol. 181, pp. 240-257.
5. *Biotehnologija racional'nogo ispol'zovanija gidrobiontov: uchebnik pod red. O. Ja. Mezenovoj* [Biological technology of rational use of hydrobionts: course book under the editorship of O. Mezenova]. Saint-Petersburg, Izdatel'stvo "Lan", 2013, 416 p.
6. Telishevskaja L. Ja. *Belkovye gidrolizaty* [Protein hydrolyzates]. Moscow, Agrarnaja nauka, 2000, 295 p.
7. Pivnenko T. N., Kovalev N. N. *Serinovye proteinazy morskih organizmov: svojstva, poluchenie, primenenie* [Serine proteinase of sea organisms: characteristics, derivation, application]. Vladivostok, FGBOU VPO "Dal'rybvuz", 2015, 496 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

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

Maksimova Svetlana Nikolaevna – Far Eastern State Technical Fisheries University; Doctor of Technical Sciences, associate professor, head of the Department of food products technology; E-mail: maxsvet28@mail.ru

Богданов Валерий Дмитриевич – Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет; доктор технических наук, профессор кафедры «Технология продуктов питания»; E-mail: bogdanovd@mail.ru

Bogdanov Valeriy Dmitrievich – Far Eastern State Technical Fisheries University; Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of food products technology; E-mail: bogdanovd@mail.ru

Шадрина Екатерина Васильевна – Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет; аспирант кафедры «Технология продуктов питания»; E-mail: katyashadrina83@mail.ru

Shadrina Ekaterina Vasilevna – Far Eastern State Technical Fisheries University; postgraduate student of the Department of Food products technology; E-mail: katyashadrina83@mail.ru

Панчишина Екатерина Мироновна – Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет; кандидат технических наук, зав. лабораторией «Микробиология»; E-mail: ekaterina.pan@mail.ru

Panchishina Ekaterina Mironovna – Far Eastern State Technical Fisheries University; PhD in Engineering, head of the laboratory of Microbiology; E-mail: ekaterina.pan@mail.ru

УДК 664.951

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ПОСОЛА
СЕЛЬДИ ПРИ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Ю. А. Фатыхов, В. А. Шуманов, М. В. Шуманова

EXPERIMENTAL RESULTS OF THE PROCESS OF SALTING HERRING
AT SUBZERO TEMPERATURES

Yu. A. Fatykhov, V. A. Shumanov, M. V. Shumanova

Актуальной темой в данном исследовании является установление закономерностей процесса посола сельди при отрицательных температурах с учетом положительной динамики ее вылова, промыслового запаса, благоприятного воздействия холода на подавление жизнедеятельности микроорганизмов, увеличения продолжительности хранения и улучшения качества продукта. Для изучения процесса посола сельди целесообразно использовать метод фотонной корреляционной спектроскопии, основанный на релеевском рассеянии излучения от веществ. Получена экспериментальная зависимость коэффициента диффузии от глубины проникновения соли в тузлуке, на коже и в мясе рыбы в диапазоне температур от минус 16 °С до минус 6 °С, которая имеет волнообразный вид. Высказана гипотеза, объясняющая механизм возникновения термоконвективных волн при посоле рыбы. На границе раздела фаз происходит самопроизвольная диссоциация ионов солей, сопровождающаяся выделением тепла. Возникающий температурный градиент является источником возмущений, вызывающих слабозатухающие термоконвективные волны. В приближении Буссинеска в зависимости от изменения температуры меняется и плотность среды, что вызывает пропорциональное изменение коэффициента диффузии. Получена экспериментальная зависимость коэффициента диффузии в тузлуке, на коже и в мясе сельди в диапазоне температур от минус 18 °С до 0 °С от размера диффундирующих частиц. Диффундирующие частицы представляют собой кластеры, состоящие из ионов солей и молекул воды. Размеры диффундирующих частиц гиперболически уменьшаются при возрастании коэффициента диффузии, что позволяет эффективно осуществлять процесс посола сельди при температурах, близких к минус 18 °С. Практическую значимость имеет механическое разрушение водосолевых кластеров звуком или ультразвуком, позволяющее увеличить коэффициенты диффузии и сократить продолжительность процесса посола.

сельдь, тузлук, посол, отрицательные температуры, метод фотонной корреляционной спектроскопии, коэффициент диффузии

Today it is very important to define process patterns of salting herring at low temperatures considering positive dynamics of its catch, commercial stock, and beneficial effect of cold on the suppression of microorganisms' activity, increase of shelf life

and quality improvement of a product. To study the process of herring salting it is advisable to use the method of photon correlation spectroscopy, based on Rayleigh scattering radiation from substances. We obtained an experimental dependence of the diffusion coefficient from the depth of penetration in brine on fish skin and meat in the temperature range from -16°C to -6°C , which has an undulating form. It has been hypothesized to explain the mechanism of occurrence of thermal convection waves during the process of fish salting. On the phase boundary, there is a spontaneous dissociation of the salt ions accompanied by the release of heat. The emerging temperature gradient is a source of disturbances which cause weakly damped thermal convection waves. In the approximation of Boussinesque, depending on temperature change, the density of the medium is changing, which causes a proportional change in the diffusion coefficient. The experimental dependence of the diffusion coefficient was obtained in brine, skin and meat of herring from diffusing particle size at the temperatures ranging from -18°C to 0°C . The diffusing particles represent clusters consisting of salt ions and water molecules. Dimensions of the diffusing particles hyperbolically decrease at the increase of diffusion coefficient allowing effective implementation of the process of herring salting at the temperatures close to -18°C . Of considerable practical importance is the mechanical destruction of the salt water clusters using sound or ultrasound that allows us to increase the diffusion coefficients and reduce the process duration.

herring, brine, salting process, subzero temperatures, the method of photon correlation spectroscopy, diffusion coefficient

ВВЕДЕНИЕ

Среди большого разнообразия добываемых гидробионтов один из важных объектов промысла – сельдь, запасы которой являются достаточными. В исключительной экономической зоне (ИЭЗ) в общем объеме вылова порядка она занимает 8 %, причем наблюдается положительная динамика ее вылова [1].

Сельдь, как объект обработки, считается классическим (традиционным) видом сырья для посола, так как принадлежит к числу рыб, способных созревать во время процесса посола. Этот способ консервирования не потерял актуальности и в настоящее время, когда с помощью посола получают либо готовые изделия, обладающие специфическим ароматом и вкусом, либо полуфабрикаты, из которых в дальнейшем изготавливают вяленую, копченую, сушеную, маринованную продукцию [2].

Посол – сложный массообменный процесс, состоящий из диффузионного перехода соли в рыбу, диффузионно-осмотического переноса воды из тканей рыбы в тузлук либо наоборот (в зависимости от крепости тузлука). В процессе посола происходят физико-химические и биохимические изменения: денатурация и гидролиз белков, липидов и экстрактивных веществ, изменения микрофлоры и потери витаминов. Движущей силой процесса посола является градиент концентрации раствора хлористого натрия, как основного применяемого в промышленности консерванта, во внешней солевой среде (тузлуке) и тканях гидробионтов.

До недавних пор производство рыбы крепкого посола (свыше 12 % массовой доли соли) занимало доминирующее место. В последние годы учеными установлено отрицательное воздействие на организм человека чрезмерного употреб-

ления хлористого натрия. К негативным последствиям относят: заболевания сердечно-сосудистой системы; повышение возбудимости центральной нервной системы, способствующей развитию гипертонической болезни; ингибирующее воздействие натрия на липопротеиновую липазу крови, уменьшающее коллоидную стабильность холестерина и являющееся одной из причин развития атеросклероза и др. [3].

Наряду с положительным воздействием поваренной соли при посоле рыбы отмечается и ее слабое консервирующее воздействие на микрофлору в зависимости от концентрации хлористого натрия: при концентрации 6 – 8 % (по массе сырой рыбы) погибает большинство микроорганизмов, вызывающих порчу, однако при большей концентрации, вплоть до концентрации, соответствующей крепкому посолу (выше 12 %), часть медленно растущей группы бактерий (галофильные) продолжает развиваться [4, 5].

Следует также отметить, что, как показали маркетинговые исследования по изучению удовлетворения потребностей населения качеством соленой рыбопродукции, гастрономические предпочтения потребителя (76 %) склоняются в сторону малосоленого продукта (3-6 % массовой доли соли) [6].

С целью значительного снижения жизнедеятельности микроорганизмов и активности тканевых ферментов, а также улучшения качественных характеристик соленого продукта ряд исследователей предлагают осуществлять комбинированный посол рыбы, сочетая ее обработку на отдельных этапах как при положительных, так и отрицательных (до минус 22°C) температурах [7 - 9]. Однако эти работы посвящены установлению закономерностей при сухом посоле рыбы и не раскрывают механизм массопереноса при тузлучном (мокроем) посоле.

С учетом положительной динамики вылова сельди, ее промыслового запаса, благоприятного воздействия холода на подавление жизнедеятельности микроорганизмов, увеличение продолжительности хранения и улучшение качества продукта представляется актуальным исследование и установление закономерностей процесса посола рыбы при отрицательных температурах.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве объекта исследования использовали сельдь атлантическую (*Clupea harengus*) мороженую, по качеству отвечающую требованиям действующего стандарта, размером 30 ± 2 см, массой 310 ± 10 г. Химический состав мяса сельди атлантической: жир 18,5, белок 18, минеральные вещества 1,5 %.

Для составления тузлука определенной заданной концентрации (плотности) использовали хлористый натрий по ГОСТ 4233 и воду питьевую по ГОСТ Р 51232-98.

Для исследования процесса диффузии соли в тканях сельди существующие химические способы определения солености рыбы не позволяют получить информацию о пространственно-временном характере распределения соли в продукте. Для установления механизма распространения соли необходимо применять новые методы исследования, основанные на взаимодействиях излучений (акустических или электромагнитных) с веществом, например современный нанотехнологический метод фотонной корреляционной спектроскопии, основанный на релеевском рассеянии излучения от веществ. Учеными КГТУ – В. В. Брюханов

вым, А. М. Ивановым и др. [10, 11] – этот метод успешно применялся для исследования взаимодействия различных веществ, однако его приемлемость и целесообразность для исследования процессов пищевой технологии впервые высказана и обоснована авторами данного исследования [12-15].

Схема экспериментальной установки для исследования процесса посола мяса сельди методом фотонной корреляционной спектроскопии (ФКС) показана на рис.1.

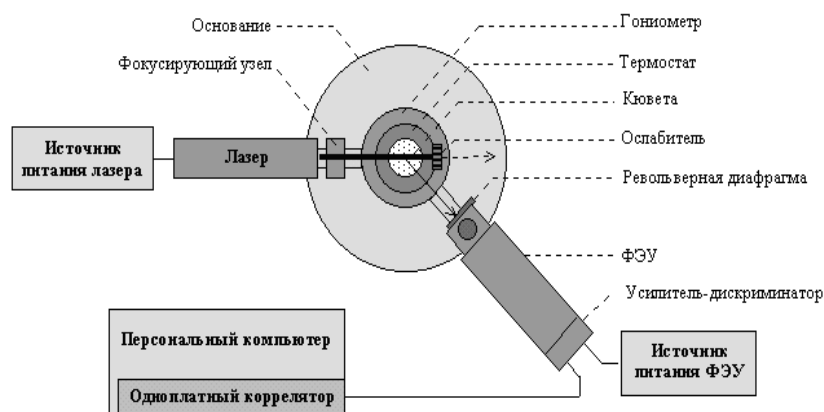


Рис.1. Схема экспериментальной установки
Fig. 1. The scheme of the experimental installation

Установка включает в себя: источник излучения, кювету с исследуемым веществом, анализатор и коррелятор, принимающие рассеянное излучение через фотоэлектронный умножитель (ФЭУ) и выводящие полученную информацию на дисплей компьютера. Источником излучения является одномодовый He-Ne лазер ($W = 15$ мВт; $\lambda = 632.8$ нм; диаметр луча 100 мкм). Флуктуации интенсивности света, рассеянного на разных дисперсных частицах, регистрировались фотоэлектронным умножителем (ФЭУ), работающим в режиме счета фотонов. Корреляционная функция вычислялась с использованием 32-битного 282-канального коррелятора «Photocor-FC», подключенного к компьютеру и снабженного программой Flex 5.3.3. Программа рассчитывала коэффициент диффузии с относительной погрешностью не более 5 %.

Образцы сельди с кожей на верхней поверхности помещались в кювету из кварцевого стекла и заливались раствором NaCl заданных концентрации и температуры. Кювета помещалась в термостат, находящийся на платформе гониометра, и охлаждалась до минус 18°C путем циркуляции тосола с жидким азотом с помощью установки SW 12 USPH-S Water Cooler с точностью измерения температуры 0,1°C. Перемещение кюветы по высоте осуществлялось через 1 мм специально установленным микрометрическим устройством; в каждый фиксированный момент производилось сканирование лазерным лучом тузлука, кожи и мяса сельди по высоте кюветы.

За нулевую поверхность отсчета бралась поверхность кожи, граничащая с раствором NaCl. Положительные значения x : от кожи вглубь мяса до значения

l (l - толщина кусочка мяса рыбы). Отрицательные значения x (для удобства графического изображения) брались в области раствора NaCl (вверх от кожи). По высоте кюветы измерялись и рассчитывались интенсивность рассеянного света, концентрация, коэффициенты диффузии и размеры диффундирующих частиц по формулам:

$$G(\tau) = \langle I(t - \tau) \rangle = \lim_{t_m \rightarrow \infty} \frac{1}{t_m} \int_0^{t_m} I(t) \cdot I(t - \tau) dt. \quad (1)$$

Автокорреляционная функция интенсивности экспоненциально затухает во времени. Характерное время релаксации связано с коэффициентом диффузии D :

$$G(\tau) = a \cdot \exp\left(-\frac{2\tau}{t_c}\right) + b, \quad (2)$$

где обратное время корреляции в соответствии с решением уравнения диффузии равно:

$$\frac{1}{t_c} = Dq^2. \quad (3)$$

Волновой вектор флуктуаций концентрации описывается выражением:

$$q = \frac{4\pi n}{\lambda} \cdot \sin \frac{\vartheta}{2}. \quad (4)$$

В выражениях (1) - (4) a и b – экспериментальные константы; n – показатель преломления жидкости, в которой взвешены наночастицы; λ – длина волны лазерного света; ϑ – угол рассеяния.

Программа рассчитывала корреляционную функцию рассеяния (временное разрешение $t = 25$ нс), определяла функцию распределения частиц по размерам и вычисляла коэффициент диффузии из корреляционной функции, из значения которого по формуле Стокса-Эйнштейна (5) рассчитывался гидродинамический радиус диффундирующих частиц растворенного вещества r , см:

$$D = \frac{RT}{N_A} \cdot \frac{1}{6\pi\eta r}, \quad (5)$$

где R – универсальная газовая постоянная (для всех веществ равна 8,32) Дж/°К·моль; T – абсолютная температура, К; N_A – число Авогадро, $6,02 \cdot 10^{23}$ 1/моль; η – вязкость среды, г/см·с.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

На рис. 2 представлена экспериментальная зависимость коэффициента диффузии от расстояния в растворе NaCl и мясе сельди в динамике от изменения температуры и времени эксперимента.

Вид изображенной на рис. 2 зависимости носит колебательный характер, который можно объяснить возникновением термоконвективных волн, механизм образования которых для несжимаемых неизотермических жидкостей выявлен академиком А.В. Лыковым в работе [16].

Так как характер изображенной на рис. 2 зависимости имеет качественные отличия от аналогичной зависимости при положительных температурах процесса посола [17], в настоящей работе предлагаем гипотезу теоретического объяснения механизма возникновения термоконвективных волн при посоле рыбы в области умеренных отрицательных температур.

Принимаем следующие начальные условия осуществления процесса: насыщенный раствор NaCl с массовой концентрацией соли около 26 % и мясо сельди замораживаем до температуры минус 18 °С.

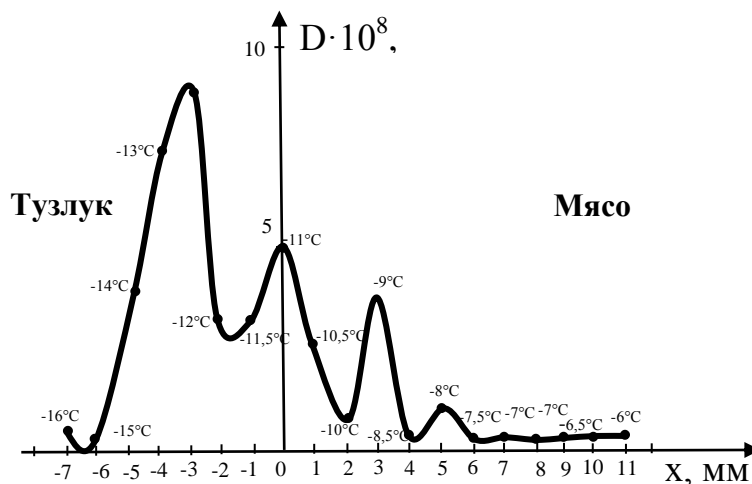


Рис. 2. Зависимость коэффициента диффузии от растворения соли в тузлуке и мясе:

$x = 0$ – кожа; $x > 0$ – мясо сельди; $x < 0$ – тузлук

Fig. 2. Dependence of the diffusion coefficient from dissolution in brine and meat:

$x = 0$ - the skin; $x > 0$ - herring meat; $x < 0$ - brine

На поверхности раздела фаз (коже сельди) часть соли кристаллизуется. Исходя из принципа М. Бергло [18], происходит самопроизвольная диссоциация ионов солей, которая сопровождается химической реакцией с образованием водородных соединений – гидротацией. Принцип Бергло оправдывается для реакции образования соединений, которые проходят с выделением теплоты и идут практически до конца только при относительно низких температурах. При положительных температурах эти же реакции самопроизвольно происходят в обратном направлении, т. е. осуществляется диссоциация соединений с поглощением тепла. По оценке [19], при образовании гидратированных ионов Na^+ и OH^- выделяется соответственно 422 и 510 кДж/моль.

Процесс выделения теплоты непосредственно вблизи границы раздела фаз способствует возникновению градиента температуры $\gamma = \partial t / \partial x$, который изменяется внутри раствора соли от 1,0 до 0,5 °С/мм, а в межклеточном пространстве мяса сельди – от 0,5 до 0 °С/мм (рис. 2).

Диффузионно-осмотический перенос раствора соли и тканевой влаги рыбы сопровождается малыми температурными возмущениями, вызывающими образование слабозатухающих термоконвективных волн.

По мнению А. В. Лыкова [16], при малых числах Грасгофа (как в нашем случае $\text{Gr} < 50$), при наличии источника возмущений наблюдается конвективное движение жидкости в направлении градиента возмущения за счет молекулярной теплопроводности. Возникающие термоконвективные волны имеют вид колебательных движений при участии вязких и инерционных сил, приводящих к снижению амплитуды колебаний вплоть до полного затухания волн.

При математическом описании термоконвективных явлений [16] используется приближенный подход, в котором считается, что плотность среды зависит только от температуры (приближение Буссинеска), поэтому изменение темпера-

туры среды, как это следует из формулы (5), пропорционально вызывает изменение коэффициента диффузии, объясняя качественный характер его изменения высказанной гипотезой.

На рис. 3 представлена экспериментальная зависимость коэффициента диффузии в тузлуке, коже и мясе сельди от размеров диффундирующих частиц, полученная в диапазоне изменения температур от минус 18,5 до 0 °С.

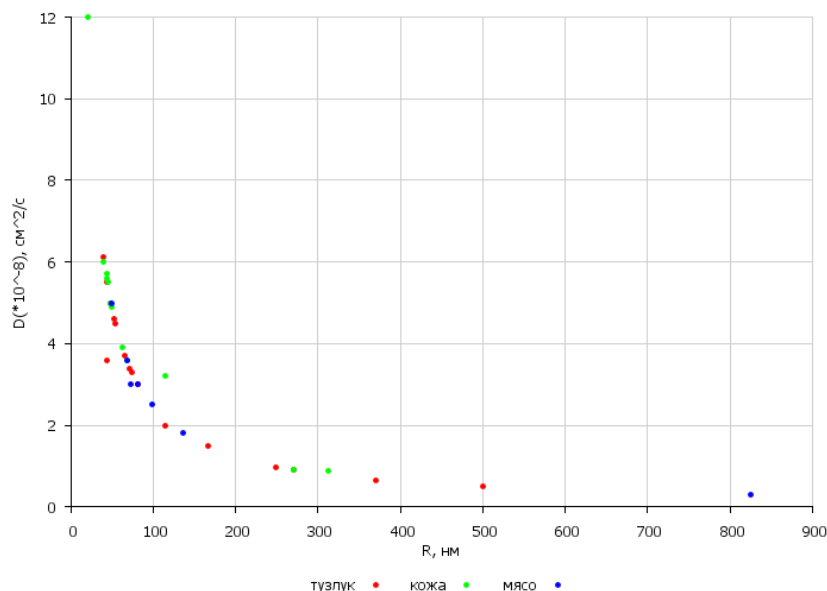


Рис. 3. Зависимость коэффициента диффузии от размера диффундирующих частиц

Fig. 3. Dependence of the diffusion coefficient from the size of diffusing particles

Измерения коэффициента диффузии проводились в тузлуке ($x = -1$ мм), на коже ($x=0$ мм) и в толще мяса сельди ($x = 6$ мм). Так как вязкость жидкости в указанных сечениях одинакова и линейно зависит от абсолютной температуры, то при известных D по формуле (5) определяется размер диффундирующих частиц r . Рассматриваемая на рис. 3 зависимость для данного диапазона температур и коэффициентов диффузии в исследуемых средах имеет вид гиперболы. Диффундирующие частицы представляют из себя кластеры: ионы Na^+ и Cl^- связывают определенное и разное количество молекул воды. Размеры кластеров гиперболически уменьшаются с ростом коэффициента диффузии. Отсюда следует важный практический вывод для интенсификации процесса посола рыбы: разрушение водносолевых кластеров с помощью механического воздействия, например, звука или ультразвука, способствует более интенсивному проникновению соли в ткани рыбы и сокращает продолжительность процесса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Установлена актуальность исследований тузлучного посола сельди при отрицательных температурах.

2. С помощью метода фотонной корреляционной спектроскопии получены волнообразные зависимости коэффициентов диффузии от глубины проникновения в тузлуку, на коже и в мясе сельди в диапазоне температур от минус 16 °С до минус 6 °С.

3. Предложена гипотеза, объясняющая механизм возникновения термоконвективных волн при посоле рыбы. Исходя из принципа М. Бергло, на границе раздела фаз происходит самопроизвольная диссоциация ионов солей, сопровождающаяся выделением тепла, при этом температурный градиент является источником возмущений, вызывающих слабозатухающие термоконвективные волны.

4. Получена экспериментальная зависимость коэффициента диффузии в тузлуке, коже и мясе сельди в диапазоне температур от минус 18 °С до 0 °С от размера диффундирующих частиц, который гиперболически уменьшается с ростом коэффициента диффузии.

5. Для интенсификации процесса посола рыбы показана практическая целесообразность механической обработки звуком или ультразвуком с целью разрушения солеводных кластеров и увеличения коэффициента диффузии.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Динамика вылова рыбы и морепродуктов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://fishretail.ru/blog/dinamika-vilova-ribi-i-moreproduktov-331>.
2. Технология рыбы и рыбных продуктов: учебник / С. А. Артюхова [и др.]; под ред. А. М. Ершова. – Москва: Колос, 2010. – 1064 с.
3. Дворянинова, О. П. Аквакультурные биоресурсы: научные основы и инновационные решения: монография / О. П. Дворянинова, Л. В. Антипова. – Воронеж: Воронежский государственный университет инженерных технологий, 2012. – 420 с.
4. Леванидов, И. П. Посол рыбы (элементы теории и практики) / И. П. Леванидов // Известия Тихоокеанского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии. – 1967. – Т. 63. – 197 с.
5. Уитон, Ф. У. Производство продуктов питания из океанических ресурсов: в 2 т. / Ф. У. Уитон, Т. Б. Лосон; под ред. В. П. Быкова; пер. с англ. В. Е. Тишина, В. А. Гантаевой. – Москва: Агропромиздат, 1989. – Т. 2. – 765 с.
6. Панина, М. Н. Разработка технологии малосоленых пресервов из балтийской сельди с использованием ВАД: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.04 / Панина Марина Николаевна; КГТУ. – Калининград, 2002. – 102с.
7. Исследование массообменных процессов при комбинированном сухом посоле рыбы / А. М. Ершов [и др.] // Вестник Мурманского государственного технического университета. – 2010. – Т.13, №4/1. – С. 673-677.
8. Способ приготовления малосоленой рыбы: пат. 2313944 РФ, МПК А 23 В 4/023/ А. С. Бестужев, А. Г. Нашиван, Ю. А. Фатыхов, В. Н. Эрлихман. – Приоритет от 26.06.2006; опубл. в БИ, 2008. – № 1.
9. Бестужев, А. С. Комбинированный способ посола рыбы / А. С. Бестужев, Ю. А. Фатыхов, В. Н. Эрлихман // Инновации в науке и обра-

зовании – 2007: междунар. науч.-практ. конф.: тр.: в 2 ч. – Калининград: КГТУ, 2007. – Ч. 1. – С. 381-382.

10. Брюханов, В. В. Самоорганизация в жидкости: аномальная диффузия наночастиц вблизи пористой поверхности и в водно-спиртовых растворах / В. В. Брюханов, А. М. Иванов, И. Г. Самусев // Хаос и структуры в нелинейных системах. Теория и эксперимент. – V Междунар. науч. конф. (15-17 июня 2006 г.): мат. – Астана: Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилева, 2006. – Ч.2. – С. 69-73.

11. Иванов, А. М. Фрактальная кинетика люминисценции органолюминофоров на поверхности твердых тел и аномальная диффузия молекул и наночастиц на границе с жидкостью: дис. ... канд. физ.-мат. наук: 01.04.05/ Иванов Андрей Михайлович. – Калининград, 2007. – 138 с.

12. Применение оптических методов для определения концентрации соли (NaCl) в растворах / Ю. А. Фатыхов [и др.] // Вестник РАЕН. – Калининград, 2013. – С. 136-140.

13. Фатыхов, Ю. А. Применение нанотехнологических методов для исследования процесса посола сельди / Ю. А. Фатыхов, М. В. Шуманова, В. А. Шуманов // Инновации в науке, образовании и бизнесе: XI Междунар. науч.-техн. конф.: тр. – Калининград, 2013. – Ч.1. – С. 261-263.

14. Применение нанотехнологических методов для определения концентрации поваренной соли в растворах / М. В. Шуманова [и др.] // Инновации в науке, образовании и бизнесе: XI Междунар. науч.-техн. конф.: тр. – Калининград, 2013. – Ч.1. – С. 265-268.

15. Шуманова, М. В. О возможности применения нанотехнологических методов для исследования процесса посола сельди / М. В. Шуманова // Фундаментальные и прикладные исследования, разработка и применение высоких технологий в промышленности и экономике: XVII Междунар. науч.-практ. конф. (22-23 мая 2014 г.): сб. ст. – Санкт-Петербург: Изд-во Политехнического ун-та, 2014. – С. 181-187.

16. Лыков, А. В. Конвекция и тепловые волны / А. В. Лыков, Б. М. Берковский. – Москва: Энергия, 1974. – 336 с.

17. Шуманова, М. В. Результаты экспериментальных и теоретических исследований процесса посола сельди / М. В. Шуманова, Ю. А. Фатыхов, В. А. Шуманов // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – Воронеж, 2015. – №2. – С. 30-34.

18. Жуховицкий, А. А. Физическая химия: учебник / А. А. Жуховицкий, Л. А. Шварцман. – Москва: Металлургия, 1987. – 688 с.

19. Ксензенко, В. И. Теоретические основы процессов переработки галургического сырья: учебник для студ. химико-технологических спец. ВУЗов / В. И. Ксензенко, Г. Н. Кононова. – Москва: Химия, 1982. – 328 с.

REFERENCES

1. *Dinamika vylova ryby i moreproduktov* [The Dynamics of the catch of fish and seafood]: <http://fishretail.ru/blog/dinamika-vilova-ribi-i-moreproduktov-331>.

2. Artyuhova S.A., Baranov V.V., Brazhnaya I.E., [et al.] *Tekhnologiya ryby i rybnykh produktov* [Technology of fish and fish products: a textbook for high schools] ed. A.M. Yershov. Moscow: Kolos. 2010. 1064 p.

3. Dvoryaninova O.P., Antipova L.V. *Akvakul'turnye bioresursy: nauchnye osnovy i in-novatsionnye resheniya: monografiya* [The aquaculture biological resources: scientific foundations and innovative solutions: a monograph]. Voronezh: Voronezhskiy gos. univ. inzh. tekhn., 2012. - 420 p.

4. Levanidov I.P. *Posol ryby (elementy teorii i praktiki)* [The process of salting fish (elements theory and practice. *Izv. Tikhookeanskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta rybnogo khozyaystva i okeanografii*. 1967. vol.63. pp. 197.

5. Uiton F.U., Loson T.B., Bykov V.P. *Manufacture of food products from ocean resources: in 2 vol. (Russ. Ed.: Tishin V.E. Gantaeva V.A. Proizvodstvo produktov pitaniya iz okeanicheskikh resursov: v 2 t. Moscow, Agropromizdat, 1989. -2 vol. -765 p.)*

6. Panina M.N. *Razrabotka tekhnologii malosolenykh preservov iz baltiyskoy sel'di s ispol'zovaniem VAD: Dis. kand. tekhn. nauk* [Development of technology for semi-preserved salted Baltic herring with VAD. Dis.kand. tech. sci.]. Kaliningrad, 2002. -102p.

7. Ershov A.M. *Issledovanie massoobmennykh protsessov pri kombinirovannom sukhom posole ryby* [The researchy of mass transfer processes in combined dry salted fish] *Vestnik Murmanskogo gos. tekhn. univ.* 2010. vol.13. no. 4/1. pp. 673-677.

8. Bestuzhev A.S., Nashivan A.G., Fatykhov Ju. A., Erlikhman V.N. *Pat. RU 2313944 RF, MPK A 23 V 4/023. Sposob prigotovleniya malosolenoy ryby. Prioritet ot 26.06.2006. Opubl. BI, № 1, 2008.*

9. Bestuzhev A.S., Fatykhov Ju. A. , Erlikhman V.N. *Kombinirovannyi sposob posola ryby* [Combined method of salting fish] *Innovatsii v nauke i obrazovanii – 2007: mezh-dunar. nauchn.-prakt. konf.: trudy. [Innovations in science and education - 2007: Intern. scientific-practical. conf. : proceedings]* Kaliningrad, KGTU, part. 1, 2007, pp.381-382

10. Brukchanov V.V. Ivanov A.M., Samusev I.G. *Haos i strukturi v nelineinikh sistemah. Teoriya i experiment* [Self-organization in liquid: anomalous diffusion of nanoparticles near the porous surface and in water-alcohol solutions]. *Materiali 5 mezhdunarodnoi nauch. konf* [Chaos and structures in nonlinear systems. Theory and experiment. Proceedings of the 5th Intl. scientific conf.]. Astana, 2006 . Part 2. 2006. pp. 69-73

11. Ivanov A.M. *Fraktalnaya kinetika luministsentsii organoluminoforov na poverhnosti tverdykh tel i anomalnaya diffuziya molekul i nanochastits na granitse s zhidkostiu. Diss. kand. fiz.-mat. nauk* [The fractal kinetics of the organoluminophores fluorescence on solid surfaces and anomalous diffusion of molecules and nanoparticles on the border with liquid. Dis. kand. phys- math. sci.]. Kaliningrad, 2007. 138 p.

12. Fatykhov Ju. A. , Shumanova M.V., Schumanov V.A., Ivanov A.M., Kapelevich M.S. *Application of optical methods for determining the concentration of salt (NaCl) in solutions [Primenenie opticheskikh metodov dlya opredeleniya koncentratsii soli (NaCl) v rastvorakh]* *Vestnik RAEN* . Kaliningrad. 2013/ pp. 136-140.

13. Fatykhov Ju. A. Shumanova M.V., Shumanov V.A. . *Primenenie nanotekhnologicheskikh metodov dlya is-sledovaniya protsessa posola sel'di* [The use of nanotechnology techniques to study the process of salted herring] *Trudy 11 mezhduna-*

rarodnoi. naucno-tehnicheskoi konferencii [Proc. of XI Intl. scientific-technical. conf.] Kaliningrad: KSTU. 2013. vol.1. pp.261-263.

14. Shumanova M.V. Fatykhov Ju. A., Shumanov V.A., Kapelevich M.S. Primenenie nanotekhnologicheskikh metodov dlya opredeleniya kontsentratsii povarennoy soli v rastvorakh [Application of biotechnology methods for determining the concentration of salt in the solutions] *Trudy. 10 mezhd. nauch.-tekhn. konf. «Innovatsii v nauke, obrazovanii i biznese»*[Proc. of X Intl. scientific-technical. conf. «Innovations in science, education and business»] Kaliningrad. 2013. Ch.1. S.265-268.

15. Shumanova M.V. O vozmozhnosti primeneniya nanotekhnologicheskikh me-todov dlya issledovaniya protsessa posola sel'di [The possibility of using nanotechnology techniques to study the process of salted herring] *Visokieologii, fundamentalnie issledovaniya, innovatsii: sbornik statei 17 mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii «Fundamentalnie i prikladnie issledovaniya, razrabotka i primeneniye visokih tehnologii v promishlennosti i ekonomike»*. [High technology, fundamental research and innovation: a collection of articles of the Seventeenth International Scientific-Practical Conference "Fundamental and applied research, development and application of high technologies in the industry and the economy"] SPb . 2014. pp. 181-187

16. Lykov A.V., Berkovskiy B.M. *Konvektsiya i teplovye volny* [Convection and heat waves]. Moscow, Energiya. 1974. - 336 p.

17. Shumanova M.V. Fatykhov Y.A., Shumanov V.A. Rezul'taty eksperimental'nykh i teoreticheskikh issle-dovaniy protsessa posola sel'di [The results of experimental and theoretical studies of the process of salting herring] *Vestnik Voronezhskogo gos. univ. inzh. tekhn.* Voronezh, 2015. no.2. P. 30-34.

18. Zhukhovitskiy L.A, Shvartsman A.A. *Fizicheskaya khimiya: uchebnik* [Physical Chemistry: textbook]. Moscow, Metallurgiya, 1987. 688 p.

19. Ksenzenko V.I., Kononova G.N. *Teoreticheskie osnovy protsessov pererabotki galurgicheskogo syr'ya: Uchebnik dlya studentov khimiko-tehnologicheskikh spetsial'nostey VUZov* [Theoretical bases of processing of raw materials halurgy: A textbook for students of chemical-technological specialties universities]. Moscow, Khimiya. 1982. 328 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Фатыхов Юрий Адгамович – Калининградский государственный технический университет; доктор технических наук, профессор кафедры пищевых и холодильных машин;
E-mail: elina@klgtu.ru

Fatykhov Yuriy Adgamovich – Kaliningrad State Technical University; Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Food and Refrigeration Machines;
E-mail: elina@klgtu.ru

Шуманов Вячеслав Анатольевич – Калининградский государственный технический университет; кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физики;
E-mail: vshumanov@inbox.ru

Shumanov Vyacheslav Anatolyevich - Kaliningrad State Technical University; Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Physics;
E-mail: vshumanov@inbox.ru

Шуманова Мария Вячеславовна – Калининградский государственный технический университет; аспирантка кафедры пищевых и холодильных машин;
E-mail: maria.shumanova@klgtu.ru

Shumanova Maria Vyacheslavovna - Kaliningrad State Technical University; post-graduate student of the Department of Food and Refrigeration Machines;
E-mail: maria.shumanova@klgtu.ru

СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

УДК 631.4

ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ
И ДИНАМИКА ПОДВИЖНОГО ЖЕЛЕЗА В КАТЕНЕ
С ЭРОДИРОВАННЫМИ ПОЧВАМИ

О. А. Анциферова

REDOX CONDITIONS AND DYNAMICS OF FREE IRON IN CATENA WITH
ERODED SOILS

O. A. Antsiferova

Исследования проведены на пахотном поле в пределах Светлогорского городского округа Калининградской области (Самбийская холмисто-моренная равнина). Изучены почвы: бурозем супесчаный (несмытый) на повышении, бурозем песчаный сильносмытый на склоне и намытая почва у подножия холма. Период исследования включал годы с разным увлажнением: 2012 г. - 962 мм осадков (очень влажный); 2013 г. – 723 мм (средний); 2014 г. – 589 мм (очень сухой). В почвах в период вегетации сельскохозяйственных культур преобладает окислительная обстановка в пахотном горизонте. Сезонное варьирование значений Eh связано с динамикой влажности. Во всех почвах выражена общая закономерность: Eh опускается до уровня слабо восстановительной обстановки (300 – 400 мВ) ранней весной, поздней осенью, а также в сырые декады лета и осени. В буроземе супесчаном на автономной позиции рельефа и буроземе сильносмытом песчаном на склоне периоды падения Eh ниже 400 мВ (условной границы окислительных и восстановительных процессов) кратковременны (несколько дней – неделя). В намытой почве весенние значения Eh около 300 мВ наблюдаются в течение всего апреля, что может отрицательно сказаться на всхожести культур как вследствие затрудненной аэрации, так и по причине накопления токсичных соединений и потерь азота на денитрификацию. Содержание кислоторастворимого окисного железа в почвах повышений и склонов всегда значительно превосходит количество закисного железа. В пахотном горизонте намытой почвы суммарное содержание подвижного железа больше по сравнению с почвами повышений и склонов. Это следствие повышенной увлажненности почвы и привноса железа с твердым стоком тонкодисперсных частиц. Количество подвижного железа во всех почвах в сырой год выше, чем в сухой.

окислительно-восстановительный потенциал, буроземы, подвижное железо, влажность почв

Research was carried out on the arable field within the Svetlogorsk urban district of the Kaliningrad region (Semba hilly moraine plain). The sandy-loam brown soil on the top hill, strongly eroded sandy brown soil on the slope and washed soil (diluvium) at the foot of the hill were studied. The investigation period included years with

different moisture: 2012 - 962 mm of rain (very wet); in 2013 - 723 mm (average); in 2014 - 589 mm (very dry). In soils, during the growing season of crops oxidizing environment in the arable horizon is predominant. Seasonal variation of Eh values is due to moisture dynamics. In all soils the general pattern is expressed: Eh falls to a level of a slightly reducing environment (300 - 400 mV) in early spring, late autumn, as well as wet decades of summer and autumn. In sandy-loamy brown soils on the autonomous position of the relief and strongly eroded sandy brown soil on the slope, fall periods of Eh below 400 mV (conventional border of oxidation and reduction processes) are short (from few days to one week). In the washed soil (diluvium) spring Eh value of about 300 mV are observed throughout April, which may adversely affect the germination of crops, as a result of constrained aeration, and because of accumulation of toxic compounds and nitrogen losses to denitrification. The content of acid-soluble ferric oxide in the soils of the hill tops and slopes are always much higher than the amount of ferrous iron. In the arable horizon of washed soil, the total content of free iron is bigger, compared to the soils of hill tops and slopes. This is due to the greater moisture content in soil and supply of iron with solid release of fine particles. The amount of free iron in all soils in a wet year is higher than in a dry.

redox potential, brown soils, free iron, soil moisture

ВВЕДЕНИЕ

Окислительно-восстановительные процессы формируют тот фон, от которого зависит направление почвообразовательных процессов, а также доступность посевам сельскохозяйственных культур многих элементов питания из минеральных удобрений и почвы [1-4]. Поэтому изучение динамики окислительно-восстановительного потенциала (ОВП) в почвах должно стать неотъемлемой частью регионального агроэкологического мониторинга. Исследования ОВП буроземов были проведены на Дальнем Востоке [5] и в Закарпатье [6 - 7]. В Калининградской области динамика ОВП, влажности и их влияние на урожай были изучены только для почв полейдеров [8]. Современные данные по буроземным и дерново-подзолистым почвам, в том числе эродированным, отсутствуют.

Так как в гумидном агроландшафте железо является главным элементом с переменной валентностью, потенциально влияющим на ОВП и играющим большую роль в почвообразовании, то мы предприняли попытку исследовать динамику его подвижных (учитывая условность термина) соединений.

В задачи исследования входило: изучить динамику Eh в пахотном горизонте почв катены в годы с различным увлажнением; установить периоды преобладания в почвах окислительных и восстановительных процессов; изучить динамику подвижного железа, переходящего в вытяжку 0,1н H₂SO₄; оценить взаимосвязь ОВП, влажности и подвижного железа.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Ключевой участок – пахотное поле в Светлогорском городском округе, геоморфологическом районе Самбийской возвышенности, зоне краевых ледниковых образований (западная часть Калининградской области).

Нами изучались режим влажности, динамика ОВП и подвижного железа в пахотном горизонте (0-20 см) катены на склоне холма восточной экспозиции, включающей основные компоненты: 1) бурозем супесчаный (несмытый) на валунных супесях с подстилкой водно-ледниковым песком с глубины 140 см; 2) бурозем сильносмытый песчаный с подстилкой суглинками с глубины 120 см на склоне 5 – 7°; 3) намытая мощная супесчаная почва у подножия холма. Исследования проводили в годы с разным увлажнением. По данным ближайшей к ключевому участку метеостанции г. Пионерского, годовое количество осадков составило: в 2012 г – 962 мм (год очень влажный); в 2013 г. – 723 мм (средний); в 2014 г. – 589 мм (очень сухой). Режим влажности по профилю почв в катене за 2014 г. рассмотрен ранее [9].

Свойства и режимы почв определяли следующими методами: полевую влажность – весовым (отбор образцов подекадно) с последующим пересчетом на объемную влажность с учетом плотности почв; ОВП измеряли на приборе рН-150М с использованием электродов (хлорсеребряный марки ЭВЛ-1М, платиновый марки ЭПВ-1СР); подвижное железо (FeO, Fe₂O₃) по методике В. А. Казариновой-Окиной в модификации З. Ф. Коптевой [10, с. 191 - 196] извлекали обработкой навесок свежей почвы 0,1 н H₂SO₄ при соотношении почва : раствор 1:5 после 5-минутного взбалтывания, фильтрования, окрашивания с использованием в качестве индикатора α-α-дипиридила; оптическую плотность вытяжек измеряли при длине волны 490 нм в кюветах 1 см на приборе КФК-2. Все анализы выполняли в 4–6-кратной повторности с последующей статистической обработкой в Excel. Оценку ОВП проводили по следующей шкале: выше 400 мВ – окислительные условия; 400 – 300 – слабо восстановительные; 300 – 200 – умеренно восстановительные; менее 200 – интенсивно восстановительные [3, с. 176-177]; использована классификация окислительно-восстановительных режимов почв И. С. Кауричева [2, с. 79]. Для получения приближенно-оценочных данных по окислительно-восстановительным условиям в почвах с различным значением рН рассчитывали водородный потенциал ($rH_2 = Eh/29 + 2pH$).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На рис. 1-3 представлена динамика Eh и подвижного железа в почвах катены в годы исследований. Бурозем супесчаный и бурозем песчаный сильносмытый характеризуются доминированием в пахотном горизонте с апреля по ноябрь 2012 – 2014 гг. окислительных условий. Вероятно, при подробном профильном исследовании режима ОВП эти почвы следует отнести ко второму типу режимов (с преобладанием окислительных процессов при возможном проявлении восстановительных в отдельные годы или сезоны). Намытая супесчаная почва ближе к типу контрастного окислительно-восстановительного режима.

Во всех почвах выражена общая закономерность: наиболее низкие значения Eh отмечаются ранней весной и поздней осенью. В сырые периоды лета и осени также наблюдается снижение ОВП. При этом Eh опускается до уровня слабо восстановительной обстановки (300 – 400 мВ).

Значения водородного потенциала за исследованный период свидетельствуют об отсутствии значительного анаэробно-восстановительного процесса в почвах. Наиболее

низкие величины rH_2 (22,3 – 23,8) складываются в намытой почве в период весеннего переувлажнения пахотного слоя намывными склоновыми водами. В буроземе супесчаном rH_2 составлял в апреле 24,7 – 26,3. В остальное время показатель находился в пределах 27 – 31,5. В буроземе сильносмытом песчаном весной водородный потенциал был выше 27 во все годы исследований вследствие хороших условий фильтрации влаги. Ниже 27 rH_2 опускался на короткое время только в наиболее сырые периоды: июль, ноябрь 2012 г., сентябрь 2013 г.

Варьирование полевой влажности в пахотном слое зависит от количества, длительности и интенсивности осадков. В весенний период, а также в сырые декады влажность всех почв выше наименьшей влагоемкости (НВ). В сухие периоды значения влажности приближаются к влажности разрыва капиллярной связи (ВРК), а в песчаном буроземе они опускаются ниже ВРК (рис. 2). Коэффициенты корреляции E_h и полевой влажности подтверждают тесную связь этих показателей во все изученные годы и практически во всех почвах катены (табл. 1).

Одним из агротехнических элементов обработки почв на ключевом участке является ежегодное запахивание стерни и корневых остатков. В условиях увеличения влажности почвы (выше наименьшей влагоемкости) происходит снижение её аэрации. Кислород, содержащийся в почвенном воздухе и почвенном растворе, потребляется на разложение запаханных растительных остатков. Поэтому E_h снижается. Это явление типично для всех почв и описано многими учеными [2].

Погодные условия года оказывают сильное влияние на динамику окислительно-восстановительных условий в почвах. Наибольшее варьирование E_h во всех почвах катены отмечается в сырой 2012 и средний по осадкам 2013 гг. В сухом 2014 г. с апреля по ноябрь в буроземах наблюдались окислительные условия и E_h колебался незначительно около 500 мВ. В намытой почве (разрез 428) зафиксирован апрельский минимум (292 – 311 мВ) на фоне повышенных увлажнения и температур воздуха. Но уже в мае значения E_h стали выше 400 мВ и оставались такими вплоть до конца ноября (рис. 3).

Динамика содержания подвижного железа несет информацию о границах варьирования в различных почвах абсолютных значений, об изменении количества железа в сернокислой вытяжке по сезонам года и в годы с различной увлажненностью, об отношении окисных и закисных соединений.

Содержание подвижного кислоторастворимого окисного железа в почвах повышенный и склонов всегда значительно превышает количество закисного. Это видно как из абсолютных значений, так и по отношению $\text{Fe}_2\text{O}_3 / \text{FeO}$ (рис. 1-3). Отношение окисного железа к закисному сужается в сырой 2012 г. и значительно расширяется в сухой 2014.

В пахотном горизонте намытой почвы суммарное содержание подвижного железа больше по сравнению с почвами повышенный и склонов. Это следствие привноса его с эрозионными потоками, в частности с твердым стоком тонкодисперсных частиц. Отношение $\text{Fe}_2\text{O}_3 / \text{FeO}$ достигало наибольшей контрастности в вегетационный период сухого 2014 г. В апреле зафиксировано превышение закисного железа над окисным ($\text{Fe}_2\text{O}_3 / \text{FeO}$ 0,8 - 0,9), а в летние и осенние месяцы было самое широкое отношение за весь период наблюдений в данной почве (86 – 148).

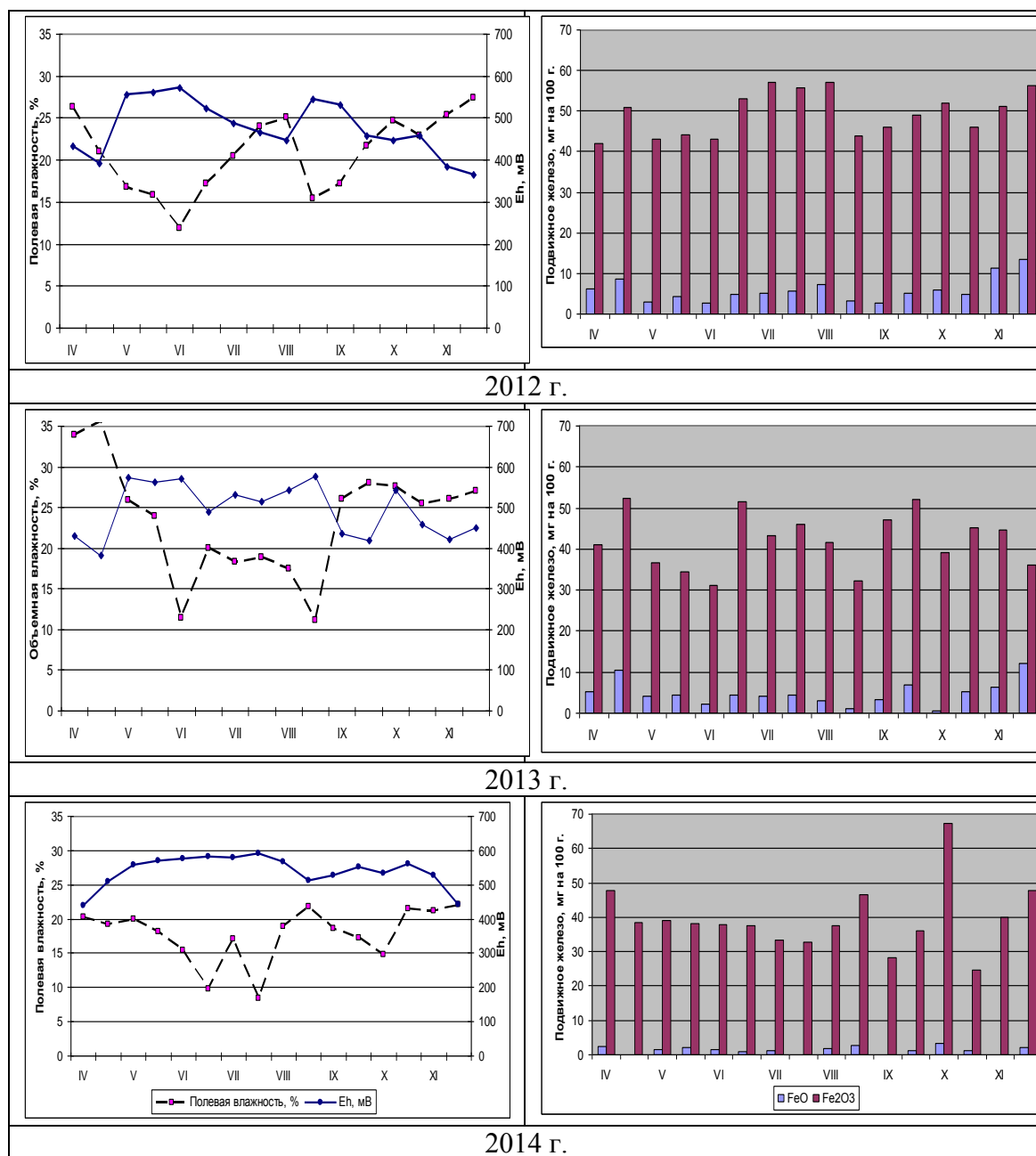


Рис. 1. Динамика окислительно-восстановительного потенциала, полевой влажности и подвижного железа (вытяжка 0,1 н H_2SO_4) в пахотном горизонте бурозема супесчаного (разрез 426)

Fig. 1. Dynamics of redox potential, field moisture and content of free iron (extract 0.1N H_2SO_4) in the arable horizon of a sandy-loam brown soil (pit 426)

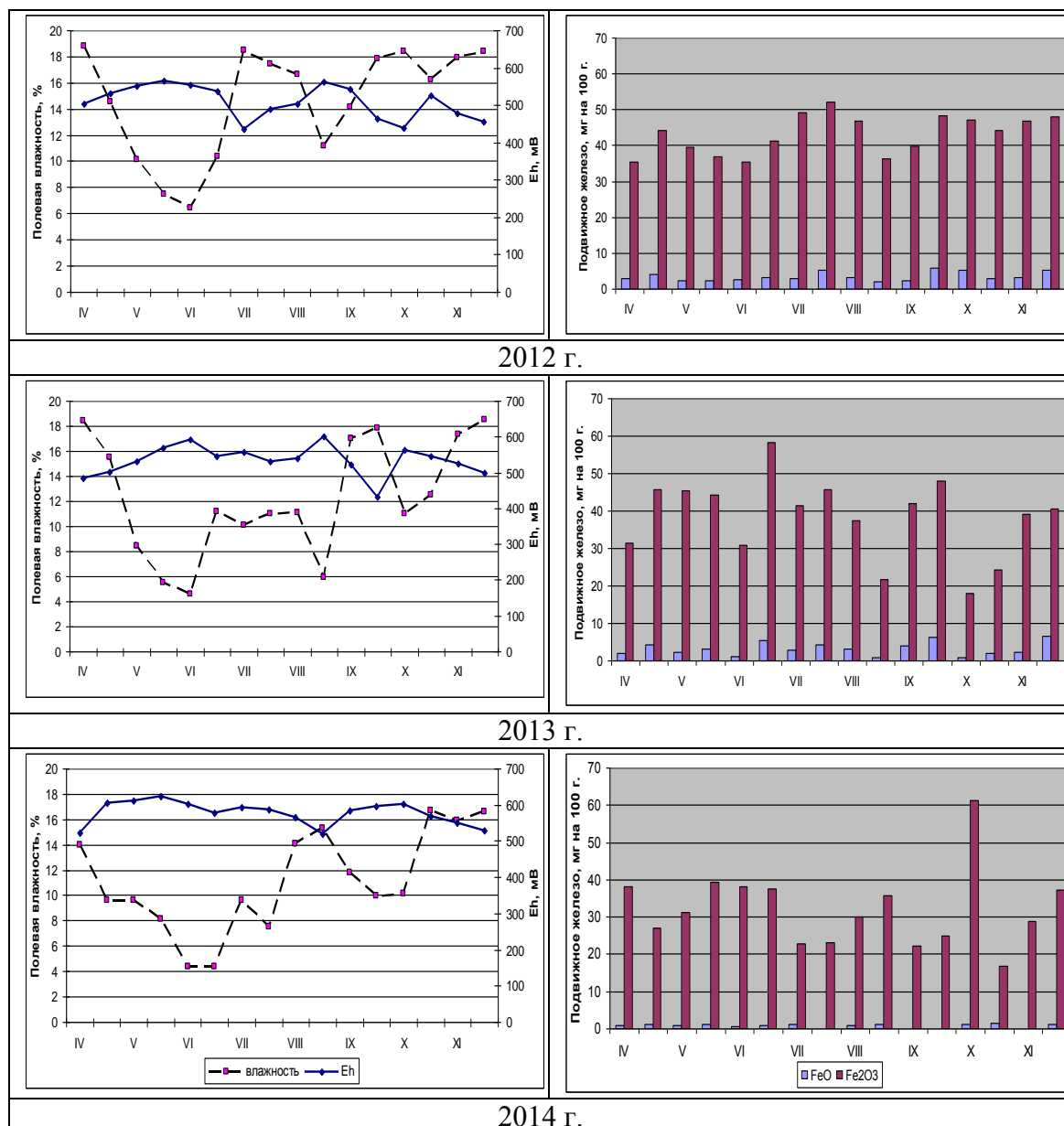


Рис. 2. Динамика окислительно-восстановительного потенциала, полевой влажности и подвижного железа (вытяжка 0,1 н H₂SO₄) в пахотном горизонте бурозема сильноэродированного песчаного (разрез 427)

Fig. 2. Dynamics of redox potential, field moisture and content of free iron (extract 0.1N H₂SO₄) in the arable horizon of a strongly eroded sandy brown soil (pit 427)

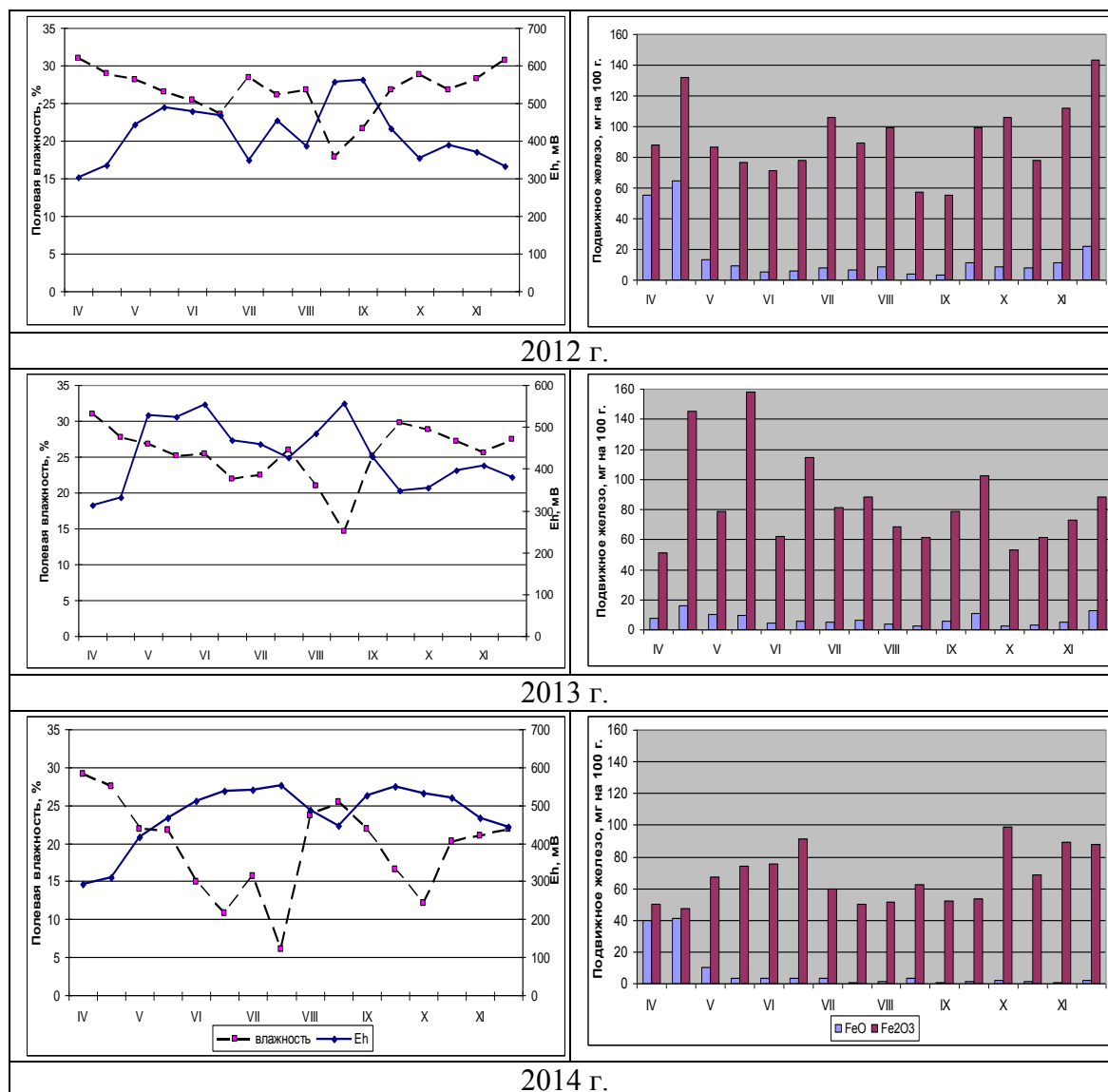


Рис. 3. Динамика окислительно-восстановительного потенциала, полевой влажности и подвижного железа (вытяжка 0,1 н H₂SO₄) в пахотном горизонте намывтой почвы (разрез 428)

Fig. 3. Dynamics of redox potential, field moisture and content of free iron (extract 0.1N H₂SO₄) in the arable horizon of a washed soil (diluvium) (pit 428)

Таблица 1. Корреляция Eh, влажности (W) и содержания подвижного железа в почвах катены в годы с разным увлажнением
 Table 1. Correlation of Eh, field moisture (W) and content of free iron in soil catena in years with different moistening

Почва	Пары корреляционных признаков								
	Eh - W	Eh - FeO	Eh – Fe ₂ O ₃	Eh – (FeO+Fe ₂ O ₃)	Eh – (Fe ₂ O ₃ :FeO)	W - FeO	W – Fe ₂ O ₃	W – (FeO+Fe ₂ O ₃)	W – (Fe ₂ O ₃ :FeO)
2012 г.									
Л ^б _y	-0,82	-0,83	-0,54	-0,71	0,85	0,74	0,53	0,69	-0,82
Л ^{б↓↓↓} _п	-0,78	-0,71	-0,71	-0,72	0,60	0,61	0,70	0,69	-0,51
Л ^б _{≈y}	-0,82	-0,65	-0,76	-0,79	0,67	0,59	0,76	0,80	-0,72
2013 г.									
Л ^б _y	-0,79	-0,68	-0,71	-0,80	0,40	0,58	0,52	0,62	-0,12
Л ^{б↓↓↓} _п	-0,82	-0,65	-0,42	-0,47	0,70	0,53	0,20	0,26	-0,63
Л ^б _{≈y}	-0,71	-0,35	0,00	-0,03	0,39	0,46	0,05	0,10	-0,65
2014 г.									
Л ^б _y	-0,59	-0,28	-0,45	-0,44	0,22	0,22	0,04	0,06	-0,40
Л ^{б↓↓↓} _п	-0,71	-0,10	0,02	0,01	0,14	0,16	-0,19	-0,17	-0,42
Л ^б _{≈y}	-0,80	-0,84	0,38	-0,42	0,38	0,57	-0,40	0,11	-0,16

Примечание. Жирным шрифтом выделены коэффициенты сильной корреляции

Максимальное количество подвижного железа (FeO, Fe₂O₃, суммарное) в пахотном горизонте наблюдалось в сырой год, а минимальное - в сухой. Это справедливо для всех почв катены (табл. 2).

Однако при корреляционном анализе варьирование количества подвижного железа, переходящего в вытяжку 0,1 н H₂SO₄, обнаруживает тесную связь с влажностью только в сырой 2012 г. (табл. 1). В 2013 г. эта связь ослабляется и выражена только между влажностью и закисным железом. В сухой 2014 г. связь отсутствовала.

Небольшое, но постоянное присутствие подвижного Fe²⁺ во всех почвах объясняется протекающими процессами разложения запаханых пожнивно-корневых остатков. В результате разложения потребляется кислород, возникает микроочаговость почвенной массы. Закисное железо сильнее всего варьирует по декадам и месяцам изученного периода (табл. 2).

Таблица 2. Среднее содержание подвижного (вытяжка 0,1 н H₂SO₄) железа (мг на 100 г) в пахотном горизонте (0-20 см) за период апрель-ноябрь

Table 2. Average content of free (extract 0.1N H₂SO₄) iron (mg on 100 g) in the arable horizon (0-20 sm) for the period April - November

Почва	FeO		Fe ₂ O ₃		FeO + Fe ₂ O ₃	
	X ± m	V	X ± m	V	X ± m	V
2012 г.						
Л ^б _у	5,9 + 0,7	51,3	49,4 + 6,2	11,0	55,3 + 6,9	13,6
Л ^б _п	3,5 + 0,4	37,1	43,2 + 5,4	12,7	46,7 + 5,8	13,5
Л ^б _у	12,9 + 1,6	89,9	92,5 + 11,6	26,1	105,4 + 13,1	25,9
2013 г.						
Л ^б _у	4,9 + 0,6	62,9	42,2 + 5,3	16,2	47,3 + 5,9	17,7
Л ^б _п	3,2 + 0,4	55,9	38,4 + 4,8	27,7	41,6 + 5,2	28,9
Л ^б _у	7,0 + 0,9	56,1	85,4 + 10,8	36,4	92,4 + 11,5	35,9
2014 г.						
Л ^б _у	1,4 + 0,2	50,5	39,6 + 5,0	24,6	41,0 + 5,1	25,6
Л ^б _п	0,8 + 0,1	9,8	32,2 + 4,0	31,6	33,0 + 4,1	31,3
Л ^б _у	8,4 + 1,0	189,8	66,4 + 8,3	27,7	74,8 + 9,4	22,0

Примечание. X ± m – среднее арифметическое и ошибка среднего; V – коэффициент вариации

В пределах почвенных ареалов обнаружен значительный разброс значений подвижного железа, но он не превышал коэффициентов вариации между разными ареалами почв в катене.

В научной литературе указывается, что «отсутствие корреляции между значениями ОВП и количеством Fe²⁺ объясняется двумя причинами: 1) с конкретной величиной ОВП связана не концентрация закисного железа, а отношение [Fe³⁺] : [Fe²⁺]; 2) нельзя сопоставлять значения ОВП с количеством железа, переходящего в кислотную вытяжку» [2, с. 109]. Мы рассчитали отношение Fe₂O₃:FeO и предприняли попытку выяснения связи между подвижным железом и ОВП (табл. 1). В сырой 2012 г. связь подвижного железа и Eh ярко выражена. В 2013, и особенно в 2014 г., нет четкой прямолинейной

зависимости. Тесная корреляция спорадически возникает в отдельных почвенных ареалах. Причем с закисным железом Eh связано теснее.

Таким образом, трехлетнее исследование динамики подвижного железа в пахотном горизонте на ключевом участке не позволяет сделать однозначные выводы о причинах варьирования. Необходим более углубленный подход к решению этого вопроса (применение других методов выделения подвижных соединений, использование статических показателей нелинейной зависимости, изучение аморфных соединений железа, динамики микробиологических процессов и легкоразлагаемого органического вещества).

ВЫВОДЫ

1. В изученных почвах в период вегетации сельскохозяйственных культур преобладает окислительная обстановка в пахотном горизонте, однако оптимальные значения для пахотных почв (450 – 600 мВ) наблюдались в сухой год.

2. Сезонное варьирование значений ОВП связано в основном с динамикой влажности.

3. Периоды падения Eh ниже 400 мВ (условной границы окислительных и восстановительных процессов) кратковременны (несколько дней – неделя) в буроземе супесчаном на автономной позиции рельефа и буроземе сильноосмытом песчаном на склоне. Это не влечет за собой отрицательное влияние на урожай сельскохозяйственных культур. В намытой почве весенние значения Eh около 300 мВ наблюдаются в течение всего апреля, что может негативно сказаться на всхожести культур как вследствие затрудненной аэрации, так и по причине накопления токсичных соединений и потерь азота на денитрификацию.

4. Высокая влажность почв при слабо- и среднекислой среде активизирует процессы внутрипочвенного выветривания, благодаря чему количество подвижного железа в сырой год выше по сравнению с сухим.

5. Содержание подвижного железа – переменный показатель в пространстве и во времени и зависит от многих факторов. Но в сырой год варьирование железа определяется преимущественно влажностью пахотного горизонта.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Почвоведение. Почва и почвообразование / под. ред. В. А. Ковды, Б. Г. Розанова: в 2 ч. – Москва: Высшая школа, 1988. – Ч. 1. – 400 с.

2. Кауричев, И. С. Окислительно-восстановительные процессы и их роль в генезисе и плодородии почв / И. С. Кауричев, Д. С. Орлов. – Москва: Колос, 1982. – 247 с.

3. Кирюшин, В. И. Экологические основы земледелия / В. И. Кирюшин. – Москва: Колос, 1996. – 367 с.

4. Reddy, K. R. Effect of frequent changes in aerobic and anaerobic conditions on redox potential and nitrogen loss in a flooded soil / K.R. Reddy, W.H. Patrick // Soil Boil. and Biochem., 1976, v.8, № 6.- С. 12 – 28.

5. Иванов, Г. И. Почвообразование на юге Дальнего Востока / Г. И. Иванов. – Москва, 1976. – 200 с.

6. Канивец, В. И. Об оглеении буроземных оглеенных почв Притессенской низменности и предгорий Закарпатья / В. И. Канивец // Тр. Дальневосточ. биол.-почв. ин-та, т. 10 (113). – Владивосток, 1972. – С. 25 – 36.

7. Szendrey, I. A redoxpotential időszakos változása barna erdőtalajban / I. Szendrey, E. Csanady // *Erődsz. és fapiari eguet. tud közl.* – 1973 (1974), № 3. – С. 66 – 78.

8. Докучаев, Н. С. Осушаемые торфяные почвы полейдеров и их улучшение при сельскохозяйственном использовании (на примере почв Калининградской области РСФСР): автореф. дис. ... д-р с.-х. наук: 06.01.03. / Докучаев Николай Степанович. – Ленинград-Пушкин: ЛСХИ, 1985. – 32 с.

9. Анциферова, О. А. Особенности режима влажности эродированных буроземов агроландшафтов холмистых равнин в сухой год / О. А. Анциферова // *Известия КГТУ.* – 2015. – № 37. – С. 115 – 124.

10. Практикум по почвоведению / под ред. И. С. Кауричева. – Москва: Колос, 1973. – 280 с.

REFERENCES

1. *Pochvovedenie. Pochva i pochvoobrazovanie* [Soil science. Soil and soil formation]. Moscow, Vysshaja shkola, 1988, vol. 1, 400 p.

2. Kaurichev I. S., Orlov D. S. *Okislitel'no-vosstanovitel'nye processy i ih rol' v genezise i plodorodii pochv* [Oxidation and reduction processes and the role in soil genesis and productivity]. Moscow, Kolos, 1982, 247 p.

3. Kirjushin V. I. *Jekologicheskie osnovy zemledelija* [Ecological basis of agriculture]. Moscow, Kolos, 1996, 367 p.

4. Reddy K. R., Patrick W. H. Effect of frequent changes in aerobic and anaerobic conditions on redox potential and nitrogen loss in a flooded soil. *Soil Boil. and Biochem.*, 1976, vol. 8, no. 6, pp. 12-28.

5. Ivanov G. I. *Pochvoobrazovanie na juge Dal'nego Vostoka* [Soil formation in the south of the Far East]. Moscow, 1976, 200 p.

6. Kanivec V. I. *Ob ogleenii burozemnyh ogleennyh pochv Pritessenskoj nizmennosti i predgorij Zakarpat'ja* [On gleying of brown gleyed soils of Pritessenskay plain and Transcarpathia foot hills]. Tr. Dal'nevostoch. Biol.-pochv. In-ta, vol. 10 (113), Vladivostok, 1972, pp. 25-36.

7. Szendrey I., Csanady E. A redoxpotential időszakos változása barna erdőtalajban. *Erődsz. és fapiari eguet. tud közl.* 1973 (1974), no. 3, pp. 66-78.

8. Dokuchaev N. S. *Osushaemye torfjanye pochvy pol'derov i ih uluchshenie pri sel'skohozjajstvennom ispol'zovanii (na primere pochv Kaliningradskoj oblasti RSFSR)*. Avtoreferat diss. doktju s.-h. nauk [Drained boggy soils of polders and their amelioration in agricultural exploitation (the case of the soils of the Kaliningrad region of the Russian SFSR. Abstract of dis. Dr. sci (Agriculture).] Leningrad-Pushkin, LSHI, 1985, 32 p.

9. Anciferova O. A. Osobennosti rezhima vlazhnosti jerodirovannyh burozemov agrolandshaftov holmistyh ravnin v suhoj god [Features of moisrure regime of eroded brown soils of hilly plain agrolandscapes in a dry year]. *Izvestija KGTU*, 2015, no. 37. pp. 115-124.

10. *Praktikum po pochvovedeniju* [Practical soil science]. Moscow, Kolos, 1973, 280 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

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

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

УДК 631.861

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕХНОЛОГИИ УСКОРЕННОГО
КОМПСТИРОВАНИЯ ОТХОДОВ ЖИВОТНОВОДСТВА
В БИОФЕРМЕНТАЦИОННЫХ УСТАНОВКАХ ЗАКРЫТОГО ТИПА

А. Ю. Брюханов, Р. А. Уваров

MATHEMATICAL MODEL FOR ACCELERATED COMPOSTING TECHNOLOGY
OF FARM ANIMAL WASTE IN CLOSED-TYPE INSTALLATIONS

A. Yu. Bryukhanov, R. A. Uvarov

В статье обозначена одна из приоритетных проблем интенсификации сельского хозяйства – отсутствие налаженных взаимосвязей между животноводческими и растениеводческими предприятиями агропромышленного комплекса (АПК) и, как следствие, рост количества переработанных отходов животноводства – навоза и помета. Кратко приведены данные по срокам их переработки и потерям питательных веществ в зависимости от применения технологий ускоренного компостирования в установках закрытого типа. Представлены схемы установок, их описание, а также технологии пассивного буртового компостирования. Обозначена цель – разработка математической модели процесса биоферментации отходов животноводства в установках закрытого типа, позволяющей представлять оптимальные параметры и режимы работы биоферментационных установок в зависимости от вида и характеристик исходного сырья, а также типа применяемой установки. Приведен перечень факторов, оказывающих влияние на процесс компостирования, проведена их группировка по совокупным признакам. В статье представлена информационная модель процесса биоферментации органических отходов в установках закрытого типа, перечислены управляемые и контролируемые параметры, параметр внутренних связей, а также критерий оптимизации. Представлена схема взаимодействия частных одномерных моделей процесса переработки органических отходов в биоферментационных установках закрытого типа, указаны факторы, действующие на каждую конкретную подмодель. Предложен один из путей оптимизации времени компостирования. Приведен ряд математических зависимостей, учтенных при построении данной математической модели. Обозначена сфера возможного применения разработанной модели. Указаны дальнейшие шаги по работе в данном направлении: обозначены виды органических отходов животноводства, на которых ожидается апробация модели.

технология, биоферментация, компостирование, математическая модель, отходы, животноводство

The paper presents one of the top-priority issues of agriculture intensification - lack of established relationships between crop and livestock enterprises of the agro-industrial complex (AIC) and, as a result, increase of unprocessed animal waste (manure

and litter). The article gives information about processing time and nutrient losses of two accelerate composting technologies in closed settings; two types of bio-fermentation installations and passive composting technology are described. We also considered the factors which have an effect on the composting process. The paper describes the information model of bio-fermentation of organic waste in the closed-type installations, enumerates measured and controlled parameters, internal links parameter as well as optimization criterion. An interaction pattern of particular one-dimensional models of organic waste processing in the closed-type bio-fermentation installations is presented with factors influencing each particular sub-model. One way is proposed to optimize the composting time. A number of mathematical relations are shown which were considered when developing the above mentioned model. The sphere of possible application of the designed model is defined together with the types of organic waste which are supposed to be used to test the model.

technology, bio-fermentation, composting, mathematical model, waste, animal breeding

ВВЕДЕНИЕ

В условиях непрекращающейся интенсификации сельского хозяйства все больше внимания следует уделять вопросу переработки отходов, производимых данной отраслью агропромышленного комплекса (АПК). Намечившаяся в последнее время тенденция к строительству крупных животноводческих комплексов без их увязки с предприятиями растениеводческого кластера вынуждает по-новому взглянуть на применяемые в РФ технологии утилизации навоза и помета [1].

Наряду с пассивным буртовым компостированием все большее число животноводческих предприятий начинают рассматривать иные, более интенсивные технологии переработки отходов, к числу которых относится и ускоренное компостирование в биоферментационных установках закрытого типа.

Данная технология обладает рядом существенных преимуществ перед традиционным компостированием:

- более сжатые сроки переработки (3...7 сут вместо 3...6 мес.) [2];
- меньшие потери питательных веществ [3-5]:
 - азот (6...16 % вместо 25 %);
 - фосфор (0,5...0,7 % вместо 7 %);
- отсутствие зависимости от погодных условий;
- возможность круглогодичного применения;
- сокращение производственных площадей, необходимых для компостирования.

Применяемые для компостирования биоферментационные установки принято подразделять на два типа: камерные и барабанные.

Основоположником использования технологии компостирования в биоферментаторах камерного типа (рис. 1) является авторский коллектив ГНУ «ВНИИМЗ» под руководством Н. Г. Ковалева [6].

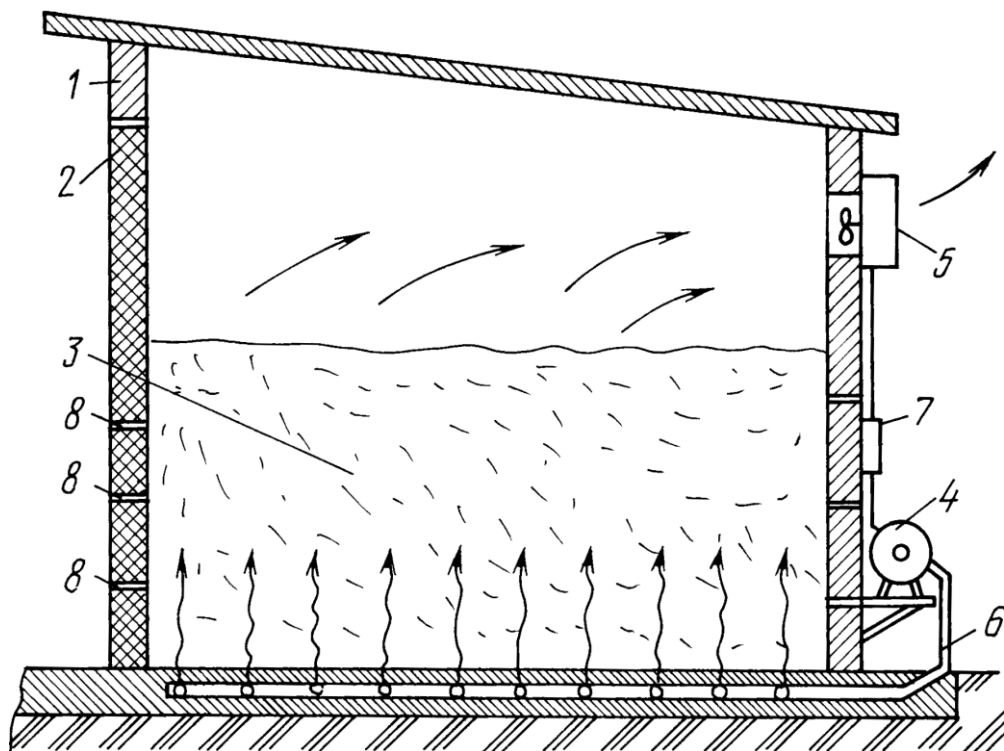


Рис. 1. Схема биоферментационной установки камерного типа:
1 – корпус; 2 – ворота; 3 – ферментируемая смесь; 4 – напорный вентилятор;
5 – вытяжной вентилятор; 6 – система напорных воздухопроводов; 7 – блок
управления; 8 – отверстия для замера температуры и содержания кислорода в смеси

Fig. 1. Diagram of a chamber-type bio-fermentation installation:
1 – body; 2 – door; 3 – fermentable mixture; 4 – forced-draught fan; 5 – air-exhauster;
6 – flow guidance system; 7 – control unit; 8 – hole for measuring the temperature and
the oxygen content in the mixture

Биоферментационная установка барабанного типа (рис. 2) была разработана и прошла успешную апробацию в Институте агропромышленных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) [7; 8].

Ускоренное компостирование отходов животноводства в биоферментационных установках закрытого типа представляет собой многостадийный, сложный процесс, связанный с многочисленными изменениями, протекающими внутри органического вещества под воздействием физических и биологических факторов, для изучения взаимодействия которых требуется декомпозиция отдельных процессов путем разработки общей модели, учитывающей взаимосвязи и взаимодействие данных процессов.

Научная новизна математической модели заключена в возможности моделирования процесса ускоренного компостирования различных видов органических отходов животноводства в биоферментационных установках как камерного, так и барабанного типов. Разрабатываемая модель должна позволять прогнозировать оптимальные параметры и режимы работы применяемой биоферментационной установки в зависимости от ее типа, а также вида и характеристик исходного сырья.

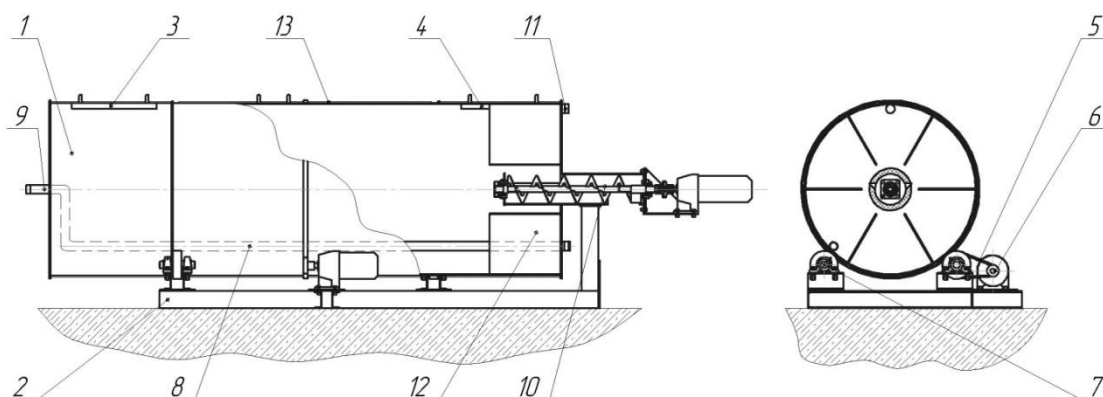


Рис. 2. Схема биоферментационной установки барабанного типа:

1 – корпус; 2 – рама; 3 – загрузочный люк; 4 – контрольный люк; 5 – приводной узел; 6 – мотор-редуктор; 7 – опорный узел; 8 – аэрационная труба; 9 – воздуховод подачи наружного воздуха; 10 – выгрузной шнековый транспортер; 11 – лопатки; 12 – вытяжной воздуховод; 13 – теплоизоляция

Fig. 2. Diagram of a drum-type bio-fermentation installation:

1 – body; 2 – frame; 3 – charging door; 4 – control door; 5 – gearing; 6 – gear-motor drive; 7 – drum mounting assembly; 8 – aeration tube; 9 – flue for external air supply; 10 – delivery conveyer screw; 11 – paddles; 12 – air-exhauster; 13 – heat proof

МЕТОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Предварительно проведенные исследования показали, что скорость и качество биоферментации зависят от ряда факторов:

- физико-химических характеристик смеси (влажности, соотношения углерода к азоту, рН, пористости, размера частиц компостируемой смеси) [9, 10];
- биохимии и микробиологии смеси (обсеменённости микроорганизмами, содержания микро- и макроэлементов и токсичных соединений, содержания лигнина в лигноцеллюлозных компонентах смеси [11]);
- физических параметров процесса биоферментации (количества подаваемого воздуха, числа оборотов биоферментационной установки, а также температурного режима процесса [12; 13]).

В результате применения многофакторного анализа при построении модели было установлено, что биохимические и микробиологические характеристики исходной смеси находятся в диапазонах, благоприятствующих успешному протеканию процесса биоферментации. Исходя из этого, основной задачей разрабатываемой модели стало прогнозирование оптимальных условий для жизнедеятельности термофильной микрофлоры посредством варьирования физико-химических параметров процесса биоконверсии с целью оптимизации его протекания.

По результатам проведенной работы была построена информационная модель процесса ускоренного компостирования органических отходов в биоферментационных установках закрытого типа (рис. 3).

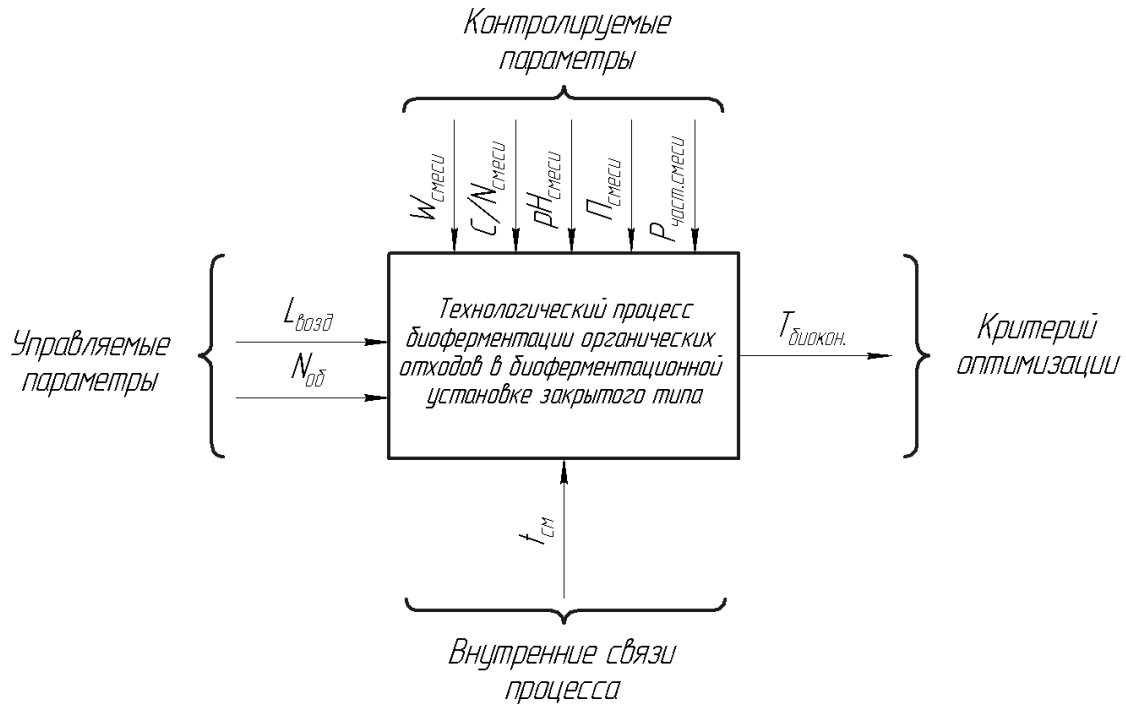


Рис. 3. Информационная модель процесса ускоренного компостирования органических отходов в установках закрытого типа
 Fig. 3. Information model for accelerated composting process of organic waste in closed-type installations

В качестве управляемых параметров были выбраны:

- количество подаваемого воздуха $L_{возд}$, $м^3$;
- число оборотов биоферментационной установки в сутки $N_{об}$, об/сут.

К контролируемым параметрам были отнесены:

- влажность $W_{см}$, %;
- соотношение углерода к азоту C/N ;
- водородный показатель pH ;
- пористость $П$, %;
- размер частиц компостируемой смеси $d_{ч}$, мм.

В качестве внутренних связей был выбран температурный режим процесса $t_{см}$, °C, а критерием оптимизации данной модели – время биоконверсии $T_{биокон}$, ч.

Поскольку эта модель являет собой многомерную систему, то для идентификации было принято решение представить ее в качестве многоуровневой модели, состоящей из частных одномерных подмоделей процессов биоферментации с обозначением факторов, действующих на каждую из них (рис. 4).

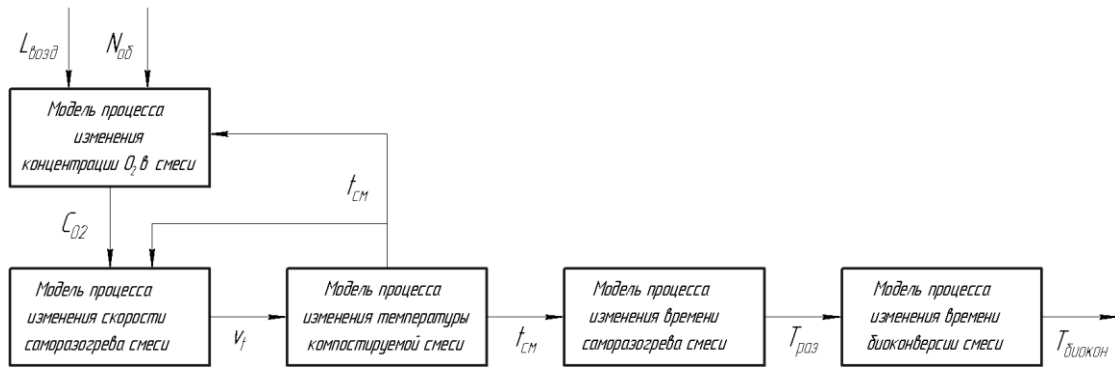


Рис. 4. Частные одномерные модели процесса переработки органических отходов в биоферментационных установках закрытого типа
 Fig. 4. Partial one-dimensional models for composting process of organic waste in closed-type installations

Суммарное время биоконверсии находится по формуле (1):

$$T_{\text{биокон}} = T_{\text{раз}} + T_{\text{выд}}, \quad (1)$$

где $T_{\text{биокон}}$ – общее время биоконверсии, ч; $T_{\text{раз}}$ – время саморазогрева смеси до рабочей температуры, ч; $T_{\text{выд}}$ – время выдерживания смеси при рабочей температуре, ч.

Так как продолжительность выдерживания смеси при рабочей температуре является регламентированным параметром [14], сокращение суммарного времени биоконверсии возможно двумя способами:

- уменьшением времени саморазогрева смеси до рабочей температуры;
- повышением рабочей температуры.

Ввиду того, что превышение рабочей температуры негативно сказывается на термофильной микрофлоре, наиболее перспективным видится сокращение времени саморазогрева смеси до рабочей температуры.

Используя результаты ранее проведенных научно-исследовательских работ, было установлено, что время саморазогрева смеси до рабочей температуры находится по формуле (2):

$$T_{\text{раз}} = \frac{M_{\text{см}} \cdot C_{\text{см}} \cdot \Delta t_{\text{см}}}{M_{\text{см}} \cdot q_a - S_{\text{БУ}} \cdot \alpha_T \cdot \Delta t_T}, \quad (2)$$

где $M_{\text{см}}$ – масса смеси в барабане, кг; $C_{\text{см}}$ – теплоемкость смеси, кДж/кг·°С; $\Delta t_{\text{см}}$ – разница между рабочей температурой компостирования и начальной температурой после загрузки свежей порции смеси, °С; q_a – удельное активное тепловыделение, кДж/кг; $S_{\text{БУ}}$ – площадь теплообмена биоферментационной установки с окружающей средой, м²; α_T – коэффициент теплообмена теплоизоляции, кДж/м²·°С·ч; Δt_T – разница температур внешней и внутренней поверхностей биоферментационной установки, °С [15].

Удельное активное тепловыделение находится по формуле (3):

$$q_a = q_{\text{см}} - C_B \cdot \Delta t_B \cdot k_B - C_{\text{П}} \cdot k_W, \quad (3)$$

где $q_{\text{см}}$ – удельное тепловыделение компостируемой смеси, кДж/кг; C_B – теплоемкость воздуха, кДж/кг·°С; Δt_B – разность температур входящего и выходящего воздуха аэрации, °С; k_B – удельный расход воздуха, кг возд./кг;

C_{II} – теплота парообразования, кДж/кг; K_W – удельное испарение влаги, кг исп. воды/кг [16].

Длительность процесса саморазогрева также может быть определена как отношение разницы начальной и рабочей температур смеси к скорости её саморазогрева (4):

$$T_{раз} = \frac{\Delta t_{см}}{v_{раз}}, \quad (4)$$

где $v_{раз}$ – скорость саморазогрева смеси до рабочей температуры, °С/ч [15], определяемая по формуле (5):

$$v_{раз} = \frac{k_{см} \cdot g \cdot \rho_{см}}{\mu \cdot t_{см\ нач}} \Delta t_{см}, \quad (5)$$

где $k_{см}$ – воздухопроницаемость компостируемой смеси, м³/м²·ч; μ – динамическая вязкость воздуха, Па·с; g – ускорение свободного падения, м/с²; $\rho_{см}$ – плотность компостируемой смеси, кг/м³; $t_{см\ нач}$ – начальная температура после загрузки свежей порции смеси, °С [16].

Воздухопроницаемость компостируемой смеси определяется по формуле (6):

$$k_{см} = \frac{\Pi \cdot d_q^2}{K \cdot (1 - \Pi)} \cdot \frac{1}{150 \cdot (1 - \Pi) + 1,75 \cdot R_e}, \quad (6)$$

где Π – пористость компостируемой смеси, %; D_q – средневзвешенный диаметр частиц компостируемой смеси, мм; R_e – число Рейнольдса [16].

Ранее проведенные исследования позволяют выявить зависимость скорости саморазогрева смеси от концентрации в ней кислорода и температуры её ферментации по формуле (7):

$$v_{раз} = 1,41 + 0,2 \cdot C_{O_2} - 0,58 \cdot t_{см} - 0,72 \cdot C_{O_2}^2 + 0,63 \cdot t_{см}^2 - 0,45 \cdot C_{O_2} \cdot t_{см}, \quad (7)$$

где C_{O_2} – концентрация кислорода в смеси, %; $t_{см}$ – температура смеси, °С [17].

Концентрация кислорода в смеси зависит от количества подаваемого воздуха и температуры смеси и определяется по формуле (8):

$$C_{O_2} = 6,3 + 2,43 \cdot L_{воз} + 0,2 \cdot t_{см} + 0,6 \cdot L_{воз}^2 + 0,7 \cdot t_{см}^2 - 0,05 \cdot L_{воз} \cdot t_{см}, \quad (8)$$

где $L_{воз}$ – количество подаваемого воздуха, м³/мин [17].

С учётом вышеизложенного длительность процесса биоконверсии будет определяться по формуле (9):

$$T_{биокон} = \frac{\Delta t_{см}}{1,41 + 0,2 \cdot (6,3 + 2,43 \cdot L_{воз} + 0,2 \cdot t_{см} + 0,6 \cdot L_{воз}^2 + 0,7 \cdot t_{см}^2 - 0,05 \cdot L_{воз} \cdot t_{см}) - 0,58 \cdot t_{см}} - \frac{\Delta t_{см}}{0,72 \cdot (6,3 + 2,43 \cdot L_{воз} + 0,2 \cdot t_{см} + 0,6 \cdot L_{воз}^2 + 0,7 \cdot t_{см}^2 - 0,05 \cdot L_{воз} \cdot t_{см})^2 + 0,63 \cdot t_{см}^2} - \frac{\Delta t_{см}}{0,45 \cdot (6,3 + 2,43 \cdot L_{воз} + 0,2 \cdot t_{см} + 0,6 \cdot L_{воз}^2 + 0,7 \cdot t_{см}^2 - 0,05 \cdot L_{воз} \cdot t_{см}) \cdot t_{см}}. \quad (9)$$

В 2016-2017 гг. в ИАЭП планируется апробация полученной математической модели на четырех различных видах органических отходов отрасли животноводства: подстилочном и бесподстилочном курином помете, твердой фракции навоза крупного рогатого скота и твердой фракции свиного

навоза. По результатам экспериментальных данных будет выполнено уточнение разработанной модели. Апробация будет проведена на имеющихся в распоряжении ИАЭП лабораторных моделях биоферментационных установок камерного и барабанного типов.

ВЫВОДЫ

Разрабатываемая математическая модель призвана демонстрировать процесс ускоренного компостирования различных видов органических отходов животноводства в биоферментационных установках как камерного, так и барабанного типов с целью прогнозирования оптимальных параметров и режимов работы применяемой биоферментационной установки в зависимости от ее типа, а также вида и характеристик исходного сырья.

При моделировании в качестве управляемых факторов были выбраны два физических параметра процесса биоферментации: количество подаваемого воздуха и число оборотов биоферментационной установки; контролируемых - физико-химические характеристики компостируемой смеси (влажность, соотношение углерода к азоту, рН, пористость, размер частиц смеси). Также был учтен критерий внутренних связей: температурный режим процесса ускоренного компостирования. Критерием оптимизации выступила продолжительность процесса биоконверсии.

Оптимизацию переработки органических отходов животноводства в биоферментационных установках закрытого типа предложено осуществить за счет сокращения времени саморазогрева смеси до рабочей температуры.

Разработанная математическая модель позволяет найти концентрацию кислорода в смеси в процессе компостирования, скорость саморазогрева смеси, рабочую температуру процесса ферментирования, продолжительность процесса саморазогрева и суммарное время биоферментации.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Рекомендации по обоснованию экологически безопасного размещения и функционирования животноводческих и птицеводческих предприятий / А. Ю. Брюханов [и др]. – Санкт-Петербург: ИАЭП, 2015. – 48 с.
2. Уваров, Р. А. Обзор технологий биоконверсии навоза КРС, наиболее адаптированных к условиям Северо-Запада России / Р. А. Уваров // Инновации в сельском хозяйстве. – 2015. – №2(12). – С. 273-276.
3. Васильев, Э. В. Результаты экспериментальных исследований процесса пассивного компостирования / Э. В. Васильев // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. – 2015. – №86. – С. 112-118.
4. Уваров, Р. А. Результаты исследований потерь питательных веществ при биоконверсии подстилочного птичьего помета в биоферментационной установке камерного типа / Р. А. Уваров // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. – 2015. – №86. – С. 139-147.

5. Уваров, Р. А. Определение потерь питательных веществ при переработке подстилочного птичьего помета в биоферментационной установке барабанного типа / Р. А. Уваров // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. – 2015. – №4(20). – С. 145-148
6. Ковалев, Н. Г. Органические удобрения в XXI веке (Биоконверсия органического сырья): монография / Н. Г. Ковалев, И. Н. Барановский. – Тверь: ЧуДо, 2006. – 304 с.
7. Пат. РФ № 2014122545/13, 03.06.2014. Биореактор для конверсии органических отходов непрерывного действия / А. Ю. Брюханов, Э. В. Васильев, Н. В. Максимов, Р. А. Уваров (РФ). - №146604. 2014. Бюл. №29.
8. Пат. РФ № 2015124250/13, 22.06.2015. Биореактор для конверсии органических отходов в компост / А. Ю. Брюханов, Н. В. Максимов, Р. А. Уваров (РФ). - № 155841. 2015. Бюл. №29.
9. Atchey, S. H. Variability of Temperature, pH and Moisture in an Aerobic Composting Process / S. H. Atchey, J. B. Clark // Applied and Environmental Microbiology. 1979. – №38 (6). – P.1040-1044.
10. Bahman, E. Composting Manure and Other Residues / E. Bahman // Waste Management. 1997. – Vol. 8. – P.180.
11. Yang, H. H. Factors influencing fungal degradation of lignin in a representative lignocellulosic, thermomechanical pulp / H. H. Yang, M. J. Effland, T. K. Kirk // Biotechnology and Bioengineering. 1980. – Vol. 22(1). – P.65-77.
12. Ковалев, Н. Г. Научно-теоретические основы аэробной твердофазной ферментации органического сырья / Н. Г. Ковалев, Г. Ю. Рабинович // Высокие технологии добычи, глубокой переработки и использования озерно-болотных отложений (13-15 марта 2002 г.): Междунар. науч.-практ. конф. - Томск. 2003. – С. 135-140.
13. The composting process. British Columbia, Ministry of Agriculture and Food. Factsheet №382.500-2, 1996. 70 p.
14. Малаков, Ю. Ф. Органические удобрения, эффективное применение в экологическом земледелии / Ю. Ф. Малаков; под ред. В. Г. Еникеева. – Санкт-Петербург: Изд-во СПбГАУ, 2000. – 205 с.
15. Афанасьев, А. В. Повышение эффективности производства удобрений путем оптимизации параметров двухстадийной биоферментации навоза и помета: дис. ... канд. техн. наук – Санкт-Петербург, 2000. – 174 с.
16. Szanto, G. NH₃ dynamics in composting – Assessment of the integration of composting in manure management chains: Ph.D. thesis in Engineering Science. – Wageningen, the Netherlands, 2009. – 140 p.
17. Соколов, А. В. Повышение эффективности технологической линии производства биокомпостов путём совершенствования узла ферментирования: дис. ... канд. техн. наук. – Кострома, 2009. – 156 с.

REFERENCES

1. Brjuhanov A. Ju. [i dr]. *Rekomendacii po obosnovaniju jekologicheski bezopasnogo razmeshhenija i funkcionirovanija zhivotnovodcheskih i pticevodcheskih*

predpriyatij [Recommendations on providing rationale for environmentally safe location and operation of livestock and poultry farms]. Saint-Petersburg, IAJeP, 2015, 48 p.

2. Uvarov R. A. Obzor tehnologij biokonversii navoza KRS, naibolee adaptirovannyh k uslovijam Severo-Zapada Rossii [Review of cattle manure bioconversion technologies most adapted to the conditions of North-West Russia]. *Innovacii v sel'skom hozjajstve*, 2015, no. 2(12), pp. 273-276.

3. Vasil'ev Je. V. Rezul'taty jeksperimental'nyh issledovanij processa passivnogo kompostirovanija [Experimental results of passive composting]. *Tehnologii i tehnicheckie sredstva mehanizirovannogo proizvodstva produkcii rastenievodstva i zhivotnovodstva*, 2015, no. 86, pp. 112-118.

4. Uvarov R. A. Rezul'taty issledovanij poter' pitatel'nyh veshhestv pri biokonversii podstilochnogo ptich'ego pometa v biofermentacionnoj ustanovke kamernogo tipa [Research results of nutrient losses during bedding poultry manure bioconversion in a closed-type installation]. *Tehnologii i tehnicheckie sredstva mehanizirovannogo proizvodstva produkcii rastenievodstva i zhivotnovodstva*, 2015, no. 86, pp. 139-147.

5. Uvarov R. A. Opređenje poter' pitatel'nyh veshhestv pri pererabotke podstilochnogo ptich'ego pometa v biofermentacionnoj ustanovke barabannogo tipa [Nutrient losses during bioconversion of bedding poultry manure in a drum-type installation]. *Vestnik vserossijskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta mehanizacii zhivotnovodstva*, 2015, no. 4(20), pp. 145-148.

6. Kovalev N. G., Baranovskij I. N. *Organicheskie udobrenija v XXI veke (Biokonversija organicheskogo syr'ja)* [Organic fertilizers in the XXI century (Bioconversion of organic material)]. Tver', Izd-vo ChuDo, 2006, 304 p.

7. Patent RF № 2014122545/13, 03.06.2014.

Brjuhanov A. Ju., Vasil'ev Je. V., Maksimov N. V., Uvarov R. A. Bioreaktor dlja konversii organicheskikh othodov nepreryvnogo dejstvija [Continuous-action bioreactor for conversion of organic waste]. Patent RF № 146604. 2014. Bjul. № 29.

8. Patent RF № 2015124250/13, 22.06.2015 .

Brjuhanov A. Ju., Maksimov N. V., Uvarov R. A. Bioreaktor dlja konversii organicheskikh othodov v kompost [Bioreactor for conversion of organic waste into compost]. Patent RF № 155841. 2015. Bjul. № 29.

9. Atchey S. H., Clark J. B. Variability of Temperature, pH and Moisture in an Aerobic Composting Process. *Applied and Environmental Microbiology*. 1979, no. 38 (6), pp. 1040-1044.

10. Bahman E. Composting Manure and Other Residues. *Waste Management*. 1997, vol. 8, 180 p.

11. Yang H. H., Effland M. J., Kirk T. K. Factors influencing fungal degradation of lignin in a representative lignocellulosic, thermomechanical pulp. *Biotechnology and Bioengineering*. 1980, vol. 22(1), pp. 65-77.

12. Kovalev N. G., Rabinovich G. Ju. Nauchno-teoreticheskie osnovy ajerobnoj tverdogaznoj fermentacii organicheskogo syr'ja [Scientific and theoretical basis for solid state fermentation of organic material]. *Mezhdunarodnaja nauchno-prakticheskaja konferencija "Vysokie tehnologii dobychi, glubokoj pererabotki i ispol'zovanija ozernobolotnyh otlozhenij" (13-15 marta 2002 g.)* [International research conference "High technology of production, deep processing and using of lake and marsh sediment" (13-15 March 2002)]. Tomsk, 2003, pp. 135-140.

13. The composting process. British Columbia, Ministry of Agriculture and Food. Factsheet № 382.500-2, 1996. 70 p.

14. Malakov Ju. F. *Organicheskie udobrenija, jeffektivnoe primenenie v jekologicheskom zemledelii* [Organic fertilizers, effective application in organic farming]. Saint-Petersburg, izd-vo SPBGU, 2000, 205 p.

15. Afanas'ev A. V. *Povyshenie jeffektivnosti proizvodstva udobrenij putem optimizacii parametrov dvuhstadijnoj biofermentacii navoza i pometa. Disc. kand. tehn. nauk* [Efficiency improvement of fertilizers production by optimizing the parameters of the two-stage fermentation of manure and litter. Diss. of Cand. Sci. in Engineering]. Saint-Petersburg, 2000, 174 p.

16. Szanto G. NH₃ dynamics in composting – Assessment of the integration of composting in manure management chains: Ph.D. thesis in Engineering Science. Wageningen, the Netherlands, 2009, 140 p.

17. Sokolov A. V. *Povyshenie jeffektivnosti tehnologicheskoj linii proizvodstva biokompostov putjom sovershenstvovaniya uzla fermentirovaniya: Disc. kand. tehn. nauk* [Efficiency improvement of the production line in manufacturing biocompost by improving the fermentation unit. Diss. of Cand. Sci. in Engineering]. Kostroma, 2009, 156 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Брюханов Александр Юрьевич – Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП), Санкт-Петербург; кандидат технических наук, доцент, заведующий отделом инженерной экологии сельскохозяйственного производства; E-mail: sznii@yandex.ru

Bryukhanov Aleksandr Yurievich – Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IEEP), St. Petersburg; Cand. Sci. in Engineering, Associate Professor, Head of the Department of Ecology Engineering in Agricultural Production; E-mail: sznii@yandex.ru

Уваров Роман Алексеевич – Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП), Санкт-Петербург; аспирант, мл. научный сотрудник отдела инженерной экологии сельскохозяйственного производства; E-mail: rauvarov@yandex.ru

Uvarov Roman Alekseevich – Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IEEP), St. Petersburg, post-graduate student, Junior Researcher of the Department of Ecology Engineering in Agricultural Production; E-mail: rauvarov@yandex.ru

УДК 532:639.2

УЧЕТ ВЗАИМНОГО ВЛИЯНИЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ
ХАРАКТЕРИСТИК И УГЛА АТАКИ ТРАЛОВЫХ РАСПОРНЫХ ДОСОК
РАЗНОГЛУБИННОГО ТРАЛА ПРИ РАСЧЁТЕ ЕГО БАЛАНСИРОВОЧНОГО
ЗНАЧЕНИЯ

М. М. Розенштейн, В. А. Пелешенко

ACCOUNT OF MUTUAL INFLUENCE OF HYDRODYNAMIC
CHARACTERISTICS AND ATTACK ANGLE OF OTTER BOARDS OF
A MID-WATER TRAWL WHEN CALCULATING ITS TRIM VALUE

M. M. Rozenshtein, V. A. Peleshenko

На долю тралового лова приходится 70% добычи морепродуктов, и на сегодняшний день он является основным видом рыбного промысла. Эффективность траловых систем заложена в проектировании и расчете конструкции распорных устройств. Настоящая статья посвящена проблематике расчёта балансировочного значения угла атаки траловых досок, которые в воде испытывают на себе воздействие различных сил, уравнивающих друг друга и определяющих их положение в пространстве. Основы расчёта распорных устройств были заложены В. П. Карпенко и Н. Stengel. Равновесное состояние траловой доски формулируется как баланс всех действующих на неё сил. Известны схема продольного равновесия распорной траловой доски и описывающая её система уравнений, а также методика расчёта ее продольного равновесия графоаналитическим методом. Однако в них не учитывается взаимное влияние гидродинамических характеристик и угла атаки траловых распорных досок разноглубинного трала при расчёте его балансировочного значения. На основе данных исследований была получена факторная модель, состоящая из замкнутого цикла зависимостей пяти факторов: положения траловой доски в пространстве, угла атаки траловой доски, коэффициентов и значений приложенных к ней гидродинамических сил. Исходя из разработанной факторной модели выявлено взаимное влияние гидродинамических характеристик и угла атаки траловых распорных досок, на базе которого был улучшен алгоритм расчета положения продольного равновесия траловых распорных досок разноглубинного трала с учётом взаимосвязи параметров. В результате при проверочном расчете новый алгоритм показал более точные результаты по сравнению с предшествующим на малых и больших скоростях траления.

траловая доска, балансировочный угол атаки, алгоритм расчёта

The share of trawl fisheries accounts for 70% of seafood production and today it is the main type of fishing. The efficiency of trawl systems directly depends on the design, and calculation of the trawl doors, in particular. This article is devoted to the calculation of the balancing values of the attack angle of the trawl boards. A Trawl board is affected by various forces in water which balance each other and

determine the position of the trawl board. The basis for the calculation of the trawl boards has been laid by V. P. Karpenko and H. Stengel. The equilibrium state of trawl boards can be formulated as a balance of all forces acting on it. There is a schematic view of the longitudinal equilibrium of a trawl board, describing its system of equations and the method for calculating the longitudinal balance of trawl otter boards by the graphic-analytical method. However, they do not account for the mutual influence of the hydrodynamic characteristics and the attack angle of otter boards of a mid-water trawl when calculating its trim value. In this article, the scheme and algorithm for calculation of the position of longitudinal equilibrium of the otter boards of a mid-water trawl. We analyzed the design parameters of a trawl board. Using research data, we obtained a factor model consisting of a closed cycle of dependencies of five factors: position of trawl boards in space, attack angle of a trawl board, drag coefficient of the trawl board and hydrodynamic forces applied to the trawl board. On the basis of the factor model, we revealed mutual influence of the hydrodynamic characteristics and the attack angle of the trawl boards. On its basis, we improved the algorithm for calculating the position of longitudinal equilibrium of the trawl boards of a mid-water trawl considering the relationship between the parameters. As a result, in checking calculation the new algorithm showed the most accurate results compared to the previous algorithm at low and high speed of trawling.

trawl board, balancing angle of attack, calculation algorithm

На сегодняшний день траловый лов является основным видом рыбного промысла, и на его долю приходится 70% добычи морепродуктов. Эффективность траловых систем напрямую зависит от точности их проектирования и, в частности, от расчёта конструкции распорных устройств. Как уже отмечалось ранее в статье [1], распорная траловая доска в водном пространстве испытывает на себе воздействие различных сил, которые уравнивают друг друга и определяют ее положение. Основы расчёта распорных траловых устройств были заложены в работах В. П. Карпенко [2] и Н. Stengel [3, 4], где равновесное состояние траловой доски сформулировано как баланс всех действующих на неё сил. В статье [1] была представлена схема продольного равновесия распорной траловой доски (рис. 1) и описывающая её система уравнений, а также методика расчёта ее продольного равновесия графоаналитическим методом [5].

Моменты действующих на траловую доску сил согласно схеме, изображённой на рис.1, можно представить в виде системы уравнений [5–7]:

$$\left. \begin{aligned} M_{z1}(R_x) &= R_x[(y_0 + y_{d1}) \cos \alpha - (x_{1d} - x_0) \sin \alpha] \\ M_{z1}(R_y) &= -R_y[(y_0 + y_{d1}) \sin \alpha + (x_{1d} - x_0) \cos \alpha] \\ M_{z1}(T_K) &= T_K[y_K \cdot \cos(\alpha - \alpha_K) - x_K \cdot \sin(\alpha - \alpha_K)] \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

где x_0, y_0 – определяемые по чертежу координаты центра тяги (ЦТ) траловой доски; x_{1d}, y_{1d} – координаты центра давления (ЦД) траловой доски;

x_K, y_K – координаты точки крепления кабеля; α_K – угол атаки кабеля; α – угол атаки траловой распорной доски.

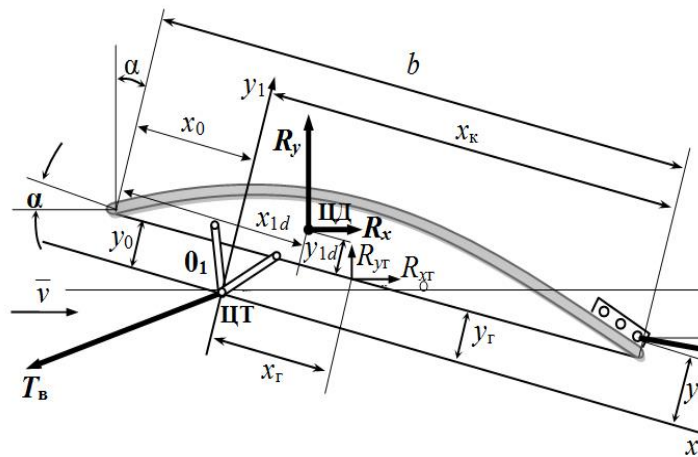


Рис. 1. Схема продольного равновесия распорной траловой доски (Розенштейн М.М. Проектирование орудий рыболовства [5])
 Fig. 1. Longitudinal equilibrium of a trawl board (Rozenstein M. M. Engineering fishing gear [5])

В методике, изложенной в статье [1], на основе уравнений равновесия траловой доски разработана формула для нахождения угла атаки:

$$\alpha = \text{Arctg}([R_x \cdot (y_0 + y_{d1}) - R_y \cdot (x_{d1} - x_0) + T_k \cdot y_k \cdot \cos(\alpha_k) + T_k \cdot x_k \cdot \sin(\alpha_k)] / [R_x \cdot (x_{d1} - x_0) + R_y \cdot (y_0 + y_{d1}) - T_k \cdot y_k \cdot \sin(\alpha_k) + T_k \cdot x_k \cdot \cos(\alpha_k)]), \quad (2)$$

на базе которой составлен алгоритм расчёта положения продольного равновесия траловых распорных досок разноглубинного трала.

Из приведённого алгоритма (рис. 2) и уравнения (1) видно, что угол атаки зависит от таких параметров, как R_x , R_y , T_k , α_k , y_0 , y_{d1} , x_{d1} , x_0 , x_k , и представляет собой функцию

$$\alpha = f(R_x, R_y, T_k, \alpha_k, y_0, y_{d1}, x_{d1}, x_0, x_k). \quad (3)$$

Из схемы продольного равновесия распорной траловой доски становится очевидным, что величины y_0 , y_{d1} , x_{d1} , x_0 , x_k неизменные и задаются самой геометрией траловой доски, а параметры R_x , R_y , T_k , α_k напротив, зависят от факторов внешней среды и могут меняться.

Ранее вопрос влияния друг на друга величин, входящих в систему уравнений (1), учёными не рассматривался, ввиду чего до настоящего времени является нерешённым и актуальным.

С точки зрения гидродинамики траловая доска является пластиной, находящейся в среде набегающего потока жидкости со скоростью v под углом атаки α . На рис. 3 приведена одна из распространённых траловых досок прямоугольной формы крыловидного профиля $\lambda=1,6$; $f=10\%$ (см. рис.3, схема 3а). На рис. 3 обозначены: v - скорость набегающего потока, α - угол атаки, b - хорда доски, l - размах доски, C_x , C_y – коэффициенты сопротивления доски.

На графике 3б, изображенном на рис. 3, видно, что гидродинамические свойства траловой доски существенно меняются при изменении угла атаки. Поэтому изменение положения траловой доски в пространстве, вызванное увеличением или уменьшением приложенных к ней сил, влияет на её гидродинамические характеристики. В свою очередь, меняются гидродинамические силы на пластине. Варьирование гидродинамических сил на пластине нарушает баланс моментов сил согласно уравнению равновесия (1).

Это приводит к новому положению траловой доски в пространстве, выраженному через угол атаки, который описан в уравнении (2). Таким образом, меняются гидродинамические характеристики доски.

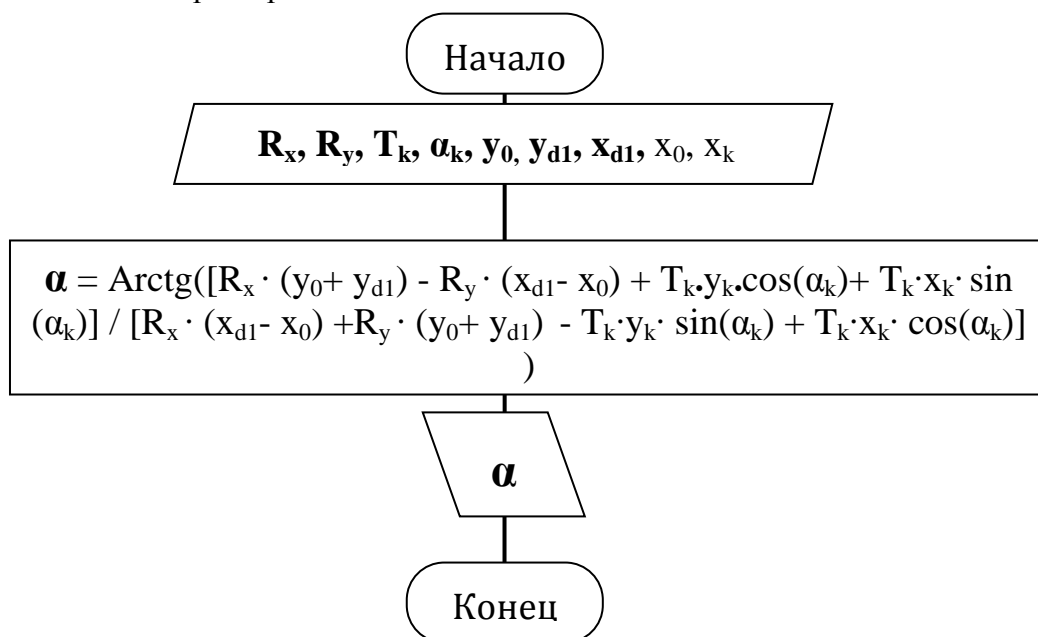


Рис. 2. Алгоритм расчета положения продольного равновесия траловых распорных досок разноглубинного трала

Fig. 2. Algorithm for calculating the position of longitudinal equilibrium of the trawl boards of the mid-water trawl

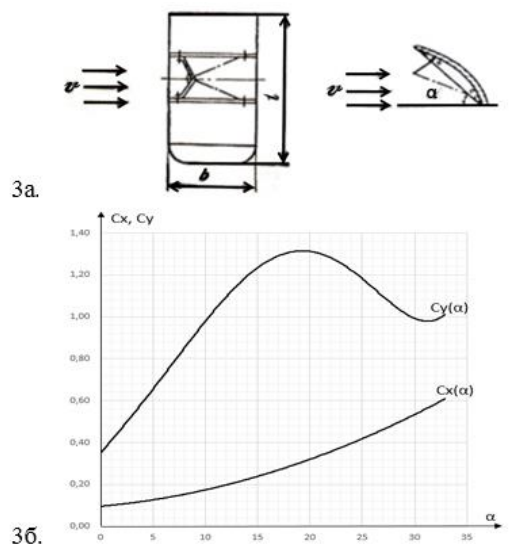


Рис. 3. Гидродинамические характеристики траловой доски прямоугольной формы крыловидного профиля $\lambda=1,6$; $f=10\%$

Fig. 3. Hydrodynamic characteristics of a rectangular-shaped trawl board of the wing-shaped profile $\lambda=1,6$; $f=10\%$

На рис. 4 представлена схема влияния параметров траловой доски друг на друга.

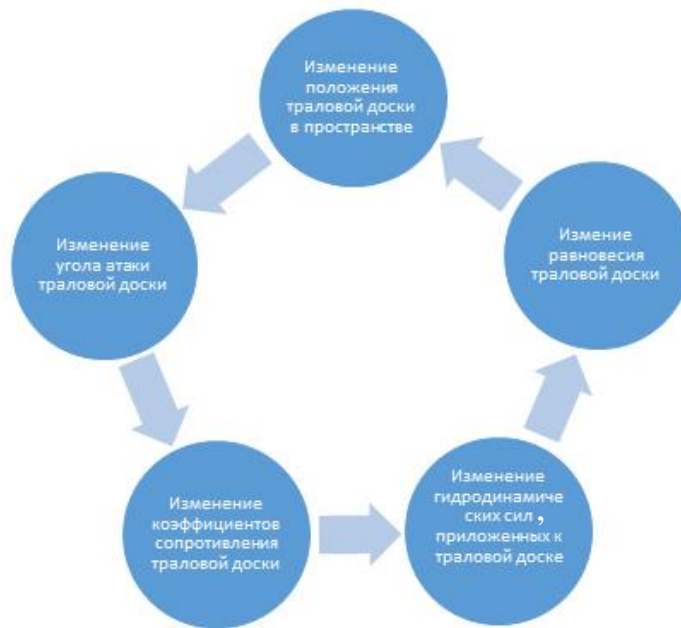


Рис. 4. Схема зависимостей параметров траловой доски
 Fig. 4. Dependence diagram of the trawl board parameters

Схема зависимостей параметров траловой доски представляет собой замкнутый цикл из пяти факторов: изменение ее положения в пространстве приводит к изменению угла атаки, которое влияет на значение коэффициента сопротивления траловой доски. Это, в свою очередь, изменяет численное значение приложенных к ней гидродинамических сил, что нарушает условие равновесия траловой доски. Нарушение же равновесия траловой доски замыкает внутренний цикл, приводя его к начальному фактору - изменению положения траловой доски в пространстве.

В настоящей статье представлена методика, которая позволяет учесть вышеизложенную взаимосвязь параметров, изображенную на рис. 4, при расчёте положения траловой доски в пространстве.

Выразим коэффициенты сопротивления траловых досок как функции от угла атаки $C_x(\alpha)$ и $C_y(\alpha)$. Тогда система продольного равновесия будет представлять собой систему уравнений (4):

$$\left. \begin{aligned} M_{z1}(R_x) &= C_x(\alpha) \frac{\rho \cdot v(t)^2}{2} F[(y_0 + y_{d1}) \cos \alpha - (x_{1d} - x_0) \sin \alpha] \\ M_{z1}(R_y) &= C_y(\alpha) \frac{\rho \cdot v(t)^2}{2} F[(y_0 + y_{d1}) \sin \alpha + (x_{1d} - x_0) \cos \alpha] \\ M_{z1}(T_K) &= T_K [y_{d1} \cdot \cos(\alpha - \alpha_K) - x_K \cdot \sin(\alpha - \alpha_K)] \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Проведенные исследования показали, что наиболее точно форму графиков $C_x(\alpha)$ и $C_y(\alpha)$ отражает полином вида:

$$C_y(\alpha) = \sum_k b_k \cdot \alpha^k, \quad (5)$$

где $k=0 \dots n$; n - степень полинома; b_k - коэффициенты полинома.

Наибольшая точность аппроксимации для $C_y(\alpha)$ достигается при степени $n = 5$, а для $C_x(\alpha)$ при степени $n = 3$.

Ниже приведен пример данных функций (6), (7) и для ранее упомянутой доски прямоугольной формы крыловидного профиля $\lambda=1,6$; $f=10\%$ (рис. 5).

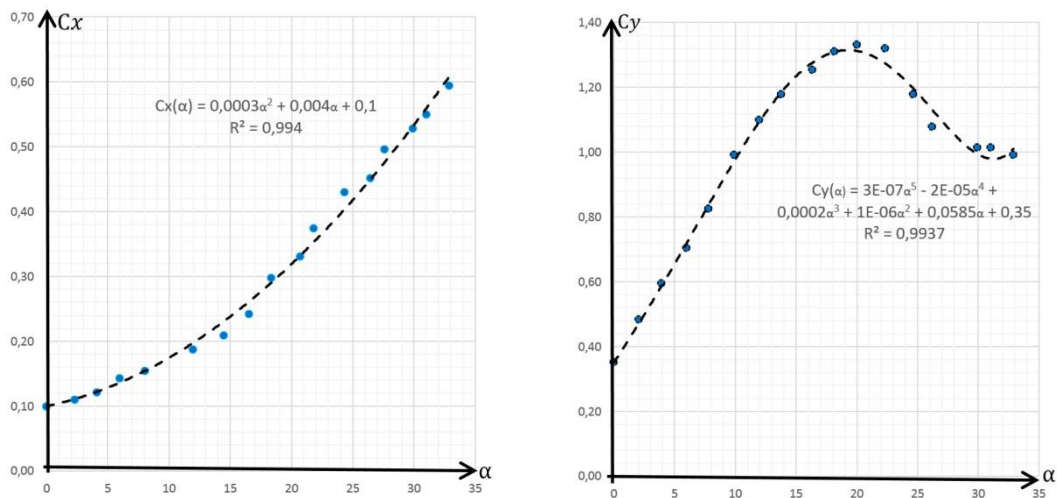


Рис. 5. Функции коэффициентов сопротивления траловых досок
Fig. 5. Functions of the resistance coefficient of the trawl boards

$$C_x(\alpha) = 0,0003\alpha^2 + 0,004\alpha + 0,1 ; \quad (6)$$

$$C_y(\alpha) = 3 \cdot 10^{-7}\alpha^5 + 2 \cdot 10^{-5}\alpha^4 + 2 \cdot 10^{-4}\alpha^3 + 1 \cdot 10^{-6}\alpha^2 + 6 \cdot 10^{-2}\alpha + 0,35 \quad (7)$$

Для функции $C_x(\alpha)$ вероятность совпадения экспериментальных данных с аппроксимационной зависимостью составила 0,9940, а для функции $C_y(\alpha)$, соответственно, - 0,9937.

Алгоритм расчёта положения продольного равновесия траловых распорных досок разноглубинного трала (см. рис. 2), с учетом взаимосвязи параметров (см. рис. 4), в результате примет отображенный на рис. 6 вид.

В статье [1] приводился пример расчета положения траловой доски при рабочем режиме, характеризующемся следующими входными данными:

- траловая доска прямоугольная цилиндрическая (крыловидная) площадью $F= 8\text{м}^2$, используемая для оснастки 78-метрового разноглубинного трала;
- скорость траления $v = 5$ уз;
- сопротивление канатно-сетной части трала на указанной скорости 115кН;
- горизонтальное раскрытие трала $L= 50$ м;
- суммарная длина верхней подборы трала и голых концов $S = 138$ м;
- хорда доски $b=1,92$ м;
- координаты переднего ребра доски: $x_0=0,15$ м; $y_0=0,51$ м;
- ордината центра давления $y_{1d}=0,18$ м;
- координаты точки крепления кабеля к траловой доске: $x_k=1,68$ м; $y_k=0,6$ м;
- плотность воды 1024 кг/м³.

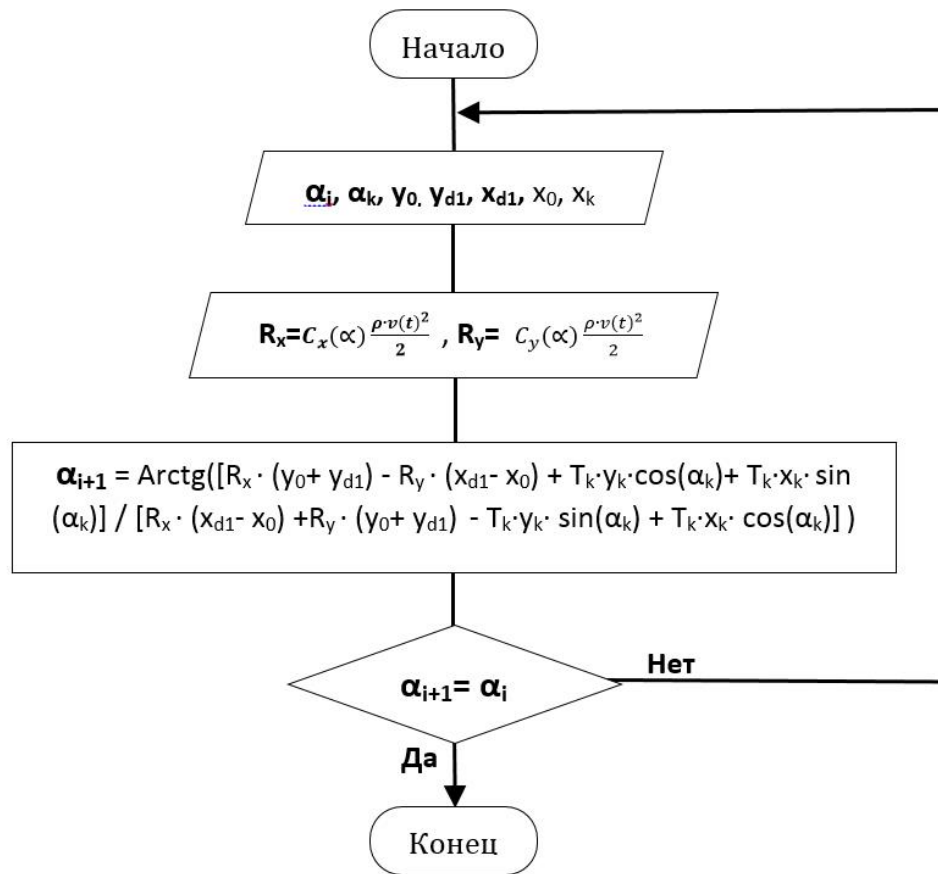


Рис. 6. Алгоритм расчета положения продольного равновесия траловых распорных досок разноглубинного трала с учётом взаимосвязи параметров
 Fig. 6. Algorithm for calculating the position of longitudinal equilibrium of the otter boards of the mid-water trawl considering the relationship between the parameters

Результаты, полученные при расчёте графоаналитическим методом и при помощи формулы (2), оказались равными.

Вычислим углы атаки траловых досок без влияния гидродинамических характеристик при помощи ранее использованного алгоритма (см. рис. 2) на основе формулы (2), соответствующей графоаналитическому методу, и с учётом влияний гидродинамических характеристик согласно алгоритму, изображённому на рис. 6. Расчёт произведём в диапазоне скоростей траления от 3 до 7 уз и соответствующих им сопротивлений канатно-сетной части трала.

На рис. 7 представлены результаты вычислений углов атаки траловых распорных досок разноглубинного трала обоими способами. График α_1 получен при вычислении без учёта влияния гидродинамических характеристик, график α_2 – с учётом их влияния. Как видно из рис. 7, в районе рабочих значений траловых досок на скорости между 4,5 и 5 уз величина угла атаки,

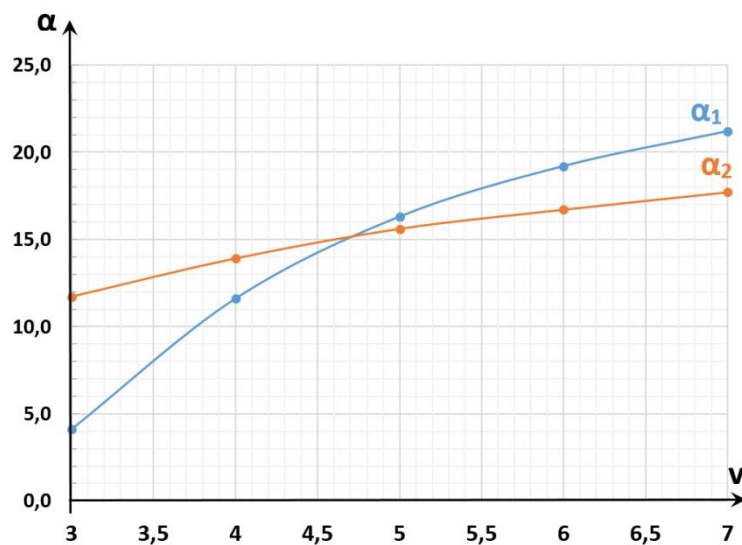


Рис. 7. Углы атаки траловых распорных досок разноглубинного трала
 Fig. 7. Attack angles of the otter boards of the mid-water trawl

полученная обоими способами, имеет незначительное отклонение, не превышающее точности задания входных данных. Однако при низких и высоких скоростях траления отклонение при вычислении первым и вторым способом существенно. Так, при скорости 7 уз отклонение составило 17,7%, а при скорости 3 уз превысило 100%.

Из полученных выше результатов можно сделать вывод о том, что настоящий алгоритм расчёта положения в пространстве траловых распорных досок разноглубинного трала с учётом взаимосвязи параметров наиболее актуально применять при расчёте значений на малых и больших скоростях траления.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Пелешенко, В. А. Метод автоматизированного расчёта балансирующего угла атаки распорных досок разноглубинного трала / В. А. Пелешенко // Рыбное хозяйство. – №5. – 2015. – С. 90-92.
2. Карпенко, В. П. Исследование гидродинамических характеристик распорных траловых устройств / В. П. Карпенко // Тр. ЦНИИТЭИРХ. Промышленное рыболовство. – Москва, 1973. – Т. 2. – С. 47-49.
3. Stengel, H. Fischfang-Gerate.Theorie und Entwerfen von Fanggeraten der Hochseefischerei / H. Stengel, A. L. Fridman . Berlin: VEB Verlage Technik. 332 с.
4. Stengel, H. Theorie und Entwerfen von Fischfanggeraten: Lehrbriefe fur das Hochschulfernstudium No 4 // Rostock, 1983. –64 с.
5. Розенштейн, М. М. Механика орудий рыболовства / М. М. Розенштейн // Калининград: КГТУ, 2000. - 363 с.
6. Розенштейн, М. М. Проектирование орудий рыболовства / М. М. Розенштейн. – Москва: Колос, 2009. - 399 с.

7. Rozenshtein M. M. Method of calculation of drag and disclosing of mouth mid water trawls / M. M. Rozenshtein, A. A. Nedostup, M. S. Matvienko //Method for the development and evaluation of maritime technologies: 9 International workshop DEMAT. Japan-Nava, 2009, 22 с.

REFERENCES

1. Peleshenko V. A. Metod avtomatizirovannogo raschjota balansirovochnogo ugla ataki raspornyh dosok raznoglubinnogo trala [Method of computer analysis of the balancing attack angle of otter boards of a mid-water trawl]. *Rybnoe hozjajstvo*, 2015, no. 5, pp. 90-92.
2. Karpenko V. P. *Issledovanie gidrodinamicheskikh harakteristik raspornyh tralovyh ustrojstv* [Study of hydrodynamic parameters of otter boards]. Tr. CNIITJeIRH. Promyshlennoe rybolovstvo, Moscow, 1973, vol. 2, pp. 47-49.
3. Stengel H., Fridman A. L. *Fischfang-Gerate. Theorie und Entwerfen von Fanggeraten der Hochseefischerei*. Berlin, VEB Verlage Technik, 332 p.
4. Stengel H. *Theorie und Entwerfen von Fischfanggeraten: Lehrbriefe fur das Hochschulfernstudium*, no 4. Rostock, 1983, 64 p.
5. Rozenshtejn M. M. *Mehanika orudij rybolovstva* [Mechanisms of fishing gear]. Kaliningrad, UOP "KGTU", 2000, 363 p.
6. Rozenshtejn M. M. *Proektirovanija orudij rybolovstva* [Engineering of fishing gear]. Moscow, Kolos, 2009, 399 p.
7. Nedostup A. A., Rozenshtein M. M., Matvienko M. S. Method of calculation of drag and disclosing of mouth mid water trawls. Method for the development and evaluation of maritime technologies: 9 International workshop DEMAT. Japan-Nava, 2009, 22 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

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

Rozenshtein Mikhail Mikhailovich – Kaliningrad State Technical University; PhD (Technical Sciences), Professor of the Commercial Fishery Department; E-mail: rozenshtein@klgtu.ru

Пелешенко Виталий Алексеевич – Калининградский государственный технический университет; соискатель кафедры промышленного рыболовства; E-mail: vitaliy.peleshenko@yandex.ru

Peleshenko Vitaliy Alexeevich – Kaliningrad State Technical University; applicant of the Department of Industrial Fisheries; E-mail: vitaliy.peleshenko@yandex.ru

УДК 631.417.2 (07)

НЕКОТОРЫЕ ПАРАМЕТРЫ ГУМУСНОГО СОСТОЯНИЯ
ПОЙМЕННЫХ ПОЧВ ВЕРХНЕГО ТЕЧЕНИЯ РЕКИ ДЕСНЫ

Г. В. Чекин

SOME PARAMETERS OF THE HUMUS CONTENT OF
FLOOD PLAIN SOILS OF THE UPPER DESNA RIVER

G. V. Chekin

На территории Брянской области были проведены исследования гумусного состояния аллювиальных почв верхнего течения р. Десны. В почвенных образцах, отобранных по генетическим горизонтам на почвенно-геоморфологическом профиле, определено содержание органического углерода, а также групповой и фракционный состав гумуса.

Содержание органического углерода (%) в гумусовых горизонтах рассматриваемых почв закономерно увеличивается в ряду: аллювиальная дерновая – аллювиальная болотная почва. В дерновых почвах оно составляет от 1,89 до 2,33, в болотных – от 2,99 до 5,44 %.

Распределение органического углерода (%) по профилю почв зависит от их генетических особенностей. Для аллювиальных дерновых почв распределение резко убывающее с полным отсутствием органического вещества в нижней части профиля. В аллювиальной болотной почве распределение постепенно убывающее, органическое вещество обнаруживается не только в верхней, но и в нижней части профиля, что связано с переувлажнением этих почв. Для почв, развивающихся на погребенных почвах, характерно бимодальное распределение органического углерода по профилю. Второй максимум приходится на погребенный гумусовый горизонт.

Почвам поймы р. Десны свойственно большое разнообразие условий гумификации органического вещества. В дерновых почвах как прирусловой, так и притеррасной части поймы фракция «свободных» гуминовых кислот (*ГК1*) значительно доминирует над фракцией, связанной с кальцием (*ГК2*), что характерно для почв кислого ряда. Это же подтверждает преобладание фульвокислот в данных почвах над гуминовыми кислотами. В лугово-болотных почвах рассматриваемого участка фульвокислоты также преобладают над гуминовыми кислотами, однако соотношение между фракциями *ГК1* и *ГК2* неоднозначно.

В целом показатели гумусного состояния свидетельствуют о низком качестве гумуса и, как следствие этого, невысоком потенциальном плодородии данных почв. Почвы подобных участков пойм перед введением в сельскохозяйственное производство нуждаются в комплексе мероприятий, в том числе направленных на повышение качества гумуса.

аллювиальные почвы, состав гумуса, гумусное состояние, органический углерод, плодородие

We have studied humus content of the alluvial soils of the Upper Desna River within the territory of the Bryansk region. In the selected soil samples, the content of organic carbon, group and fractional structure of humus is determined according to the genetic horizons of the soil and geomorphological profile.

The content of organic carbon (%) in the humus horizons of the considered soils is consistently increasing among: alluvial cespitose – alluvial marsh soil. In cespitose soils it equals from 1,89 to 2,33 %, in marsh - from 2,99 to 5,44 %.

Distribution of organic carbon (%) in soils profile depends on their genetic features. For alluvial cespitose soils the distribution is sharply decreasing with hollow absence of organic substance in the lower part of the profile. In the alluvial marsh soil the distribution is gradually decreasing, organic substance is found not only in the top, but also in the lower part of the profile which is connected with waterlogging of these soils. For the soils developing on buried soils, bimodal distribution of organic carbon on the profile is characteristic. The second maximum falls on the buried humic horizon.

The soils of the of the Desna River flood plain are characterized by a variety of conditions for humification of organic substance. In cespitose soils of both near-bed and terrace part of the floodplain the fraction of "free" humic acids (GK1) considerably dominates over the fraction connected with calcium (GK2) which is characteristic for soils of a sour row. Prevalence of fulvic acids in these soils over humic acids provides another support to this. In meadow and marsh soils of the considered site, fulvic acids also prevail over humic acids, however, the ratio between GK1 and GK2 fractions is ambiguous.

In general, indicators of the humus content testify to poor quality of the humus, and as a result, low potential fertility of these soils. Soils of similar floodplain sites, before introduction to agricultural production, need a complex of actions aimed, in particular, at improvement of humus quality.

alluvial soils, humus structure, humus content, organic carbon, productivity

ВВЕДЕНИЕ

Почвы речных пойм имеют большое значение и, прежде всего, как естественная кормовая база для животноводства. Особенно высокие и устойчивые урожаи сена дают луга центральной поймы, обычно покрытые хорошей растительностью из злаковых и бобовых трав [1, 2].

Тем не менее, пойменные луга многих речных долин из-за отсутствия надлежащего ухода за ними и нерационального их использования отличаются низкой производительностью. Значительные площади пойменных лугов сильно заболочены и фактически выбыли из фонда ценных природных кормовых угодий [3, 4].

Луговые комплексы с высокой степенью биологической продуктивности занимают обширные территории пойменных лугов р. Десны. В настоящее время естественные первичные луга здесь практически отсутствуют, их основную долю составляют сенокосы и пастбища. Изучение гумусного состояния аллювиальных почв и его агроэкологическая оценка позволяют уточнить имеющиеся рекомендации по экологически безопасному использованию естественных заливных лугов в сельскохозяйственном производстве [5, 6].

Органическое вещество почвы относится к гетерогенной смеси взаимодействующих полимеров, которые играют важную роль в физических, химических и биологических свойствах почвы и таким образом влияют на индекс качества почвы, плодородие и производительность [7-8].

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЙ

Цель исследования – изучение гумусного состояния аллювиальных почв верхнего течения р. Десны. Для достижения указанной цели были поставлены следующие задачи: изучить содержание общего углерода в данных почвах, его распределение по профилю, фракционно-групповой состав гумуса исследуемых почв.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводили в почвенных образцах, отобранных по генетическим горизонтам на почвенно-геоморфологическом профиле (ППП), проложенном через равнинный тип поймы напротив с. Рековичи Дубровского района Брянской области. Профиль состоит из ряда почвенных разрезов, характеризующих определенный участок поймы (рис. 1).

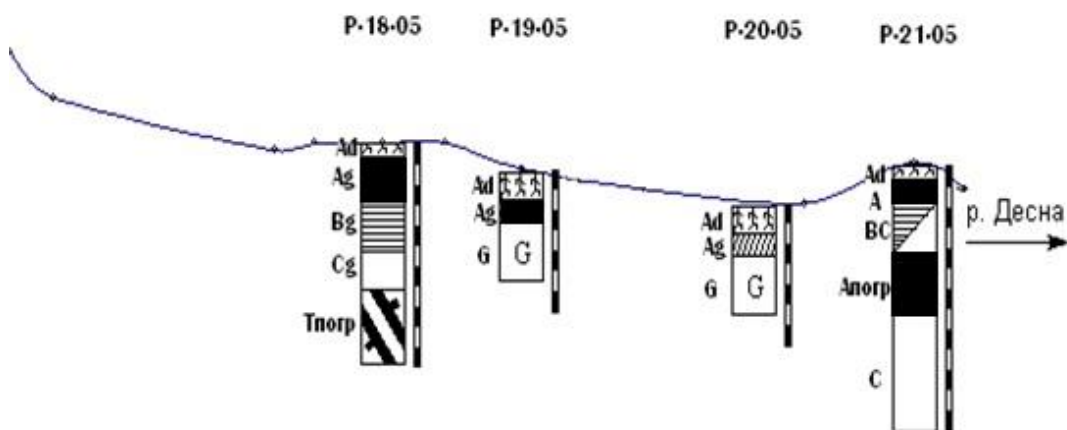


Рис. 1. Почвенно-геоморфологический профиль, верхнее течение р. Десны
Fig. 1. Soil and geomorphological profile, the Upper Desna River

Морфологическое описание почв проводили по классификации 1977 г. [9]. Гранулометрический состав определяли по Н. А. Качинскому.

На исследуемом участке представлены следующие почвы и растительные сообщества на них:

- Р-18 – Аллювиальная дерновая кислая маломощная среднегумусная среднесуглинистая пылевато-крупнопылеватая; таволговое растительное сообщество.
- Р-19 – Аллювиальная болотная иловато-глеевая среднесуглинистая крупнопылевато-пылеватая; осоково-тростниковое растительное сообщество;
- Р-20 – Аллювиальная болотная иловато-глеевая легкоглинистая крупнопылевато-пылеватая; осоково-манниковое растительное сообщество;
- Р-21 – Аллювиальная дерновая кислая маломощная укороченная малогумусная рыхлопесчаная иловато-крупнопылеватая; злаковое растительное сообщество.

Общий углерод определяли по Никитину с колориметрическим окончанием по Орлову-Гриндель, фракционно-групповой состав гумуса – ускоренным пирофосфатным методом по Кононовой и Бельчиковой [10]. Результаты исследований оформляли на компьютере с помощью программ MS Excel и MS Word.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Содержание и профильное распределение общего органического углерода. В пойменных почвах сложность процессов образования гумуса связана не только с поступлением и разложением растительных остатков, но и периодическим включением в почвообразование аллохтонного органического вещества, состав которого находится в тесной связи с геоморфологией поймы и природными условиями бассейна реки [11].

Содержание $C_{\text{орг}}$ (%) в гумусовых горизонтах рассматриваемых почв (табл. 1) закономерно увеличивается в ряду: аллювиальная дерновая – аллювиальная болотная почва. Это связано с особенностями накопления органического вещества данными типами почв. В дерновых почвах оно составляет от 1,89 до 2,33, в болотных от 2,99 до 5,44 %.

Таблица 1. Содержание $C_{\text{орг}}$ (%) в почвах верхнего течения р. Десны
Table 1. Content of organic carbon (%) in the soils of the Upper Desna River

Тип почвы	Генетический горизонт	Граница горизонта	$C_{\text{орг}}$, %
P-18 Аллювиальная дерновая	Ag	8–29	2,33
	Bg	29–52	0,55
P-19 Аллювиальная болотная	Ag	15–25	2,99
	G	15–30	3,77
P-20 Аллювиальная болотная	Ag	15–25	5,44
	G	15–30	2,55
P-21 Аллювиальная дерновая	A	7–16	1,89
	BC	16–43	1,89

Распределение $C_{\text{орг}}$ (%) по профилю почв (рис. 2) зависит от их генетических особенностей. Для аллювиальных дерновых почв распределение резко убывающее с полным отсутствием органического вещества в нижней части профиля.

В аллювиальной болотной почве распределение постепенно убывающее, органическое вещество обнаруживается не только в верхней, но и в нижней части профиля. Гумус в Ag данных почв содержит значительное количество фульвокислот. Углерод этой фракции в условиях переувлажнения при низких значениях ОВП формирует подвижный гумус, и часть его мигрирует вниз по профилю. Это подтверждают результаты анализа гумуса в гор. G P-20-05.

Для почв, развивающихся на погребенных почвах, как правило, характерно бимодальное распределение $C_{\text{орг}}$ (%) по профилю. Второй максимум должен при-

ходиться на погребенный гумусовый горизонт. Однако в случае P-21-05 погребенная почва (погребенная аллювиальная дерновая укороченная малогумусная рыхлопесчаная пылевато-крупнопылеватая) была достаточно бедна органическим веществом (содержание $C_{орг}$ (%) в $A_{погр}$ составило 1,22 %), а преобладание фульвокислот в гумусе горизонта А способствует значительной его миграции в условиях периодического переувлажнения. Все это привело в конечном счете к постепенно убывающему распределению гумуса в данной почве.

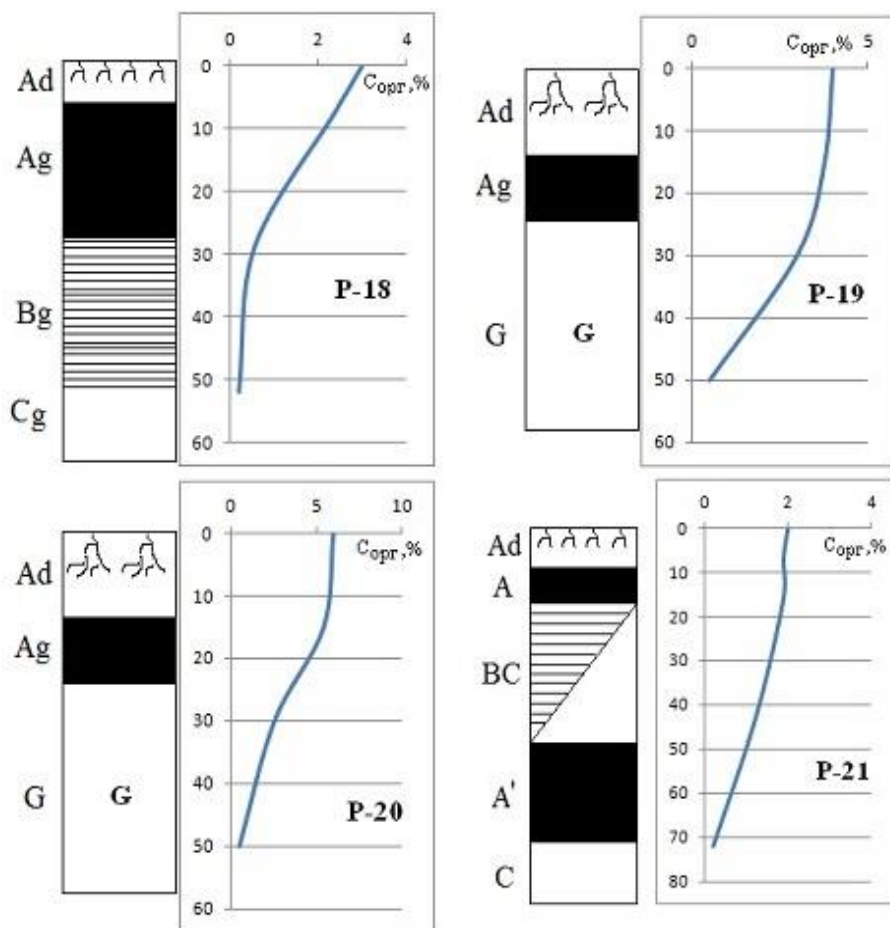


Рис. 2. Распределение $C_{орг}(\%)$ по профилю почв
 Fig. 2. Distribution of organic carbon (%) according to soils profile

Групповой и фракционный состав гумуса аллювиальных почв. Почвам поймы р. Десны свойственно большое разнообразие условий гумификации органического вещества [12]. Достаточно сложно проследить какие-либо закономерности соотношения тех или иных фракций гумусовых веществ (табл. 2), так как они зависят от многих факторов: положения на элементах рельефа, гранулометрического состава, типа и продуктивности растительных сообществ и т. п.

Таблица 2. Групповой и фракционный состав гумуса аллювиальных почв
Table 2. Group and fractional structure of the humus of alluvial soils

Тип почвы	Генетический горизонт	C _{общ} , %	C _{гк}			C _{фк}		
			1	2	сумма	1 + 1a	2	сумма
Аллювиальная дерновая (P-18)	Ag	2,33	0,601	2,532	3,133	6,352	4,034	10,386
	Bg	0,55	0,000	2,000	2,000	4,000	13,636	17,636
Аллювиальная болотная (P-19)	Ag	2,99	6,856	2,007	8,863	12,408	8,729	21,137
	G	3,77	1,034	2,255	3,289	4,403	3,448	7,851
Аллювиальная дерновая (P-20)	Ag	5,44	0,699	6,140	6,838	14,412	1,544	15,956
	G	2,55	3,647	0,863	4,510	9,569	3,255	12,824
Аллювиальная дерновая (P-21)	A	1,89	4,709	0,212	4,921	16,243	0,476	16,720
	BC	1,89	3,069	0,370	3,439	14,180	0,053	14,233

В дерновых почвах как прирусловой, так и притеррасной части поймы фракция «свободных» гуминовых кислот (*ГК1*) значительно превалирует над фракцией, связанной с кальцием (*ГК2*), что характерно для почв кислого ряда. Это же подтверждает преобладание фульвокислот в данных почвах над гуминовыми кислотами.

В лугово-болотных почвах рассматриваемого участка фульвокислоты также доминируют над гуминовыми кислотами, однако соотношение между фракциями *ГК1* и *ГК2* неоднозначно. Так, в лугово-болотной почве P-19 в горизонте Ag преобладает фракция *ГК1*, а в горизонте G – *ГК2*. В то же время в лугово-болотной почве P-20 прямо противоположная картина. Объяснение этого факта пока не найдено, требуются дополнительные исследования.

В целом различия в содержании и соотношении фракций *ГК* и *ФК*, за счет различной степени их воздействия и связи с минеральной частью почв, могут обуславливать варьирование плодородия. Преобладание в гумусе «агрессивных» фракций снижает ценность данных почв в хозяйственном отношении. В связи с этим, перед введением в сельскохозяйственное производство подобных участков пойм – организации сенокосов, требуется провести комплекс мероприятий, в том числе направленных на повышение качества гумуса.

ВЫВОДЫ

В гумусовых горизонтах рассматриваемых почв содержание C_{орг} (%) закономерно увеличивается в ряду: аллювиальная дерновая – аллювиальная лугово-болотная почва. В дерновых почвах оно составляет от 1,89 до 2,33 %, в лугово-болотных от 2,99 до 5,44 %. Однако в случае заболоченных почв необходимо иметь в виду специфику органического вещества (торфа), накапливающегося в них.

Содержание и соотношение фракций *ГК1* и *ГК2* указывают на принадлежность почв к аллювиальным кислым. Различия в содержании и соотношении фракций *ГК* и *ФК* могут обуславливать пестроту плодородия данных почв. В целом показатели гумусного состояния свидетельствуют о низком качестве гумуса, и, как следствие этого, невысоком потенциальном плодородии данных почв. Почвы подобных участков пойм перед введением в сельскохозяйственное производство, например, организацией сенокосов, нуждаются в комплексе мероприятий, направленных, в том числе, на повышение качества гумуса.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Просянных, Е. В. Адаптивный подход к использованию пойменных угодий, загрязнённых цезием / Е. В. Просянных, А. Л. Силаев // Кормопроизводство. – 1999. – №2. – С. 11 - 14.
2. Организация системы ведения лугового хозяйства на основе комбинированного использования травостоев / С. А. Бельченко [и др.] // Вестник Брянской ГСХА. – 2015. – №5. – С. 8-14.
3. Эффективность мероприятий по улучшению продуктивности сенокосов / Е. В. Смольский [и др.] // Агротехнический вестник. – 2015. – № 5. – С. 25-28.
4. Оценка травостоев экосистемы поймы Средней Десны / Д. Е. Просянных [и др.] // Проблемы агрохимии и экологии. – 2011. – № 2. – С. 23-28.
5. Чекин, Г. В. Агроэкологические свойства аллювиальных лугово-болотных почв центральной поймы верхнего течения реки Десны / Г. В. Чекин, Е. В. Просянных, М. Д. Коновалова // V Всерос. съезд общества почвоведов им. В. В. Докучаева (18-23 августа 2008): материалы. – Ростов-на-Дону, 2008. – С. 470.
6. Современное состояние экосистемы правобережной поймы Средней Десны и перспективы её рационального использования / Е. В. Просянных [и др.] // Агротехнический вестник. – 2012. – № 5. – С. 9-13.
7. Chen, H, R. Hou, Y. G, H. Li, M. Fan and Y. Kuzyakov. Effects of 11 years of conservation tillage on soil organic matter fractions in wheat monoculture in Loess Plateau of China // Soil & Tillage Research 106 (2009) 85–94
8. Gregorich E.G., M.R. Carter, D.S. Angers, C.M. Monreal, and B.H. Ellert Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. // Canadian Journal of Soil Science, 1994, 74(4): 367-385
9. Егоров, В. В. Классификация и диагностика почв СССР / В. В. Егоров, В. М. Фридрих, Е. Н. Иванова. – Москва: Колос, 1977. – 224 с.
10. Кононова, М. М. Органическое вещество почвы. Его природа, свойства и методы изучения / М. М. Кононова. – Москва: Изд-во академии наук СССР, 1963. – 315 с.
11. Чимитдоржиева, Г. Д. Особенности состава гумуса почв Забайкалья / Г. Д. Чимитдоржиева, Н. Е. Абашеева // Почвоведение. – 1989. – №9. – С. 26-34.
12. Кораблева, Л. И. Плодородие, агрохимические свойства и удобрение пойменных почв нечерноземной зоны / Л. И. Кораблева. – Москва: Наука, 1969. – 278 с.

REFERENCES

1. Prosjannikov E. V., Silaev A. L. Adaptivnyj podhod k ispol'zovaniju pojmennyh ugodij, zagraznjonnyh ceziem [Adaptive approach to using cesium contaminated floodplain lands]. *Kormoproizvodstvo*, 1999, no. 2, pp. 11-14.
2. Bel'chenko S. A., Torikov V. E., Dronov A. V., Belous I. N., Bychkova K. Ju. Organizacija sistemy vedenija lugovogo hozjajstva na osnove kombinirovannogo ispol'zovanija travostoev. *Vestnik Brjanskoj GSXA*, 2015, no. 5, pp. 8-14.
3. Smol'skij E. V., Harkevich L. P., Chesalin S. F., Bozhin I. A., Bokaturu N. N. Jefferktivnost' meroprijatij po uluchsheniju produktivnosti senokosov [Effect of activities on improving hay harvesting productivity]. *Agrohimicheskij vestnik*, 2015, no. 5, pp. 25-28.

4. Prosjannikov D. E., Balabko P. N., Prosjannikov E. V., Chekin G. V. Ocenka travostoev jekosistemy pojmy Srednej Desny [Evaluation of grass in the ecosystem of the floodplain of the Middle Desna River]. *Problemy agrohimii i jekologii*, 2011, no. 2, pp. 23-28.

5. Chekin G. V., Prosjannikov E. V., Konovalova M. D. *Agrojekologicheskie svojstva alljuvial'nyh lugovo-bolotnyh pochv central'noj pojmy verhnego techenija reki Desny* [Agricultural features of alluvial meadow and marsh soils of the central floodplain of the Upper Desna River]. V *Vseros. s#ezd obshhestva pochvovedov im. V. V. Dokuchaeva (18-23 avgusta 2008): materialy*. Rostov-na-Donu, 2008, pp. 470.

6. Prosjannikov E. V., Prosjannikov D. E., Balabko P. N., Chekin G. V. Sovremennoe sostojanie jekosistemy pravoberezhnoj pojmy Srednej Desny i perspektivy ee racional'nogo ispol'zovanija [Current state of the ecosystem of the right-bank floodplain of the Middle Desna River and its application potential]. *Agrohimicheskij vestnik*, 2012 no. 5, pp. 9-13.

7. Chen H. R., Hou Y. G., Li H., Fan M., Kuzyakov Y. Effects of 11 years of conservation tillage on soil organic matter fractions in wheat monoculture in Loess Plateau of China. *Soil & Tillage Research*, 106 (2009), pp. 85-94.

8. Gregorich E. G., Carter M. R., Angers D. S., Monreal C. M., Ellert B. H. Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. *Canadian Journal of Soil Science*, 1994, 74(4), pp. 367-385

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

10. Kononova M. M. *Organicheskoe veshhestvo pochvy. Ego priroda, svojstva i metody izuchenija* [Soil organic matter. Origin, properties and research methods]. Moscow, Izdatel'stvo Akademii nauk SSSR, 1963, 315 p.

11. Chimitdorzhieva G. D., Abasheeva N. E. Osobennosti sostava gumusa pochv Zabajkal'ja [Humus structure of the soils of Transbaikal Territory]. *Pochvovedenie*, 1989, no. 9, pp. 26-34.

12. Korableva L. I. *Plodorodie agrohimicheskie svojstva i udobrenie pojmnnyh pochv nechernozemnoj zony* [Productivity, agrochemical properties and fertilization floodplain soils of the nonchernozem belt]. Moscow, Nauka, 1969, 278 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Чекин Геннадий Владимирович – Брянский государственный аграрный университет; кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры химии, биотехнологии и физиологии растений; E-mail: gb-swamp@yandex.ru.

Checkin Gennady Vladimirovich – Bryansk State Agricultural University; Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of chemistry, biotechnology and physiology of plants; E-mail: gb-swamp@yandex.ru

СУДОСТРОЕНИЕ, МАШИНОСТРОЕНИЕ И ЭНЕРГЕТИКА

УДК 665.994

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПРИРОДНЫХ И ДЕКОРАТИВНЫХ СМОЛ
ПО ТВЕРДОСТИ

Ю. П. Александров

HARDNESS-BASED IDENTIFICATION OF NATURAL AND DECORATIVE
RESINS

Yu. P. Alexandrov

Известны разные лабораторные методы идентификации природных и декоративных смол. Однако их реализация требует длительного времени и дорогостоящего оборудования. Важно уметь быстро и с меньшими затратами отличать натуральный янтарь от декоративных смол разного месторождения, ошибочно принимаемых за янтарь, и от подделок под янтарь.

С целью ускорения и удешевления процесса идентификации смол разного месторождения натуральному янтарю в работе предлагается экспресс-оценка динамической твердости природных и декоративных смол методом отскока на переносном микропроцессорном измерителе твердости типа МИТ-2. В основу твердомера МИТ-2 положен новый принцип измерения динамической твердости исследуемых образцов смолы по времени прохождения индентором измерительной базы до и после отскока от поверхности образца. Система электромагнитного разгона индентора в датчике твердомера обеспечивает стабильность удара, регулирование энергии удара индентора и возможность неразрушающего контроля твердости образцов смол без видимых следов погружения индентора в исследуемую поверхность. Электронно-оптическая система твердомера обеспечивает точное измерение времени движения индентора относительно измерительной базы, что способствует получению более высокой достоверности и производительности измерения твердости объектов.

идентификация, смола природная и декоративная, янтарь, метод отскока, принцип измерения динамической твердости

There are different laboratory methods for identification of natural and decorative resins. However, implementation of these methods requires a long time and expensive equipment. It is important to be able to differentiate quickly and at lower cost natural amber from counterfeit amber and decorative resins of different fields which are mistaken for amber. This article presents express evaluation of the dynamic hardness using the rebound method on the portable microprocessor hardness tester MIT-2 in order to accelerate and reduce the cost of resins identification of various fields. New measurement principle of dynamic hardness of resin samples according to the time of passage by an indenter of the measuring base before and after the rebound from the tested surface of a sample is used in the hardness tester. The system of electromagnetic acceleration of the indenter in the hardness tester ensures stability of impact, regulation

of the indenter impact energy and the possibility of non-destructive testing of hardness of resin samples without visible traces of penetration of the indenter into the test surface. The electron-optical system of the hardness tester provides accurate measurement of the movement time of the indenter relative to the measuring base which contributes to higher authenticity and performance measurement of hardness of objects.

identification, natural and decorative resin, amber, rebound method, measurement principle of dynamic hardness

ВВЕДЕНИЕ

С давних времен существует проблема, как различать природные и декоративные смолы [1]. К природным смолам относят, прежде всего, балтийский янтарь (сукцинит), добываемый на побережье Балтийского моря в районе Пальменикенского месторождения (ныне пос. Янтарный Калининградской обл.), румынский янтарь (румэнит), сицилийский янтарь (симетит), бирманский янтарь (бирмит) и янтари из Мексики и Доминиканской Республики.

К декоративным смолам относят прессованный янтарь (амбрид), копал, даммар (даммаровая смола), каури.

В конце XIX в. появились патенты на производство имитации янтаря. Мелкие кусочки янтаря прессовались гидравлическим способом в стальной форме, а из получившегося большого куска делали различные изделия. Таким образом можно было получить все разновидности янтаря, встречающиеся в природе. Однако прессованный янтарь имеет существенные отличия от натурального по внешнему виду, цветовой гамме, структуре и физико-механическим свойствам.

Для получения имитации янтаря также смешивают смолы каури или копала с более твердой ископаемой смолой.

Важно уметь отличать натуральный янтарь от декоративных смол разного происхождения, ошибочно принимаемых за янтарь, и от подделок под янтарь.

Известны разные лабораторные методы идентификации ископаемых природных и декоративных смол [1-4]: инфракрасная спектроскопия, спектрометрия, тонкослойная хроматография, термический и химический анализы, гидравлические испытания и др. С целью идентификации природных и декоративных смол по их составу и свойствам используют дорогостоящее оборудование, на котором проводятся длительные по времени лабораторные анализы.

В литературных источниках [1, 4] отмечается, что твердость янтаря составляет 2-2,5 единицы по шкале Мооса. Минералогическая шкала твердости Мооса представляет собой набор эталонных минералов для определения относительной твердости методом царапания, который приводит к разрушению поверхности исследуемого материала.

Предпринимались попытки измерения твердости смол методом вдавливания на микротвердомере типа ПМТ-3, которые не увенчались успехом.

В настоящей работе рассмотрена возможность идентификации декоративных смол по твердости путем сравнения их твердости с твердостью балтийского янтаря методом отскока микропроцессорным измерителем твердости типа МИТ-2 [5].

В основу измерителя твердости МИТ-2 положен новый принцип оценки твердости по времени прохождения индентором измерительной базы до и после отскока об исследуемую поверхность образца [6]. Динамическая твердость образцов смолы определяется в условных единицах динамической твердости по формуле (1):

$$HL_{дин} = \frac{t_0}{t_1} \cdot 1000, \quad (1)$$

где $HL_{дин}$ – динамическая твердость; t_0 – время прохождения индентором измерительной базы до удара о поверхность образца, мс; t_1 – время прохождения индентором измерительной базы после удара о поверхность образца, мс.

В работе поставлены следующие задачи:

1. Определить оптимальные параметры микропроцессорного измерителя твердости МИТ-2 для измерения динамической твердости смол разного месторождения без их разрушения и видимых следов после проведения измерений на поверхностях образцов.

2. Сравнить динамическую твердость балтийского янтаря и декоративных смол предположительно индонезийского и колумбийского месторождений.

3. Выяснить возможность применения значений динамической твердости образцов смол в качестве критерия для предварительной оценки отнесения или неотнесения смолы к группе «янтари».

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектами исследования являются образцы балтийского натурального янтаря; прессованного янтаря из кусочков балтийского натурального янтаря; смолы предположительно из Колумбии и с о. Убут (Индонезия).

Образцы предварительно шлифовались по двум параллельным плоскостям. Одна плоскость использовалась для установки образца на контрольную массивную плиту, другая – для измерения его твердости.

С целью определения оптимальных параметров твердомера МИТ-2 применялся набор сменных инденторов датчика с радиусами сферического наконечника: 0,5; 1,0; 1,5; 2,5 и 5,0 мм, а также устанавливались разные длительности разгона индентора (t_0) в пределах от 1,5 до 3,5 мс.

В твердомере МИТ-2 предусмотрено регулирование скорости индентора до удара об исследуемую поверхность образца, что обеспечивает различную глубину погружения индентора в измерительную поверхность при определении её твердости.

Скорость индентора (V_0) до удара о поверхность образца зависит от установленной на твердомере длительности разгона индентора до удара о поверхность образца, т. е. времени прохождения индентором постоянной по величине измерительной базы до удара о поверхность образца (2):

$$V_0 = \frac{S}{t_0}, \quad (2)$$

где V_0 – скорость индентора в датчике твердомера до удара о поверхность образца, м/м; S – величина измерительной базы, мм; t_0 – длительность разгона индентора до удара о поверхность.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

Известно, что янтарь является хрупким, светопрозрачным, анизотропным материалом слоистой структуры с относительной небольшой твердостью и содержит различные органические и неорганические включения [1, 4]. Эти особенности янтаря вызвали определенные трудности при измерении его динамической твердости. Предварительно проведенные поисковые однофакторные эксперименты по определению динамической твердости балтийского натурального и прессованного янтаря методом отскока твердомером МИТ-2 показали, что велика вероятность появления микро- и более глубоких трещин вплоть до полного разрушения испытываемых образцов [7]. В результате испытаний на твердость большого количества образцов балтийского натурального янтаря при разных параметрах твердомера МИТ-2 были определены величины длительности разгона индентора датчика твердомера и радиуса сферического наконечника индентора, обеспечивающие неразрушающий контроль динамической твердости образцов без видимых следов измерений твердости на поверхности образцов. Затем были проведены более глубокие исследования в области оптимизации параметров твердомера МИТ-2 по величине доверительного интервала значений динамической твердости образцов балтийского натурального янтаря.

С целью достижения минимального значения доверительного интервала динамической твердости натурального и прессованного янтаря в проведенных исследованиях применялся многофакторный эксперимент методом крутого восхождения Бокса-Уилсона.

По результатам исследований установлены оптимальные значения длительности разгона индентора (t_0) датчика твердомера МИТ-2 и радиуса сферического наконечника индентора (R) для балтийского натурального и прессованного янтаря в пределах: $t_0 = 2,0-2,6$ мс и $R = 2,5-5$ мм. При этих параметрах твердомера МИТ-2 обеспечивается минимальный доверительный интервал в пределах 4-6 ед. динамической твердости янтаря, что практически не превышает погрешности измерения твердомера МИТ-2, которая составляет $\pm 4HL$ [5].

Оптимальные значения длительности разгона индентора (t_0) и радиуса сферического наконечника (R) твердомера МИТ-2 были приняты в сравнительных испытаниях по твердости образцов балтийского натурального янтаря и образцов декоративных смол из Индонезии и Колумбии.

Аппроксимация экспериментальных зависимостей $HL_{дин} = f(t_0)$ при $R = 2,5$ мм и $R = 5,0$ мм методом наименьших квадратов показала, что экспериментальные зависимости достаточно хорошо описываются прямой линией.

По результатам исследований сделали вывод, что динамическая твердость образцов декоративных смол из Индонезии и Колумбии значительно меньше динамической твердости образца балтийского натурального янтаря.

В таблице приведены результаты динамической твердости смол разного месторождения, измеренные твердомером МИТ-2 при длительности разгона индентора до удара о поверхность образца $t_0 = 2,6$ мс при радиусах сферического наконечника индентора $R = 2,5$ мм и $R = 5,0$ мм.

Из таблицы видно, что значения динамической твердости всех исследованных образцов при радиусе сферического наконечника индентора при $R = 2,5$ мм выше, чем при $R = 5,0$ мм.

Это, возможно, объясняется меньшей чувствительностью микропроцессорного измерителя твердости МИТ-2 по оценке динамической твердости исследуемой поверхности образца при большой кривизне сферического наконечника.

Из таблицы также видно, что динамическая твердость образцов декоративных смол из Индонезии и Колумбии значительно меньше твердости балтийского натурального янтаря, а доверительный интервал значений динамической твердости образцов декоративных смол значительно больше по сравнению с образцом натурального янтаря.

Таблица. Динамическая твердость смол разного месторождения при длительности разгона индентора до удара о поверхность образца $t_0 = 2,6$ мс

Table. Dynamic hardness of resins of different fields. Duration of the indenter acceleration before it hit the sample surface $t_0 = 2.6$ ms

Исследуемый образец природной смолы	Динамическая твердость образцов в условных единицах динамической твердости $HL_{дин}$			
	радиус индентора $R = 2,5$ мм	доверительный интервал в условных единицах динамической твердости	радиус индентора $R = 5$ мм	доверительный интервал в условных единицах динамической твердости
Янтарь (пос. Янтарный Калининградской обл.)	710	± 5	558	± 4
Образец смолы черной предположительно из Индонезии	552	± 13	453	$\pm 13,5$
Образец смолы коричневой предположительно из Индонезии	547	± 23	451	± 12
Образец смолы светло-желтой предположительно из Колумбии	325	± 23	280	± 15
Образец смолы непрозрачной молочно-желтой предположительно из Колумбии	493	± 23	453	± 18

ВЫВОДЫ

1. Определены оптимальные параметры экспериментального микропроцессорного измерителя твердости типа МИТ-2 для оценки динамической твердости методом отскока смол разного месторождения.

Рекомендуется использовать индентор с радиусом сферического наконечника, равным $R = 2,5$ мм, и применять длительность разгона индентора до удара $t_0 = 2,6$ мс.

2. Динамическая твердость образцов смол из Индонезии и Колумбии меньше динамической твердости образцов из натурального балтийского янтаря:

- при радиусе сферического наконечника индентора $R = 2,5$ мм – на 22 (54 %);
- при радиусе сферического наконечника индентора $R = 5,0$ мм – на 19 (50 %).

3. Разброс показаний динамической твердости образцов смол из Индонезии и Колумбии в 2,6-4,6 раза больше разброса показаний твердости образцов балтийского натурального янтаря.

4. Полученные результаты динамической твердости и доверительного интервала убедительно свидетельствуют, что смолы предположительно из Индонезии и Колумбии не относятся к группе янтарей.

5. Результаты исследования динамической твердости смол разного месторождения показали, что динамическая твердость образцов смол может быть принята за критерий предварительной оценки отнесения или неотнесения смолы к группе «янтари».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Фракей, Э. Янтарь / Э. Фракей: пер. с англ. – Москва: Мир, 1990. – 198 с. [HelenFraquet, Amber. Butterworth London, 1987].

2. Beck C. W. The amber trade, Savaria-Bulletin der Museen des Kohitats, vas. 16, 1982, Internationales Kolloquium, 1982, Rozlok – S'zombathely, 1983.

3. Langenheim J. H. Amber: a botanical inquiry, American Association for the Advancement of Science 164, №, 1969.

4. Savkevich S. S. Physical methods used to determine the geological origin of amber and other fossil resins some critical remarks, Physics and Chemistry of Mineral, 7, 1981.

5. Инструкция по эксплуатации микропроцессорного измерителя твердости МИТ-2 / Научно-производственное предприятие «МИТЭКС», Россия. – Калининград. – 14 с.

6. Способ измерения твердости: пат. 2052794 РФ: GO1 №3/52 / А. Я. Аронов, С. А. Третьяков, Д. Р. Синкевич; заявитель и патентообладатель Научно-производственное предприятие «МИТЭКС». – № 5018934/28; заявл. 21.11.1991; опубл. 20.01.1996.

7. Александров, Ю. П. Исследование динамической твердости натурального и прессованного янтаря / Ю. П. Александров // Известия КГТУ. – 2011. – №21. – С. 144-148.

REFERENCES

1. Frakej Je. Janar'. Per. s angl. Moscow, Mir, 1990, 198 p.
2. Beck C. W. The ambertrade, Savaria-Bulletinder Museendes Kohitats, vas. 16, 1982, InternationalesKolloquim, 1982, Rozlok – S'zombathely, 1983.
3. Langenheim J. H. Amber: a botanical inquiry, American Association for the Advancement of Science, 1969, 164 p.
4. Savkevich S. S. Physical methods used to determine the geological origin of amber and other fossil resins some czitical remarks, Physics and Chemistry of Mineral, 1981, no. 7.
5. *Instrukcija po jekspluatacii mikroprocessornogo izmeritelja tverdosti MIT-2* [Operation manual for the portable microprocessor hardness tester MIT-2]. Nauchno-proizvodstvennoe predprijatje "MITJeKS", Rossija- Kaliningrad, 14 p.
6. Aronov A. Ja., Tret'jakov S. A., Sinkevich D. R. *Sposob izmerenija tverdosti* [Procedure for measuring hardness]. Patent RF № 2.052.794 GO1 №3/52. Nauchno-proizvodstvennoe predprijatje "MITJeKS", 1991.
7. Aleksandrov Ju. P. Issledovanie dinamicheskoj tverdosti natural'nogo i pressovannogo jantarja [The research of dynamic hardness of natural and pressed amber]. *Izvestija Kaliningradskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta*, 2011, no. 21, pp. 144-148.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Александров Юрий Павлович – Калининградский государственный технический университет; доцент кафедры автоматизированного машиностроения, кандидат технических наук, доцент; E-mail: alexandrov@klgtu.ru

Alexandrov Yurij Pavlovich – Kaliningrad State Technical University; PhD. tehn. Sciences, Associate Professor of automated engineering industry department; E-mail: alexandrov@klgtu.ru

УДК 629.5.014:6.9.2 (470+571)

МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ
МАЛЫХ РЫБОЛОВНЫХ СУДОВ В БАЛТИЙСКОМ МОРЕ

К. В. Кладов, Е. Ю. Говязина, А. В. Бондарь

METEOROLOGICAL AND ECONOMIC OPERATING CONDITION OF
SMALL FISHING VESSELS IN THE BALTIC SEA

K. V. Kladov, E. Yu. Govyazina, A. V. Bondar

Рассматриваются результаты системного анализа метеорологических условий, связанные с изменением показателей волнения и ветра на Балтике за последние несколько лет, а также показатели вылова рыбы малыми судами в прибрежной зоне Калининградской области. Траулеры и сейнеры - основная группа добывающих судов морского рыболовства. Они вылавливают более половины объектов рыбного промысла и образуют один из наиболее многочисленных отрядов судов самых разнообразных модификаций. Вместе с тем следует отметить, что морской рыболовный флот Калининградской области составляют малые промысловые суда советской постройки, которые имеют невысокие технико-экономические показатели. Уровень безопасности мореплавания, с учетом физического старения, ухудшается. Сегодня постройка новых судов отечественных проектов является актуальной задачей. Для обоснованного определения основных элементов и характеристик новых судов такого типа необходимо располагать данными о метеорологических условиях их эксплуатации и экономическими показателями их эксплуатации. Решению этой важной хозяйственной задачи посвящена настоящая статья.

скорость ветра, высота волны на Балтике, экономические условия, эксплуатация малых судов на Балтике

The article presents the results of the system analysis of meteorological conditions associated with changes in wave and wind indicators on the Baltic Sea over the last few years, as well as characteristics of fish catches by small vessels in the coastal zone of the Kaliningrad region. Trawlers and seiners make a main group of marine fishery vessels. They produce more than half of the objects of fishing and constitute one of the largest groups of ships in a wide variety of modifications. However, it should be noted that marine fishing fleet of the Kaliningrad region consists of small fishing vessels built in Soviet time that have low technical and economic indicators. Taking into account physical aging of ships, the level of navigation safety is deteriorating.

Modernization of vessels and development of new domestic projects is an urgent task today. To identify the main elements and characteristics of such vessels it is necessary to have data on the weather conditions and conditions of their operation. The present article is concerned with the solution of this important problem.

wind speed, wave height on the Baltic Sea, economic conditions, operation of small vessels in the Baltic Sea

ВВЕДЕНИЕ

В условиях рыночной экономики создание эффективного маломерного флота требует обоснованного принятия решений по основным элементам и характеристикам уже на ранних стадиях проектирования. Применение системного подхода [1, 2] и современных методик [3] при проектировании объектов морской техники, а также знание условий эксплуатации этих судов позволяют значительно расширить перечень исследуемых элементов и характеристик судна и улучшить те или иные его качества за счет проведения оптимизационных расчетов. Анализ малых рыболовных судов [4-7] показал, что они имеют общие компоновочные решения. Архитектурный тип различают по расположению надстройки и машинного отделения. На сегодняшний день преобладают суда с носовым размещением надстройки, что освобождает место для рабочей зоны главной палубы. Штурманская и рулевая рубки в одном помещении в надстройке вместе с постом управления обеспечивают: возможность постоянного наблюдения за движением судна; хорошую видимость и максимальный обзор поверхности воды; хорошую слышимость звуковых сигналов встречных судов; возможность наблюдения за работой орудий лова. Машинное отделение находится в корме, что удобно для ремонта и обеспечивает достаточные объемы трюмов и танков, а также позволяет поддерживать постоянную осадку кормой. Однако при таком расположении, если трюм в средней части не загружен, судно может испытывать удары волн под кормовой подзор; кроме того, при обеспечении непотопляемости затруднительно предусмотреть подпалубные коммуникации между жилыми помещениями и открытой палубой. В табл. 1 представлен ряд проектов малых рыболовных судов, часть из которых используется и в настоящее время.

Таблица 1. Главные размерения малых рыболовных судов
Table 1. Main dimensions of small fishing vessels

№ п/п	Номер проекта	Главные характеристики							
		Длина габаритная	Длина между перпендикулярами	Ширина на габаритная	Ширина расчетная	Осадка средняя в грузу	Высота борта до верхней палубы	Водоизмещение наибольшее	Дедвейт
		L, м	L _{пп} , м	B, м	B _р , м	T _{ср} , м	H, м	D, т	D _w , т
1	1328	25,50	22,00	7,00	6,80	2,37	3,30	174,0	30,0
2	В-410	25,80	23,00	-	7,20	2,70	3,50	-	60,0
3	12961	35,72	31,00	8,92	8,80	3,47	6,07	549,0	120,5
4	1296	35,72	31,00	8,92	8,80	3,47	5,95	550,0	150,0
5	1330	26,50	22,90	6,59	6,50	2,27	3,05	181,0	63,0
6	13303	26,48	22,39	6,59	6,50	2,32	3,00	176,0	60,0
7	РС-300	29,34	25,00	-	6,20	2,65	3,00	240,0	64,0
8	1336	27,54	24,81	-	6,70	2,98	3,70	262,7	37,0
9	РБ-150	27,20	24,00	6,20	5,50	1,84	2,50	149,0	31,0
10	1322P	23,72	20,97	6,15	6,00	1,94	2,67	145,0	23,0

Учитывая моральное и физическое старение флота, некоторые рыбооловецкие колхозы на данный момент провели модернизацию устаревших судов (к примеру таких, как МРТК типа «Балтика»). В результате суда стали наливными с системой RSW. Следует понимать, что модернизация устаревших судов не позволяет решить в полной мере проблемы обеспечения современных требований безопасности и комфорта экипажа на борту.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для малых судов важное значение имеют условия эксплуатации (волнение и сила ветра) и экономические показатели (месячный улов и число выходов на промысел).

В наших исследованиях были взяты данные по скорости ветра на высоте 10 м и температуре на высоте 2 м. Время, при котором получены значения, соответствует 00 ч 00 мин. Высота волны определялась в трёх временных точках: 06:00, 12:00, 18:00.

Для определения значений по скорости ветра, температуре, волнению Балтийское море вблизи Калининградской области было поделено на шесть метеорологических зон: А, Б, В, Г, Д, Е. Выделенные зоны представлены на рис. 1. Расстояние на отрезке 1-3 составляет 25 км, 3-6 – 50 км, 6-9 – 100 км.

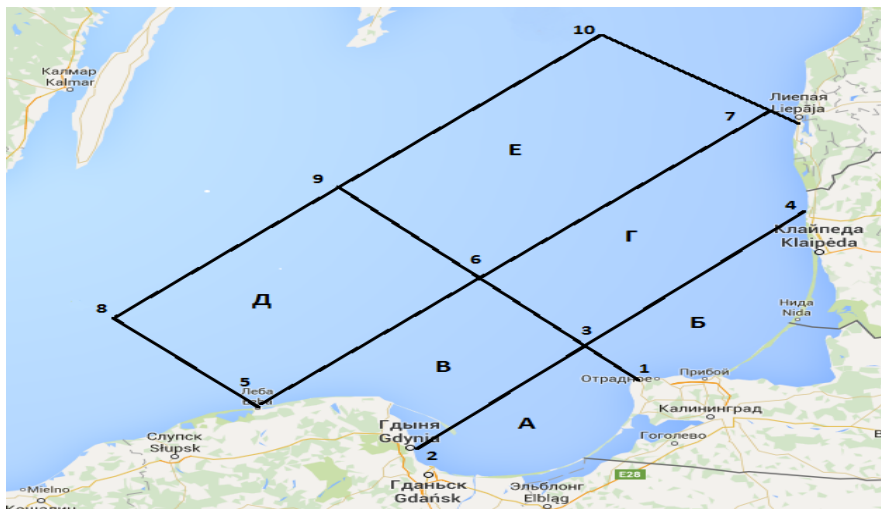


Рис. 1. Деление района Балтийского моря на метеорологические зоны
Fig. 1. Division of the Baltic Sea into meteorological zones

Точки на рисунке соответствуют следующим координатам:

т.1 – 54° 57' 38.9" N	19° 58' 36.8" E;	т.6 – 55° 26' 23.3" N	19° 03' 11.2" E;
т.2 – 54° 30' 04.1" N	18° 36' 51.8" E;	т.7 – 56° 31' 00.9" N	20° 51' 40.7" E;
т.3 – 55° 06' 44.2" N	19° 41' 10.6" E;	т.8 – 55° 17' 58.8" N	16° 44' 43.6" E;
т.4 – 55° 53' 05.1" N	21° 00' 33.4" E;	т.9 – 56° 05' 32.1" N	18° 01' 26.8" E;
т.5 – 54° 47' 28.1" N	17° 35' 58.9" E;	т.10 – 56° 59' 38.8" N	19° 21' 34.1" E.

По данным метеорологических исследований были проанализированы значения скорости ветра в районе Балтийского моря, см. рис. 1, за период с апреля 2012 по апрель 2015гг. По каждому месяцу найдены средние значения (ср. значения), минимальные значения (мин. значения) и пиковые максимальные значения (макс. значения). Результаты системного анализа скорости ветра представлены на рис. 2-6.

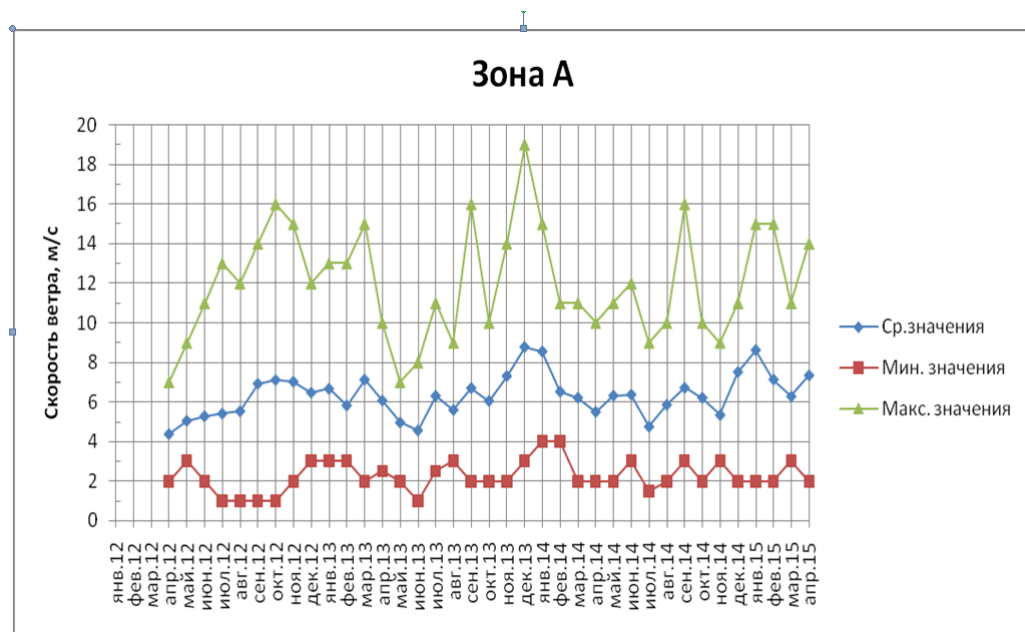


Рис. 2. Скорость ветра в зоне А

Fig. 2. Wind speed in area A

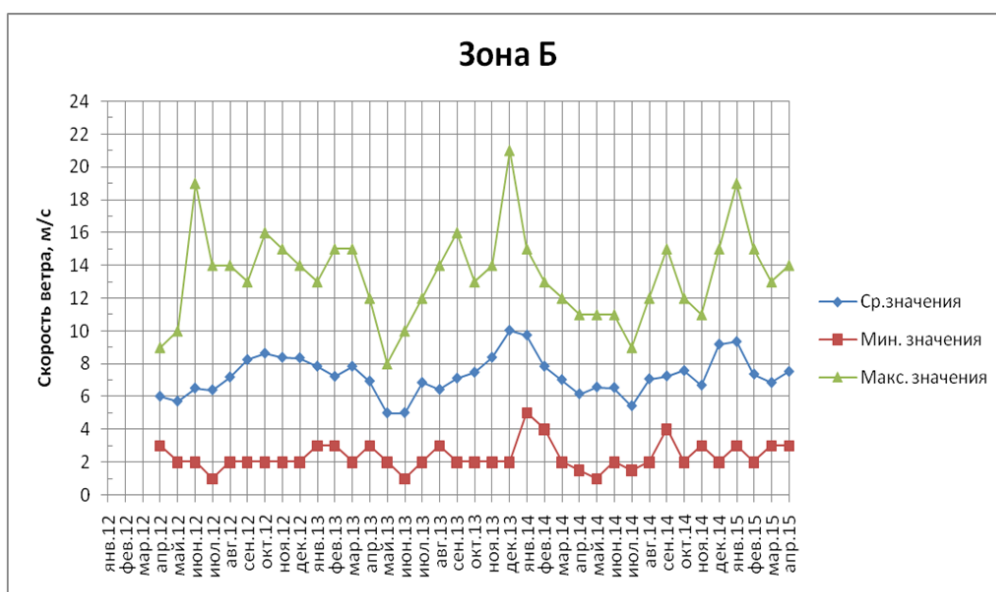


Рис. 3. Скорость ветра в зоне Б

Fig. 3. Wind speed in area B

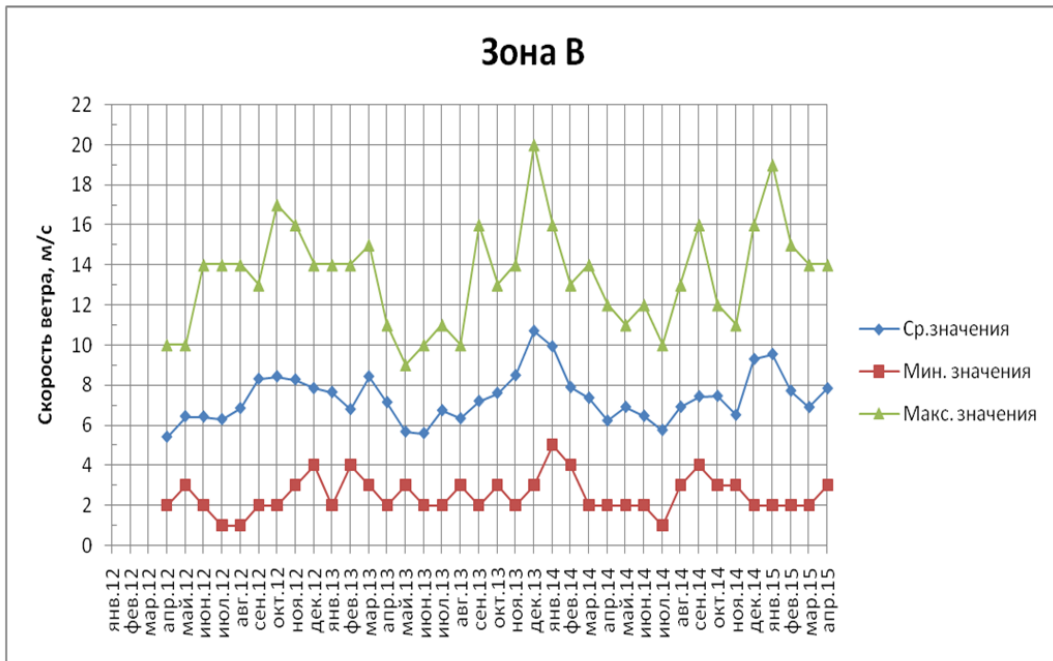


Рис. 4. Скорость ветра в зоне В
Fig. 4. Wind speed in area B

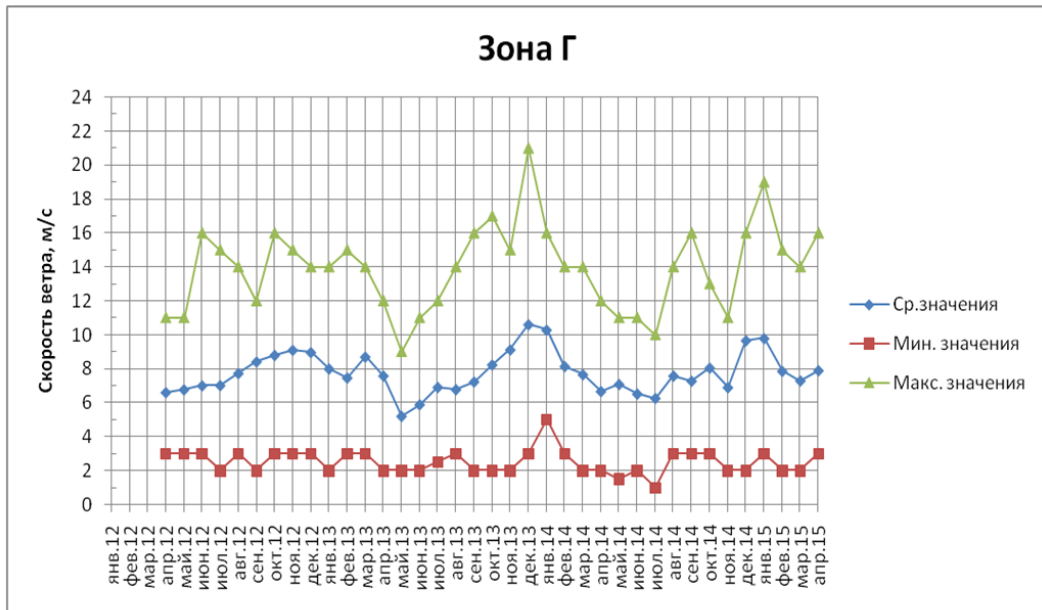


Рис. 5. Скорость ветра в зоне Г
Fig. 5. Wind speed in area G

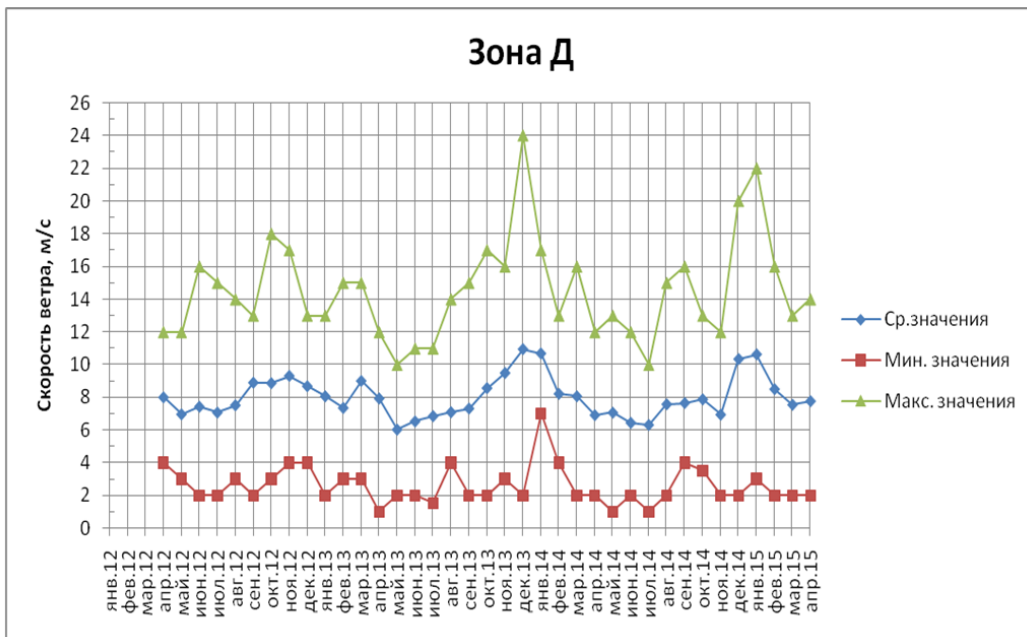


Рис. 6. Скорость ветра в зоне Д
Fig. 6. Wind speed in area Д

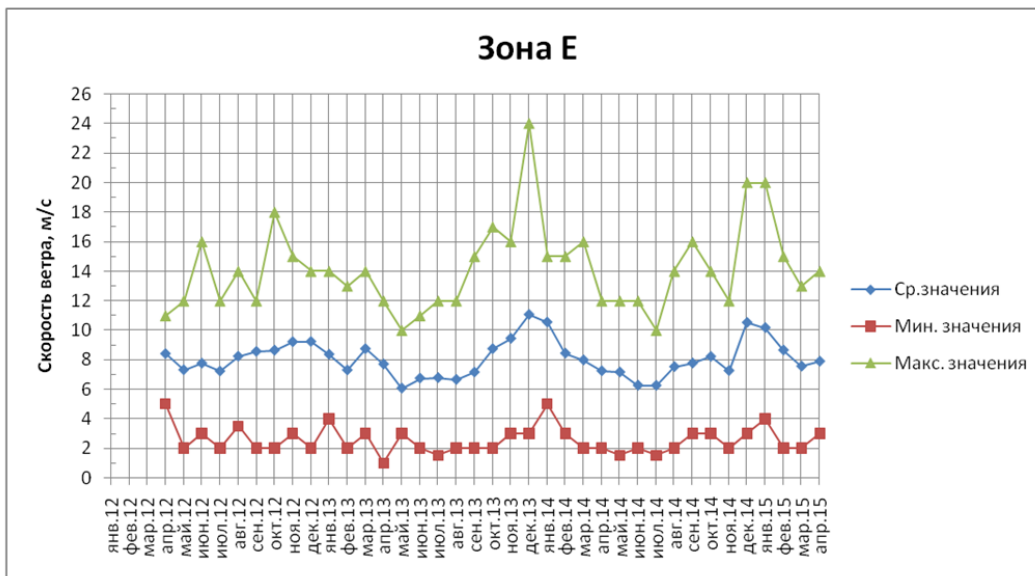


Рис. 7. Скорость ветра в зоне Е
Fig. 7. Wind speed in area E

Данные по высоте волны нами взяты за период с мая 2013 по май 2015 г. По каждому месяцу были найдены средние значения (ср. значения) и пиковые значения (макс. значения). Результаты представлены на рис. 8 - 13.

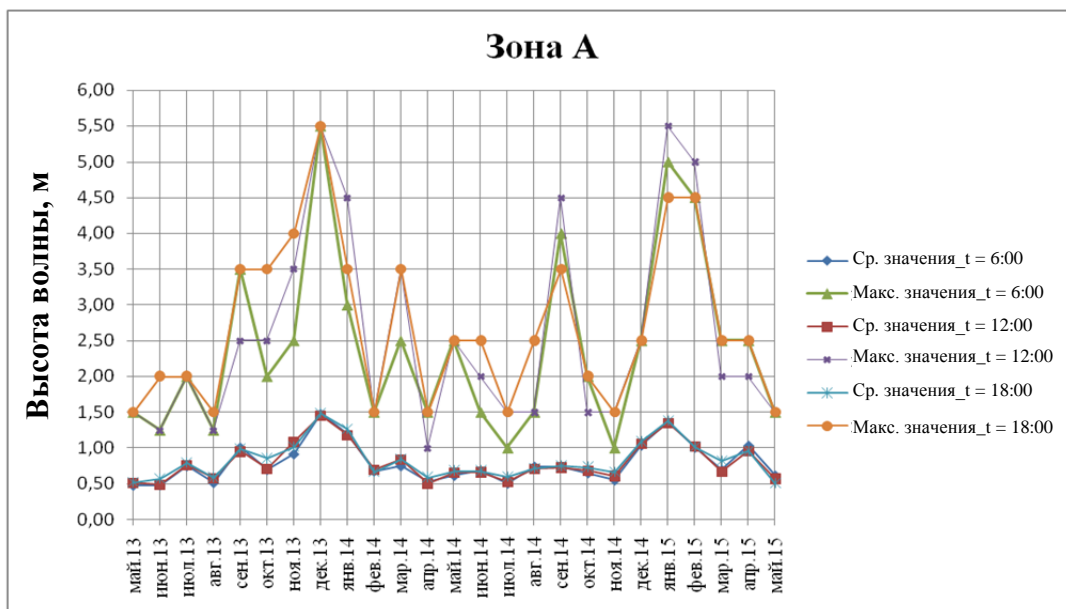


Рис. 8. Высота волны в зоне А

Fig. 8. Wave height in area A

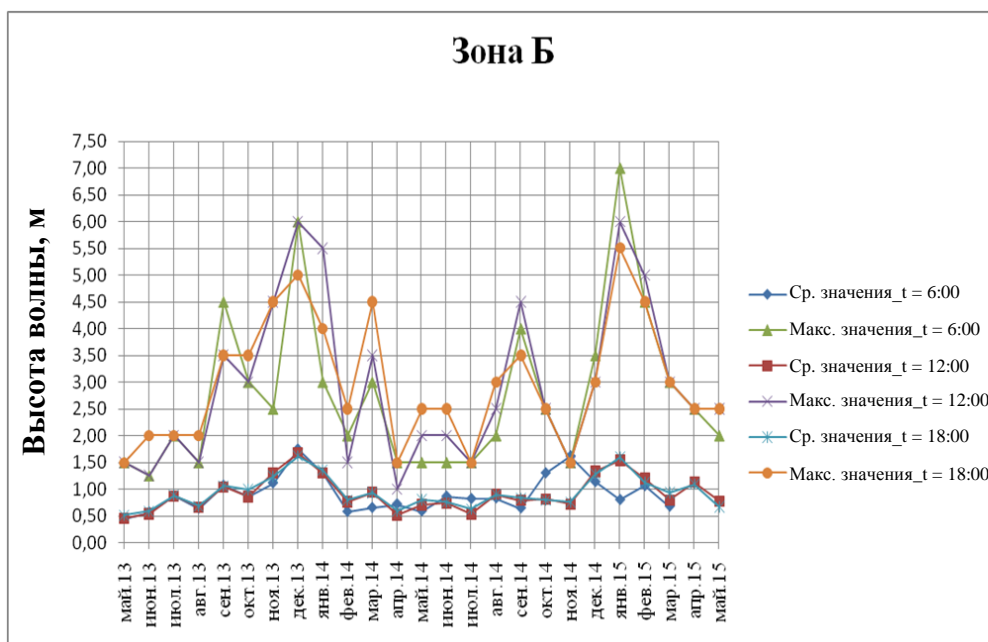


Рис. 9. Высота волны в зоне Б

Fig. 9. Wave height in area B

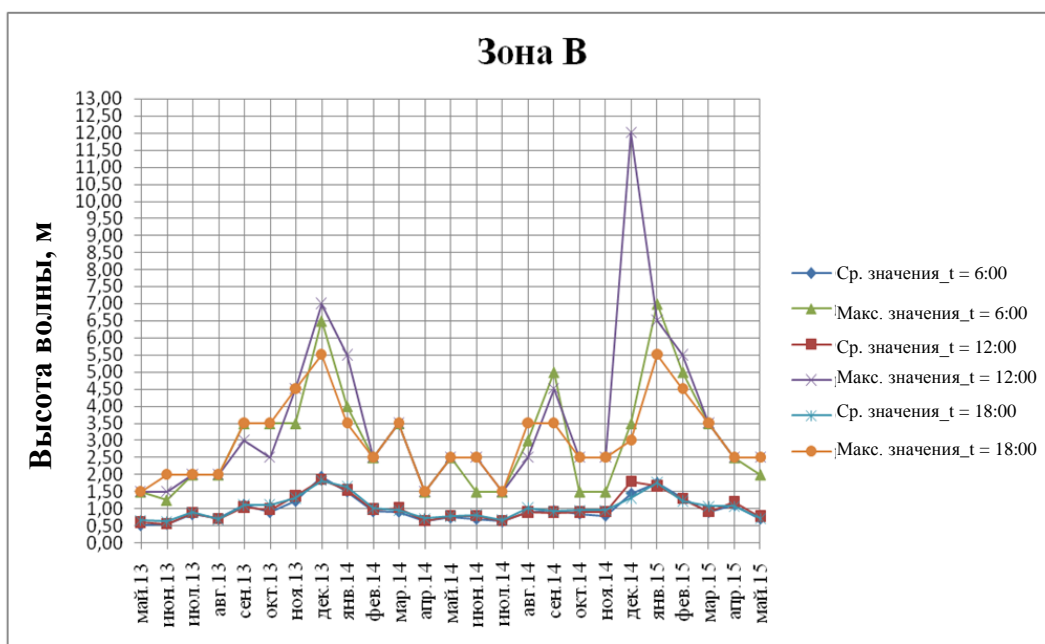


Рис. 10. Высота волны в зоне В
Fig. 10. Wave height in area B

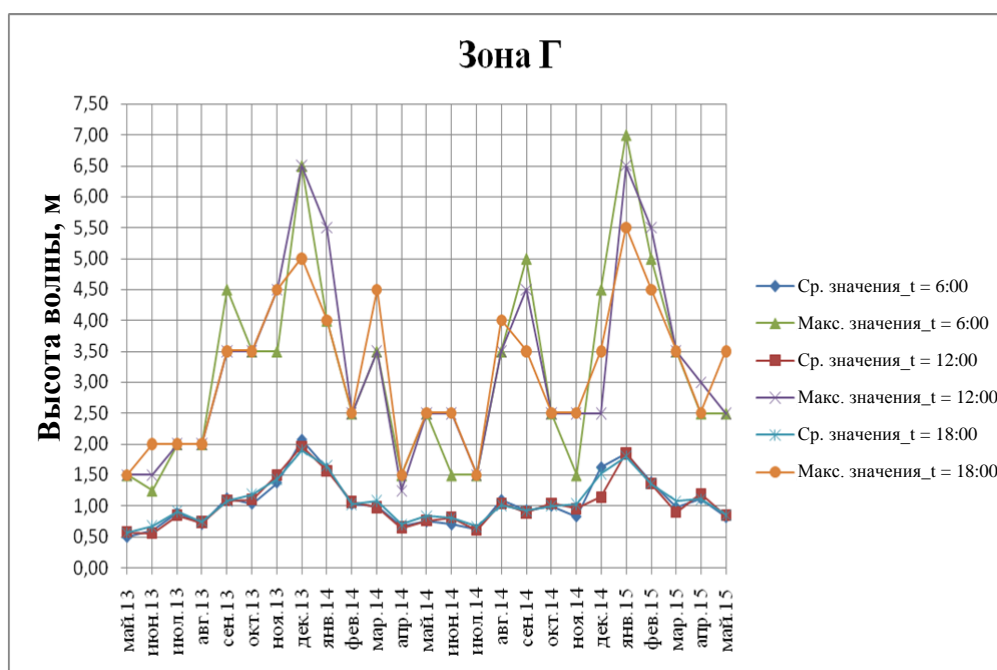


Рис. 11. Высота волны в зоне Г
Fig. 11. Wave height in area Г

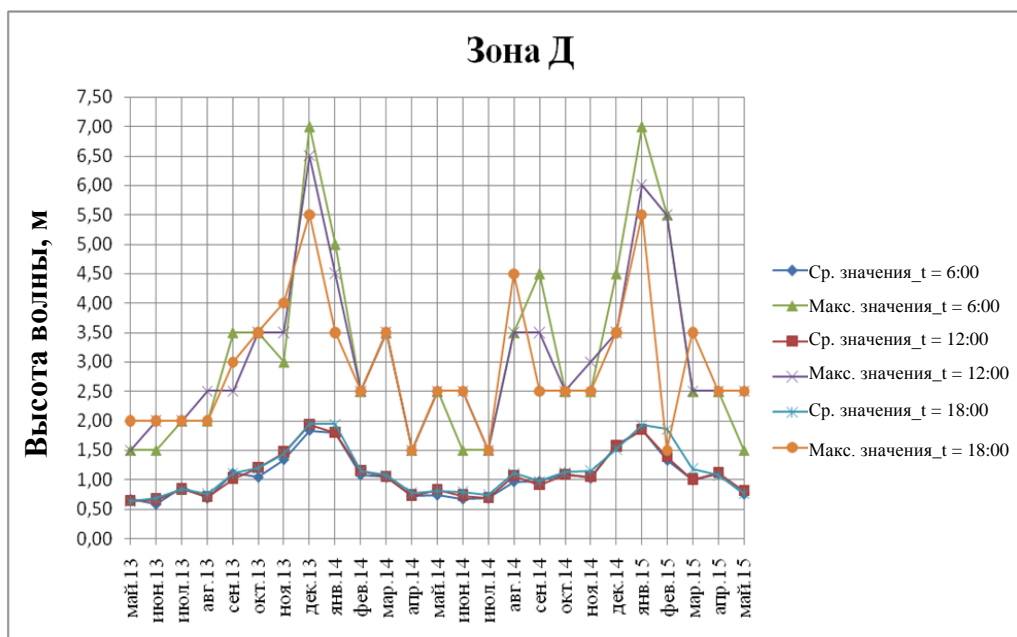


Рис. 12. Высота волны в зоне Д
Fig. 12. Wave height in area Д

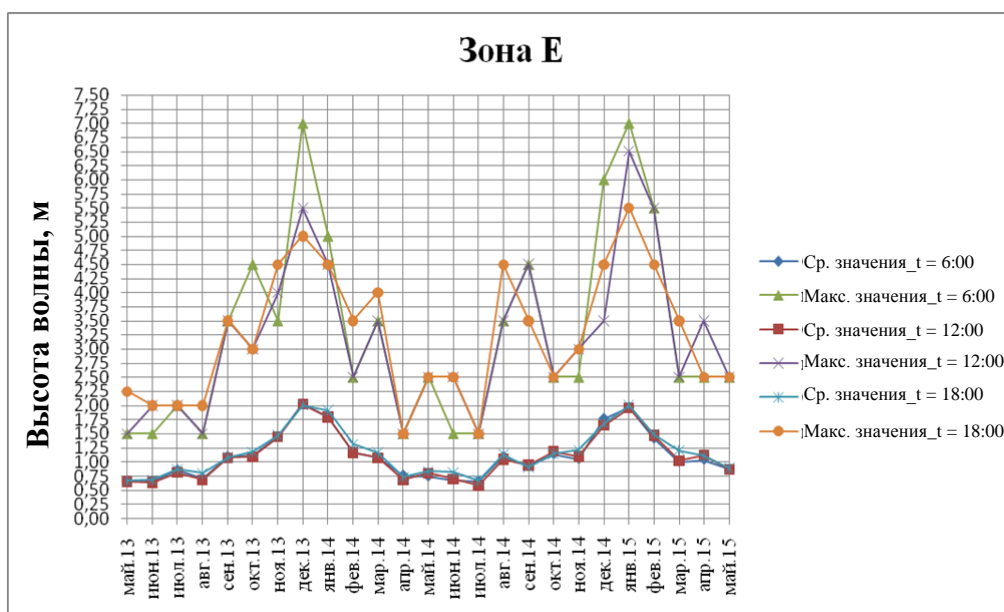


Рис. 13. Высота волны в зоне Е
Fig. 13. Wave height in area Е

В результате мы можем однозначно сказать, что в Калининградской области увеличение показателей высоты волны и скорости ветра приходится на зимние месяцы (декабрь – февраль), что не влияет на осуществление рыболовецкой

деятельности в зонах А-Е, показанных на рис. 1. Тем не менее данное исследование позволяет сделать оценочные расчеты влияния на маломерные промысловые суда предельных значений высоты волны и скорости ветра.

Важными условиями для дальнейшей эксплуатации являются экономические, связанные с количеством месячного улова и выходов промысловых судов в море. Эти условия могут помочь выявить необходимость в тех или иных производственных мощностях, объемах трюмов новых судов, мощности главной энергоустановки, автономности и дальности плавания.

По данным рыболовецкого колхоза «За Родину», был построен график вылова рыбы в тоннах в месяц за период с 2012 по 2015 г., показанный на рис.14.

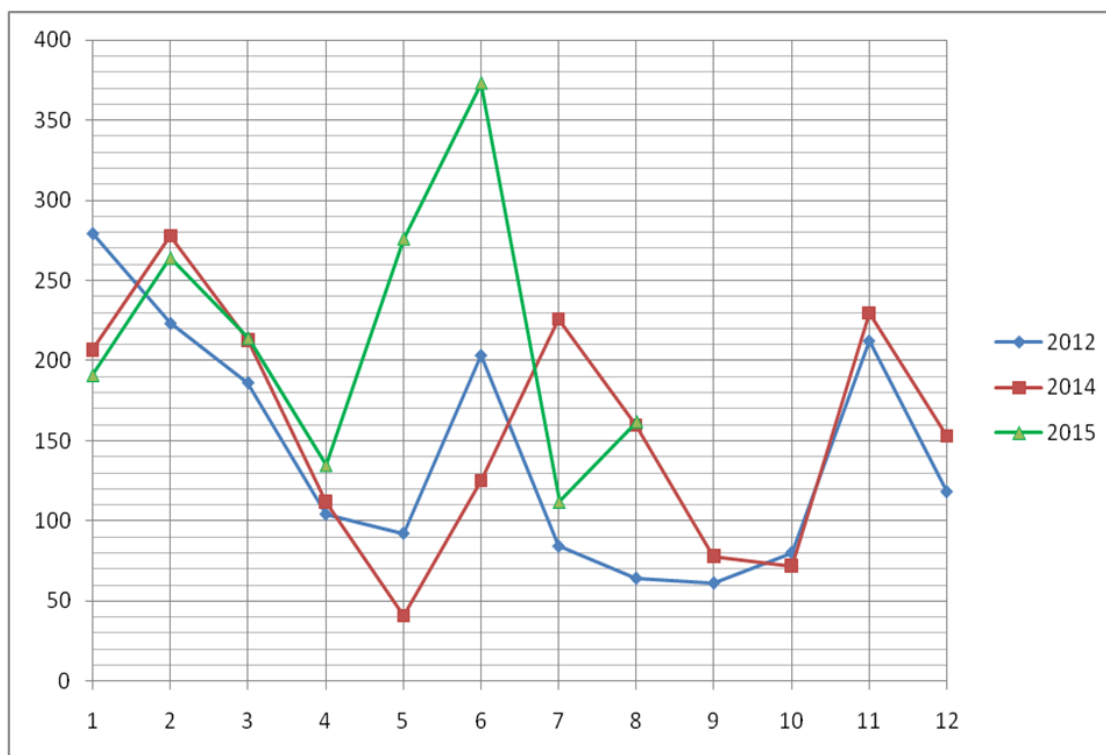


Рис. 14. Среднее значение количества тонн рыбы в месяц

Fig. 14. The average number of tons of fish per month

График отражает изменения вылова рыбы и зависит от различных факторов, таких как: количество выходов на промысел; экономическая обстановка (особенно 2015 г.); погодные условия; модернизация судов; людской фактор (отпуск, болезни, нехватка рабочего персонала); поломки и ремонт судов.

ВЫВОДЫ

1. Получены статистические данные о метеорологических условиях в районах эксплуатации малых рыболовных судов в Балтийском море.

2. Результаты исследования метеорологических условий позволяют учесть воздействие внешней среды на рыболовное судно при проектировании или

модернизации маломерных судов и более точно определить главные размерения и основные характеристики, принимая во внимание значения улова, волнения и скорости ветра за последние несколько лет.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гайкович, А. И. Теория проектирования водоизмещающих кораблей и судов: в 2 т. / А. И. Гайкович. – Санкт-Петербург: Изд-во НИЦ МОРИНТЕХ, 2014. – Т. 1. Описание системы «Корабль». - 819 с.
2. Гайкович, А. И. Теория проектирования водоизмещающих кораблей и судов: в 2 т. / А. И. Гайкович. – 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. Слижевский, Н. Б. Энциклопедия судов / Н. Б. Слижевский, Ю. М. Король, В. Ф. Тимошенко; под общ. ред. проф. Н. Б. Слижевского. – Николаев: НУК, 2005. – 172 с.
5. Флот рыбной промышленности. Справочник типовых судов. – Ленинград: ГИПРОРЫБФЛОТ, 1972. – 460 с.
6. Флот рыбной промышленности. Справочник типовых судов / под общ. ред. Б.А. Антипова. – Москва: Транспорт, 1990. – 381 с.
7. Флот рыбной промышленности социалистических стран [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <http://soviet-trawler.narod.ru>

REFERENCES

1. Gajkovich A. I. *Teorija projektirovanija vodoizmeshhajushhih korablej i sudov* [Displacement-type ships design theory]. Saint-Petersburg, Izd-vo NIC Morinteh, 2014, vol. 1, 819 p.
2. Gajkovich A. I. *Teorija projektirovanija vodoizmeshhajushhih korablej i sudov* [Displacement-type ships design theory]. 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* [Identification of the main elements and characteristics of the average fishing trawlers in the early stages of design]. *Vestnik AGTU, Morskaja tehnika i tehnologija*, 2009, no. 2, pp. 19-25.
4. Slizhevskij N. B., Korol' Ju. M., Timoshenko V. F. *Jenciklopedija sudov* [Encyclopedia of ships]. Nikolaev, NUK, 2005, 172 p.
5. *Flot rybnnoj promyshlennosti. Spravochnik tipovyh sudov* [Vessels of the fishing fleet. Reference book of model ships]. Leningrad, Giproribflot, 1972, 460 p.
6. *Flot rybnnoj promyshlennosti. Spravochnik tipovyh sudov* [Vessels of the fishing fleet. Reference book of model ships]. Moscow, Transport, 1990, 381p.
7. *Flot rybnnoj promyshlennosti socialisticheskikh stran* [Vessels of the fishing fleet of the socialist countries]. Available at: <http://soviet-trawler.narod.ru>

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Кладов Кирилл Владимирович – Калининградский государственный технический университет; аспирант кафедры кораблестроения; судостроительный завод «Янтарь», конструктор 1-й категории; E-mail: kladoproject@mail.ru

Kladov Kirill Vladimirovich – Kaliningrad State Technical University; post-graduate student of the Department of shipbuilding; shipbuilding yard “Yantar”, first rank design engineer; E-mail: kladoproject@mail.ru

Говязина Екатерина Юрьевна – Калининградский государственный технический университет; ООО «Ушаковские верфи», инженер-технолог

Govyazina Ekaterina Yurievna – Kaliningrad State Technical University; Shipbuilding Company “Ushakovo yards”, process engineer

Бондарь Андрей Валентинович – Институт океанологии РАН им. П.П. Ширшова, г. Калининград; инженер-испытатель

Bondar Andrey Valentinovich – P. P. Shirshov Institute of Oceanology, Kaliningrad; test engineer

УДК 624.042: 629.5.024

ДЕМПФИРУЮЩИЙ ЭФФЕКТ ЖИДКОСТИ ПРИ КОЛЕБАНИЯХ СУДОВЫХ
ТРУБОПРОВОДОВ МАЛОГО ДИАМЕТРА

В. И. Сутырин, И. А. Шинкаренко, Е. И. Короткая

THE DAMPING EFFECT OF THE LIQUID AT VIBRATIONS SMALL DIAMETER
PIPELINES OF SHIP

V. I. Sutyurin, I. A. Shinkarenko, E. I. Korotkaya

Одним из факторов, существенно влияющих на безопасность мореплавания, является повышенная вибрация, приводящая к разрушению корпусных конструкций. В качестве эффективного метода борьбы с повышенной вибрацией на судах широкое распространение получила виброизоляция. В статье предложена и реализована методика численного моделирования и расчетно-экспериментального исследования демпфирующего эффекта жидкости при колебаниях судовых трубопроводов. В основу ее разработки положен метод структуризации, заключающийся в построении преобразованной расчетной модели, объединяющей ограниченное число расчетных узлов исходного конечно-элементного разбиения анализируемого объекта. Определены характеристики демпфирования трубопровода жидкостью. Построены зависимости коэффициента демпфирования колебаний трубы от частоты. Судовой дизель (дизель-генератор) является источником колебаний, которые распространяются на судовые трубопроводы, являющиеся для двигателей неопорными связями. Гашение колебаний трубопроводов производится при помощи виброизолирующих подвесок, связывающих трубопровод с внешними опорными конструкциями. Проектирование подвесок осложняется необходимостью учета в расчетах вибрации трубопроводов демпфирующего эффекта, возникающего вследствие заполнения их жидкостью (водой, топливом). Для оценки характеристик демпфирования необходимо объединение экспериментальных и расчетных методов. Настоящая статья посвящена разработке методики подобной оценки. Для построения форм колебаний по полученным экспериментальным данным использовалось программное обеспечение «Визуализатор колебаний», разработанное Институтом прикладной физики РАН. Экспериментальные исследования позволили получить резонансные частоты и формы колебаний пластины как в воздухе, так и в воде. Построение конечно-элементной модели металлической пластины выполнялось с применением конечного элемента типа SOLID186 (комплекс ANSYS) с плотностью материала 4450 кг/м^3 , модулем Юнга $1.2 \times 10^{11} \text{ Па}$ и коэффициентом Пуассона 0,35.

анализ колебаний, численное моделирование, судовые трубопроводы, метод конечных элементов, коэффициент демпфирования

One of the factors which is influencing safety of navigation is the increased vibration leading to destruction of ship hull structure. The vibration insulation is widely

distributed as an effective method of fight against the increased vibration on ships. Methods of numerical modeling and analytical and experimental study of the effect of the damping fluid in the vibrations of ship pipelines proposed and implemented in this paper. The structurization method is in a basis of development, it consists in construction of the transformed settlement scheme and unites limited number of checkouts of initial final-element splitting in analyzed object. The characteristics of the damping pipeline by fluid were determined. Dependence of damping coefficient of the frequency of the pipe were constructed. The ship diesel (diesel generator) is a source of fluctuations. These fluctuations extend to the ship pipelines which are not basic communications for engines. Clearing of fluctuations of pipelines is made by the anti-vibration suspension brackets connecting the pipeline with external supporting constructions. Design of suspension brackets is complicated by need of the account for vibration calculations of pipelines of the damping effect arising by filling with their liquid (water, fuel). We need the combination of experimental and calculation methods for the estimate of damping characteristics. The paper is devoted to constructed technique of such estimate. We used the software "A visualizer of fluctuations" developed by Institute of Applied Physics of the Russian Academy of Sciences for creation forms of fluctuations via the obtained experimental data. Experimental researches have allowed to receive resonant frequencies and forms of fluctuations of a plate in both cases: in air and in water. Construction of final and element model of a metal plate was made by application of a final element of type SOLID186 (ANSYS complex) with a material density 4450 kg/m³, the Ung's module 1.2x10¹¹ Pa and Poisson's coefficient 0,35.

vibration analysis, numerical modeling, ship pipelines, finite element method, damping coefficient

ВВЕДЕНИЕ

Судовой дизель (дизель-генератор) является источником колебаний, которые распространяются на судовые трубопроводы, являющиеся для двигателей неопорными связями (рис.1).

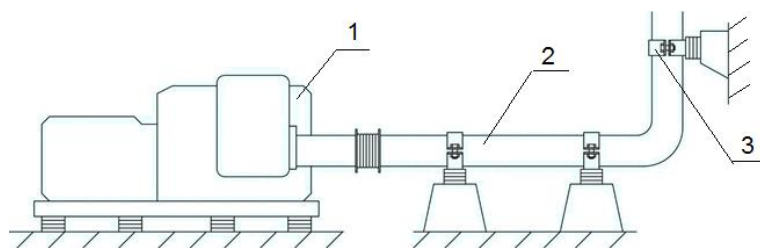


Рис.1. Колебательная система, объединяющая судовой дизель-генератор с трубопроводом малого диаметра: 1 - двигатель; 2 - трубопровод; 3 - виброизолирующая подвеска

Fig. 1. The fluctuating system is uniting the ship diesel generator with the pipeline of small diameter: 1- engine; 2 - pipeline; 3 – vibration insulation suspension

Гашение колебаний трубопроводов производится при помощи виброизолирующих подвесок, связывающих трубопровод с внешними опорными кон-

струкциями. Проектирование подвесок осложняется необходимостью учета в расчетах вибрации трубопроводов демпфирующего эффекта, возникающего вследствие заполнения их жидкостью (водой, топливом). Для оценки характеристик демпфирования необходимо объединение экспериментальных и расчетных методов. Настоящая статья посвящена разработке методики подобной оценки.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Колебания судового трубопровода описываются матричным дифференциальным уравнением следующего вида [1]:

$$\|M\|d^2\{X(t)\}/dt^2 + \|C\|d\{X(t)\}/dt + \|K\|\{X(t)\} = \{P(t)\}, \quad (1)$$

где $\|M\|$ — матрица массы; $\|C\|$ — матрица демпфирования; $\|K\|$ — матрица жесткости; $\{X(t)\}$ — вектор узловых перемещений; $\{P(t)\}$ — вектор внешних нагрузок.

В расчетах предполагается, что демпфирование является классическим, т. е. пропорциональным матрицам жесткости K и массы M :

$$C = \alpha K + \beta M, \quad (2)$$

где $\alpha[c^{-1}]$ и $\beta[c]$ представляют собой коэффициенты, определяемые экспериментальным путем [1, 2]. При этом учитывается, что α и β связаны с безразмерным коэффициентом демпфирования ξ и частотой колебаний ω следующей зависимостью:

$$\xi = \alpha/(2\omega) + \beta\omega/2. \quad (3)$$

В свою очередь, коэффициент демпфирования можно определить через модальный декремент затухания $\delta = \ln(x_1/x_2)$, где x_1 и x_2 — последовательные амплитуды колебаний, измеренные за цикл затухающих колебаний:

$$\xi = \delta / [(2\pi)^2 + \delta^2]^{1/2}. \quad (4)$$

В первом приближении для определения α и β достаточно решить систему уравнений, составленную для двух модальных частот ω_1 и ω_2 :

$$\begin{aligned} \xi_1 &= \alpha/(2\omega_1) + \beta\omega_1/2, \\ \xi_2 &= \alpha/(2\omega_2) + \beta\omega_2/2. \end{aligned} \quad (5)$$

Возможен также иной путь определения коэффициента демпфирования ξ и коэффициентов α и β . Он основан на использовании вибратора, задающего силу гармонического воздействия на изучаемый объект. Формируя конечно-элементную расчетную модель объекта и используя технику приведения коэффициентов жесткости и массы объекта к перемещению, вдоль которого действует гармоническая вынуждающая сила с амплитудой F_0 , можно построить осциллятор с обобщенными массой m , жесткостью k и коэффициентом демпфирования (сопротивления) c :

$$m\ddot{x} = -kx - c\dot{x} + F_0 \cos(\Omega t). \quad (6)$$

Вводя обозначения

$$\omega_0^2 = \frac{k}{m}, \quad \Phi_0 = \frac{F_0}{m}, \quad \zeta = \frac{c}{2\sqrt{km}},$$

переходим к следующей форме уравнения колебаний:

$$\ddot{x} + 2\zeta\omega_0 \dot{x} + \omega_0^2 x = \Phi_0 \cos(\Omega t). \quad (7)$$

Средством приведения жесткостей и масс служат матрично-векторные равенства следующего вида [3]:

$$\|R'_{\rho\rho}\| = \|R_{\rho\rho}\| - \|R_{\rho n}\| \cdot \|R_m\|^{-1} \cdot \|R_{n\rho}\|, \quad (8)$$

$$\|M'_{\rho\rho}\| = \|M_{\rho\rho}\| + \|G\| \cdot \|G\|^T, \quad (9)$$

$$\|G\| = -\|L\|^T \cdot \|M_m\|^{-1/2}, \quad \|L\| = -\|R_m\|^{-1} \cdot \|R_{n\rho}\|, \quad (10)$$

где $\|R'_{\rho\rho}\|$ и $\|M'_{\rho\rho}\|$ – приведенные матрицы коэффициентов жесткости и массы; $\|R_{\rho\rho}\|$, $\|M_{\rho\rho}\|$ – аналогичные матрицы коэффициентов в исходных матрицах колебательной системы; $\|R_m\|$ и $\|M_m\|$ – блок-матрицы коэффициентов жесткости и массы исключаемых перемещений n ; $\|R_{\rho n}\|$ и $\|R_{n\rho}\| = \|R_{\rho n}\|^T$ – блок-матрицы коэффициентов жесткости взаимного влияния перемещений. Расчет с использованием матрично-векторных равенств (8)-(10) реализован авторами в специализированной программе [4], использующей в качестве исходной расчетной модели конечно-элементную модель.

Для установившегося колебательного процесса осциллятора частное решение уравнения (7) можно записать в следующем виде [5]:

$$x(t \rightarrow \infty) = \Phi_0 \frac{(\omega_0^2 - \Omega^2) \cos \Omega t + 2\zeta \Omega \sin \Omega t}{(\omega_0^2 - \Omega^2)^2 + 4\zeta^2 \Omega^2} = \frac{\Phi_0}{\sqrt{(\omega_0^2 - \Omega^2)^2 + 4\zeta^2 \omega_0^2 \Omega^2}} \cos(\Omega t - \varphi), \quad (11)$$

$$\varphi = -\arctan \frac{2\zeta n \omega_0}{\omega_0^2 - \Omega^2}.$$

Амплитуда колебаний осциллятора x_m при заданной частоте вынуждающей силы определяется экспериментальным путем, а также непосредственно из (11):

$$x_m = \frac{\Phi_0}{\sqrt{(\omega_0^2 - \Omega^2)^2 + 4\zeta^2 \omega_0^2 \Omega^2}}. \quad (12)$$

В свою очередь, из (12) можно получить безразмерный коэффициент демпфирования для заданной частоты колебаний объекта

$$\zeta = [(\Phi_0 / x_m)^2 - (\omega_0^2 - \Omega^2)^2]^{1/2} / 2 \omega_0 \Omega. \quad (13)$$

Коэффициенты α и β определяются путем формирования и решения системы уравнений (5). Корректный выбор мест установки вибратора и датчиков в экспериментальных исследованиях обеспечивается предварительным модальным анализом, выполненным с применением современных программных комплексов CAE- класса (например, NX NASTRAN, ANSYS и др.).

Для проведения экспериментальных исследований использовался ударный молоток V&K 8202 со встроенным датчиком силы V&K 8200, имеющим выход по заряду (рис. 2).

Согласование выхода датчика силы с входом анализатора выполнялось с помощью усилителя заряда AP5000/10. Вибрационный отклик измерялся акселерометром V&K 4514B, имевшим встроенный усилитель [6]. Работа измерительного комплекса проверялась при анализе различных объектов путем сопоставления экспериментальных и расчетных данных. В качестве примера приведем результаты модального анализа прямоугольной пластины, изготовленной из титанового сплава и имеющей размеры в плане 0,810 x 0,532 x 0,004 м. Пластина подвешивалась в вертикальном положении с помощью двух нитей, закрепленных по углам.

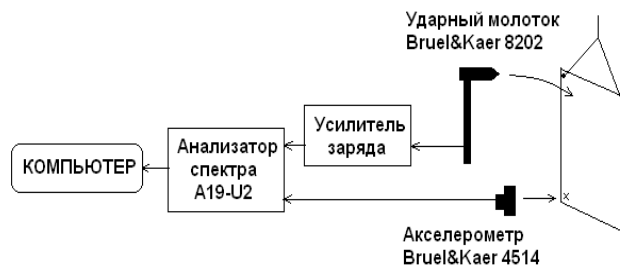


Рис. 2. Схема измерений характеристик вибрации с помощью ударного молотка
 Fig. 2. The scheme of measurements of vibration characteristics by the shock hammer

Датчик вибрации устанавливался в угловой точке. Возбуждение колебаний пластины производилось ударным молотком последовательно во всех точках измерений (контрольных точках), которые были распределены по плоскости пластины в узлах равномерной координатной сетки с шагом 50 мм. Таким образом, была получена координатная сетка из 176 точек (11x16).

Цифровой сигнал преобразовывался на компьютере с помощью специализированного программного обеспечения (ПО) ZETLab "Модальный анализ". С его помощью производилось выделение ударов в сигнале и их последующее преобразование Фурье. В результате был получен спектр передаточной функции в комплексном виде, содержащий амплитудную и фазовую составляющие. Применяемая частота дискретизации – 5000 Гц, анализируемый временной интервал – 4 с.

Для эксперимента в водной среде пластина заглублялась в бассейне и удерживалась горизонтально при помощи четырех невесомых растяжек на глубине около 0.5 м. При измерениях в водной среде пластина возбуждалась штангой (в форме иглы), в которой был установлен акселерометр B&K 4514В. Отклик измерялся с помощью подводного акселерометра ДГ-1 (рис.3).

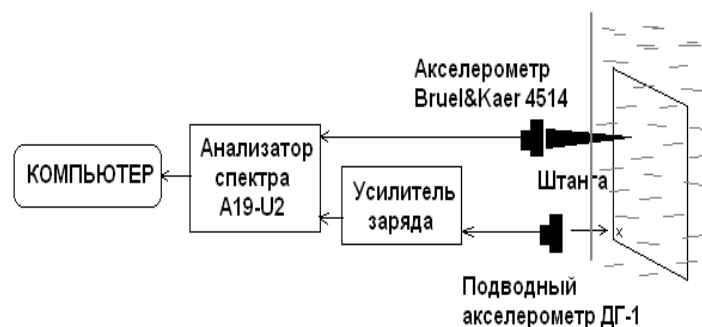


Рис. 3. Схема измерений характеристик вибрации пластины в воде
 Fig. 3. The scheme of measurements of vibration characteristics of a plate in water

Сигналы с датчика силы и акселерометра подавались на двухканальный анализатор спектра A19-U2 фирмы ZETLab, предназначенный для сбора данных, усиления сигналов и аналого-цифрового преобразования с последующей передачей данных в компьютер (использовалось подключение через USB-порт). В ходе каждого эксперимента (в воде и в воздухе) было получено 176 файлов, каждый из

которых содержал спектр до 2500 Гц с шагом 0,1 Гц. Для построения форм колебаний по полученным экспериментальным данным использовалось программное обеспечение «Визуализатор колебаний», разработанное Институтом прикладной физики РАН. Экспериментальные исследования позволили получить резонансные частоты и формы колебаний пластины как в воздухе, так и в воде.

Построение конечно-элементной модели металлической пластины выполнялось с применением конечного элемента типа SOLID186 (комплекс ANSYS) с плотностью материала 4450 кг/м^3 , модулем Юнга $1.2 \times 10^{11} \text{ Па}$ и коэффициентом Пуассона 0,35.

Моделирование колебаний пластины в водной среде производилось путем «прикрепления» к поверхностям пластины слоя воды толщиной 0,4 м с образованием трехслойной структуры конечных элементов типа FLUID80 (рис. 4). Боковые поверхности пластины остались, вследствие относительно малой их площади, свободными. FLUID80 – элемент с нулевой сдвиговой жесткостью, моделирующий поведение жидкости в терминах механики сплошных сред. Приемлемые результаты расчета удалось получить путем увеличения плотности сетки в направлении, перпендикулярном плоскости пластины, т.е. при «расслоении» воды. В результате была достигнута очевидная сходимость результата и в конечном итоге обеспечено хорошее совпадение результатов расчета и эксперимента.

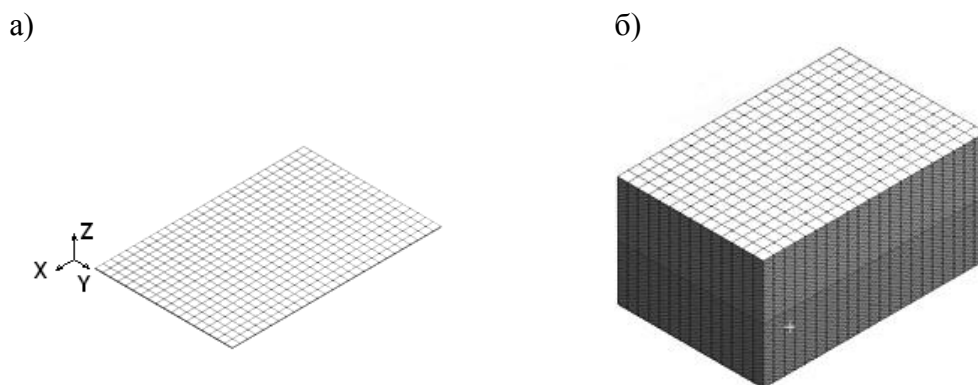


Рис. 4. Расчетные модели металлической пластины в воздухе и в воде
 Fig. 4. Analytical models of a metal plate on air and in water

В табл. 1 приводятся результаты расчетов пластины комплексами ANSYS, NX NASTRAN и VIRTUAL LAB (VL). Они сопоставлены с результатами, полученными экспериментально. Так, расхождение расчетных данных с экспериментальными не превышает 9% (табл.1), что подтверждает возможность использования сформированного аппаратного комплекса для решения прикладных задач. На рис. 5 приведены экспериментальные зависимости коэффициента демпфирования колебаний пластины в воздухе и в воде от частоты.

Аппаратный комплекс был применен при исследовании демпфирующей способности трубы, заполненной водой. Труба имеет длину 6, внешний диаметр 0,05, толщину 0,005 м. Материал - сталь. По длине трубы выбрано 59 точек с шагом 0,1 мм. Опорный датчик устанавливался в районе точки №40.

Таблица 1. Сравнение расчетных и экспериментальных частот (Гц) свободных колебаний пластины в воздухе и в воде

Table 1. Comparison between analytical and experimental frequencies (Hz) of free fluctuations of a plate in air and in water

"Сухие" моды, частота, Гц			Связанные моды в воде, частота, Гц			
Эксперимент	AN-SYS	NAST-RAN	Эксперимент	AN-SYS	VL	Ошибка, %
31,5	30,5	29,78	11,7	11,24	11,13	4,85
33,1	32,7	31,5	-	11,29	11,21	-
69,5	70,6	68,56	25,4	27,5	27,51	8,31
73,5	79,5	75,48	28,7	29,7	30,32	5,63
88,1	88	85,1	33,4	33,1	33,57	0,51
99	105,5	100,5	38,7	40,3	40,9	5,67
129,3	131,1	126,7	51,5	54	54,17	5,19
142,2	152,2	146,9	59,4	64,6	64,49	8,57
180,5	185,7	177	71	70,3	72,26	1,78
198,3	210,8	202,5	84,9	87,1	91,06	7,26
216	227,6	217,6	96,3	95,7	95,78	0,54

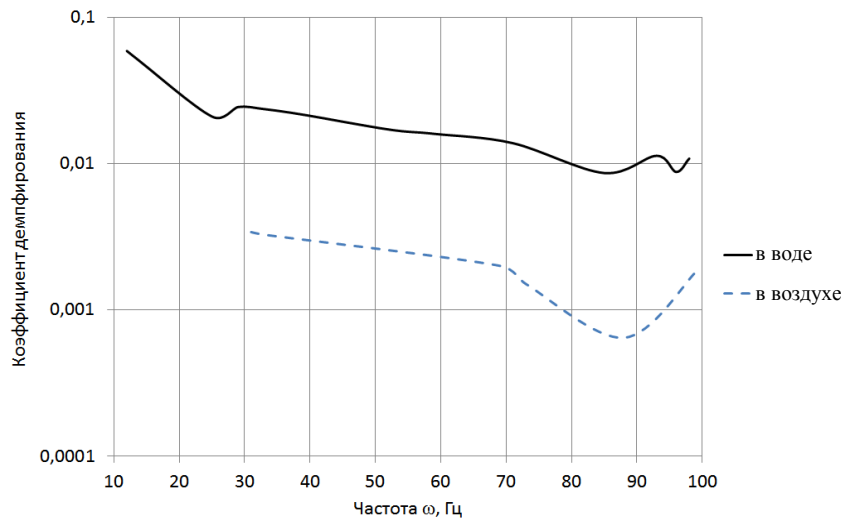


Рис. 5. Зависимости коэффициента демпфирования пластины от частоты колебаний в воде и в воздухе

Fig. 5. Dependences of damping coefficient of a plate on the fluctuation frequency in water and on air

Датчик вибрации устанавливался на трубе вертикально, также вертикально наносились удары молотком последовательно по всем точкам. Труба была заполнена водой на 95% и опиралась по краям на деревянные бруски. Экспериментальная зависимость коэффициента демпфирования от частоты колебаний трубы приведена в табл. 2 и на рис. 6.

Таблица 2. Значения резонансных частот и коэффициента демпфирования стальной трубы с водой и без воды

Table 2. Values of resonant frequencies and damping coefficient of a steel pipe with water and without water

Номер моды	Труба без воды		Труба с водой
	Частота, Гц	Коэффициент демпфирования	Коэффициент демпфирования
1	4,4	0,0181	0,0705
2	13,7	0,0119	0,02841
3	19,0	0,0112	0,02065
4	30,2	0,0086	0,01010
5	50,0	0,00443	0,00939
6	79,8	0,00346	0,00843
7	122,3	0,0029	0,00454
8	237,8	0,00074	0,00394
9	302,6	0,000402	0,00434
10	376,1	0,000584	0,0147

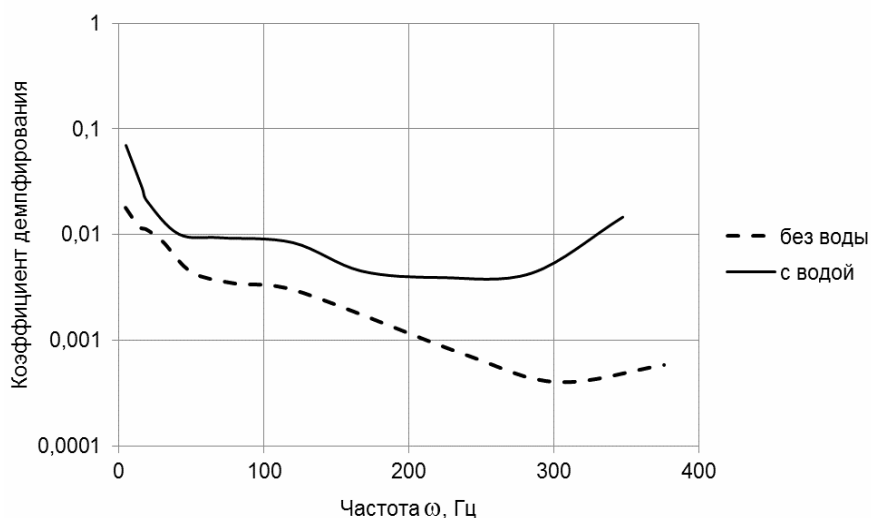


Рис. 6. Зависимости коэффициента демпфирования трубы от частоты колебаний
Fig. 6. Dependences of damping coefficient of a pipe on the fluctuation frequency

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Жидкость, находящаяся внутри трубопровода, создает значительный демпфирующий эффект, который необходимо учитывать в расчетном анализе вибрации трубопровода.
2. Используемая расчетно-экспериментальная методика позволяет определить характеристики демпфирования трубопровода и тем самым обеспечить его расчетное проектирование.
3. Разработанная методика может использоваться при анализе демпфирующей способности других судовых конструкций.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Хейлен, В. Модальный анализ: теория и испытания / В. Хейлен, С. Ламменс, П. Сас. – Москва: ООО Новатест, 2010. – 318 с.
2. Дмитриев, С. Н. Коррекция матрицы демпфирования с использованием экспериментальных значений коэффициентов модального демпфирования / С. Н. Дмитриев, Р. К. Хамидуллин // Инженерный журнал: наука и инновации.– 2013.– Вып. 3. URL: http://engjournal.ru/_catalog/machin/rocket/619.html.
3. Сутырин, В. И. Методология конечно-элементного расчетного анализа судовых корпусных конструкций при их проектировании // Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р. Е. Алексеева. –2010.– №2(81). – С. 171-178.
4. Сутырин, В. И. Программа для расчета амплитуд установившихся колебаний корпусной конструкции с применением структуризации квазистатической модели / В. И. Сутырин, Е. И. Короткая // Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева. – 2013. – №3(100).– С.175-181.
5. Рабинович, М. И. Введение в теорию колебаний и волн / М. И. Рабинович, Д. И. Трубецков // Москва: Наука, 1984. – 432 с.
6. Пушкарь, Д. Ф. Расчетно-экспериментальные исследования свободных колебаний металлической пластины в жидкости / Д. Ф. Пушкарь, В. И. Сутырин, И. А. Шинкаренко // Научное обозрение. – 2014. – №11. – С. 57-64.

REFERENCES

1. Heylen V., Lammens S., Sas P. Modal analysis: theory and tests. M.: LLC Novatest, 2010. - 318 pp.
2. Dmitriyev S.N., Hamidullin R. K. Correction of a damping matrix with use of experimental values of coefficients of modal damping. Engineering journal: science and innovations, 2013, issue 3. URL: http://engjournal.ru/_catalog/machin/rocket/619.html.
3. Sutyurin V. I. Methodology of the final and element calculation analysis of ship hull construction at their design//Works of the Nizhny Novgorod state technical university of R. E. Alekseev. - No. 2(81), 2010. – pp. 171-178.
4. Sutyurin V. I., Korotkaya E.I. The calculation program for amplitudes of the established fluctuations of a hull construction with application of structurization quasistatic model//Works of the Nizhny Novgorod state technical university of R. E. Alekseev. - No. 3(100), 2013. – pp. 175-181.
5. Rabinovich M. I., Trubetskov D. I. Introduction to the theory of fluctuations and waves. – M.: Science, 1984. – 432 pp.
6. Pushkar D.F., Sutyurin V. I., Shinkarenko I.A. Calculation and experimental investigation of free fluctuations of a metal plate in liquid. - the Scientific review, No. 11, 2014, pp. 57-64.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Сутырин Валерий Игоревич – Балтийский федеральный университет им. И. Канта; доктор технических наук, профессор института транспорта и технического сервиса;

E-mail: vsutyrin@mail.ru.

Sutyrin Valerij Igorevich – Immanuel Kant Baltic Federal University; Doctor of Engineering, professor of Institute of Transport and Technical Services;

E-mail: vsutyrin@mail.ru.

Шинкаренко Иван Александрович – Балтийский судостроительный завод «Янтарь»; инженер;

E-mail: van-125@mail.ru.

Shinkarenko Ivan Aleksandrovich – Baltic shipyard «Yantar»; Engineer;

E-mail: van-125@mail.ru

Короткая Елена Ивановна – Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»; доцент кафедры инженерной механики;

E-mail: ekkat82@gmail.com.

Korotkaya Elena Ivanovna – Baltic Fishing Fleet State Academy FSGEI HE “Kaliningrad State Technical University”; Associate Professor of the Department of Engineering Mechanics;

E-mail: ekkat82@gmail.com.

УДК 629.12.001

ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОРПУСА СКОРОСТНОГО СУДНА
ИЗ КОМПОЗИТОВ ПО УСЛОВИЯМ ЕГО ВЕСОВОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ
И ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА

М. Э. Францев

PRINCIPLES OF DESIGNING HIGH-SPEED SHIP HULL FROM COMPOSITES
BASED ON ITS WEIGHT EFFICIENCY AND LIFE CYCLE

M. E. Frantsev

Минимум водоизмещения порожнем скоростного судна из композитов обеспечивается за счет наименьшей массы его корпуса при равных других статьях нагрузки. Приведены проектировочные уравнения, обосновывающие критерий минимума толщины обшивки корпуса из композитов. Эксплуатационное поведение композита учитывается развитием в нем внутренних дефектов типа расслоение, а также изменением характеристик прочности и долговечности в районе дефекта. Расчет концентрации внутренних дефектов типа расслоение по критерию Бейли выполнен для группы судов из композитов, прошедших операцию дефектоскопии в Московском регионе. Также расчеты сделаны для внутренних дефектов в трех случаях: пластина в новом корпусе, пластина в корпусе в конце его жизненного цикла, а также оценка вероятности разрушения новой пластины с дефектом типа расслоение. Старение композита учитывали по Правилам Российского Речного Регистра (далее РРР). В первом случае запас прочности целой пластины и пластины с дефектом обеспечен, во втором – нет, в третьем – вероятен рост дефекта. Во втором и третьем случаях техническое состояние корпуса судна из композитов может быть признано, соответственно, ограничено годным и негодным.

проектирование скоростных судов из композитов, весовая эффективность, жизненный цикл, внутренние дефекты типа расслоение

Minimum bare displacement of a high-speed ship from composites is ensured by the minimum weight of its hull. Engineering equations are given to justify the criterion of the minimum plate thickness of a hull from composites. Composites behavior for exploitation takes into account the development of internal defects such as delamination as well as changes in the characteristics of strength and durability of the composite in the area of the defect. The calculation of the concentration of internal defects such as delamination using Bailey criterion is made for a group of high-speed vessels from composites that have passed defectoscopy in the Moscow region. Also, calculations are made for internal defects for three cases: the plate in the new building, the plate in the hull at the end of the life cycle and the probability of the new plate fracture which has the internal defect such as delamination. Aging of the composite was based on the Rules of the Russian River Register (RRR). In the first case strength margin of the whole plate and the plate with a defect is

ensured. In the second case – it is not. In the third case internal defect is likely to increase. In the second and third cases the technical condition of the hull from the composites can be conditionally qualified and disqualified.

design of high-speed vessels made of composites, weight efficiency, life cycle, internal defects such as delamination

ВВЕДЕНИЕ

Объективная оценка экономической эффективности эксплуатации скоростного судна из композитов (чаще всего глиссирующего) опирается на использование определенных критериев. В качестве таких критериев, например, для скоростных судов используются их интегрированные расходные характеристики, включающие удельный расход топлива главных двигателей, их мощность, полную массу судна, скорость, а также характеристики их полезной нагрузки. Известно, что наибольшую долю в совокупной структуре прямых расходов на эксплуатацию скоростного судна составляют расходы на топливо. Поэтому при анализе эффективности эксплуатации любых типов скоростных судов, в том числе судов из композитов, целесообразно выполнить сравнительный анализ их интегрированных расходных характеристик. Подробнее эти вопросы рассмотрены в работе [1].

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве основного критерия эффективности целесообразно принять условие минимизации расхода топлива скоростного судна на перемещение 1 т дедвейта (полезной нагрузки) на 1 км пути в виде:

$$P_{DW} = \frac{qN}{D\eta v} \rightarrow \min . \quad (1)$$

Для пассажирских скоростных судов к основному критерию может быть добавлено условие минимизации расхода топлива на перемещение одного пассажира на 1 км пути (на 1 пасс-км) в виде:

$$P_{ПАСС} = \frac{qN}{nv} \rightarrow \min . \quad (2)$$

Рассмотрим принципы повышения характеристик эффективности скоростного судна из композитов, реализуемых на этапе проектирования с использованием данных критериев.

Представим нагрузку масс скоростного судна из композитов в виде:

$$D = \sum_{i=1}^n P_i = D_{nop} + DW , \quad (3)$$

где P_i – статья нагрузки; D_{nop} – водоизмещение порожнем; DW – дедвейт (полезная нагрузка).

Из условия (1) следует, что для обеспечения необходимых характеристик экономичности скоростное судно должно иметь наибольшее соотношение между его полезной нагрузкой и полной массой:

$$\eta = \frac{DW}{D} \rightarrow \max . \quad (4)$$

Дедвейт скоростного судна может быть представлен как разность между полной массой судна и его водоизмещением порожнем (собственным весом судна), тогда:

$$\eta = \frac{D - D_{nop}}{D} \rightarrow \max ; \quad (5)$$

$$\eta = 1 - \frac{D_{nop}}{D} \rightarrow \max ; \quad (6)$$

$$\frac{D_{nop}}{D} \rightarrow \min . \quad (7)$$

Способы повышения экономической эффективности скоростного судна при применении в его конструкции композитов рассмотрены в работе [2]. Важно отметить, что число марок двигателей, которые могут быть установлены на скоростные суда, ограничено. Поэтому основным резервом увеличения полезной нагрузки скоростного судна из композитов является правильное проектирование его корпуса, заключающееся в оптимальном сочетании массы корпуса, а также его общей и местной прочности.

Подсистема «Корпус» является доминирующей среди подсистем первого уровня декомпозиции судна как системы. Уравнение нагрузки скоростного судна, в состав которого масса корпуса входит в качестве слагаемого, может быть выражена как

$$D = \sum P_i = P_k + \sum P_{i-1} = q_k(LBH) + \sum P_{i-1} , \quad (8)$$

где P_k - масса по статье нагрузки «Корпус»; $\sum P_{i-1}$ - масса по статьям нагрузки без статьи «Корпус»; L, B, H - длина, ширина, высота корпуса; q_k - кубический модуль, представляющий собой отношение массы корпуса к его объему, определяемый с помощью анализа баз данных.

Уравнения (3-8) при фиксированных размерах судна ($L, B, H = const$) определяют условие его минимального водоизмещения порожнем (собственного веса судна). Минимизация водоизмещения порожнем скоростного судна осуществляется за счет снижения до минимума массы корпуса и надстройки при прочих равных статьях нагрузки. При этом существует условие обеспечения характеристик прочности и долговечности корпуса, т. е. его жизненного цикла. Условие минимизации массы корпуса может быть записано как

$$P_k \rightarrow \min . \quad (9)$$

Масса по статье «Корпус» скоростного судна из композитов также может быть определена, как масса наружной обшивки, масса набора, масса блоков плавучести и сумма масс элементов обстройки и оборудования помещений, интегрированных в конструкцию корпуса.

Масса корпуса из композитов может быть представлена как

$$P_{кор} = P_{обш} + P_{наб} + P_{БП} + \sum_{\kappa} P_{\kappa} . \quad (10)$$

Рассмотрим первые три слагаемые в приведенной формуле. Сумма масс элементов обстройки и оборудования помещений, интегрированных в конструкцию корпуса из композитов, относительно невелика (она обычно состав-

ляет до 5-10% общей массы корпуса) и мало зависит от геометрических размеров судна. В дальнейших расчетах эта сумма достаточно корректно может быть учтена соответствующим коэффициентом пропорциональности.

Масса блоков плавучести определяется по формуле

$$P_{БП} = \rho_{БП} V_{БП}, \quad (11)$$

где $\rho_{БП}$ – плотность материала блоков плавучести; $V_{БП}$ – объем блоков плавучести, определенный при обосновании непотопляемости.

Наибольшее влияние на обеспечение общей и местной прочности корпуса из композитов имеет обшивка, подкрепленная набором. Блоки плавучести, интегрированные в конструкцию корпуса из композитов, незначительно воздействуют на обеспечение общей и местной прочности, поэтому на начальном этапе проектирования корпуса из композитов с высокой весовой эффективностью они из рассмотрения исключаются. Представим часть массы корпуса в виде первых двух слагаемых. Она может быть представлена как

$$P_{кор1} = P_{обш} + P_{наб} = \rho_{км} t_{ср} b [a_1 (\delta_k L_{заб} B_{заб} H)^{2/3} + \alpha_1 (L_{заб} - L_n)(B_{заб} - B_n) + a_2 (\delta_n L_n B_n H_n)^{2/3}] ,$$

(12)

где $P_{кор1}$ – часть массы корпуса в виде массы обшивки и набора; $L_{заб}$, $B_{заб}$ – габаритная длина и ширина корпуса; H – высота борта; L_n , B_n – габаритная длина и ширина надстройки; H_n – высота надстройки; δ_k , δ_n – коэффициенты полноты формы корпуса и надстройки; a_1 , a_2 – коэффициенты пропорциональности; α_1 – коэффициент полноты ватерлинии на уровне палубы; b – коэффициент, позволяющий учесть массу набора в массе композитного корпуса; $t_{ср}$ – средняя толщина обшивки; $\rho_{км}$ – плотность композита, определяемая по формуле:

$$\rho_{км} = \frac{k_{св} p_{св} + k_{арм} p_{арм}}{2}, \quad (13)$$

где $p_{св}$ – удельный вес связующего; $k_{св}$ – коэффициент, учитывающий содержание связующего в составе композиции; $p_{арм}$ – удельный вес армирующих материалов; $k_{арм}$ – коэффициент, учитывающий содержание армирующих материалов в составе композиции.

Средняя толщина обшивки корпуса $t_{ср}$ на начальном этапе проектирования может быть определена с помощью уравнения прочности.

Изгибающий момент, действующий на корпус судна из композитов, с учетом влияния волн и скорости судна может быть определен как

$$M_{max} = \frac{DL}{k_1}, \quad (14)$$

где M_{max} – изгибающий момент корпуса от общего изгиба; D – полное водоизмещение судна; L – расчетная длина корпуса; k_1 – коэффициент, учитывающий влияние волн и скорости судна, который может определяться различными способами. Например, в соответствии с положениями [3] величина коэффициента k_1 может определяться как

$$k_1 = (3 + 23,4e^{-1,1Fr_D}) \sqrt{\frac{2,5}{h_e}}, \quad (15)$$

где Fr_D – число Фруда по водоизмещению; h_e – расчетная высота волны. Уравнение прочности корпуса судна из композитов также имеет вид:

$$M_{\max} = k\sigma_{0KM}W, \quad (16)$$

где M_{\max} – изгибающий момент от общего изгиба судна в наиболее неблагоприятном случае эксплуатационной нагрузки; σ_{0KM} – предел прочности композита; k – коэффициент пропорциональности; W – момент сопротивления поперечного сечения эквивалентного бруса в наиболее нагруженном состоянии.

Момент сопротивления поперечного сечения эквивалентного бруса на миделе судна из композитов, в свою очередь, может быть представлен как

$$W = \frac{\eta_k FH}{2},$$

(17)

где F – площадь наиболее опасного поперечного сечения эквивалентного бруса; η_k – коэффициент утилизации профиля эквивалентного бруса.

Приравнявая выражения (14) и (16) с учетом (17), получим уравнение:

$$\frac{DL}{k_1} = \frac{k\sigma_{0KM}\eta_k FH}{2}.$$

(18)

Корпус скоростного судна из композитов в целях расчета общей прочности может рассматриваться как балка с непризматическим сечением. С помощью уравнения прочности при общем изгибе (18) может быть определено допускаемое напряжение для композита корпуса скоростного судна:

$$\sigma_{0KM} = \frac{2DL}{kk_1\eta_k FH}. \quad (19)$$

В отличие от судов из традиционных материалов (кроме деревянных судов) общая прочность корпуса судна из композитов в большой степени обеспечивается его обшивкой, которая имеет достаточно большую толщину и сложную форму, за счет чего редуцирующий коэффициент близок единице.

Поэтому момент сопротивления эквивалентного бруса без учета площади продольного набора, которая, как правило, невелика, на этом этапе проектного обоснования может быть представлен как

$$W = \eta_k (B_{заб} + H)t_{cp}H, \quad (20)$$

где t_{cp} – средняя толщина обшивки.

Средняя толщина обшивки корпуса в сечении, где действует наибольший изгибающий момент, может быть представлена как

$$t_{cp} = \frac{W}{\eta_k (B_{заб} + H)H}. \quad (21)$$

С учетом уравнений (18) и (20) средняя толщина обшивки корпуса t_{cp} может быть определена как

$$t_{cp} = \frac{2DL}{kk_1\eta_k (B_{заб} + H)H\sigma_{0KM}} \quad (22)$$

Полученное значение средней толщины обшивки корпуса скоростного судна из композитов, определенное из условия обеспечения общей прочности,

также проверяется по условиям обеспечения местной прочности и при необходимости корректируется.

Особенности конструкции корпусов судов из композитов в целях расчета местной прочности позволяют применить положения теории тонких оболочек. Поэтому можно рассматривать каждый элемент поверхности корпуса и верхних строений как отдельную пластину или оболочку. При этом вся поверхность корпуса и верхних строений разбивается на ряд многослойных пластин и оболочек из композитов, для каждой из которых существует методика расчета. Эта совокупность пластин и оболочек позволяет с достаточно высокой степенью достоверности описать практически любую поверхность корпуса и надстройки судна из композитов. Такая разбивка, являясь достаточно условной, в то же время позволяет упростить задачу в пределах достоверности.

При анализе уравнения (22) видно, что для скоростного судна из композитов при фиксированных геометрических размерах корпуса условие его весовой эффективности (9) трансформируется в условие минимизации толщины его обшивки:

$$t_{cp} \rightarrow \min . \quad (23)$$

Высокие эксплуатационные характеристики судов из композитов могут обеспечить эффективные оптимальные судовые корпусные конструкции, имеющие минимальное ухудшение прочностных свойств в процессе эксплуатации. Под оптимальной конструкцией из композита понимается таковая, работающая наилучшим образом при эксплуатационных нагрузках и удовлетворяющая заданному критерию оптимальности. Поэтому одним из центральных вопросов обеспечения жизненного цикла эффективной оптимальной подсистемы «Корпус» судна из композитов при проектировании является гарантирование ее характеристик прочности и долговечности в течение экономически обоснованного жизненного цикла.

Для проектирования и изготовления эффективных оптимальных судовых корпусных конструкций из композитов предпочтительны технологии формообразования, способные изменять параметры оптимизации конструкций в широких пределах, например, вакуумная инфузия или различные виды RTM-процессов [4].

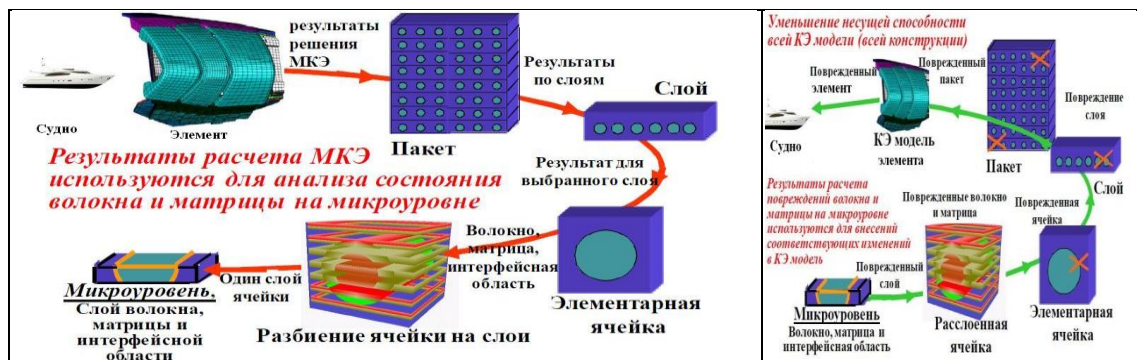


Рис. 1. Последовательность декомпозиции и оценки влияния внутреннего дефекта при определении прочностных свойств корпуса судна из композитов

Fig. 1. Sequence of decomposition and assessment of the impact of internal defect at determining structural behavior of the ship hull from composites

Известно, что использование различных технологий изготовления судовых корпусных конструкций из композитов сопровождается появлением технологических дефектов типа расслоение и непроклей, которые влекут за собой снижение характеристик прочности. В дальнейшем под влиянием доминирующих факторов эксплуатации возможен рост внутренних дефектов типа расслоение. Это обстоятельство требует от проектанта выполнения при оценке прочности судового корпуса из композитов специального расчета, направленного на учет влияния внутреннего дефекта технологической и эксплуатационной природы на прочность элемента конструкции (рис. 1).

В процессе эксплуатации на корпус судна из композитов действуют различные эксплуатационные нагрузки. Природа, характер и продолжительность воздействия этих нагрузок на корпус судна из композитов целиком и полностью идентичны аналогичным характеристикам эксплуатационных нагрузок, действующих на корпуса судов, изготовленные из традиционных материалов. В то же время, эксплуатационное поведение элементов корпуса из композитов изучено недостаточно. В связи с этим при проектировании судовых конструкций из таких материалов проблемы обеспечения характеристик их прочности и долговечности решаются не вполне корректно.

В работах [5, 6] предложен подход, при котором для оценки и прогнозирования технического состояния корпусных конструкций промышленных судов, содержащих эксплуатационные дефекты, применена теория потоков. При этом установлена взаимосвязь потока внешних нагрузок с потоком повреждений корпусных конструкций на вероятностной основе в виде результирующей функции, связывающей параметры эксплуатационного дефекта в начальный и конечный моменты времени, собственно, время и вероятность возникновения дефекта.

Данный подход позволяет прогнозировать возникновение и развитие эксплуатационного дефекта. Он дает возможность определять время и вероятность достижения каким-либо дефектом наперед заданного уровня, нормировать дефекты при ограничении времени и условий эксплуатации судна, накладывать ограничения на условия эксплуатации судна с целью обеспечения экономически обоснованного жизненного цикла с заданной вероятностью.

Разработка норм проектной годности судовой корпусной конструкции из композита при условии существования в ней внутренних дефектов технологической и эксплуатационной природы тесно переплетается с проблемой прогнозирования динамики их развития и связанного с этим снижения прочности конструкции и повышения вероятности разрушения.

Оценка изменения характеристик долговечности представляет собой сопоставление прочностных свойств целой и расслоившейся конструкций в начальный и конечный моменты эксплуатации, рассчитанных в соответствии с действующими нормами проектирования. Вопросы изменения характеристик долговечности тесно связаны с вопросами оценки технического состояния судовой корпусной конструкции из композита, а также методами определения степени утраты прочностных свойств и анализом возможности разрушения

судовой корпусной конструкции из композита в зоне развития дефекта типа расслоение технологической и эксплуатационной природы. Все эти вопросы рассмотрены в работах [7, 8].

Существует несколько точек зрения на проблему прогнозирования изменения прочности композитов. Широко распространенный традиционный путь прогнозирования и нормирования прочности корпусных конструкций, базирующийся на эмпирических подходах и непосредственном увязывании расчетных коэффициентов запаса прочности с результатами целенаправленно поставленных экспериментов, постепенно утрачивает свою эффективность, так как они не отражают реального воздействия всех факторов эксплуатации и, как следствие, не позволяют получать корректные решения.

Необходимо отметить, что специфика изменения характера и механизма динамического разрушения полимерных композитов в жидкостях, в том числе связанного с изменением температуры, что свойственно, например, для наружной обшивки корпуса глиссирующего судна, создает принципиальные затруднения в разработке методов ускоренных динамических испытаний, воспроизводящих реальные условия. Подробнее вопросы прогнозирования накопления внутренних дефектов технологической и эксплуатационной природы, а также возникновения условий, приводящих к разрушению судовой корпусной конструкции из композитов, рассмотрены в работе [9].

При практической эксплуатации судовые корпусные конструкции из композитов подвергаются действию самых различных нагрузок, меняющихся во времени. Поэтому применительно к конструкционным жестким композитам типа стеклопластика, не обладающим восстановительными свойствами, пригодную для практического применения основу дает кинетическая теория прочности в сочетании с гипотезой линейного суммирования повреждений в варианте Бейли.

Для произвольных процессов нагружения во времени при относительно простых напряженных состояниях критерий суммирования повреждений Бейли для времени разрушения t будет иметь вид:

$$\int_0^t \frac{dt}{t(\sigma)} = 1, \quad (24)$$

где $t(\sigma)$ – долговечность при напряжении σ .

Принципы возникновения внутренних дефектов типа расслоение, их форм и месторасположения на корпусе, а также систематическое их обнаружение в больших количествах в определенных местах открывают путь к разработке количественных методов определения их взаимосвязи с режимами нагружения, обусловленными характеристиками полной массы, мощности и скорости судна, продолжительностью и интенсивностью эксплуатации. Обработка данных, полученных в результате наблюдений, методами регрессионного анализа дает возможность вывести формализованные зависимости, позволяющие анализировать и прогнозировать изменение характеристик долговечности корпусов судов из композитов. Для корректной обработки данных и получения зависимостей в виде функций необходима группировка по достаточно большому количеству судов одного проекта, имеющему различный ресурс использования [7, 9, 10].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На основании полученных данных произведена попытка проследить зависимость между накоплением в корпусе из композитов дефектов типа расслоение, энерговооруженностью и ресурсом использования судна. Методика учета концентрации дефектов эксплуатационного характера на корпусе судна из композитов разработана в соответствии с системой нормирования прочности, построенной на учете статистического и отчасти временного факторов (для переменных нагрузок). Расчет концентрации внутренних дефектов типа расслоение в соответствии с критерием Бейли выполнен для группы судов из композитов на основании базы данных судов, прошедших операцию дефектоскопии при освидетельствовании на предмет годности к плаванию в Московском филиале РРР в 2007-2010 гг. В качестве обобщающей характеристики принят интегральный ресурс использования, определяемый произведением энерговооруженности на время эксплуатации. При расчете была вычислена концентрация внутренних дефектов типа расслоение как отношение суммарной площади дефектов к общей площади поверхности обшивки в исследуемом районе на каждом из корпусов [11]. Полученные значения величины коэффициента концентрации аппроксимированы по линейному закону:

$$K = f(t) = 0,1531t + 241,4, \quad (25)$$

где K – коэффициент концентрации расслоений; t – ресурс использования корпуса.

Выполненный расчет подтверждает принципиальную возможность применения гипотезы линейного суммирования повреждений в варианте Бейли для анализа и прогнозирования изменения характеристик долговечности корпусов судов из композитов под действием эксплуатационных нагрузок в течение жизненного цикла корпуса. Расчет также подтверждает существование взаимосвязи между эксплуатационными характеристиками судна из композитов в виде энерговооруженности и различных форм ресурса использования и концентрацией дефектов. На начальных этапах проектирования в качестве прогноза изменения характеристик прочности и долговечности корпуса судна из композитов может рассматриваться прогноз роста концентрации дефектов, описываемой значениями полученной аппроксимирующей функции на жизненном цикле.

Для вывода более точных формализованных зависимостей, позволяющих анализировать и прогнозировать изменение характеристик долговечности корпусов судов из композитов, требуется обработка множества данных методами регрессионного анализа по существенно большему количеству судов из композитов различных размеров и энерговооруженности, близких лет выпуска.

Ниже приведен пример использования способа оценки изменения характеристик долговечности корпуса скоростного судна из композитов на его жизненном цикле. Для примера взято глиссирующее судно «Аквалайн 210» проекта и постройки ГНПРКЦ «ЦСКБ «Прогресс» (г. Самара, Россия). Техническая документация, включающая сборочные чертежи корпуса этого судна, была передана производителем в Московский филиал РРР, где суда этого проекта находятся под техническим наблюдением.

Произведены расчеты напряжений, действующих в элементе судового корпуса, выбран элемент в виде пластины из композитов днищевой обшивки. В

пластине имеется внутренний дефект типа расслоение. Прочность пластины рассматривается в начальный и конечный моменты жизненного цикла корпуса.

Численное решение получено для внутреннего дефекта типа расслоение технологической или эксплуатационной природы площадью 440 мм^2 , расположенного в одном и том же месте на днищевом перекрытии, недалеко от скулы. Расчеты выполнены для трех случаев. В первом случае рассматривалась пластина в новом корпусе, содержащая дефект типа расслоение указанного размера технологической природы. Во втором случае расчет производился для пластины, содержащей дефект площадью 440 мм^2 эксплуатационной природы, из состарившегося композита в конце срока его службы (жизненного цикла судна), у которого изменившиеся механические характеристики рассчитывались по Правилам РРР [12]. В третьем – оценивалась возможность разрушения композита новой пластины в районе дефекта технологической природы указанного размера. Разрушение считалось возможным при достижении действующим напряжением величины критического напряжения. В первых двух случаях для корректного определения величины действующих напряжений численные решения получались одновременно и для целых участков пластин, расположенных рядом с дефектами. Численные решения были получены с использованием программы Microsoft Excel. Физические величины в расчетах приняты в единицах системы МКГСС. Это связано с тем, что коэффициенты в уравнениях изгиба пластин и эмпирические коэффициенты в других формулах получены для физических величин, имеющих эту размерность.

В результате выполненных расчетов установлено, что действующее напряжение в целой пластине нового корпуса меньше допускаемого напряжения примерно в два с половиной раза. В зоне расположения дефекта типа расслоение технологической природы действующее напряжение примерно равно допускаемому напряжению, что указывает на достаточно большие запасы прочности корпусных конструкций из композитов у отечественных скоростных судов (рис. 2 слева). Эти же величины рассчитаны для корпуса из композитов в конце срока его службы (жизненного цикла судна) с учетом старения композита по Правилам РРР (рис. 2 в центре). Расчет показывает, что для целой пластины корпуса судна в конце срока эксплуатации условие прочности не выполняется и необходимый запас прочности не обеспечен, так как действующее напряжение примерно в полтора раза превышает допускаемое напряжение. В связи с этим необходимы ограничения по скорости судна на гладкой воде и в его эксплуатации на волнении. В районе расположения дефекта типа расслоение действующее напряжение в состарившемся корпусе примерно в четыре раза превышает допускаемое напряжение и возможно разрушение конструкции в расчетном режиме эксплуатации. Кроме того, выполненный расчет критических напряжений показывает (рис. 2 справа), что в районе расположения дефекта типа расслоение действующее напряжение в новом корпусе превышает величину критического напряжения.

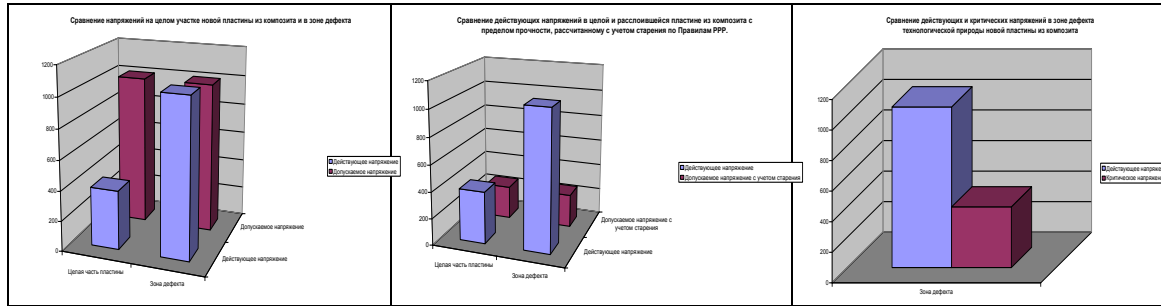


Рис. 2. Действующие и допускаемые напряжения в целой новой пластине из композита и в зоне дефекта (слева) в целой пластине из композита и в зоне дефекта с учетом старения по Правилам РРР (в центре) действующие и критические напряжения в новой пластине из композита (справа)
 Fig. 2. Effective and allowable voltage in a whole new composite plate, and in the defect zone (on the left) in the whole composite plate, and in the defect zone subject to aging, based on Rules of RRR (in the center) effective and critical voltage of the new composite plate (on the right)

Следовательно, в условиях движения судна в расчетном режиме, в условиях расчетного волнения будет продолжаться рост размеров дефекта. По критерию нераспространения дефекта в композите техническое состояние корпусной конструкции в этом случае может быть признано негодным.

ВЫВОДЫ

Использование данных о динамике развития эксплуатационных дефектов в корпусных конструкциях близкого прототипа, полученных методами неразрушающего контроля при проектировании корпуса скоростного судна из композитов по условию весовой эффективности, позволяет достоверно учесть всю гамму ожидаемых эксплуатационных факторов. Это дает возможность выдвинуть ряд новых теорий и критериев прочности судовых корпусных конструкций из композитов, основанных на концепции накопления повреждений в процессе эксплуатации, а кроме того, позволяет прогнозировать изменение эксплуатационной прочности конструкций проектируемого судна в течение всего его жизненного цикла и в конечном итоге делать выводы о долговечности конструкции из композита в целом без существенного удорожания проектирования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Францев, М. Э. Проектное обоснование обеспечения характеристик экономичности и конкурентоспособности скоростного пассажирского судна / М. Э. Францев // IX Прохоровские чтения: сборник трудов конференции. - Нижний Новгород, 2013. - С. 94-98.
2. Францев, М. Э. Проектное обоснование повышения полезной нагрузки амфибийного судна на воздушной подушке за счет применения в его конструкции композиционных материалов / М. Э. Францев // Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р. Е. Алексеева. - № 1, 2015. - С. 197-202.

3. ОСТ5.1068-75 «Корпуса и корпусные конструкции из стеклопластика. Расчеты прочности». – Ленинград: ЦНИИТС, 1975.
4. Nazarov, A. Small Boats for a Global Market / A. Nazarov // Professional Boatbuilder. - Vol.131, 2011.
5. Бураковский, Е. П. Об одной задаче нормирования общей прочности корпусов судов, содержащих эксплуатационные дефекты / Е. П. Бураковский, В. А. Дмитриевский // Судостроение и энергетические установки: сборник научных трудов Калининградского государственного технического университета, посвященный 300-летию Российского флота, Калининград, 1996. - С. 251-262.
6. Бураковский, Е. П. Применение теории потоков при оценке и прогнозировании технического состояния корпусных конструкций, содержащих эксплуатационные дефекты / Е. П. Бураковский, В. А. Дмитриевский // Судостроение и энергетические установки: сборник научных трудов Калининградского государственного технического университета, посвященный 300-летию Российского флота, Калининград, 1996. - С. 263-278.
7. Францев, М. Э. Способ оценки технического состояния корпуса судна из композитов в процессе эксплуатации / М. Э. Францев // Контроль. Диагностика. - № 11, 2009. - С. 61-68
8. Францев, М. Э. Определение степени утраты прочностных свойств и оценка возможности разрушения судовой корпусной конструкции из композита в зоне развития эксплуатационного дефекта типа расслоение / М. Э. Францев // Сборник трудов Всероссийской научно-технической конференции по строительной механике корабля, посвященной памяти академика Ю. А. Шиманского, 2013. – Санкт-Петербург. – С. 124-126.
9. Францев, М. Э. Проектная оценка эксплуатационных нагрузок и характеристик долговечности корпусов судов из композиционных материалов / М. Э. Францев // Морской вестник. – № 4(28), 2008. – С. 93 – 98.
10. Францев, М. Э. Эксплуатационное поведение элементов корпуса глиссирующего судна из композиционных материалов в условиях воздействия гидродинамических нагрузок / М. Э. Францев // Труды Государственного Крыловского научного центра. – Вып. 75(359). – Санкт-Петербург, 2013. – С. 192-200.
11. Францев, М. Э. Проектные рекомендации по определению наиболее нагруженных и уязвимых элементов корпуса судна из композиционных материалов / М. Э. Францев // Конструкции из композиционных материалов. – № 3. – 2011. – С. 86–97.
12. Российский Речной Регистр. Правила. – Т. 2. – Москва, 2008. – 400 с.

REFERENCES

1. Francev M. Je. Proektnoe obosnovanie obespechenija harakteristik jekonomichnosti i konkurentosposobnosti skorostnogo passazhirskogo sudna [Design rationale for promotion of economic feasibility and competitiveness of a high-speed passenger vessel]. *Sbornik trudov konferencii «9-e Prohorovskie chtenija»*, 2013, Nizhnij Novgorod, pp. 94-98.
2. Francev M. Je. Proektnoe obosnovanie povyshenija poleznoj nagruzki amfibijnogo sudna na vozduшной podushke za schet primenenija v ego konstrukcii kompozicionnyh materialov [Design rationale for increase of useful load of an amphibious air-cushion vessel by means using composite materials in its construction]. *Trudy Nizhegorodskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta im. R. E. Alekseeva*, 2015, no. 1, pp. 197-202.

3. OST5.1068-75 «Корпуса и корпусные конструкции из стеклопластика. Расчёты прочности». CNIITS, L., 1975.
4. Nazarov A. Small Boats for a Global Market. Professional Boatbuilder, 2011, vol. 131.
5. Burakovskij E. P., Dmitrovskij V. A. Ob odnoj zadache normirovanija obshhej prochnosti korpusov sudov, sodержashhih jekspluacionnye defekty [The problem of standardization of bulk strength of hulls with operational defects]. *Sbornik nauchnyh trudov Kaliningradskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta, posvjashhennyj 300-letiju Rossijskogo flota*, Kaliningrad, 1996, pp. 251-262
6. Burakovskij E. P., Dmitrovskij V. A. Primenenie teorii potokov pri ocenke i prognozirovanii tehničeskogo sostojanija korpusnyh konstrukcij, sodержashhih jekspluacionnye defekty [Application of flow theory in assessment and predication of the technical state of hull structures with operational defects]. *Sbornik nauchnyh trudov Kaliningradskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta, posvjashhennyj 300-letiju Rossijskogo flota*, Kaliningrad, 1996, pp. 263-278
7. Francev M. Je. Sposob ocenki tehničeskogo sostojanija korpusa sudna iz kompozitov v processe jekspluacii [Method of structural assessment of ship hull from composites while in operation]. *Kontrol'. Diagnostika*, 2009, no. 11, pp. 61-68
8. Francev M. Je. Opredelenie stepeni utraty prochnostnyh svojstv i ocenka vozmožnosti razrušenija sudovoj korpusnoj konstrukcii iz kompozita v zone razvitiya jekspluacionnogo defekta tipa rassloenie [Evaluation of the degree of strength loss and assessment of possibilities for damage of ship composite hull in the area of operational defect such as delamination]. *Sbornik trudov Vserossijskoj nauchno-tehničeskoi konferencii po stroitel'noj mehanike korablja, posvjashhennoj pamjati akademika Ju.A. Shimanskogo*. Saint-Petersburg, 2013, pp. 124-126
9. Francev M. Je. Proektnaja ocenka jekspluacionnyh nagruzok i harakteristik dolgovechnosti korpusov sudov iz kompozicionnyh materialov [Engineering estimate of operational loads and lifetime performance of ship composite hulls]. *Morskoj vestnik*, no. 4(28), 2008, pp. 93-98.
10. Francev M. Je. Jekspluacionnoe povedenie jelementov korpusa glissirujushhego sudna iz kompozicionnyh materialov v uslovijah vozdejstvija gidrodinamičeskikh nagruzok [Operational behavior of hull components of a planing boat from composites under hydrodynamic load]. *Trudy Gosudarstvennogo Krylovskogo nauchnogo centra*. Saint-Petersburg, 2013, vol. 75(359), pp. 192-200.
11. Francev M. Je. Proektnye rekomendacii po opredeleniju naibolee nagružennyh i ujazvimyh jelementov korpusa sudna iz kompozicionnyh materialov [Design recommendations for determination of the most laden and weak elements of a ship hull from composites]. *Konstrukcii iz kompozicionnyh materialov*, 2011, no. 3, pp. 86-97.
12. Rossijskij rečnoj registr. Pravila, vol. 2, Moscow, 2008, 400 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Францев Михаил Эрнстович – Инжиниринговая компания «Нептун-Судомонтаж»,
г. Долгопрудный Московской области; кандидат технических наук, директор;
E-mail: gepard629@yandex.ru

Frantsev Mikhail Ernstovich – JSC “Neptun-Sudomontazh; PhD, Director;
E-mail: gepard629@yandex.ru

ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ АПК

УДК 338.439.6

БИФУРКАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
ЭКСКЛАВНОГО РЕГИОНА

Е. Я. Козляковская, О. Н. Гегечкори

BIFURCATION ANALYSIS OF THE AGRICULTURE DEVELOPMENT
OF THE EXCLAVE REGION

E. Ya. Kozlyakovskaya, O. N. Gegechkori

В статье анализируется состояние агропромышленного комплекса Калининградской области, рассматриваются этапы развития системы сельского хозяйства эксклавного региона с точки зрения бифуркационного анализа, который отражает проблемные зоны и кризисные состояния агропромышленного комплекса как совокупности взаимосвязанных элементов, т. е. рассматривает его в качестве системы. Выявлены точки бифуркации, описаны три бифуркационных периода (фазы): добифуркационный, бифуркационный и послебифуркационный. Также в статье сформулированы три типа стратегии импортозамещения: импортофокусирование, частичное и тотальное импортозамещение. Рассчитано доленое соотношение рекомендуемых норм потребления продуктов питания, включенных в состав потребительской корзины, согласно нормативно-правовым законодательным актам. Проанализирована стоимость потребительской корзины в Калининградской области и ее составляющие. Также в статье рассчитана самообеспеченность Калининградской области некоторыми видами продуктов питания в 2015 г., а также представлены состав и объемы (в натуральных показателях) продуктов питания потребительской корзины Калининградской области в 2015-2016 гг. Проведен сравнительный анализ соответствия объемов потребления продуктов питания согласно таким нормативно-правовым актам, как Федеральный закон № 227 «О потребительской корзине в целом по Российской Федерации» от 03.12.2012 и приказ Министерства здравоохранения и социального развития РФ от 02.08.2010 N 593н «Об утверждении рекомендаций по рациональным нормам потребления пищевых продуктов, отвечающим современным требованиям здорового питания». В статье предложены возможные мероприятия для развития сельского хозяйства эксклавного региона на основе импортозамещения с целью обеспечения продовольственной безопасности в Калининградской области.

бифуркационный анализ, продовольственная корзина, сельское хозяйство, эксклавный регион, продовольственная безопасность

This article is devoted to the urgent problems of import substitution and food security in the Russian exclave of Kaliningrad. It examines the stages and status of the agriculture system development in the region using a bifurcation analysis. This analysis reflects problematic zones, and the current crisis conditions of the (Russian) agro-industrial system. The point of bifurcation was identified, three bifurcation periods

(phases) such as pre-bifurcation, bifurcation and after-bifurcation were described. The article also identifies three types of import substitution strategy like focusing on import, partial import substitution, and total import substitution. A consumer basket in the Kaliningrad region and its components were analyzed. Amounts of food consumption were compared according to several legislative acts. In an attempt to ensure food security, the research addresses the development and procedures of the agricultural sector in Kaliningrad. The level of self-sufficiency in Kaliningrad during 2015 and into 2016 is examined, in addition to the food basket composition and volume of consumption. The possible ways of agricultural development based on the import substitution were offered in order to ensure food security.

bifurcation analysis, consumer basket, agriculture, exclave region, food security

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время решение проблемы обеспечения продовольственной безопасности России весьма актуально и необходимо. Калининградская область в связи с географическим сепаратизмом особенно нуждается в развитии и поддержке сельского хозяйства и рыболовства. Стратегия импортозамещения, на которой основываются практически все предложенные для реализации текущие проекты и программы, может не дать положительные и ожидаемые результаты через несколько лет.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Бифуркационный анализ развития сельского хозяйства эксклавного региона отражает проблемные зоны и кризисные состояния агропромышленного комплекса как системы.

Точка бифуркации - это кризисное состояние системы, при котором она находится в максимально нестабильном качестве перед выбором дальнейшего пути развития из множества бесконечных, но ограниченных альтернатив [1].

Первая фаза - добифуркационный период (рис. 1, (1)), или период системной устойчивости, когда работают адаптационные механизмы изменения внутрисистемного порядка, когда организационные воздействия сильнее самоорганизационных [2].

Вторая фаза - бифуркационный период или период системной неустойчивости, когда в точке бифуркации утрачиваются организационные силы, подавляемые самоорганизационными. Система не способна существовать теперь в прежнем качестве, здесь и начинается процесс самоорганизации.

Третья фаза - послебифуркационный период, или период возникновения упорядоченности, когда возникающий порядок носит самоорганизационный характер, возникает в результате спонтанного дрейфа системы к новому аттрактивному состоянию. Аттрактивные структуры, задающие самоорганизационный порядок, обретя организационную опору, продолжают существовать до тех пор, пока в силу внешних и внутренних перемен управляющие параметры, а вместе с ними и энтропийные показатели, снова не достигнут предельных состояний. Такой сценарий развития социальной динамики считают циклическим.

На рис. 1 изображены три фазы бифуркации.



Рис. 1. Фазы бифуркации (добифуркационный период (1), бифуркационный период (2), послебифуркационный период (3))

Fig. 1. Bifurcation phases (prebifurcation period (1), bifurcation period (2), after bifurcation period (3))

Сельское хозяйство Калининградской области представляет собой систему взаимосвязанных элементов: выращивание (разведение), лабораторные исследования, производство, дистрибуция, сбыт и т.п. Дальнейший путь развития вышеупомянутой системы неизвестен, он может быть лишь спрогнозирован. Кризисное состояние системы обусловлено влиянием на нее внешних факторов. На нестабильность развития сельского хозяйства Калининградской области в конце 2014 – начале 2015 г. повлияли одновременно несколько факторов: последствия вступления России в ВТО в 2012 г., введение продовольственных санкций и эмбарго и отмена действия таможенного периода ОЭЗ.

То кризисное состояние, в котором находится сельское хозяйство и рыболовство эксклавного региона, – это их точка бифуркации. Система не способна существовать теперь в прежнем качестве, здесь и начинается процесс самоорганизации. Дальнейший путь развития сельского хозяйства можно спрогнозировать по нескольким (бесконечным) направлениям (альтернативам), однако они ограничены самой системой.

На рис. 2 представлены бифуркационные фазы и точки бифуркации системы сельского хозяйства в период с 2010 по 2016 г.



Рис. 2. Бифуркационные фазы и точки бифуркации системы сельского хозяйства в период с 2010 по 2016 г.

Fig. 2. Bifurcation phases and the point of bifurcation of the agricultural system (from 2010 to 2016)

Период с 2010 по 2014 г. называется добифуркационным, когда система сельского хозяйства развивалась стабильно, без изменений, т. е. не была подвержена влиянию каких-либо внешних/внутренних факторов.

В конце 2014 – начале 2015 г. введение продовольственных санкций и эмбарго в большей степени привели систему сельского хозяйства Калининградской

области к точке бифуркации 1. Также на это повлияли последствия вступления России в ВТО в 2012 г.

Система сельского хозяйства перейдет в послебифуркационную фазу в середине 2016 г., когда субъекты сельского хозяйства столкнутся с последствиями отмены льготного таможенного периода действия ОЭЗ на территории Калининградской области. После этого система будет двигаться по какой-то аттрактиве (конкретному направлению развития) и возникнет упорядоченность, т. е. с 2016 г. будет новая точка бифуркации для сельского хозяйства (точка бифуркации 2).

Из рис. 2 также можно сделать вывод о том, что после 2016 г., согласно бифуркационной теории, путей развития сельского хозяйства будет безграничное множество, среди которых:

- импортофокусирование (покупка импортных товаров из стран Латинской Америки);
- частичное импортозамещение (замещение некоторых импортных товаров отечественными аналогами);
- тотальное импортозамещение (полное замещение импортной продукции отечественной, что может повлечь за собой дефицит некоторых товаров).

Согласно доктрине продовольственной безопасности Российской Федерации и стратегии социально-экономического развития Калининградской области, единственной аттрактивной точки бифуркации 2 является импортозамещение. Однако одни политологи и экономисты придерживаются такой точки зрения, что необходимо тотальное импортозамещение. Но такое развитие события может понести за собой последствия в виде дефицита товаров, которые в связи с климатическими условиями не могут быть выращены на территории Калининградской области. Президент Российской Федерации Владимир Путин заявил, что «...импортозамещение - это не панацея, мы не собираемся все импортозамещать: бессмысленно и глупо». По словам Президента РФ, замещать импорт следует «там, где у нас точно совершенно может быть своя собственная компетенция возрождена либо создана заново» [3].

Импортозамещение должно обеспечить рациональное замещение некоторых импортных сельскохозяйственных товаров высококачественными аналогами, произведенными на территории Калининградской области и проданными по среднерыночным ценам.

На сегодняшний день необходимость обеспечения продовольственной безопасности эксклавного региона велика и актуальна, особенно в условиях импортозамещения. В табл. 1 представлен уровень самообеспеченности Калининградской области некоторыми пищевыми продуктами в 2015 г. [4].

Таблица 1. Самообеспеченность Калининградской области некоторыми видами продуктов питания в 2015 г.

Table 1. Self-sufficiency of the Kaliningrad regions in some kinds of food in 2015

Наименование	Норма потребления на одного человека в год, кг	Потребление (личное, производственное, потери), тыс. т	Произведено в 2015 г., тыс. т	Самообеспеченность (2015 г.), %
1	2	3	4	5
Картофель	100	160,9	150	93

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5
Овощи	120	125,0	69,2	55
В том числе:				
капуста	15	20,3	15,8	78
свекла	6	10,4	9,4	90
морковь	7	12,9	7,8	60
лук/чеснок	10	20,6	7,18	35
томаты	20	19,2	4,5	23
огурцы	22	21,2	8,5	40
плоды и ягоды	100	78,0	37,4	48
Молоко	320	308,2	158,9	52
Свинина	14	13,5	33,4	247
Говядина	25	24,1	9,1	38
Мясо птицы	30	28,9	26,6	92
Яйцо, млн. шт.	260	250,4	205	82

Из данных табл. 1 видно, что Калининградская область обеспечивает себя на 100 % мясом и мясопродуктами, в частности свининой, на 93 – картофелем, на 78 – капустой. Необходимо обратить внимание на увеличение объемов посевных площадей и выращивание томатов, лука, чеснока, огурцов.

Уровень социально-экономического развития любого региона РФ можно анализировать по следующим составляющим:

- стоимость и состав потребительской корзины;
- величина прожиточного минимума;
- минимальный размер оплаты труда (МРОТ).

Потребительская корзина - это примерный расчётный набор, ассортимент товаров, характеризующий типичный уровень и структуру месячного (годового) потребления человека или семьи. Потребительская корзина представляет собой минимальный набор продуктов питания, непродовольственных товаров и услуг, необходимых для сохранения здоровья человека и обеспечения его жизнедеятельности [5].

Стоимость потребительской корзины включает в себя четыре составляющих:

- расходы по обязательным платежам и сборам (7,1%);
- услуги (23,7%);
- непродовольственные товары (23,5%);
- продукты питания (45,6%).

Величина прожиточного минимума в Калининградской области за III квартал 2015 г. была установлена в среднем на душу населения 9629 руб., для трудоспособного населения - 10327 руб., для пенсионеров - 7871 руб., для детей - 9321 руб. [6].

В табл. 2 представлены состав и объемы (в натуральных показателях) продуктов питания потребительской корзины Калининградской области в 2015 г.

Таблица 2. Состав и объемы (в натуральных показателях) продуктов питания потребительской корзины Калининградской области в 2015 г. [7, 8]

Table 2. Structure and volumes (in natural indices) of the consumption basket of the Kaliningrad region in 2015

Наименование	Ед. измерения	Объем потребления в среднем на 1 чел./год (трудоспособное население) (227 ФЗ)	Рекомендуемые объемы потребления (Министерства здравоохранения и социального развития РФ)
Хлеб и хлебные продукты	кг	126,5	95-105
Картофель	кг	100,4	95-100
Овощи и бахчевые	кг	114,6	120-140
Фрукты свежие	кг	60	90-100
Сахар и кондитерские изделия	кг	23,8	24-28
Мясопродукты	кг	58,6	70-75
Рыбопродукты	кг	18,5	18-22
Молоко и молокопродукты	кг	290	320-340
Яйца	шт.	210	260
Масло растительное, маргарин	кг	11	10-12
Прочие продукты (соль, специи)	кг	4,9	2,5-3,5

Анализируя приведенные показатели в табл. 2, можно сделать вывод о том, что наибольшую долю в потребительской корзине занимают молоко и молокопродукты (28,48 %), хлеб и хлебные продукты (12,42 %), овощи и бахчевые (11,25 %), а наименьшую – масло растительное (1,09 %) и прочие продукты (соль, специи) (0,48 %).

На основании данных табл. 2 на рис. 3 представлен сравнительный анализ соответствия объемов потребления продуктов питания согласно ФЗ № 227 от 03.12.2012 и приказу Министерства здравоохранения и социального развития РФ от 02.08.2010 N 593н.

Из рис. 3 видно, что объемы потребления хлеба и хлебных продуктов, а также картофеля превышают установленные нормы Министерства здравоохранения и социального развития РФ. По остальным наименованиям составляющих продовольственной корзины ситуация прямо противоположная.

Согласно данным табл. 2 и рис. 3, в среднем за сутки человек должен потреблять хлеба и хлебных продуктов около 346 г, картофеля – 275, овощей и бахчевых – 313, свежих фруктов – 164, сахара и кондитерских изделий – 65, мясопродуктов – 160, рыбопродуктов – 50, молока и молокопродуктов – 794, растительного масла и маргарина – 30, специй (соль) 13 г и съесть одно яйцо один раз в два дня.

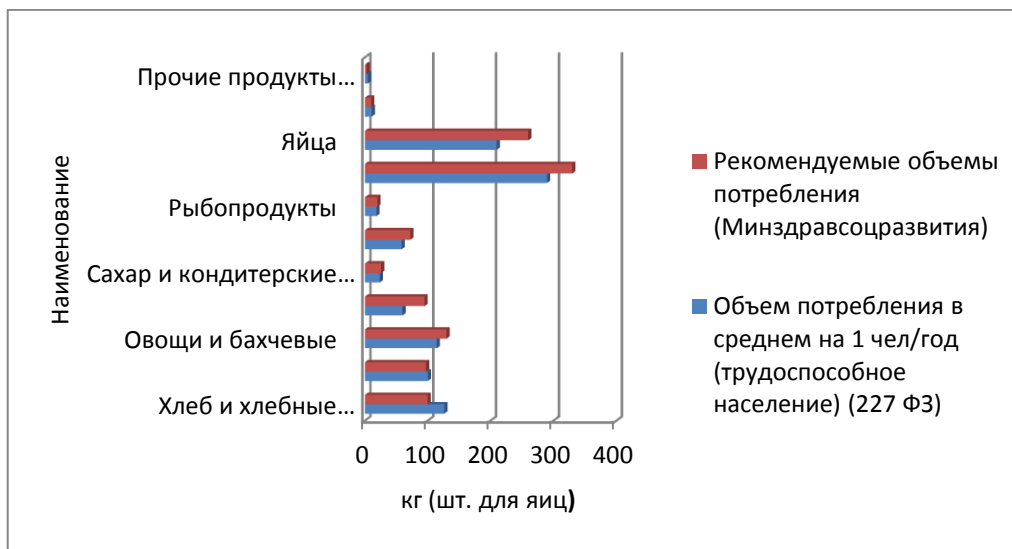


Рис. 3. Сравнительный анализ соответствия объемов потребления продуктов питания, указанных в ФЗ № 227 от 03.12.2012 и в приказе Министерства здравоохранения и социального развития РФ от 02.08.2010 N 593н
 Fig. 3. Comparative analysis of the accordance of food consumption volumes from different documents

На рис. 4 показаны основные направления развития сельского хозяйства Калининградской области для обеспечения продовольственной безопасности.



Рис. 4. Основные направления развития сельского хозяйства Калининградской области для обеспечения продовольственной безопасности
 Fig. 4. Main directions of the agricultural development of the Kaliningrad region with a view to ensure food security

Из рис. 4 можно сделать вывод о том, что приоритетными направлениями развития сельского хозяйства Калининградской области для обеспечения продовольственной безопасности являются улучшение севооборота, модернизация мелиоративных систем, использование комбикормов (кормовых добавок), строительство новых овощехранилищ (увеличение площадей уже имеющихся) и др.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, для обеспечения продовольственной безопасности Калининградской области необходимо ускоренное развитие животноводства, расширение и более интенсивное использование потенциала водных биологических ресурсов и новых технологий их индустриального выращивания, увеличение темпов структурно-технологической модернизации агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов, использование комбикормов для животных, улучшение севооборота для повышения почвенного плодородия и урожайности, ведение сельского хозяйства на основе модели CSA.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Латов, Ю. В. О точках бифуркации // Федеральный образовательный портал ЭСМ. - 2015. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ecsocman.hse.ru/text/16213348/> (дата обращения: 20.12.2015).
2. Носырев, М. А. Точка бифуркации современного менеджмента / М. А. Носырев // Известия Волгоградского государственного технического университета, 2011. – № 12, т. 14. – С.7-8. (дата обращения: 17.12.2015).
3. Метцель, М. Путин об импортозамещении, отношениях бизнеса с властью и иностранцах в системе госзакупок: ключевые заявления главы государства на форуме «Деловой России» / М. Метцель // ТАСС. – 26 мая 2015. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://tass.ru/politika/1995651> (дата обращения: 02.12.2015).
4. Территориальный орган федеральной службы государственной статистики по Калининградской области [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://kaliningrad.gks.ru/> (дата обращения: 02.12.2015).
5. Потребительская корзина и корзина выживания: что в них кладут? // Новый Калининград, 25 декабря 2009 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.newkaliningrad.ru/woman/articles/house/1001294.html> (дата обращения: 16.02.2016).
6. Постановление Правительства Российской Федерации от 30.11.2015. № 1291 «Об установлении величины прожиточного минимума на душу населения и по основным социально-демографическим группам населения в целом по Российской Федерации за III квартал 2015 г.». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: garant.ru/hotlaw/federal/674207
7. Доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации, утвержденная указом президента российской федерации № 120 от 30 января 2010 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.garant.ru/hotlaw/federal/228793/>

8. Приказ Министерства здравоохранения и социального развития РФ от 02.08.2010 n 593н «Об утверждении рекомендаций по рациональным нормам потребления пищевых продуктов, отвечающим современным требованиям здорового питания» (зарегистрировано в Минюсте РФ 11.10.2010 n 18680). [Электронный документ]. – Режим доступа: [base.garant.ru / 12179471](http://base.garant.ru/12179471)

9. Tendall D. M., Joerin J. Food system resilience: defining the concept / global food security. – 2015, 7 pages. [Электронный документ]. – Режим доступа: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211912415300031> (дата обращения: 25.01.2016).

REFERENCES

1. Latov Ju. V. *O tochkah bifurkacii* [On the points of bifurcation]. Federal'nyj obrazovatel'nyj portal JeSM, available at: <http://ecsocman.hse.ru/text/16213348/> (accessed 20 December 2015).

2. Nosyrev M. A. Tochka bifurkacii sovremennogo menedzhmenta [The point of bifurcation of the modern management]. *Izvestija Volgogradskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta*, 2011, vol. 14, no. 12, pp. 7-8.

3. Metcel' M. *Putin ob importozameshhenii, otnoshenijah biznesa s vlast'ju i inostrancah v sisteme goszakupok: ključevye zjajavlenija glavy gosudarstva na forume "Delovaja Rossiya"* [Putin on the import substitution, relations between business and government and foreigners in government procurement; key statements of the Russian President at the Delovaya Rossiya business forum]. TASS, 2015, available at: <http://tass.ru/politika/1995651> (accessed 2 December 2015).

4. Territorial'nyj organ Federal'noj sluzhby gosudarstvennoj statistiki po Kaliningradskoj oblasti, available at: <http://kaliningrad.gks.ru/> (accessed 2 December 2015).

5. Potrebitel'skaja korzina i korzina vyzhivanija: čto v nih kladut? [Consumer basket and survival basket: was is put inside them?]. *Novyj Kaliningrad*, 25 dekabrja 2009, available at: <https://www.newkaliningrad.ru/woman/articles/house/1001294.html> (accessed: 16 December 2016).

6. Postanovlenie Pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 30.11.2015, № 1291 “Ob ustanovlenii veličiny prozhitočnogo minimuma na dušu naselenija i po osnovnym social'no-demograficheskim gruppam naselenija v celom po Rossijskoj Federacii za III kvartal 2015 g.”

7. Doktrina prodovol'stvennoj bezopasnosti Rossijskoj Federacii, utverždennaja Ukazom Prezidenta Rossijskoj Federacii № 120 ot 30 janvarja 2010 g.

8. Prikaz Minzdravsocrazvitija RF ot 02.08.2010 n 593n “Ob utverzhenii rekomendacij po racional'nym normam potreblenija pishhevyh produktov, otvečajushhim sovremennym trebovanijam zdorovogo pitanija” (zaregistrirovano v Minjuste RF 11.10.2010 n 18680).

9. Tendall D. M., Joerin J. Food system resilience: defining the concept / global food security, 2015, 7 pp., available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211912415300031> (accessed: 25 January 2016).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Козляковская Елизавета Яковлевна – Калининградский государственный технический университет; аспирантка кафедры «Управление производством»;
E-mail: liza-dance@mail.ru

Kozlyakovskaya Elizaveta Yakovlevna – Kaliningrad State Technical University;
Postgraduate student of the Department of production management;
E-mail: liza-dance@mail.ru

Гегечкори Ольга Николаевна – Калининградский государственный технический университет; кандидат экономических наук, доцент кафедры «Управление производством»; E-mail: ciklauri@mail.ru

Gegeckori Olga Nikolaevna – Kaliningrad State Technical University, PhD,
Tutor of the Department of production management; E-mail: ciklauri@mail.ru

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ ЖУРНАЛА «ИЗВЕСТИЯ КГТУ»

Общие требования

Журнал публикует оригинальные неопубликованные ранее статьи, удовлетворяющие критериям высокого научного качества по научным направлениям: естественно-научные и математические, биологические и сельскохозяйственные, технические, экономические науки, промышленное рыболовство. Все присланные статьи проходят проверку системой «Антиплагиат».

В редакцию журнала авторы представляют:

- распечатку рукописи, подписанную всеми авторами, и ее электронную версию – два экземпляра. Текст рукописи должен полностью соответствовать тексту электронного варианта;
- заверенную внешнюю или внутреннюю рецензию доктора наук;
- сведения об авторах на русском и английском языках (распечатку и электронный вариант) – один экземпляр.

Объем статьи

Объем статьи составляет от пяти до восьми страниц текста, включая рисунки, таблицы и список литературы.

Структура статьи

- **Введение** (состояние проблемы, задачи исследования);
- **Основная часть** (постановка задачи, методы и результаты исследования, их обсуждение). Основную часть рекомендуется разбивать на разделы с названиями, отражающими их содержание;
- **Заключение** (выводы).

Составные части статьи и порядок их следования

1. Индекс по универсальной десятичной классификации (УДК) размещается в левом верхнем углу без отступа.
2. Через один интервал по центру – **название статьи** (прописными буквами, кегль 12, обычный).
3. Через один интервал по центру – **инициалы и фамилия(и) автора(ов)** (кегель 12, обычный).
4. Через один интервал по центру – **название статьи на английском языке** (прописными буквами, кегль 12, обычный).
5. Через один интервал по центру – **инициалы и фамилия(и) автора(ов) на английском языке** (кегель 12, обычный).
6. Через два интервала с отступом Tab. 1,27 – **аннотация не более 250 слов** (кегель 12, обычный).
7. С новой строки с отступом Tab. 1,27 – **ключевые слова** (кегель 12, курсив).
8. Через два интервала с отступом 1,27 – **аннотация 200-250 слов на английском языке** (кегель 12). Аннотация должна быть выполнена без использования программ для перевода.

9. С новой строки с отступом Tab. 1,27 – **ключевые слова на английском языке** (кегель 12, курсив).

10. Через два интервала с отступом – **текст статьи** (кегель 12), включающий в себя обязательные структурные элементы (см. Структура статьи).

11. Через два интервала после текста статьи по центру – список литературы (должен быть озаглавлен – **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ**). Список литературы в научных публикациях обязателен (оформляется по **ГОСТ 7.1-2003** «Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления», **ГОСТ Р 7.0.5-2008** «Библиографическая ссылка. Правила составления»). Список литературы должен содержать все цитируемые и упоминаемые в тексте работы. В список включаются только те работы, на которые автор ссылается в тексте. Источники в списке литературы нумеруются и располагаются в порядке их упоминания в тексте (в порядке цитирования).

Образцы оформления списка использованных литературных источников:

Монография

1. Агеев, В. В. Грузопассажирские суда в военных конфликтах: моногр. / В. В. Агеев. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2013. – 106 с.

2. Бухановский, А. В. Моделирование нелинейных систем в сложных динамических средах: моногр. / А. В. Бухановский, С. В. Иванов, Ю. И. Нечаев. – Санкт-Петербург: Издательский центр НИУ ИТМО, 2013. – 263 с.

Книга

Книги одного - трех авторов

1. Розенштейн, М. М. Методы оптимизации проектных характеристик орудий рыболовства: моногр. / М. М. Розенштейн. – Калининград: ФГБОУ ВПО "КГТУ", 2013. – 185 с.

2. Новикова, А. М. Универсальный экономический словарь / А. М. Новикова, Н. Е. Новиков, К. А. Погосов. – Москва: Экономика, 1995. – 135 с.

Книги более трех авторов

Религии мира: пособие для преподавателей / Я. Н. Шапов [и др]. – Санкт-Петербург: Питер, 1996. – 496 с.

Книги, не имеющие индивидуальных авторов (под редакцией)

Сборник задач по физике: учеб. пособие для вузов / под ред. С. М. Павлова. – 2-е изд., доп. – Москва: Высшая школа, 1995. – 347 с.

Статья в журнале

1. Толкачева, О. В. Влияние барьерных факторов на стойкость пресервов / О. В. Толкачева, Б. Л. Нехамкин, В. И. Шендерюк // Рыбная промышленность. – 2006. – №2. – С. 14-16.

2. Байдалинова, Л. С. Перспективы использования растительных антиоксидантов для стабилизации гидролитических и окислительных процессов в препаратах полиненасыщенных жирных кислот / Л. С. Байдалинова, С. В. Андропова // Известия Калининградского государственного технического университета. – 2013. – № 29. – С. 74-80.

Статья в электронном журнале

1. Белоус, Н. А. Прагматическая реализация коммуникативных стратегий в конфликтном дискурсе / Н. А. Белоус // Мир лингвистики и коммуникации: электронный научный журнал. – 2006. – № 4 [Электронный ресурс].

URL: http://www.tverlingua.by.ru/archive/005/5_3_1.htm (дата обращения: 15.12.2007).

2. Орехов, С. И. Гипертекстовый способ организации виртуальной реальности / С.И. Орехов // Вестник Омского государственного педагогического университета: электронный научный журнал. – 2006 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.omsk.edu/article/vestnik-omgpru-21.pdf> (дата обращения: 10.01.2007).

Статья, опубликованная в сборниках научных трудов вузов, материалах конференций и семинаров

1. Авдеева, Е. В. Биоразнообразие паразитов рыб и ее особенности в бассейне Вислинского залива (Балтийское море) / Е. В. Авдеева, Е. Б. Евдокимова, С. К. Заостровцева // I Всерос. науч. интернет-конф. (12 февр. 2013): материалы. – Казань, 2013. – С. 52-56.

2. Александров, Ю. П. Измерение динамической твердости титановых сплавов / Ю. П. Александров // Инновации в науке, образовании и бизнесе – 2013: XI Междунар. научн. конф. (25-27 сент.): тр.: к 100-летию высш. рыбохоз. образования в России: в 2 ч. / Федер. Агентство по рыболовству; ФГБОУ ВПО «КГТУ». – Калининград: ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2013. – Ч. 2. – С. 29-32.

Диссертация или автореферат диссертации

1. Данилов, Г. В. Как же быть?: дис. ... канд. экон. наук: 05.13.10 / Данилов Геннадий Петрович; МАИ. – Москва, 1999. – 138 с.

2. Манилов А. В. Кто виноват?: автореф. дис. ... канд. юрид. наук: 05.13.10 / Манилов Алексей Владимирович; МЮИ. – Москва, 1999. – 16 с.

Переводная книга

1. Себехей, В. Теория орбит: ограниченная задача трех тел / В. Себехей: пер. с англ. / под ред. Г. Н. Дубошина. – Москва: Наука, 1982. – 656 с. [Victor G. Szebehely. Theory of Orbits: the Restricted Problem of Three Bodies. New York : Academic Press, 1967].

2. Дейт, К. Дж. Введение в системы баз данных / К. Дж. Дейт: пер. с англ. – Москва: Вильямс, 2006. – 1328 с. [Date C. J. An Introduction to Database Systems. 8th ed. Addison-Wesley, 2003. – 1024 p.].

Ссылки на все приведенные в списке литературы источники в тексте заключаются в квадратные скобки, например: [2], [4–7], [1, 18, 25]. Если в тексте есть прямая цитата, заключенная в кавычки, то обязательно должна быть указана страница, на которой эта цитата находится в цитируемом источнике. Например: [7, с. 28]. **Ссылки на неопубликованные работы и работы, находящиеся в печати, не допускаются.**

12. Через один интервал по центру – список литературы на латинице (должен быть озаглавлен – **REFERENCES**). Транслитерировать список литературы можно автоматически, зайдя на сайт <http://translit.ru> и выбрав режим BGN.

Монография, книга

1. Shorygin A. A. *Pitanie i pishchevye vzaimootnosheniia ryb Kaspiiskogo moria* [Diet and food relations of fish in the Caspian Sea]. Moscow, Pishchepromizdat Publ., 1952. 268 p.

2. Latyshev V.N., *Tribologiya rezaniya. Kn. 1: Friksionnye protsessy pri rezanie metallov* [Tribology of Cutting, Vol. 1: Frictional Processes in Metal Cutting], Ivanovo, Ivanovskii Gos. Univ., 2009.

Статья в журнале

1. Zagurenko A.G., Korotovskikh V.A., Kolesnikov A.A., Timonov A.V., Kardymon D.V. Techno-economic Optimization of the Design of Hydraulic Fracturing [Tekhniko-ekonomicheskaya optimizatsiya dizaina gidrorazryva plasta]. *Neftyanoe khozyaistvo*, 2008, no.11, pp. 54-57.

2. Sokolov L. I. Pitaniye sibirskogo osetra *Acipenser baerii* Brandt r. Leny [Diet of the Siberian sturgeon of the river Lena]. *Voprosy ikhtiologii*, 1966, vol. 6, iss. 3 (40), pp. 550–560.

Статья в электронном журнале

1. Ivanova A.E. Problemy smernosti v regionakh Tsentral'nogo federal'nogo okruga [Problems of mortality in regions of the Central Federal Okrug]. *Sotsial'nye aspekty zdorov'ya naseleniya*, 2008, no. 2, available at: <http://vestnik.mednet.ru/content/view/54/30/> (Accessed 19 September 2008).

Статья, опубликованная в материалах конференций

1. Usmanov T.S., Gusmanov A.A., Mullagalin I.Z., Muhametshina R.Ju., Chervyakova A.N., Sveshnikov A.V. Osobennosti proektirovaniya razrabotki mestorozhdeniy s primeneniem gidrorazryva plasta [Features of the Design of Field Development with the Use of Hydraulic Fracturing]. *Trudy 6 Mezhdunarodnogo Simpoziuma "Novye resursoberegayushchie tekhnologii nedropol'zovaniya i povysheniya neftegazootdachi"* [Proc. 6th Int. Technol. Symp. "New Energy Saving Subsoil Technologies and the Increasing of the Oil and Gas Impact"]. Moscow, 2007, pp. 267-272.

Диссертация и автореферат

1. Turkovskaia O. V. *Biologicheskie i tekhnologicheskie aspekty mikrobnoy ochistki stochnykh vod i prirodnykh ob"ektov ot poverkhnostno-aktivnykh veshchestv i nefteproduktov. Diss. dokt. biol. Nauk* [Biological and technical aspects of microbial purification of sewage and nature objects from surface-active substances and oil products. Dis. dr. biol. sci.]. Saratov, 2000. 360 p.

2. Dolganova N.V. *Razrabotka ekologicheskii chistykh tekhnologiy belkovykh kormovykh produktov na osnove vtorichnykh resursov. Avtoreferat diss. dokt. tekhn. nauk* [Development of ecological pure technologies of protein feeding products on the basis of water resources. Abstract of dis. dr. sci.]. Moscow, 1997. 54 p.

Переводная книга

1. Timoshenko S.P., Yound D.H., Weaver W. Vibration problems in engineering. 4th ed. New York, Wiley, 1974. 521 p. (Russ. Ed.: Timoshenko S.P., Iang D.Kh., Uiver U. *Kolebaniia v inzhenernom dele*. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1985. 472 p.).

13. Через два интервала по центру – **ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ(АХ)**. Через интервал по центру дается следующая информация: *ФИО автора (курсивом)*, место работы, научная степень, ученое звание, должность, e-mail (для всех данных кегль 12). Через интервал по центру информация дублируется на

английском языке (*ФИО автора курсивом*, для всех данных кегль 12) и т. д. для всех авторов.

Пример:

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Петров Иван Иванович – Калининградский государственный технический университет; аспирант кафедры «Технология продуктов питания»;
E-mail: petrov@mail.ru.

Petrov Ivan Ivanovich – Kaliningrad State Technical University; Postgraduate student of the Department "Technology of food"; E-mail: petrov@mail.ru.

Правила оформления рукописей

- формат бумаги: А4;
- ориентация: книжная;
- поля сверху, слева, справа – 3 см, снизу – 3,5 см;
- гарнитура шрифта: Times New Roman;
- кегль – 12;
- абзац с отступом Tab. 1,27;
- межстрочный интервал – одинарный;
- при наборе текста:
 - не допускается: применять стили при формировании текста; вносить изменения в шаблон или создавать свой для формирования текста; ставить пробелы перед знаками препинания; применять любые разрядки слов;
 - необходимо: слова внутри абзаца разделять одним пробелом; набирать текст без принудительных переносов; установить автоматическую расстановку переносов (путь: меню СЕРВИС → подменю ЯЗЫК → пункт РАССТАНОВКА ПЕРЕНОСОВ → поставить галочку в открывшемся окне «автоматическая расстановка переносов»).

Таблицу, в зависимости от ее размера, помещают под текстом, в котором впервые дана ссылка на нее, или на следующей странице. Допускается помещать таблицу вдоль длинной стороны листа, при этом нумеруют арабскими цифрами графы и строки первой части таблицы. Слово «Таблица» указывают один раз слева над первой частью таблицы, следом идет название таблицы; над другими частями пишут: «Продолжение таблицы», с указанием номера таблицы. Таблица должна быть вставлена автоматически (через «Таблица: Добавить таблицу»).

Рисунки. Допускаются только черно-белые четкие рисунки, выполненные средствами компьютерной графики или сканированные (сканированные необходимо распечатывать на лазерном или струйном принтере). Рисунки могут быть введены в текст статьи или выполнены в виде отдельных графических файлов. В последнем случае необходимо указать место расположения рисунка, написав на полях рукописи после абзаца, в котором он впервые упоминается: рис. 1, рис. 2 и т. д. Все рисунки должны быть пронумерованы (Рис. 1, Рис. 2 и т. д.) и иметь подрисуночные подписи. Номер рисунка и подрисуночная подпись располагаются под рисунком. Все обозначения на рисунке должны соответствовать обозначениям в тексте. Фотографии должны быть сделаны с

хорошего негатива контрастной печатью. Ссылки на все рисунки в тексте обязательны. Ширина рисунка не должна быть больше ширины полосы набора текста. Точка в конце подрисуночной подписи не ставится.

Если в статье один рисунок или одна таблица, они не нумеруются.

Не допускается заканчивать статью рисунком или таблицей.

Все рисунки и таблицы должны быть расположены по центру полосы набора.

Подпись под рисунком и название таблицы печатаются на двух языках – русском и английском.

Формулы. Все формулы набираются в формульном редакторе, нумеруются, на них должны быть ссылки в тексте в круглых скобках. Формулы выносятся отдельной строкой после ссылки с отступом два Тав. Номер формулы вводится в круглые скобки и выравнивается вправо. При наборе формул рекомендуется использовать следующие кегли шрифтов: основной – 11; крупный индекс – 7; мелкий индекс – 5; крупный символ – 14; мелкий символ – 10. Гарнитура шрифта Times New Roman. Для набора математических формул используют буквы латинского алфавита (светлый курсив), греческого алфавита (светлый прямой шрифт) и готический шрифт (светлый прямой). Индексы формул, обозначенные буквами латинского алфавита, набирают курсивом (m_i – масса i -го элемента), а обозначенные буквами русского алфавита – прямым шрифтом (l_p – длина разбега; $V_{\text{пос}}$ посадочная скорость). Сокращенные обозначения физических величин и единиц измерения (кВт, Ф/м, W/m) – светлым прямым без точек. Числа и дроби в формулах должны быть набраны светлым прямым шрифтом. Прямым шрифтом набирают также некоторые математические обозначения (sin, tg; max, min; const; log, det, exp и т. д.). Векторные величины следует обозначать жирным курсивом, а не надсимвольной чертой: e не \bar{e} . Перенос в формулах допускается делать в первую очередь на знаках (=, », <, > и др.), во вторую очередь – на отточии (...), на знаках сложения и вычитания (+, –), в последнюю – на знаке умножения в виде крестика (×). Перенос на знаке деления не допускается. Математический знак, на котором разрывается формула при переносе, обязательно должен быть повторен в начале второй строки. При переносе формул нельзя отделять выражения, содержащиеся под знаком интеграла, логарифма, суммы, произведения, от самих знаков. Небольшие формулы, не имеющие самостоятельного значения, набираются внутри строк текста. Наиболее важные формулы, все нумерованные формулы, а также длинные и громоздкие формулы, содержащие знаки суммирования, произведения и т. п., набирают отдельными строками. Отбивка до и после строки с формулой в этом случае – 6 пунктов. Вместо выражения вида $\frac{a}{b}$ рекомендуется писать a/b. Отдельные элементы математических формул, вынесенные в текст, набираются по приведенным выше правилам (прямой шрифт в формуле – прямой шрифт в тексте, курсив в формуле – курсив в тексте).

Химические символы (Ag, Cu) набирают прямым шрифтом. Для набора рекомендуется использовать редактор Chem Window.

Единицы физических величин следует приводить в международной системе СИ по ГОСТ 8.417-2002. ГСИ. Единицы величин.

Все аббревиатуры в тексте должны быть расшифрованы. Разрешаются лишь общепринятые сокращения названий мер, физических, химических и математических величин.

Подготовка аннотации

Аннотация должна содержать от 200 до 250 слов, ключевые слова – не более 7 слов или словосочетаний. Аннотация должна быть полноценной и информативной, не содержать общих слов, отражать содержание статьи и результаты исследований, строго следовать структуре статьи. Таким образом, аннотация позволяет решить, следует ли обращаться к полному тексту статьи. Сведения, содержащиеся в заглавии статьи, не должны повторяться в тексте аннотации. Следует избегать лишних вводных фраз, например, «автор статьи рассматривает...». Исторические справки, если они не составляют основное содержание документа, описание ранее опубликованных работ и общеизвестные положения в аннотации не приводятся. В тексте аннотации следует применять значимые слова из текста статьи, употреблять синтаксические конструкции, свойственные языку научных и технических документов, избегать сложных грамматических конструкций.

Электронный вариант материалов

Текст статьи, рефераты, ключевые слова и сведения об авторе(ах) размещаются в одном файле. Материалы должны быть оформлены с применением средств Microsoft Office 2003 (расширение текстового файла *.doc). Для передачи информации подойдут любые электронные носители.

Редакция журнала оставляет за собой право производить сокращения и редакционные изменения рукописи.

Статьи, не соответствующие вышеперечисленным требованиям, могут быть возвращены автору(ам) для доработки.

Рукописи статей, принятых к публикации, авторам не возвращаются.

Публикации статей бесплатные. Рукописи статей сотрудников ФГБОУ ВПО «КГТУ» направляются в редакционную коллегию журнала по рекомендациям научно-методических семинаров кафедр. Все статьи проходят обязательное внешнее или внутреннее рецензирование. Автор самостоятельно или в соавторстве может представить в номер не более одной статьи. Статьи публикуются на русском или английском языке.

Адрес редакции:

236022, г. Калининград, Советский проспект, 1,
Калининградский государственный технический университет

Тел. (4012) 99-59-74

E-mail: svetlana.suprunova@klgtu.ru

<http://klgtu.ru/science/magazine/index.php>

Издание зарегистрировано в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор),
Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС77-47915
от 22.12.2011 г.

Директор издательства Г. А. Смирнова

Редакторы: Е. В. Билко, И. В. Голубева, Г. Е. Смирнова

Издательство ФГБОУ ВО «КГТУ»
236022, г. Калининград, Советский проспект, 1
Лицензия № 05609 от 14.08.2001
Подписано в печать 28.04.2016. Выход в свет 01.05.2016. Формат 60 x 88 (1/8)
Печ. л. 28,5. Уч.-изд. л. 18,2. Тираж 1000 экз. Заказ № 16.