



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО РЫБОЛОВСТВУ
Дальневосточный государственный технический
рыбохозяйственный университет
The Far Eastern State Technical Fisheries University

НАУЧНЫЕ ТРУДЫ ДАЛЬРЫБВТУЗА

Scientific Journal of DALRYBVTUZ Vol. 40

Том

40

Адрес: Россия, 690087, Владивосток, ул. Луговая, 526

Телефон/факс: (4232)44-11-76

e-mail: nauch-tr@dgtru.ru

сайт: <http://nauch-tr.dgtru.ru>

2017

Редакционная коллегия:

Главный редактор – Г.Н. Ким, доктор технических наук, профессор, ректор

Научный редактор – В.Д. Богданов, доктор технических наук, профессор

Т.Е. Буторина, доктор биологических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Дальрыбвуз»;
В.В. Плотников, доктор географических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Дальрыбвуз»;
Н.Г. Ключкова, доктор биологических наук, профессор, ФГБОУ ВО «КамчатГТУ»;
Нгуен Ву Тхань, профессор, доктор наук, Департамент нематодологии Института экологии и биологических ресурсов Вьетнамской академии наук и технологий (ВАНТ);
Е.В. Осипов, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Дальрыбвуз»;
С.В. Лисиенко, кандидат экономических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Дальрыбвуз»;
О.Н. Кручинин, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник ФГБНУ «Тинро-Центр»;
Чан Яцин, профессор, доктор наук, директор колледжа рыболовства и биологических наук Даляньского океанологического университета;
А.Н. Соболенко, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Дальрыбвуз»;
Б.И. Руднев, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Дальрыбвуз»;
Г.П. Кича, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»;
Э.Н. Ким, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Дальрыбвуз»;
Т.Н. Слуцкая, доктор технических наук, профессор, зав. отделом безопасности гидробионтов ФГБНУ «Тинро-Центр»;
В.А. Гроховский, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Мурманский ГТУ»;
И.Н. Ким, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Дальрыбвуз»;
В.И. Погонец, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Дальрыбвуз»;
С.А. Бредихин, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВПО «МГУПБ»;
Ю.А. Фатыхов, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Калининградский ГТУ»

Технический секретарь – Е.В. Денисова, заместитель начальника научного управления

Ответственный секретарь – Т.В. Ломакина, начальник редакционно-издательского отдела

УДК 551.467; 528.88

В.А. Дубина^{1,2}, В.В. Плотников^{1,2}, Н.М. Вакульская²

¹ Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б

² Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН,
690041, г. Владивосток, ул. Балтийская, 43

ДРЕЙФ ЛЬДА В ОХОТСКОМ МОРЕ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ

На основе измерений спектрорадиометров MODIS со спутников Terra и Aqua исследованы особенности дрейфа льда в Охотском море. Рассмотрена пространственная неоднородность дрейфа в районах углеводородных месторождений на Магаданском и Сахалинском шельфах.

Ключевые слова: Охотское море, дрейф льда, спектрорадиометр MODIS.

V.A. Dubina, V.V. Plotnikov, N.M. Vakulskaia

SEA ICE DRIFT IN THE OKHOTSK SEA ACCORDING TO SATELLITE DATA

Sea ice drift features in the Okhotsk Sea were investigated based on measurements of the spectroradiometers MODIS from Terra and Aqua satellites. Spatial heterogeneity of sea ice drift around hydrocarbonic fields on the Sakhalin and Magadan shelves is revealed.

Key words: Okhotsk Sea, Sea ice drift, spectroradiometer MODIS.

Введение

Формирование, нарастание и разрушение льда сопровождаются процессами, которые играют важную роль в морских экосистемах. В присутствии ледяного покрова резко снижается тепло- и газообмен между океаном и атмосферой. Несмотря на то, что резко сокращается приток солнечной энергии в фотический слой, подо льдом продолжается фотосинтез, и в зимнее время наблюдается вспышка цветения фитопланктона. В процессе льдообразования происходит выделение рассола, в результате чего формируются глубинные воды с повышенным содержанием кислорода. Плавающий лёд Охотского моря используется несколькими видами тюленей в качестве субстрата для рождения приплода. В присутствии льда резко повышаются экологические риски, связанные с добычей и транспортировкой нефтяных углеводородов.

В связи с вышесказанным становится очевидным значительная роль ледяного покрова при решении различных задач теоретической и прикладной экологий. Особенно важно знать характеристики и пространственно-временную изменчивость дрейфа льда.

Основным инструментом для расчёта дрейфа морского льда являются спутниковые изображения одной и той же акватории, полученные с некоторым временным сдвигом. С 1999 г. для этих целей используют измерения, полученные спектрорадиометром MODIS со спутника Terra, а после запуска в 2002 г. спутника Aqua с таким же прибором на борту появилась возможность оценивать дрейф не только на суточном интервале, но и на промежутке 100–200 мин.

В настоящей работе приводятся результаты исследования динамики ледяного покрова Охотского моря, основанного на измерениях спектрорадиометров MODIS с привлечением радиолокационных данных, полученных со спутников ERS-1, ERS-2, Envisat, Sentinel-1A, и обширного архива изображений спутников серии Landsat (1986–2016 гг.).

Объекты и методы исследований

Характеристики дрейфа льда в Охотском море определялись с использованием численных расчётов и информации о дрейфе затёртых во льдах судах, а также напрямую измерялись с применением волномера-перспектометра, аэрофотосъёмки, спутниковых наблюдений, береговых радиолокационных станций (РЛС), автономных буёв ARGOS (см. ссылки в работе [1]). Больше всего информации по дрейфу льда относится к северо-восточному шельфу о. Сахалин. Наиболее представительными являются измерения по спутниковым изображениям за период 1985–1992 гг. [2, 3] и по трём РЛС (суммарные измерения охватывают период 1985–1996 гг.) [2, 4, 5].

В данной работе для анализа динамики ледовой обстановки использовались изображения в истинном цвете спектрорадиометров MODIS (разрешение 250 м) со спутников Terra и Aqua и радиометров спутников Landsat-7 и Landsat-8 (разрешение 30 м). Изображения в истинном цвете по измерениям MODIS создавались комбинацией 1-го (длина волны $\lambda = 0,645$ мкм, разрешение 250 м), 4-го ($\lambda = 0,555$ мкм, разрешение 500 м) и 3-го ($\lambda = 0,469$ мкм, разрешение 500 м) спектральных каналов. Для данных ETM+ Landsat-7 и OLI Landsat-8 используются соответственно 1–3 и 2–4 каналы (<http://glovis.usgs.gov/>).

Скорость и направление дрейфа льда рассчитывались методом маркеров по двум изображениям MODIS на временном интервале 105 мин и одни сутки, а также по частично перекрывающимся сценам спутников Landsat-7 и Landsat-8, полученных через сутки.

Результаты и их обсуждение

На рис. 1 показано комбинированное изображение, синтезированное из трёх видимых и одного теплового ИК-каналов спектрорадиометра MODIS, полученного со спутника Aqua 28 марта 2012 г. Изображение в естественных цветах, на котором виден ледяной покров и облачность, скомбинировано с инфракрасным каналом в псевдоцветах, который отражает поле температуры поверхности воды, не закрытой льдом. Стрелки, наложенные на изображение, показывают векторы генерального дрейфа льда за период с 25 по 29 марта 2012 г. Этот рисунок отражает общую схему дрейфа льда в Охотском море при слабых ветрах и/или ветрах северных и северо-западных направлений. Как видно из рис. 1, лёд из северных и западных районов моря смещается к восточному побережью о. Сахалин и далее в основной массе движется на юг, где затягивается в сложную вихревую циркуляцию Южно-Курильской котловины. Скорость дрейфа при слабых ветрах (3–4 м/с на всех прибрежных станциях) в среднем составляет 0,05–0,20 м/с. Непродолжительные нарушения зимнего муссона могут существенно менять направление дрейфа.

На рис. 2 приведено изображение в истинном цвете, полученное комбинацией измерений спектрорадиометра MODIS за 12 января 2006 г., на которое нанесены векторы смещения ледяных полей за последующие трое суток. Всего для этого района зимой 2006 г. были построены 8 карт трёхсуточных смещений льда. Максимальная скорость была зарегистрирована 6–7 февраля в 50 км к востоку от зал. Пильтун и составила 53,8 км/сут (0,60 м/с). Рис. 2 отражает типичную картину дрейфа зимой 2006 г. Некоторые отличия заключались только в вариациях направления перемещения льда на северо-восточном шельфе Сахалина в пределах 60° (от 120 до 180°).

По данным за январь–май 2015 г. был рассчитан дрейф льда южнее – в районе Венинского и Киринского углеводородных месторождений. Среднесуточная скорость дрейфа льда

не превышала 0,15 м/с, а максимальная суточная скорость 13–14 января составила 0,45 м/с. Наблюдались всевозможные направления дрейфа льда, но максимальную повторяемость имели направления южных румбов. При слабом ветре переменных румбов направление дрейфа было неоднородным по пространству [6].

Той же зимой был оценён дрейф льда на Магаданском шельфе. На рис. 3 и 4 представлены векторы дрейфа льда соответственно на западном и восточном участках Магаданского

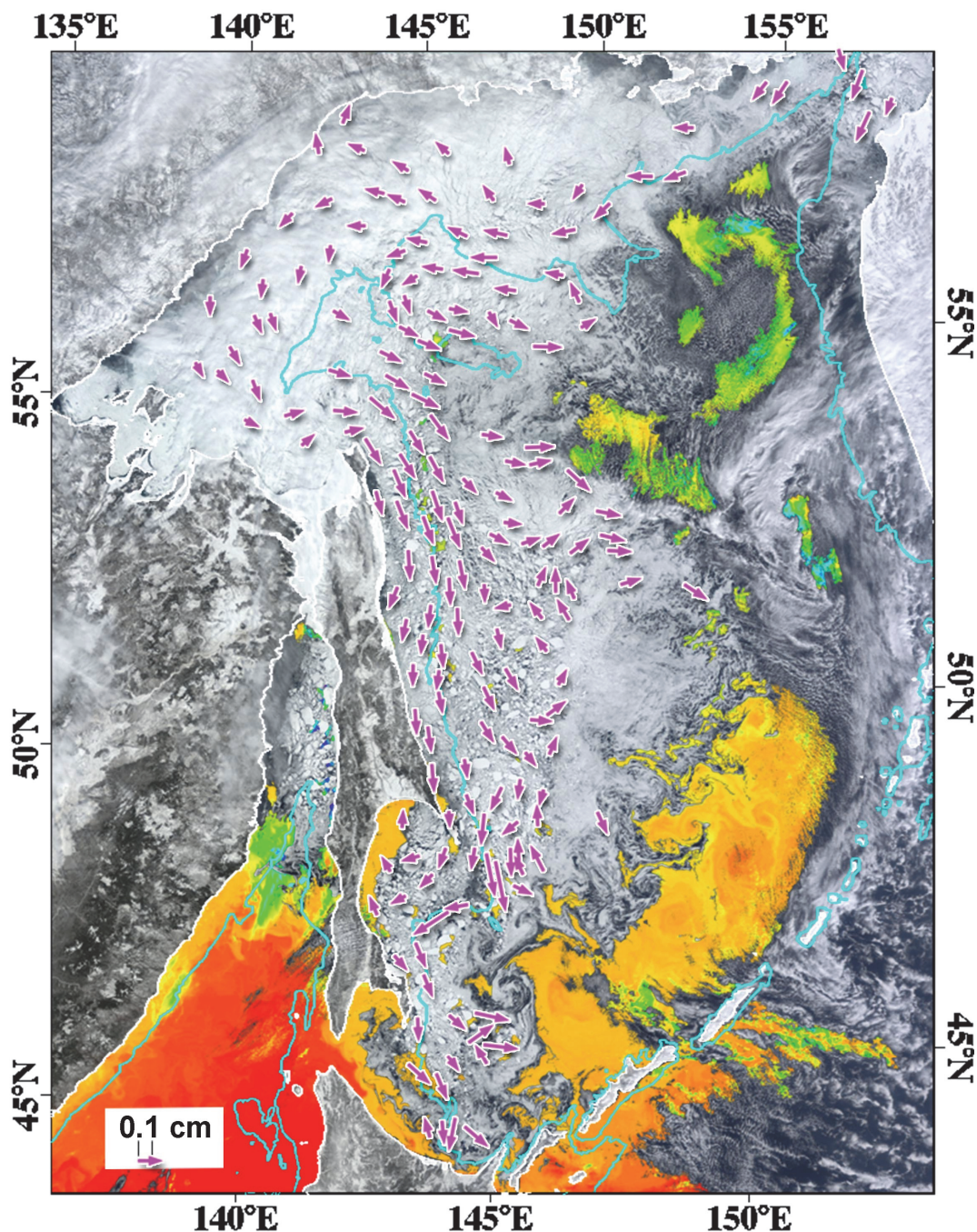


Рис. 1. Дрейф льда в Охотском море 25–29 марта 2012 г. по измерениям спектро радиометра MODIS. Векторы дрейфа наложены на изображение, скомбинированное из видимых и теплого ИК-каналов. Показана изобата 200 м

Fig. 1. Sea ice drift in the Okhotsk Sea based on spectroradiometer MODIS data. Drift vectors are superimposed on image combined from visible and IR-channels. Izobath 200 m are shown

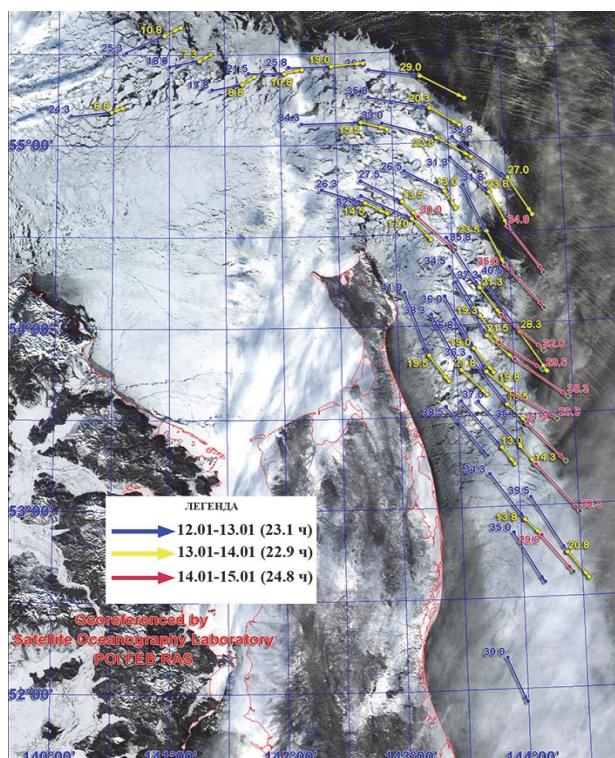


Рис. 2. Изображение в истинном цвете, полученное комбинацией измерений спектро радиометра MODIS за 12 января 2006 г., на которое нанесены векторы смещения ледяных полей за последующие трое суток (км)

Fig. 2. True color image combined from MODIS channel obtained on 12 January 2006. Arrows shows sea ice drift for the next 3 days (km)

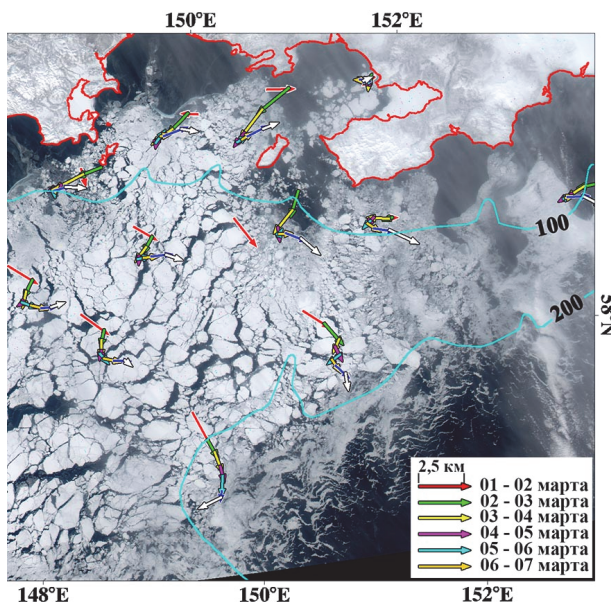


Рис. 3. Изображение в истинном цвете, полученное комбинацией измерений спектро радиометра MODIS со спутника Aqua 5 апреля в 02:45 Гр., на которое нанесены векторы смещения ледяных полей (км, восточная часть шельфа)

Fig. 3. True color image combined from MODIS channel obtained on 5 April 2015 at 02:45 UTC. Arrows shows sea ice drift (km, eastern shelf)

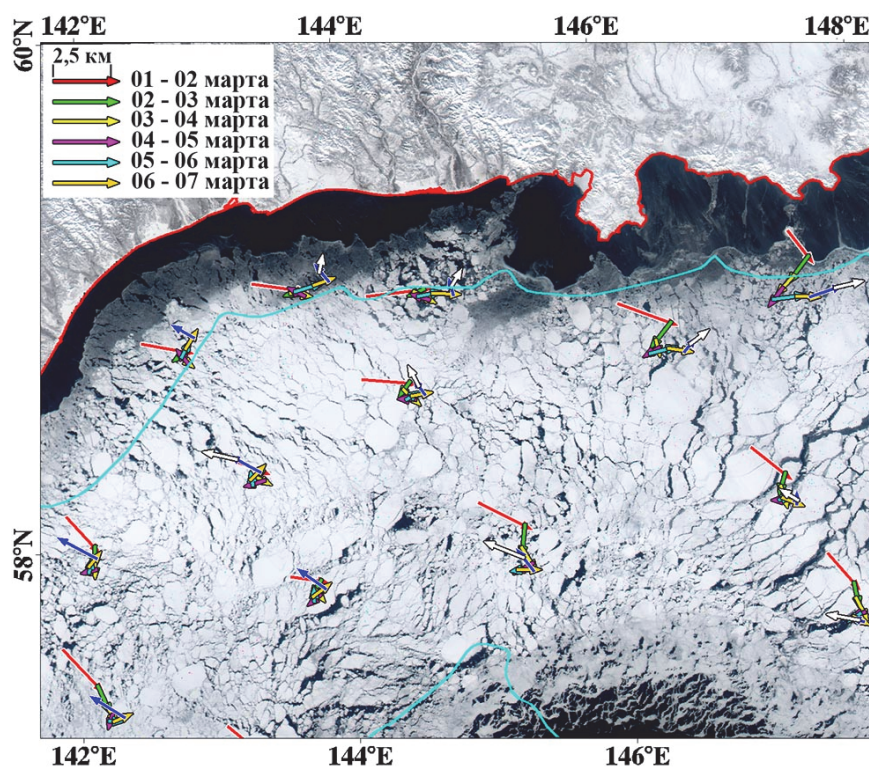


Рис. 4. Изображение в истинном цвете, полученное комбинацией измерений спектро радиометра MODIS со спутника Aqua 5 апреля в 02:45 Гр., на которое нанесены векторы смещения ледяных полей (км, западная часть шельфа)

Fig. 4. True color image combined from MODIS channel obtained on 5 April 2015 at 02:45 UTC. Arrows shows sea ice drift (km, western shelf)

шельфа, рассчитанные в апреле 2015 г. Средняя суточная скорость в январе–апреле составила 0,10 м/с. Максимальная суточная скорость 0,55 м/с была зарегистрирована 27–28 марта в 200 км к юго-юго-западу от Охотска. Максимальное результирующее смещение ледового маркера за 10 сут было зарегистрировано в юго-восточной части Магаданского шельфа – 53 км на юг (см. рис. 3). Минимальное перемещение отмечено в западной части шельфа, где плавучий лёд через 10 сут оказался на 13 км западнее первоначального положения (рис. 4).

Скорости, рассчитанные на временном интервале 110 мин, примерно в 2 раза превышали среднесуточные на севере Охотского моря и в районе Киринского месторождения. В первом случае максимальные скорости наблюдались при северо-западных ветрах в марте, а абсолютный максимум – 12 марта в 100 км к югу от зал. Шельтинга (в районе скважин «Хмитевская-2» и «Дукчинская-2»), где скорости достигали 0,70–0,75 м/с. На восточном шельфе Сахалина максимум в 1,0 м/с был зарегистрирован 22 мая в 2,5 км от берега в районе Набильского залива.

Выводы

При слабых ветрах и/или ветрах северных и северо-западных направлений лёд из северных и западных районов Охотского моря смещается к восточному побережью о. Сахалин и далее, в основной массе движется на юг, где затягивается в сложную вихревую циркуляцию Южно-Курильской котловины. Скорость дрейфа при слабых ветрах в среднем составляет 0,05–0,20 м/с. Непродолжительные нарушения зимнего муссона могут существенно менять направление дрейфа во всех районах моря. Средние скорости дрейфа, рассчитанного на интервале 105–110 мин, превышали в два-три раза скорости, рассчитанные на суточном проме-

жутке времени. Этот факт объясняется, вероятнее всего, тем, что время зондирования с полярноорбитальных спутников попадало в цикл суточного прилива. Дрейф льда определяется суммарным действием напряжения ветра, течений и силой Кориолиса. Результаты наблюдений за дрейфом в Арктике показывают, что при увеличении периода времени, за который рассчитывается смещение льда, увеличивается роль течений в суммарном дрейфе, а скорость ветрового дрейфа уменьшается [7]. Максимальная суточная скорость дрейфа на Магаданском шельфе превышает таковые вокруг Сахалина, но на промежутке 10 сут в этом районе она составила только 0,06 м/с. По данным буев ARGOS, скорость смещения льда вдоль восточного берега Сахалина оценивается в 0,25–0,35 м/с [2]. Данный факт объясняется тем, что на восточном шельфе Сахалина ветровой дрейф совпадает с Восточно-Сахалинским течением.

Работа частично поддержана грантом ДВО РАН 15-I-1-038 «Дальний Восток».

Список литературы

1. Богдановский, А.А. Параметрическая модель дрейфа льда для условий восточного шельфа Сахалина / А.А. Богдановский, С.И. Рыбалко, И.А. Аршинов // Сб. статей РЭА. – 2009. – № 1. – С. 198–211.
2. Астафьев, В.Н. Торосы и стамухи Охотского моря / В.Н. Астафьев, Г.А. Сурков, П.А. Трусков. П.А. – СПб.: Прогресс-Погода, 1997. – 197 с.
3. Калинин, Э.Н. Исследования дрейфа льда северо-восточного шельфа о. Сахалин: автореф. дис. / Калинин Э.Н. – Владивосток, 1999. – 26 с.
4. Тамбовский, В.С. Морфометрия и динамика льдов на акватории северо-восточного шельфа о. Сахалин / В.С. Тамбовский, В.Ф. Путов, Г.В. Шевченко, Е.А. Тихончук // Охрана природы, мониторинг и обустройство сахалинского шельфа. – Южно-Сахалинск, 2001. – С. 123–142.
5. Тихончук, Е.А. Деформации ледяного покрова у северо-восточного побережья острова Сахалин, обусловленные приливами / Е.А. Тихончук, Г.В. Шевченко, Е.Н. Морозов // Динамические процессы на шельфе Сахалина и Курильских островов: сб. статей / Отв. ред. Г.В. Шевченко. – Южно-Сахалинск: Институт морской геологии и геофизики Сахалинского научного центра ДВО РАН, 2001. – 215 с.
6. Дубина, В.А. Пространственная изменчивость дрейфа льда на северо-восточном шельфе острова Сахалин / В.А. Дубина, В.В. Плотников, Н.М. Вакульская // Изв. ТИНРО. – 2015. – Т. 183. – С. 227–235.
7. Ковшов, В.А. Постоянные разряжения ледяного покрова в открытых районах Охотского моря / В.А. Ковшов, Ю.Н. Синюрин // Метеорология и гидрология. – 1982. – № 11. – С. 76–81.

Сведения об авторах: Дубина Вячеслав Анатольевич, кандидат географических наук, старший научный сотрудник, доцент, e-mail: dubina@poi.dvo.ru;

Плотников Владимир Викторович, профессор, доктор географических наук, профессор, заведующий лабораторией, e-mail: vlad_plot@poi.dvo.ru;

Вакульская Надежда Михайловна, научный сотрудник, e-mail: vakulskaya@poi.dvo.ru.

УДК 639.371.61

А.Н. Ищенко, И.Г. РыбниковаДальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б**ОСОБЕННОСТИ ВЫРАЩИВАНИЯ ОКУНЯ-АУХИ В ЮЖНОМ ПРИМОРЬЕ**

Китайский окунь, или ауха, – редкий вид, находящийся под угрозой исчезновения. В Приморье встречается в реках Уссури, Сунгача и оз. Ханка. Численность этого вида сильно сократилась из-за интенсивного вылова производителей на основных нерестилищах, за пределами России. В работе рассматривается возможность разведения китайского окуня-аухи в условиях Южного Приморья.

Ключевые слова: китайский окунь, ауха, искусственное воспроизводство, биотехника разведения.

A.N. Ishchenko, I.G. Rybnikova

Dalrybvvtuz, Vladivostok, Russia

PECULIARITY OF GROWING CHINESE PERCH IN SOUTHERN PRIMORYE

Chinese perch or auha is a rare species that is under the threat of extinction. In Primorye it is found in the Ussuri River, the Songacha River and Lake Khanka. The population of this species has declined significantly due to intensive catch of sires in the main spawning grounds outside Russia. The possibility of breeding the Chinese perch auha in southern Primorye is considered in this paper.

Key words: Chinese perch, auha, artificial reproduction, bioengineering of breeding.

Введение

В феврале 2014 г. была утверждена «Стратегия сохранения редких и находящихся под угрозой исчезновения видов животных, растений и грибов в Российской Федерации на период до 2030 года». Основными принципами сохранения редких и находящихся под угрозой исчезновения видов животных, растений и грибов являются: видовой принцип, основанный на сохранении численности и ареалов видов (подвидов); популяционный принцип, основанный на сохранении или восстановлении численности и ареалов природных популяций, достаточных для их устойчивого существования; организменный принцип, основанный на сохранении отдельных особей, обеспечении их воспроизводства и сохранении генотипов [1].

Китайский окунь – один из немногих пресноводных представителей семейства Перцидовых, куда входят главным образом морские или солоноватоводные окуни, легко переносит соленость воды до 15 ‰ [2]. Это довольно крупная рыба, численность которой можно существенно увеличить, используя методы акклиматизации и искусственного воспроизводства.

В бассейне оз. Ханка обитает более 87 видов рыб, из которых более 20 видов – промысловые, 7 видов, среди которых китайский окунь-ауха, внесены в Красную книгу Приморского края [3].

Первые работы по разведению китайского окуня для зарыбления естественных водоемов Приморского края были проведены на оз. Ханка в 1959 г. [4]. В 1981–1982 гг. аналогичные работы проводились на Азовской садковой базе РПАС Азоврыбвода [5], причем самцы и самки в возрасте двух полных лет были завезены с оз. Ханка в 1973 г. Личинки окуня-аухи были получены на базе полносистемной тепловодной Лучегорской НИРС в 2006 г. при испытании Нерестинов (гонадотропных веществ) на разных видах рыб [6].

В рамках «Стратегии» в Приморском крае на Лучегорской научно-исследовательской рыбопроизводственной станции в последние годы проводится искусственное воспроизводство краснокнижных видов (каarp, амурский сазан, калуга, осетр).

Существует программа работ ФГБУ «Приморрыбвод», Приморская мелиоративная акклиматизационная станция (ПрМАС) «Восстановление численности редких и исчезающих видов рыб бассейна оз. Ханка» (2013–2016 гг.), в которой объектами акклиматизации и воспроизводства являются: черный амур *Mylopharyngodon piceus*, китайский окунь, или ауха, *Siniperca chuatsi*, мелкочешуйный желтопер *Plagiognathops microlepis*, сом Солдатова *Silurus soldatovi* и желтощек *Elopichthys bambusa*. Целью настоящей программы является обеспечение сохранения и восстановления редких и находящихся под угрозой исчезновения видов рыб, осуществление специальных биотехнических мероприятий в целях повышения численности редких и находящихся под угрозой исчезновения видов рыб бассейна оз. Ханка.

Объект и методы исследований

Отлов производителей краснокнижных видов рыб осуществлял ИП «Янин» в нижнем течении р. Мельгуновка бассейна оз. Ханка подъемной сетью размером 30x25x0,05 м. С наступлением нерестовых температур (+18–23 °C) с 12 июня по 20 июня 2014 г. были отловлены четыре экземпляра китайского окуня-ауха. Поскольку у китайского окуня половой диморфизм не выражен, до перевозки на фермерско-крестьянское хозяйство «Чистые пруды» (Хорольский район) рыба выдерживалась в месте отлова в мелкочешуйном газовом садке, а 21 июня производители аухи благополучно были перевезены в живорыбном баке с аэрацией на ФКХ «Чистые пруды». После выравнивания температуры и скорости потока воды помещены в газовые садки, установленные в пруду.

Результаты и их обсуждение

С целью стимуляции созревания половых продуктов у окуня-аухи был применен препарат «Нерестин 6А». При $t^{\circ} = 23\text{--}25$ °C естественный (стимулированный Нерестином, рисунок) нерест в проточном пруду не дал 100 % оплодотворения икры. Кроме того, инкубация икры проходила при низкой скорости течения (икра должна развиваться на течении в толще воды) и высокой температуре, поэтому не произошло и вылупления личинок [7, 8]. Стребкова и другие авторы в опытах по искусственному разведению китайского окуня-аухи [5] использовали самцов и самок в возрасте 10–11 лет массой от 3,2 до 4 кг. В нашем случае, учитывая литературные данные [4, 5, 6], необходимо было использовать более крупных особей. К сожалению, отлов таких рыб в бассейне оз. Ханка в настоящее время не возможен.

В связи с повышением температуры воды в водоеме выдерживания 25 июня 2014 г. производители были доставлены в Приморский океанариум (Научно-образовательный комплекс ДВО РАН) и размещены в бассейне, объемом 4 м³ научно-адаптационного корпуса, при температуре 13–15 °C.

После прохождения карантина производителей кормили молодь золотистого карпа. Интенсивность питания на протяжении трех месяцев была невысокая, впоследствии стабилизировалась, окунь-ауха активно питался кусочками свежемороженого гольца, в качестве живого корма использовали молодь золотистого карпа средней массой 50 г. Также был разработан суточный рацион питания для китайского окуня в условиях Приморского океанариума. Значения длины и массы тела производителей в условиях Приморского океанариума приведены в таблице.



Китайский окунь, или ауха (фото А. Ищенко)
Chinese perch, or *aucha*

Значения длины и массы тела производителей, за два года в условиях Приморского Океанариума

Characteristics of males and female with maturity gonads

Производитель	Вес, г			Длина, см			Стадия зрелости гонад
	2014 г.	2015 г.	2016 г.	2014 г.	2015 г.	2016 г.	
Самец-1	4960	-	-	70	-	-	III–IV
Самец-2	2200	2380	3140	50	51	57	III–IV
Самец-3	1200	1885	2060	40	44	48	III–IV
Самка	600	815	1060	32	34	38	III–IV

На протяжении двух лет отслеживается темп роста Китайского окуня, в 2016 г. температура воды при содержании производителей поднята до 17–18 °С. Интенсивность питания увеличилась. Также было замечено, что ауха предпочитает живой корм, а не свежемороженый. В целях повышения кормовой базы для хищных видов рыб в условиях Приморского океанариума было принято решение получить личинку карповых видов рыб (сазан).

В природе хищные рыбы питаются живым кормом, но в условиях океанариума обеспечивать их выловленной живой рыбой очень сложно. Ихтиологами океанариума был отработан процесс искусственного воспроизводства естественных кормов для таких рыб. У готовых к нересту самцов и самок сазана брали половые продукты. В искусственных условиях оплодотворяли икру, а затем оплодотворенные яйцеклетки помещали в аппарат Вейса (мобильного рыбоводного цеха). Основным принципом действия этого инкубатора является постоянное перемешивание икринок потоком воды, что в природе является необходимым условием

для их развития. Из такой икры уже через 3–4 дня выклеваются личинки. Затем личинок помещали в отдельные аквариумы для подращивания. Достигшие 5 г мальки пригодны в качестве корма для хищных рыб. Таким образом, обитающие в экспозиции «Река Амур, озеро Ханка и озеро Байкал» щука, окунь ауха, змееголов, сом Солдатова и другие хищники получают полноценные, привычные для них в естественных условиях корма.

Заключение

Результаты исследований с китайским окунем показали возможность его искусственного выращивания в условиях Южного Приморья, при условии выдерживания производителей в садках до полного созревания при температуре воды не более 24 °С; для созревания производителей до текучего состояния возможно применение препарата «Нерестин 6А»; инкубацию оплодотворенной икры проводить в аппаратах Вейса при температуре воды 22–24 °С.

Список литературы

1. Стратегия сохранения редких и находящихся под угрозой исчезновения видов животных, растений и грибов в Российской Федерации на период до 2030 года: распоряжение Правительства РФ [от 17 февраля 2014 г. № 212-р]. Текст распоряжения опубликован на официальном интернет-портале правовой информации <http://www.pravo.gov.ru>, 24.02.2014.
2. Бушуев, В.П. Пресноводные и эстуарные рыбы Приморья: справочник / В.П. Бушуев, Е.И. Барабанщиков. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2012. – 314 с.
3. Красная книга Приморского края: Животные. Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды животных. – Владивосток: АВК «Апельсин», 2005. – 448 с.
4. Ковалик, Т.Л. О целесообразности акклиматизации китайского окуня и верхогляда в водоемах Европейской части СССР / Т.Л. Ковалик // Рыб. хоз-во. – 1962. – № 2. – С. 19–23.
5. Стребкова, Т.П. Рекомендации по искусственному разведению китайского окуня-аухи / Т.П. Стребкова, В.А. Шабалина, В.М. Бибииков. – М.: ВНИРО, 1983. – 13 с.
6. Коваленко, В.А. Основные результаты испытаний препаратов серии «Нерестин» при искусственном воспроизводстве рыб в 2006 году / В.А. Коваленко, Д.П. Лисник, И.В. Никишин, Е.И. Рачек, А.И. Ведрашко // Рыбоводство и рыб. хоз-во. – 2006. – № 12. – С. 15–30.
7. Ищенко, А.Н. Особенности искусственного воспроизводства китайского окуня в условиях Приморского края / А.Н. Ищенко, И.Г. Рыбникова // Науч. тр. Дальрыбвтуза. – Владивосток, 2015. – Т. 34. – С. 7–9.
8. Ищенко, А.Н. Опыт выращивания китайского окуня в Южном Приморье // А.Н. Ищенко, С.Д. Павлов, И.Г. Рыбникова // Вестн. КрасГАУ. – Красноярск, 2016. – № 3. – С. 145–150.

Сведения об авторах: Ищенко Алексей Николаевич, аспирант;

Рыбникова Ирина Григорьевна, кандидат биологических наук, доцент, e-mail:

berehzok@mail.ru.

УДК 591.69-7

В.Н. КазаченкоДальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б**НАХОДКИ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ РОДА *SPHYRION* (CRUSTACEA: COPEPODA)
У ЮГО-ЗАПАДНЫХ БЕРЕГОВ АФРИКИ**

Два вида рода *Sphyrion* (*S. lumpi* и *S. quadricornis*) из семейства *Sphyridae* зарегистрированы на рыбе *Coelorinchus fasciatus* у юго-западных берегов Африки. *C. fasciatus* – новый хозяин для *S. lumpi* и *S. quadricornis*.

Ключевые слова: паразитические копеподы, хозяин, юго-запад Африки.

V.N. Kazachenko**FINDING THE REPRESENTATIVES OF THE GENUS *SPHYRION* (CRUSTACEA:
COPEPODA) OFF THE SOUTHWEST COAST OF AFRICA**

Report about two species of the genus *Sphyrion* (*S. lumpi* and *S. quadricornis*) of family *Sphyridae* registered on fish *Coelorinchus fasciatus* from the south-western coast of Africa. *C. fasciatus* is new host, for *S. lumpi* and *S. quadricornis*.

Key words: parasitic copepods, host, south-west Africa.

Представители семейства *Sphyridae* являются мезопаразитами рыб [1, 2]; в его состав входят 9 родов [3, 4]. Копеподы рода *Sphyrion* Cuvier, 1830 паразитируют на демерсальных рыбах; в составе рода известно три вида: типовой вид *Sphyrion lumpi* (Krøyer, 1845), *S. laevigatum* (Quoy et Gaimard, 1823) и *S. quadricornis* Gayevskaya et Kovaleva, 1984. При обработке коллекции паразитических копепод из сборов АзЧерНИРО (ныне ЮгНИРО) обнаружены 2 вида из рода *Sphyrion* Cuvier, 1830. Копеподы были зарегистрированы у 2 экземпляров рыб. Сбор и обработка материала проводились по общепринятым методикам [3, 5]. Измерения копепод приведены в миллиметрах.

Класс Crustacea Briinnich, 1772

Отряд Copepoda Milne-Edwards, 1840

Подотряд Siphonostomatoida Latreille, 1829

Семейство Sphyridae Wilson, 1919

Самка. Форма тела сфириоидная. Прикрепительный аппарат головогруды имеет разную форму. Шея цилиндрическая, длинная. Генитальный комплекс различной формы, сжат дорсовентрально, у некоторых родов имеет два ряда склеротизированных ямок на плоской поверхности. Задние отростки простые, подразделяются на части или сильно разветвлены. Конечности сильно редуцированы.

Самец карликовый, головогрудь отделена или слита с туловищем, ветви каудальной фурки имеются.

Паразиты морских хрящевых и костных рыб.

Типовой род – *Sphyrion* Cuvier, 1830.

Род *Sphyrion* Cuvier, 1830

Син.: *Lestes* Krøyer, 1845; *Lesteira* Krøyer, 1863.

Самка. Форма тела сфириоидная. Прикрепительный аппарат головогруды вытянут поперечно, его латеральные края острые или тупо оканчивающиеся, гладкие или имеют бугорки.

Грудные сегменты образуют прямую или изогнутую субцилиндрическую шею разной длины, лишенную сегментации и отростков. Генитальный комплекс округлой или грушевидной формы, сжат дорсовентрально. Задние отростки генитального комплекса разветвлены, с возрастом их разветвленность увеличивается. Конечности редуцированы в пальцевидные или папиллообразные отростки. Яйцевые мешки длинные, прямые, яйца многорядные. Первая и вторая антенны представлены небольшими вздутиями. Рот сифоностоматоидного типа. Первая и вторая максиллы конические или пальцеобразные, очень маленькие. Максиллипед в виде ложной клешни.

Самец. Тело неясно делится поперечной перетяжкой на головогрудь и генитоабдоминальное туловище. Каудальная фурка отсутствует. Анальное и генитальное отверстия сдвинуты на вентральную поверхность. Первая антенна одноветвистая, 3-члениковая, апикальное вооружение хорошо развито. Вторая антенна двуветвистая; симподит 2-члениковый; экзоподит 1-члениковый, округлый, несет шипики; члениковость эндоподита неясно выражена, вооружение лернеоподоидного типа. Ротовые конечности сифоностоматоидного типа. Первая максилла пальцеобразная, вторая – в виде ложной клешни. Максиллипеды в виде ложной клешни, слиты основаниями. Плавательные ноги отсутствуют.

Паразиты морских костных рыб.

Типовой вид – *Sphyrion laevigatum* (Quoy et Gaimard, 1824).

Sphyrion lumpi (Krøyer, 1845) (рисунок, а)

Син.: *Lestes lumpi* Krøyer, 1845; *Lesteira lumpi* Krøyer, 1863; *Sphyrion norvegicum* Thor, 1990.

Хозяин: *Coelorinchus fasciatus* (Gunther, 1878) (Gadiformes: Macrouridae).

Локализация: у основания спинного плавника.

Интенсивность инвазии: 3 экз.

Район и время обнаружения: на траверзе Кейптауна, 31 мая 1969 г.

Измерения:

(без головогруды и части шеи, взрослый) часть шеи – 11,9; туловище – 5,96x7,65; каудальные придатки – 7,65x5,1;

(без головогруды и части шеи, молодой) часть шеи – 3,74; туловище – 2,38x1,7; каудальные придатки – 1,36;

(целый, молодой) головогрудь – 1,19x3,4; шея – 15,13x0,34; туловище – 2,72x1,87; каудальные придатки – 1,53x1,19.

S. lumpi известен от *Anarhichas denticulatus*, *A. lupus*, *Antimora australis*, *A. rostrata*, *Boreogadus saida*, *Coelorinchus marini*, *Coryphaenoides rupestris*, *Cottunculus inermis*, *Cyclopterus lumpus*, *Gadus morhua*, *Gaidropsarus ensis*, *Glyptocephalus cynoglossus*, *Laemonema laureysi*, *Macrourus berglax* M. *holotrachys*, *Macrurus asper*, *Merluccius bilinearis* M. *merluccius*, *Molva dypterygia*, *Nematonurus armatus*, *N. goodei*, *Psychrolutes macrocephalus*, *Reinhardtius hippoglossoides*, *Sebastes fasciatus*, *S. flameus*, *S. marinus*, *S. mentella*, *S. viviparus*, *Solea solea*, *Spurns centrodonatus* и *Urophycis tenuis* из северной и южной частей Атлантического, Северного Ледовитого (Баренцево море) и Тихого океанов (Японское море) [6, 7, 8, 9, 10, 11, 12].

Coelorinchus fasciatus – новый хозяин для *Sphyrion lumpi*.

Sphyrion quadricornis Gayevskaya et Kovaleva, 1984 (рисунок, б)

Хозяин: *Coelorinchus fasciatus*.

Локализация: мускулатура.

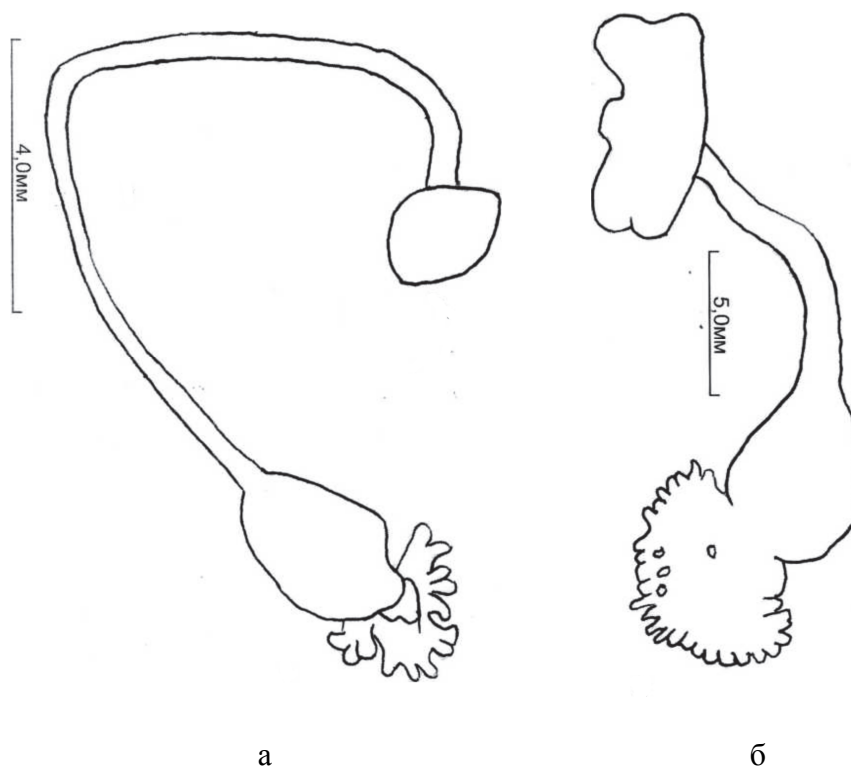
Интенсивность инвазии: 2 экз.

Район и время обнаружения: на траверзе Кейптауна, 31 мая 1969 г.

Измерения: головогрудь – 2,89–2,98x7,65–10,88; шея – 8,50–10,20x1,36; туловище – 4,59–6,46x5,11–7,99; каудальные придатки – 4,25–6,80x3,40–3,91.

S. quadricornis известен по первоописанию от *Coelorhynchus braueri* (Macrouriformes, Macrouridae) с глубины 360–900 м из юго-восточной Атлантики (юго-западная Африка) и северной Атлантики от *Macrourus berlax* [6, 7].

Coelorinchus fasciatus – новый хозяин для *Sphyrion quadricornis*.



Представители рода *Sphyrion*: а – *S. lumpi* (оригинал); б – *S. quadricornis* (оригинал)
Representatives of the genus *Sphyrion*. а – *S. lumpi* (original); б – *S. quadricornis* (original)

Определительная таблица родов семейства Sphyridae

- | | |
|--|-----------------------------------|
| 1а. Шея не имеет отростков..... | 5 |
| б. Шея имеет отростки в виде вздутый или рогов..... | 2 |
| 2а. Задние отростки туловища разветвлены..... | Lophourci Kolliker, 1853 |
| б. Задние отростки туловища не разветвлены..... | 3 |
| 3а. Передняя часть шеи имеет воротничок (кольцеобразное расширение)..... | Norkus Dojiri et Deets, 1988 |
| б. Передняя часть шеи не имеет воротничка..... | 4 |
| 4а. Головогрудь имеет многочисленные разветвленные отростки .. | <i>Driocephalus</i> Raibaut, 1999 |
| б. Головогрудь не имеет разветвленных отростков..... | <i>PeriPLEXIS</i> Wilson, 1919 |
| 5а. Задние отростки туловища разветвлены..... | <i>Sphyrion</i> Cuvier, 1830 |
| б. Задние отростки туловища не разветвлены..... | 6 |
| 6а. Головогрудь не имеет отростков..... | <i>Opimia</i> Wilson, 1908 |
| б. Головогрудь имеет отростки..... | 7 |
| 7а. Головогрудь поперечно эллипсоидная, имеет парные сферические отростки..... | <i>Paeon</i> Wilson, 1919 |
| б. Головогрудь имеет роговидные отростки..... | 8 |

- 8а. Задние отростки туловища короткие *Paenocanthus* Kabata, 1965
 б. Задние отростки туловища длинные *Tripaphylus* Richiardi, 1878

Определительная таблица видов рода *Sphyrion*

- 1а. Шея длиннее туловища 2
 б. Шея короче туловища *S. laevigatum*
 2а. Латеральные края головогруды раздвоены *S. quadricornis*
 б. Латеральные края головогруды не раздвоены *Sphyrion lumpi*

Благодарности

Выражаю искреннюю благодарность В.Р. Дубине, канд. биол. наук, АзЧерНИРО (ныне ЮгНИРО, г. Керчь, Республика Крым, РФ) за представленный материал и Е.В. Казаченко за помощь в оформлении рисунков.

Список литературы

1. Фейзуллаев, Н.А. Новое паразитологическое понятие / Н.А. Фейзуллаев // Зоол. журн. – 1971. – Т. 50 (12). – С. 1865–1869.
2. Kabata Z. A rational look at parasitic Copepoda and Branchiura. In: Wildlife diseases. New York and London: Plenum Press. – 1976. – P. 175–181.
3. Казаченко, В.Н. Паразитические копеподы рыб: справочник / В.Н. Казаченко. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2016. – 443 с.
4. Voxshall G.A., Halsey S.H. An introduction to copepod diversity. London: The Ray Society. – 2004. – Part 1–2. – 966 p.
5. Быховская-Павловская, И.Е. Паразиты рыб. Руководство по изучению / И.Е. Быховская-Павловская. – Л.: Наука, 1985. – 121 с.
6. Гаевская, А.В. Рачки рода *Sphyrion* (Copepoda, Sphyrriidae) у рыб Атлантики / А.В. Гаевская, А.А. Ковалева // Гидробиол. журн. – 1984. – Т. 20, № 1. – С. 41–46.
7. Гаевская, А.В. Паразиты и болезни морских и океанических рыб в природных и искусственных условиях / А.В. Гаевская. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2004. – 237 с.
8. Карасев, А.Б. Каталог паразитов рыб Баренцева моря / А.Б. Карасев. – Мурманск: Изд-во ПИРНО, 2003. – 150 с.
9. Маркевич, А.П. Паразитические веслоногие рыб СССР / А.П. Маркевич. – Киев: Изд-во АН УССР, 1956. – 246 с.
10. Alves P.V., Fischer T.G., Luque J.X. Occurrence of *Sphyrion lumpi* (Krøyer, 1845) (Siphonostomatoida, Sphyrriidae) on Marini's grenadier *Coelorinchus marinii* Hubbs, 1934 (Gadiformes, Macrouridae) from Brazil // Pan-American Journal of Aquatic Sciences. – 2013. – Vol. 8(1). – P. 58–61.
11. Barnard K.H. South African parasitic Copepoda // Ann. S. Afr. Mus. – 1955. – Vol. 41. – P. 223–312.
12. Ho J.-s. Does *Sphyrion lumpi* (Krøyer) (Copepoda, Sphyrriidae) occur in the Sea of Japan? With discussion on the origin and dispersal of *Sphyrion* Cuvier, 1830 // Report of the Sado Biological Station Niigata University. – 1992. – № 22. – P. 37–48.

Сведения об авторе: Казаченко Василий Никитич, доктор биологических наук, профессор, e-mail: prof.kazachenko@gmail.com.

УДК 551.465; 528.88

Е.А. Пак¹, Д.С. Хапов¹, В.А. Дубина^{1,2}¹Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б²Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН,
690041, г. Владивосток, ул. Балтийская, 43**МЕЗОМАСШТАБНЫЕ АБИОТИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ В ПРИБРЕЖНЫХ
ЭКОСИСТЕМАХ ЗАЛИВА ТЕРПЕНИЯ (ОХОТСКОЕ МОРЕ)**

На основе спутниковых изображений высокого и среднего пространственного разрешения исследованы мезомасштабные явления в зал. Терпения. Обнаружена сложная структура течений, состоящая из плотноупакованных вихрей разного знака.

Ключевые слова: Японское море, побережье Приморья, поверхностные течения, Приморское течение, мезомасштабные вихри, внутренние волны, спутники серии Landsat, спектрорадиометр MODIS.

E.A. Pak, D.S. Hapov, V.A. Dubina**SUBMESOSCALE ABIOTIC FACTORS IN COASTAL MARINE ECOSYSTEMS
OF THE TERPENIYA BAY (OKHOTSK SEA)**

Submesoscale phenomena were studied based satellite high and moderate spatial resolution images. Complex structure of the currents consisting of close-packed different sign eddies structure was revealed.

Key words: Okhotsk Sea, Terpeniya Bay, surface current, submesoscale eddies, Landsat satellites, spectroradiometer MODIS.

Введение

Зал. Терпения вдаётся в среднюю часть восточного берега острова между мысом Соймонова, находящимся в 2,2 мили к северу от устья р. Нитуй, и мысом Терпения, расположенным в 72 милях к востоку-юго-востоку от мыса Соймонова [1]. Западный и восточный берега залива гористые, а северный берег низкий. С восточной стороны залив ограничен узким п-вом Терпения. В зал. Терпения впадает сравнительно крупная р. Поронай, возле устья которой оборудован порт Поронайск, и несколько менее значительных рек и речек [1].

В районе зал. Терпения расположен Поронайский заповедник. Общая площадь охранной зоны заповедника – 44,6 тыс. га, из них 17,3 тыс. га – морская акватория, которая удалена от берега на 500 м в зал. Терпения и на 1000 м – в Охотское море (<http://www.zapovednik-65.ru/>). Флора насчитывает 460 видов, из которых пять видов растений внесены в Красную книгу РФ и Сахалинской области. Животный мир насчитывает до 440 видов. Группа редких животных, внесенных в Красную книгу Сахалинской области, насчитывает 39 видов. В заповеднике встречаются 8 видов, включенных в Красную книгу МСОП (Международный союз охраны природы). Сахалинская кабарга, белоплечий орлан, дикуша и дальневосточный кроншнеп являются эндемиками Дальнего Востока России (<http://www.zapoved.ru/>).

В море у берегов п-ва Терпения можно встретить различные виды китов (кашалот, касатка) и дельфинов и большое количество тюленей, образующих лежбища на камнях и рифах вдоль побережья. На некоторых лежбищах концентрируется до 400 особей ластоногих (<http://www.zapoved.ru/>). На мысе Терпения находится самый крупный птичий базар острова.

Для эффективного решения задач, связанных с изучением, контролем и управлением прибрежными ресурсами зал. Терпения, необходимо знать пространственно-временную изменчивость абиотических факторов, в первую очередь, детальную картину течений. Мас-

штабы залива позволяют для решения этой задачи использовать спутниковые данные со средним (250 м) и высоким (15–60 м) пространственным разрешением.

Объекты и методы исследования

С 2009 г. открыт для бесплатного доступа архив изображений, полученных со спутников серии Landsat (<http://glovis.usgs.gov/>). Сенсоры, установленные на этих космических аппаратах, зондируют Землю в видимом и инфракрасном диапазонах длин волн и имеют пространственное разрешение в зависимости от рабочей длины волны от 15 до 120 м. Съёмки с двух спутников Landsat позволяют анализировать динамику прибрежных вод с временным периодом 8 сут. Инфракрасный канал (10,4–12,5 мкм) тематического картографа ETM+, установленного на спутнике Landsat-7, имеет уникальное пространственное разрешение – 60 м при ширине обзора 185 км. Бесплатные архивные измерения со спутников Landsat позволяют получать новые данные о термической структуре мезомасштабных явлений, наблюдающихся в приповерхностном слое прибрежных районов океана. Данные в архиве калиброванные, что при аккуратной атмосферной коррекции позволяет получать значения ТПО. Район исследования включал в себя акваторию Охотского моря от зал. Терпения до Тонино-Анивского полуострова. Эта часть моря перекрывается четырьмя общими для всех спутников Landsat фреймами Raw=26 и Raw=27 на соседних треках (Path=107 и Path=108). Орбиты спутников Landsat рассчитаны так, что два разных спутника пролетают по этим трекам с интервалом в сутки. Поскольку на широте зал. Терпения полосы захвата спутников Landsat частично перекрываются, появляется возможность при наличии маркеров на изображениях на суточном интервале времени рассчитать скорости переносов (течения, дрейф льда).

Для исследования также привлекались измерения в видимом и инфракрасном диапазонах электромагнитного спектра спектрорадиометров MODIS, установленных на спутниках Aqua и Terra (2002–2016 гг., пространственное разрешение 250 м в видимом и 1 км в ИК-диапазонах).

О течениях в зал. Терпения известно немного. Лоция информирует только о том, что скорость суммарного течения не превышает 0,4 уз [1]. На схемах течений Охотского моря в заливе и у юго-восточного берега Сахалина показан циклонический незамкнутый поток [2], в работе [3] в исследуемом районе добавлен антициклонический круговорот в зал. Терпения, а южнее (между мысом Терпения и Тонино-Анивским полуостровом) – циклонический. Результаты моделирования показывают, что течения в указанном районе имеют сезонные отличия. Зимой и весной Восточно-Сахалинское течение от мыса Терпения следует в направлении Тонино-Анивского полуострова, а летом одна из его ветвей огибает зал. Терпения против часовой стрелки.

Результаты и их обсуждение

На видимых и ИК-изображениях спектрорадиометра MODIS часто повторяются ситуации, когда обе ветви Восточно-Сахалинского течения южнее мыса Терпения образуют антициклонический вихрь, по которому воды этого течения поступают в зал. Терпения. Граница между ветвями течения имеет волнистый характер с длиной волны примерно 20 км [4], и эти неоднородности сохраняются в антициклоне. На рис. 1 приведено ИК-изображение, полученное со спутника Landsat-7 30 августа 2015 г. Более теплая вода на снимке выглядит светлее. На рис. 1 видна целая система плотноупакованных вихрей разного знака с размерами от 5 до 25 км. В районе мыса Терпения и о. Тюлений наблюдается область холодной воды. Очевидной связи вихревой системы в зал. Терпения с Восточно-Сахалинским течением на момент снимка не наблюдается.

На рис. 2 показано ИК-изображение, принятое со спутника Landsat-5 13 сентября 1994 г. Снимок зарегистрировал систему циклонических вихрей размерами 10–40 км и струй (струй) шириной 1–10 км. Вихри к востоку от п-ва Терпения холодные, а в заливе – тёплые.

По характеру распределения температурных контрастов можно сделать предположение, что воды прибрежной ветви Восточно-Сахалинского течения проникают в залив, вовлекая с юга более тёплые водные массы.

На рис. 3 представлены видимое (рис. 3, а) и инфракрасное (рис. 3, б) изображения со спутника Landsat-8, полученные 15 сентября 2015 г. В поле цвета моря видно, что стоковые линзы всех рек имеют циклоническую завихренность (рис. 3, а). Самый большой циклон (диаметром около 15 км) образуется водами р. Поронай. Температурные контрасты значительны только на самом юго-западе исследуемого района, а на остальной акватории наблюдается почти однородная по температуре водная масса (рис. 3, б). Но даже в этих условиях на изображении хорошо различима сложная вихревая структура течений.

В южной части исследуемого района на видимом изображении наблюдаются несколько пакетов нелинейных гравитационных внутренних волн с максимальным расстоянием между первыми двумя солитонами 1 км. Внутренние волны смещаются по направлению на северо-запад. Следует отметить, что в самом зал. Терпения внутренние волны пока не зарегистрированы, что совсем не типично для охотоморского шельфа о. Сахалин.

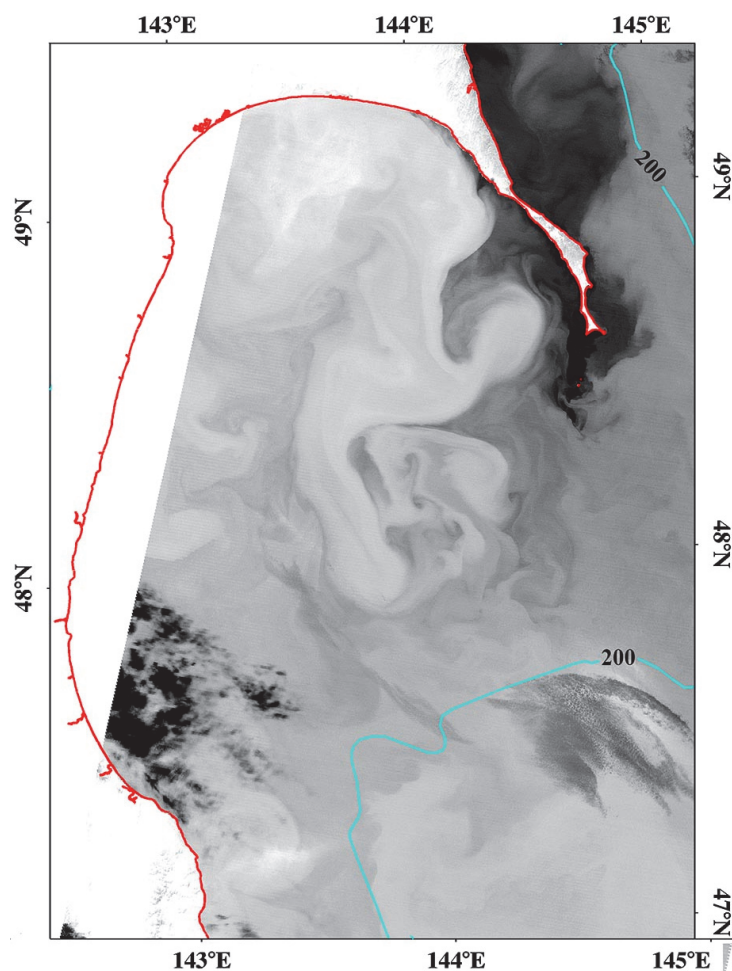


Рис. 1. Инфракрасное изображение со спутника Landsat-7, принятое за 30 августа 2015 г.

Fig. 1. Infrared Landsat-7 image obtained on 30 August 2013

Выводы

Анализ спутниковых изображений Landsat, принятых в сентябре-августе, выявил в зал. Терпения и прилегающего к нему района юго-восточного шельфа Сахалина сложную вихревую динамику поверхностных течений, которая представляет собой плотно упакованную систему вихрей разного масштаба и знака. Большинство вихрей имеют диаметры порядка 10 км. Такие горизонтальные размеры характерны для океанических явлений, которые выделяют в отдельный класс. В отечественной литературе их называют «мезомасштабными», а в англоязычной – «субмезомасштабными». Мезомасштабные процессы играют ключевую роль в вертикальном перемешивании верхнего квазиоднородного слоя и являются «механизмом» обмена энергией между явлениями синоптических масштабов и мелкомасштабной турбулентностью. Зарегистрированная вихревая структура течений в зал. Терпения может играть важную роль в устойчивости прибрежных экосистем, поэтому требует дальнейшего изучения.

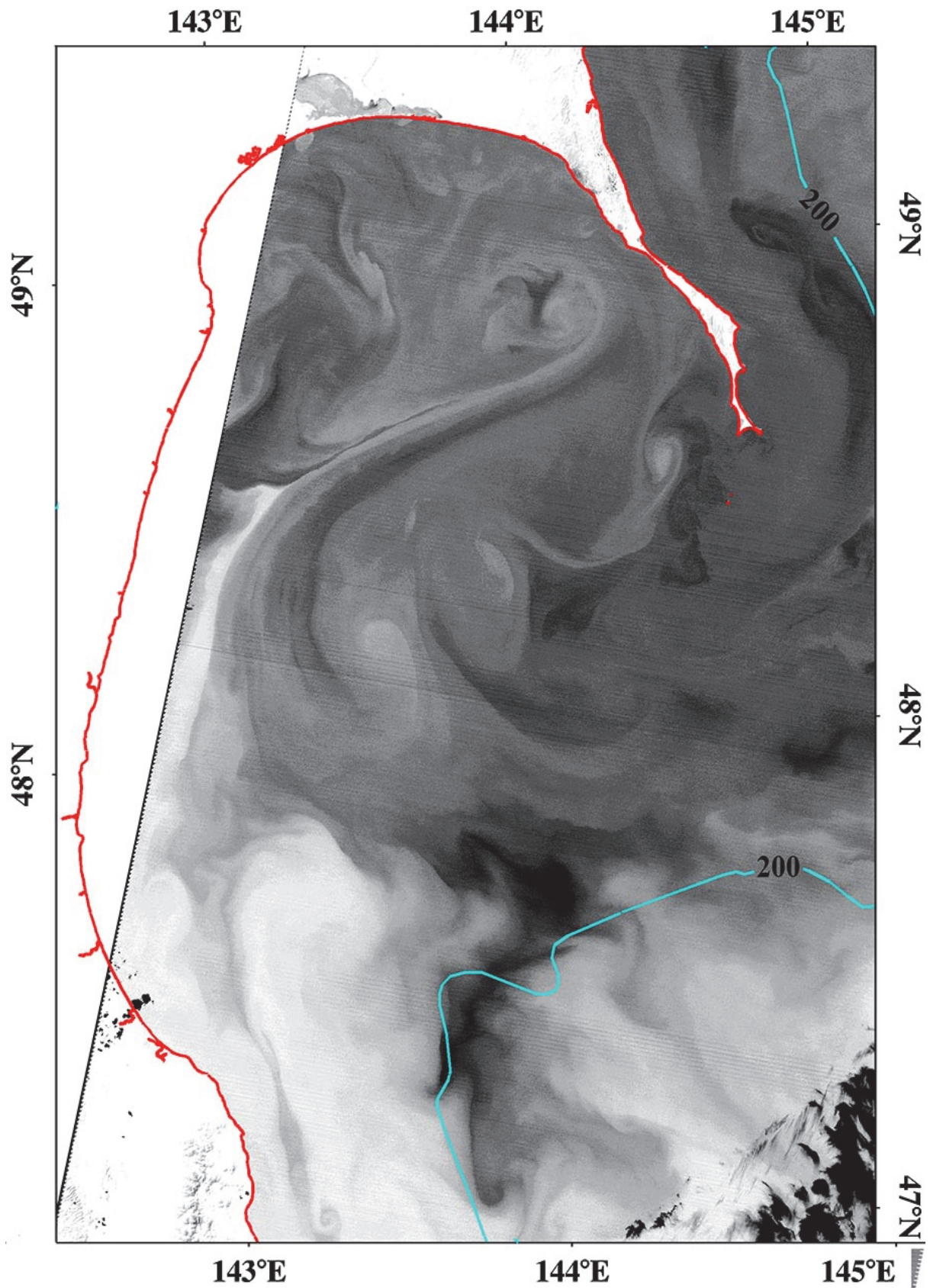


Рис. 2. Инфракрасное изображение, полученное со спутника Landsat-5 13 сентября 1994 г.
Fig. 2. Infrared Landsat-5 image acquired on 13 September 2013

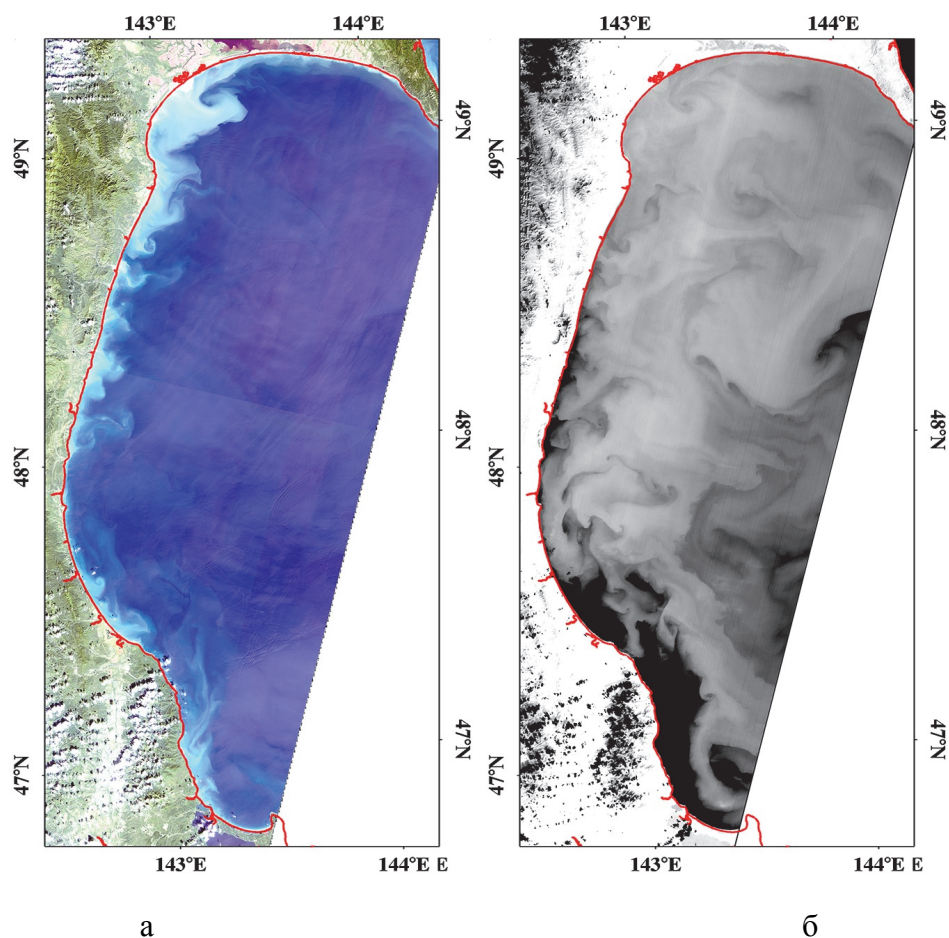


Рис. 3. Видимое (а) и инфракрасное (б) изображения, полученные со спутника Landsat-8 15 сентября 2015 г.

Fig. 3. Visible (a) and infrared (b) Landsat-8 images received on 15 September 2015

Список литературы

1. Лоция Охотского моря. Выпуск 1. Южная часть моря / ГУНиО МО СССР, 1984. – 336 с.
2. Гидрометеорология и гидрохимия морей. Т. IX. Охотское море. Вып. 1. Гидрометеорологические условия / под ред. Б.Х. Глуховского, Н.П. Гоптарева, Ф.С. Терзиева. – СПб.: Гидрометеоиздат, 2003. – 398 с.
3. Гидрометеорология и гидрохимия морей. Т. IX. Охотское море. Вып. 2. Гидрохимические условия и океанологические основы формирования биологической продуктивности / под ред. Ф.С. Терзиева, Б.М. Затучной, Д.Е. Гершановича. – СПб.: Гидрометеоиздат, 1993. – 168 с.
4. Дубина, В.А. Течения Охотского моря по спутниковым данным и результатам численного моделирования / В.А. Дубина, П.А. Файман, И.А. Жабин, В.И. Пономарёв, Ю.А. Кузлякина // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2012. – Т. 9, № 1. – С. 206–212.

Сведения об авторах: Пак Евгений Аликович, студент 3-го курса по направлению экология и природопользование, e-mail: jackiepark32@gmail.com;

Хапов Денис Сергеевич, студент 3-го курса по направлению экология и природопользование, e-mail: www.mail.ru.4@mail.ru ;

Дубина Вячеслав Анатольевич, кандидат географических наук, доцент, e-mail: vdubina@mail.ru.

УДК 551.467.3 (268.61+268.62)

В.В. Плотников^{1,2}, О.Н. Руденко¹¹Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б²Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН,
690041, г. Владивосток, ул. Балтийская, 43**МОНИТОРИНГ ЛЕДОВЫХ УСЛОВИЙ В СИСТЕМЕ МОРЕЙ ВОСТОЧНОГО
СЕКТОРА АРКТИКИ (ВОСТОЧНО-СИБИРСКОЕ, ЧУКОТСКОЕ МОРЯ)
В КОНЦЕ XX НАЧАЛЕ XXI ВВ.**

На основании всей доступной информации о состоянии ледяного покрова на Восточно-Сибирском и Чукотском морях проведен анализ изменчивости основных показателей ледовых условий с конца XX (начиная с 1979 г.) к началу XXI вв. (заканчивая 2015 г.).

Проведенные исследования свидетельствуют, что в климатической системе восточной Арктики отмечаются направленные изменения климатических показателей: в ледяном покрове морей идет активное уменьшение ледяного покрова.

Полученные оценки изменчивости показателей ледовых условий свидетельствуют о глубокой перестройке климатической системы восточного сектора Арктики.

В свою очередь, в дальнейшем они могут быть использованы для реализации ряда вероятностно-статистических моделей эволюции этой системы.

Ключевые слова: *изменчивость, ледовые условия, климат, оценки, Чукотское море, Восточно-Сибирское море, Арктика.*

V.V. Plotnikov, O.N. Rudenko**MONITORING OF ICE CONDITIONS IN SYSTEM OF THE SEAS OF EAST SECTOR
OF THE ARCTIC (THE EAST SIBERIAN, CHUKCHI SEA) AT THE END OF XX
BEGINNING OF THE XXI CENTURIES**

The analysis of variability of the main indicators of ice conditions since the end of XX (since 1979) by the beginning of XXI (finishing 2015) centuries is carried out on the basis of all available information of ice cover condition an at the East Siberian and Chukchi Seas.

The conducted researches demonstrate that the directed changes of climatic indicators (there is an active reduction of an ice cover) are noted in climatic system of east Arctic.

The received estimates of variability of ice conditions indicators testify about deep reorganization of climatic system of east sector of the Arctic.

In turn, further, they can be used for realization of a number of probabilistic and statistical models of evolution of this system.

Key words: *Variability, ice conditions, climate, estimates, Chukchi Sea, East Siberian Sea, Arctic.*

Моря восточной Арктики, расположенные на северной границе азиатского материка и Северного ледовитого океана, играют заметную роль в формировании климата и погоды в Северном полушарии. Обсуждаемая многими исследователями проблема изменения климата, в первую очередь, отразилась именно на этом регионе земного шара. Соответствующие изменения затронули множество климатических факторов. Наиболее представительным показателем этих процессов является изменение объема и площади льда в Северном полушарии, в частности, площади ледяного покрова морей восточного сектора Арктики – Восточно-Сибирского и Чукотского морей.

В связи с этим оценка и анализ многолетней изменчивости комплекса отмеченных показателей, а также сопряженности циркуляционных процессов в атмосфере, ледовых и волновых процессов в системе морей восточной Арктики представляют несомненный интерес.

Целью работы явился анализ эволюции климатического показателя (площадь ледяного покрова) в системе морей восточного сектора Арктики (Восточно-Сибирское, Чукотское) в конце XX начале XXI вв.

Исходные данные

В качестве исходных данных использовались сведения из отчетов о ледовых авиаразведках, отчетов капитанов ледоколов, обеспечивающих навигацию на морях восточного сектора Арктики, спутниковые данные, помещенные на сайте www.natice.noaa.gov в сети ИНТЕРНЕТ, начиная с 1979 г. Вся разноплановая информация о состоянии ледяного покрова морей восточной Арктики синтезировалась и включалась в архив исходных данных [2].

Таким образом, ряд данных о ледовых условиях составил 37 лет (1979–2015 гг.).

Объектом исследования выбрана ледовитость как наиболее наглядный, легко определяемый интегральный показатель ледового, а в более общем случае и климатического состояния акваторий.

Временной интервал исследования охватывал период с июня по ноябрь, когда изменчивость ледяного покрова максимальна. В остальное время исследуемые акватории в силу климатических особенностей практически полностью покрыты льдом. Соответственно изменчивость ледовитости в это время близка к нулю.

Результаты и их обсуждение

В плане анализа межгодовой изменчивости особенно интересно было оценить существование направленной тенденции в развитии ледовых условий, а также выявить более мелкомасштабные квазипериодические ее составляющие.

Компоновка рядов ледовитостей для оценки многолетней изменчивости проводилась следующим образом: из совокупности декадных данных извлекались значения, отстоящие друг относительно друга на период, равный одному году, рис. 1.

По ним на первом этапе проверялась гипотеза о наличии трендовой составляющей.

Для этой цели использовался линейный фильтр, выделяющий линейную функцию времени $\alpha(t)$ из смеси с белым шумом [4]. Весовая функция этого фильтра имеет вид:

$$h(n-1) = \frac{6}{n^2} \left(\frac{2t}{n} - 1 \right), \quad t = 1, 2, \dots, n,$$

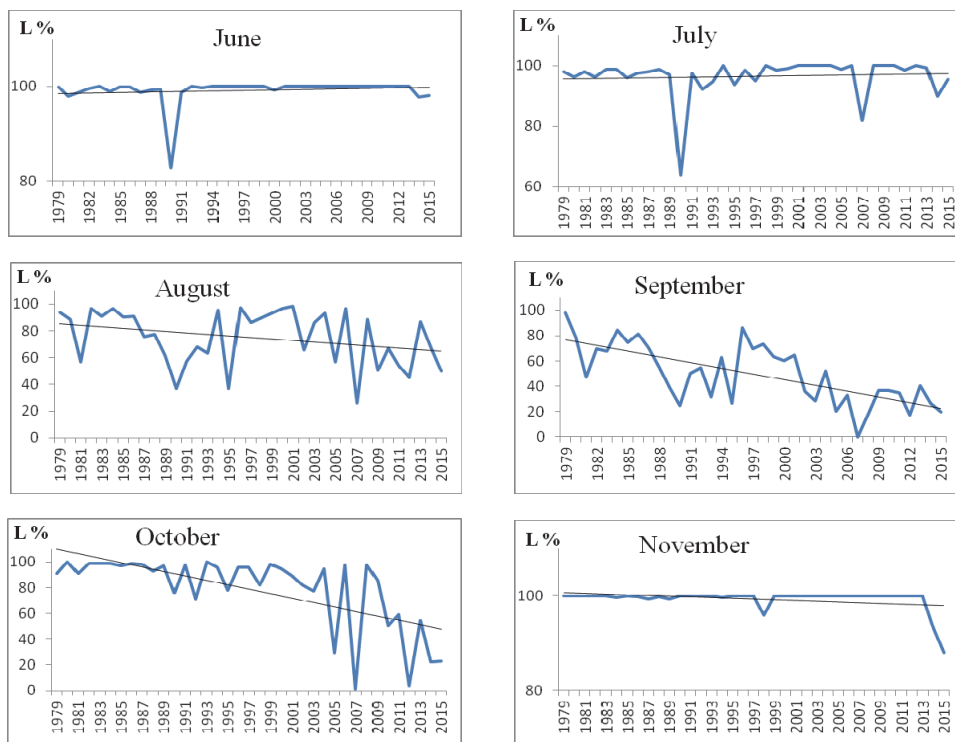
где среднеквадратичная погрешность угла наклона α есть

$$\hat{\sigma}_\alpha = \left(\frac{12 \sigma_t^2}{n^3} \right)^{1/2},$$

где σ_t^2 – дисперсия анализируемого временного ряда T_t после исключения тренда.

Расчетные параметры, полученные для рядов средней декадной ледовитости, приведены в табл. 1. Присутствие трендовой составляющей в многолетних распределениях ледовитости оценивалось с вероятностных позиций (последняя строка табл. 1).

Восточно-Сибирское море



Чукотское море

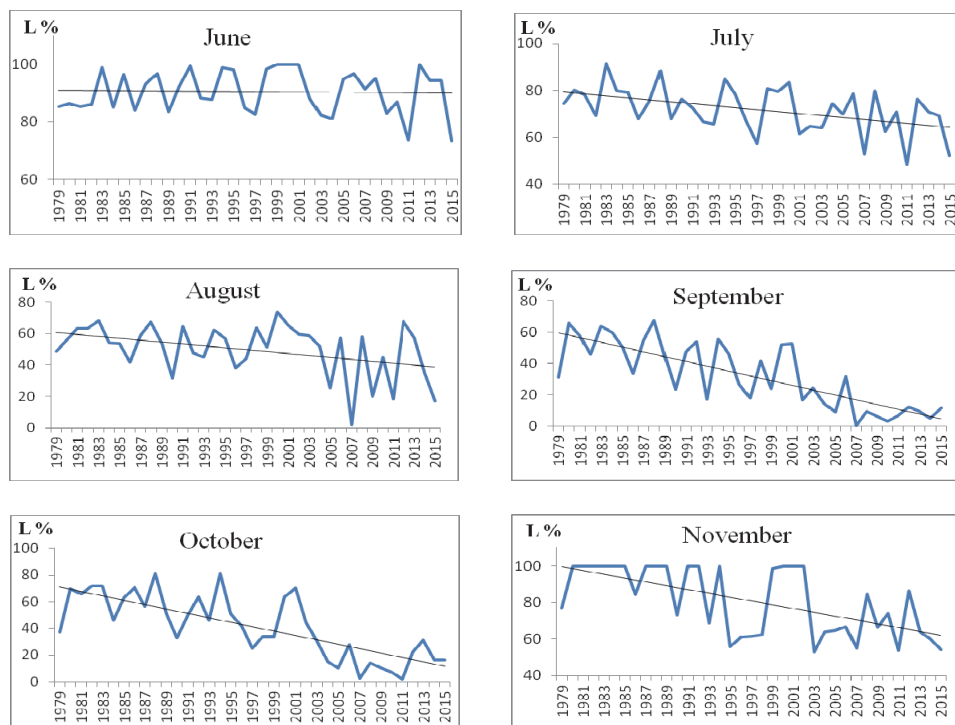


Рис. 1. Многолетние распределения ледовитостей в морях восточного сектора Арктики (Восточно-Сибирском и Чукотском морях) и их линейный тренд

Fig. 1. Long-term distributions of ice covers in the seas of east sector of the Arctic (The East Siberian and Chukchi Seas) and their linear trends

Таблица 1

Оценки трендовой составляющей и вероятности ее проявления в распределениях ледовитости морей восточного сектора Арктики за период с 1979 по 2015 гг.

Table 1

Estimates of a trend component and probability of her manifestation in distributions of a le-dovitost of the seas of east sector of the Arctic from 1979 for 2015

Восточно-Сибирское море						
Оценки	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь
L_{av}	99,1	96,3	74,8	49,6	78,8	99,3
σ_t	2,8	6,7	20,7	23,7	28,5	2,3
α	0,029	0,057	-0,478	-1,204	-1,383	-0,060
σ_α	0,043	0,102	0,305	0,270	0,336	0,033
Вероятность наличия линейного тренда, %	50	42,5	88,4	99,9	99,9	93,1
Чукотское море						
Оценки	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь
L_{av}	91,7	71,3	50,2	31,4	41,3	80,5
σ_t	7,6	9,7	16,7	20,7	24,1	17,2
α	-0,101	-0,283	-0,504	-1,143	-1,311	-0,700
σ_α	0,116	0,137	0,236	0,213	0,254	0,222
Вероятность наличия линейного тренда, %	61,6	96	96,8	99,99	99,99	99,8

В таблице L_{av} – среднее значение ледовитости; σ_t^2 – дисперсия анализируемого временного ряда T_t после исключения тренда; α , σ_α – параметры линейного тренда (угол наклона и среднеквадратичная погрешность оценки угла наклона соответственно). Вероятность тренда считалась по таблицам распределения Стьюдента по значениям соотношения угла наклона $|a|$ к среднеквадратичной погрешности σ_a .

Статистический анализ представленных рядов показал существование выраженных линейных трендов в многолетних распределениях ледовых условий одновременно всей анализируемой системы морей восточной Арктики. При этом следует отметить, что существования многолетнего тренда имеет свои пространственно-временные особенности. Вероятность наличия тренда увеличивается с запада на восток (от Восточно-Сибирского моря к Чукотскому). Исходя из оценок вероятности существования тренда, выделяются обособленные интервалы в развитии ледовых условий: для Восточно-Сибирского моря – это период, следующий за периодом максимального теплонакопления (август–ноябрь); для Чукотского моря – это практически весь период летнего разрушения льда (июль–ноябрь). При этом замедление процесса разрушения льда в Восточно-Сибирском море в начальный период (незначительный положительный тренд) сопровождается ускорением этого процесса в Чукотском море. Это в свою очередь отражает некоторую противофазность ледовых процессов на западной и восточной перифериях исследуемого региона.

Вместе с тем наличие разнoverоятностных оценок существования тренда в течение сезона свидетельствует о направленном изменении характера внутрисезонных процессов. Это снижение интенсивности разрушения льда и развития ледяного покрова на начальном и заключи-

тельном этапе соответственно. В целом (в многолетнем плане) можно отметить некоторое смещение периода сезонной перестройки ледовых условий в сторону календарной осени.

Сравнение полученных результатов с ранее рассчитанными углами наклона линейных трендов, по данным о ледовых условиях морей до 2008 г. [3], свидетельствует об усилении деструктивных процессов в ледяном покрове морей восточного сектора Арктики и повышении активности уменьшения площади ледяного покрова, табл. 1–2.

Таблица 2

Угол наклона трендовой составляющей в распределениях ледовитости морей восточного сектора Арктики за период с 1950 по 2008 гг.

Table 2

Tilt angle of a trend component in distributions of a ledovitost the seas of east sector of the Arctic from 1950 for 2008

Восточно-Сибирское море						
Оценки	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь
α	0,032	0,005	-0,082	-0,528	-0,279	-0,005
Чукотское море						
α	-0,023	-0,139	-0,272	-0,477	-0,616	-0,422

Оценка пространственно-временной сопряженности ледовых условий в системе Восточно-Сибирского и Чукотского морей.

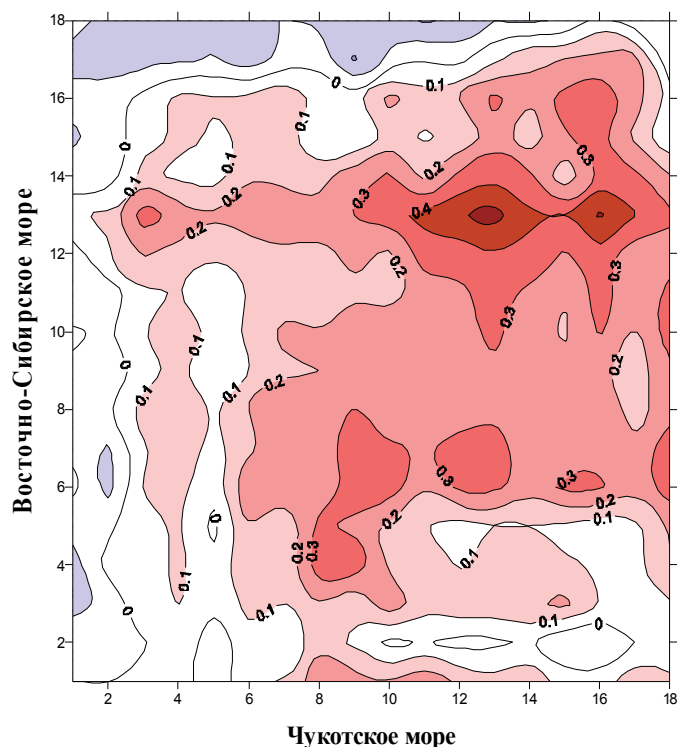


Рис. 2. Корреляционные матрицы распределений декадных ледовитостей Восточно-Сибирского и Чукотского морей
Fig. 2. Correlation matrixes of distributions of decade ice covers of the East Siberian and Chukchi Seas

Процессы эволюции ледяного покрова этих морей имеют много общих особенностей и достаточно связаны между собой. Связность определяется географической близостью этих акваторий, адекватностью циркуляционных факторов и рядом вторичных причин. Данное утверждение имеет конкретную физическую подоплеку и хорошо вписывается в общую схему макроциркуляционных особенностей восточного сектора Арктики [1].

Для оценки пространственно-временной сопряженности ледовых условий строились корреляционные матрицы связи распределений декадных ледовитостей Восточно-Сибирского – Чукотского морей, рис. 2.

Показано (рис. 2), что в целом процессы эволюции ледовых условий на акваториях Чукотского и Восточно-Сибирского морей находятся в одной фазе, т.е. при активном разрушения или развитии ледяного покрова на одном из морей следует ожидать аналогичных процессов и на другом.

Совместный анализ ледовых условий на морях выявил существование вполне конкретных областей в пространстве корреляционных отношений, характеризующихся высоким уровнем связи. Локализация этих областей меняется в зависимости от сдвига между анализируемыми величинами и от текущего момента времени. С точки зрения прогностического использования наиболее интересны связи большой заблаговременности.

В этом плане заметные связи отмечаются между ледовитостью Восточно-Сибирского моря в июле и развитием ледовых условий на Чукотском море с середины августа до середины октября (сдвиг до 2 месяцев; r (коэффициент корреляции) $\geq 0,3$), а также между сентябрьским и октябрьским состоянием ледяного покрова на данных морях соответственно (сдвиг до 1 месяца; $r \geq 0,3$). Долгосрочное влияние ледовых процессов в Чукотском море на процессы в Восточно-Сибирском море менее выражено.

Отмеченные закономерности имеют обобщенный характер. Конкретные же ситуации распределения ледовых условий в отдельные годы или даже некоторые периоды могут нарушать выявленные закономерности.

Разумеется, представление о крупномасштабной изменчивости ледовитости в связи с ограниченностью анализируемого материала еще будут уточняться. Учитывая тот факт, что обстановка с накоплением информации в ближайшее время радикально не изменится, а проводить исследования необходимо, проведенная работа может внести определенный вклад в процесс понимания функционирования такой сложной климатической системы, как Арктический бассейн.

Выводы

Проведенные исследования и полученные результаты, касающиеся изменчивости климатической системы восточного сектора Арктики, позволили сформулировать следующие основные выводы:

1. Статистический анализ распределений ледовитости показал наличие ярко выраженного отрицательного линейного тренда в многолетних изменениях ледовых условий морей восточного сектора Арктики (Восточно-Сибирское и Чукотское моря). При этом следует отметить, что существование многолетнего тренда на морях имеет свои пространственно-временные особенности: вероятность наличия тренда увеличивается с запада на восток (от Восточно-Сибирского моря к Чукотскому).

2. Показано, что процессы эволюции ледяного покрова на морях восточного сектора Арктики имеют много общих особенностей и тесно связаны между собой. Связность определяется географической близостью этих акваторий, адекватностью циркуляционных факторов, а также рядом вторичных причин. Процессы эволюции ледовых условий на акваториях Чукотского и Восточно-Сибирского морей находятся в одной фазе, т.е. при активном разрушении или развитии ледяного покрова на одном из морей следует ожидать аналогичных процессов и на другом.

3. Совместный анализ ледовых процессов на морях выявил существование вполне конкретных областей в пространстве корреляционных отношений, характеризующихся высоким уровнем связи. Локализация этих областей меняется в зависимости от сдвига между анализируемыми величинами и от текущего времени года.

Проведенные исследования свидетельствуют о значительной разномасштабной изменчивости климатических характеристик Северного полушария. Индикаторами этих процессов может служить ледяной покров, атмосферная циркуляция и характер волнового перемещения. При этом все эти процессы тесно связаны между собой и в совокупности являются доминирующими в системе «атмосфера – ледяной покров – океан».

Работа частично поддержана грантом ДВО РАН 15-И-1-038 «Дальний Восток».

Список литературы

1. Гудкович, З.М. Взаимосвязь современных климатических изменений в атмосфере, океане и ледяном покрове / З.М. Гудкович, В.Ф. Захаров, Е.О. Аксенов, С.П. Позднышев // Тр. ААНИИ. – 1997. – Т. 437. – С. 7–17.
2. Плотников, В.В. Изменчивость ледовых условий дальневосточных морей и их прогноз / В.В. Плотников. – Владивосток: Дальнаука, 2002. – 172 с.
3. Плотников, В.В. Изменчивость и сопряженность ледовых условий в системе морей Восточной Арктики (Лаптевых, Восточно-Сибирское, Чукотское) / В.В. Плотников, В.И. Пустошнова // Метеорология и гидрология. – 2012. – № 7. – С. 54–65.
4. Привальский, В.Е. Климатическая изменчивость (стохастические модели, предсказуемость, спектры) / В.Е. Привальский. – М.: Наука, 1985. – 184 с.

Сведения об авторе: Плотников Владимир Викторович, доктор географических наук, профессор, e-mail: vlad_plot@poi.dvo.ru;

Руденко Ольга Николаевна, ассистент, e-mail: airo2@mail.ru.

ПРОМЫШЛЕННОЕ РЫБОЛОВСТВО. АКУСТИКА

УДК 551.465

М.В. Мироненко¹, П.А. Стародубцев^{2,3}, Е.Н. Бакланов², К.А. Пичугин³

¹Специальное конструкторское бюро средств автоматизации морских исследований
ДВО РАН, 693023, г. Южно-Сахалинск, ул. Горького, 25

²Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б

³Тихоокеанское высшее военно-морское училище имени С.О. Макарова,
690006, г. Владивосток, Днепровский переулок, 6

ПРАКТИЧЕСКИЕ ПУТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДОННЫХ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Рассматриваются особенности сейсмических процессов северо-западной части Тихого океана и возможности контроля сейсмического режима с использованием гидроакустических систем с учетом многократных отражений акустического сигнала от поверхности воды и дна. Обосновывается возможность расширения частотного диапазона измеряемых параметров землетрясений с одновременным повышением чувствительности приемных гидроакустических систем для получения более емкой информации о сейсмическом режиме исследуемого района. Описаны эксперименты по измерению шумов океана в инфразвуковом спектре при помощи одиночных ненаправленных гидрофонов.

Ключевые слова: гидролокация, гидрофон, сейсмический процесс, акустический сигнал, землетрясение.

M.V. Mironenko, P.A. Starodubtcev, E.N. Baklanov, K.A. Pichugin

PRACTICAL WAYS OF PREDICTION OF STRONG EARTHQUAKES USING BOTTOM SONAR SYSTEMS

Peculiar properties of seismic processes of North-West Pacific and seismic mode control possibilities using sonar systems are discussed considering multiple reflections of the acoustic signal from the water surface and the bottom. The article substantiates the possibility of extending the frequency range of measured parameters of earthquakes with simultaneous increase in sensitivity of receiving sonar systems for more capacious information about seismic conditions of the study area. Experiments on the measurement of ocean noise in the infrasonic range using single omnidirectional hydrophones are described.

Key words: sonar, acoustic signal, earthquake, hydrophones, seismic process.

Особенность сейсмических процессов в северо-западной части Тихого океана состоит в том, что эпицентры подавляющего большинства землетрясений располагаются в прибрежной зоне океана. В таких условиях становится очевидным, что контроль сейсмического режима в этом районе возможен с использованием гидроакустических донных систем. В качестве основного приемного элемента используется гидрофон, представляющий собой пьезоэлектрический датчик давления.

Основным механизмом образования гидроакустических сигналов, обусловленных землетрясением, является то, что они проявляются в виде сейсмических волн, распространяю-

щихся в твердой оболочке Земли. Для наземных сейсмических станций первым признаком землетрясений бывает появление продольных волн, следом за которыми проходят поперечные волны. Для Камчатского региона скорости распространения продольных волн составляют 5–6 км/с, поперечных – 3–4 км/с [1]. При приеме сейсмических сигналов на дне океана или водной толще гидрофон регистрирует давление, пропорциональное вертикальной составляющей скорости смещения дна, поэтому он эффективно воспринимает Р-фазу сейсмического сигнала. Исходя из общих физических представлений, поперечная волна подходит ко дну практически под прямым углом и, очевидно, поэтому не происходит ее трансформации в волну сжатия в воде. В связи с этим на записях сейсмических сигналов, полученных с помощью гидрофона, S-фаза практически отсутствует. Но особенно эффективен гидрофон при регистрации Т-фазы сейсмического сигнала, поскольку она представляет собой гидроакустическую волну давления, распространяющуюся в водном слое со скоростью звука ~ 1,5 км/с.

В большинстве случаев регистрации Т-фазы в условиях Курило-Камчатской островной дуги область образования гидроакустической волны, способной распространяться на большие расстояния в водном слое, находилась на подводном континентальном склоне, обращенном в сторону открытого океана. При этом гидроакустическая волна из-за многократных отражений от водной поверхности и наклонного дна, при постепенном изменении углов падения от скользящих к крутым, попадает в подводный или приповерхностный звуковой канал. В дальнейшем распространение происходит без касания дна, т.е. в условиях минимальных потерь энергии. Она может содержать значительную часть энергии сигнала. Ее интенсивность и длительность нередко превышает аналогичные параметры Р-фазы.

Из-за больших потерь энергии гидроакустической волны при ее трансформации в области перехода из воды в грунт прием Т-фазы наземными сейсмостанциями оказывается, как правило, неэффективным. Сведения о Т-фазе могут быть использованы для определения эпицентра сейсмических событий с малой глубиной очагов. Это связано с тем, что при распространении сейсмических сигналов в этой области обычно наблюдаются большие потери энергии Р-фазы из-за рефракционных эффектов в приповерхностном слое земной коры, чем объясняется низкая эффективность регистрации событий наземными сейсмостанциями. Кроме того, Т-фаза в ряде случаев оказывается единственным источником информации для определения цунамигенности землетрясений. Использование возможностей по расширению частотного диапазона излучаемых параметров близких землетрясений в область звуковых частот с одновременным повышением чувствительности приемных гидроакустических систем позволяют получить больше информации о сейсмическом режиме исследуемого района, чем наблюдения только на сейсмической аппаратуре.

В рамках работы [2] применялись возможности использования характерных предпосылок для прогнозирования подводных землетрясений, т.е. поиск таких характеристик, которые были бы связаны с процессами подготовки землетрясения и принимали бы аномальные значения в периоды, предшествующие землетрясениям (наблюдения за гидроакустическими предвестниками). В этой связи в работе рассматриваются данные результатов регистрации сигналов сейсмического происхождения с использованием гидроакустических станций. Следует отметить, что имеются дополнительные материалы долговременных исследований по наблюдению сейсмоакустической обстановки сотрудниками СКБ САМИ ДВО РАН, выполненные собственными донными гидроакустическими станциями, которые требуют дальнейшей обработки.

Были проведены работы по измерению инфразвуковых шумов океана в диапазоне частот от 2 до 500 Гц. Наблюдения осуществлялись при помощи одиночных ненаправленных гидрофонов, расположенных на грунте в зоне берегового шельфа на глубине 250 м и в 20 км от береговой черты. Регистрация сигналов осуществлялась в режиме прямой записи. За время

выбранных для анализа записей непрерывных измерений в течение шести суток было зарегистрировано три сейсмических события. В табл. 1 приведены параметры этих землетрясений по данным Института вулканологии ДВО РАН (ИВ ДВО РАН), а также СКБ САМИ, КГФИ.

Таблица 1

Зарегистрированные землетрясения

Table 1

Registered earthquakes

Номер сейсмического события	Время, ч, мин, с	Глубина очага землетрясения, км	Энергетический класс землетрясения
1	3.10.14,0	29	11,5
2	1.36.53,8	33	9,2
3	1.19.34,6	37	9,1

Средние значения скоростей продольных и поперечных сейсмических волн (Р- и S-фазы) в районе для мелкофокусных землетрясений составляют соответственно 5,2 и 3,0 км/с. Среднюю скорость гидроакустической волны (Т-фазу) можно считать приближенно равной 1,5 км/с. Расчетные времена прихода Р-, S-, Т-волн в зависимости от расстояния до эпицентра землетрясения, а также истинное направление на источник сигнала приведены в табл. 2:

Таблица 2

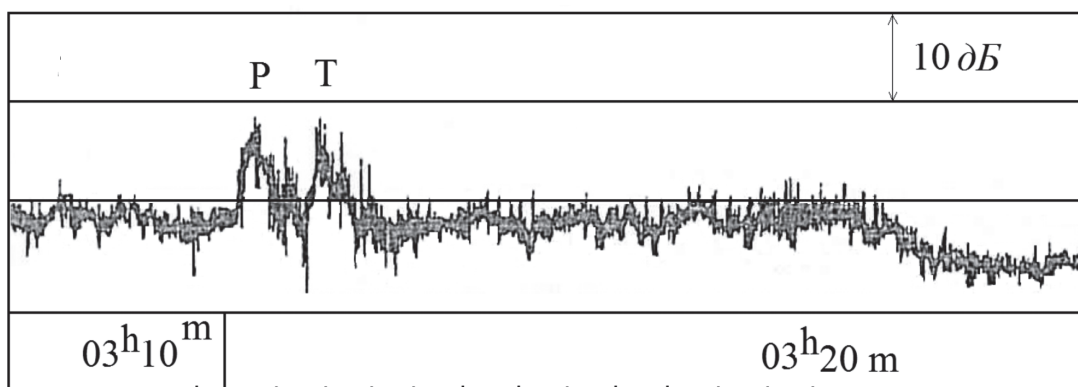
Параметры прихода сейсмических волн

Table 2

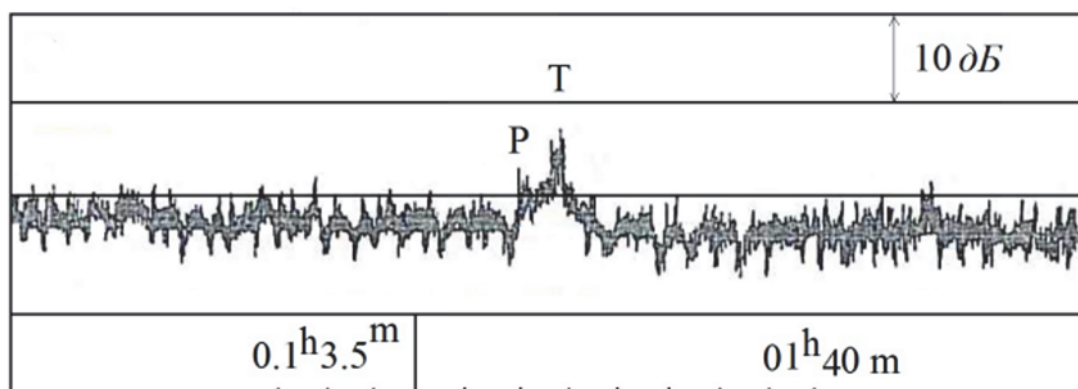
Parameters of arriving seismic waves

Номер сейсмического события	Эпицентральное расстояние	Время прихода различных составляющих сейсмических волн, с			Направление приемной системы на эпицентр землетрясения, град
		Р	S	Т	
1	118	23	40	80	62
2	293	56	98	195	45
3	320	62	107	213	37

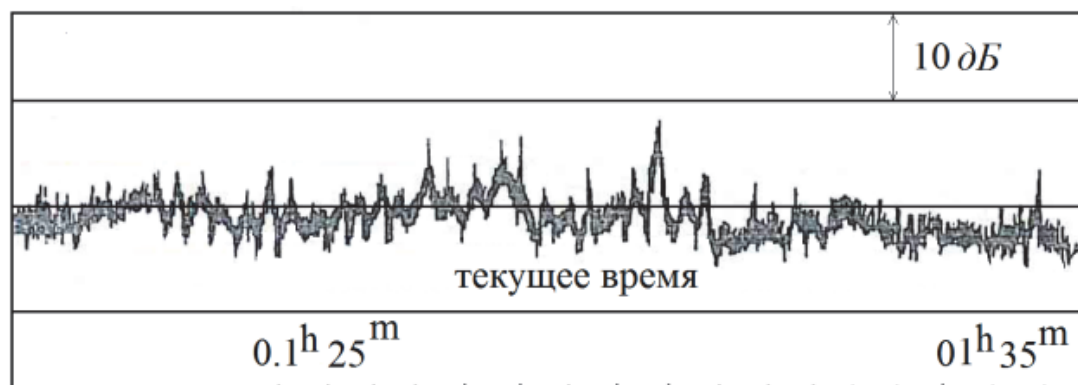
На рисунке представлены записи уровня собственных шумов океана с одиночного направленного гидрофона в полосе частот 2–200 Гц. Стрелками обозначены моменты землетрясений. Обработка экспериментальных материалов проводилась с помощью стандартной аналоговой аппаратуры. Определялось наличие сейсмоакустического сигнала в известный момент времени, оценивались его амплитуда и длительность, распределение энергии в спектре низкочастотных океанических шумов. Время прихода импульсов от землетрясений № 1 и № 2 (рис. 1, а, б) совпадает с расчетными временами прихода Р-волн от эпицентров (см. табл. 2). Вторые импульсы, наблюдаемые на рисунке, соответствуют приходу Т-волн землетрясений. Причем для землетрясения № 1 разность времени прихода Т- и Р-волн (Δt_{T-P}) составляет около одной минуты, что соответствует расчетному времени распространения волны Т от эпицентра землетрясения. Для землетрясения № 2 Δt_{T-P} равно ~ 40 с вместо расчетной разности в 140 с. Такое существенное расхождение говорит о том, что генерация Т-фазы происходит не в эпицентре сейсмического толчка, а гораздо ближе.



а



б



в

Записи собственных шумов океана с одиночного ненаправленного гидрофона
 Records of the ocean noise with a single omni-directional hydrophone

Несложные расчеты показывают, что область генерации гидроакустического сигнала расположена на расстоянии 90–100 км от приемного гидрофона. Подобные механизмы генерации достаточно подробно описаны в работе [3]. Этот факт подтверждается также экспериментами в районе Курильских островов [4]. Землетрясение № 3 (рис. 1, в) маскируется проходом судна, что делает невозможным выделение сигналов сейсмических и акустических

волн на фоне интенсивных шумов ближнего судоходства. Анализ результатов обработки сигналов от восьми зарегистрированных событий энергетических классов $K \geq 8$ показал, что в периоды подготовки землетрясений максимальное количество превышений среднего уровня на интервале 300 с для указанного порога возрастает в два раза и более по сравнению с предстоящими и последующими значениями этой величины.

Аномальные значения суммарной длительности превышений достигают величины 0,03–0,15, что в 4–20 раз больше последующих значений. В периоды, не сопровождавшиеся сейсмическими событиями и достаточно далеко от них удаленные по времени (на 2–4 ч), колебания среднего уровня квадрата амплитуды шумового сигнала кратковременны (единицы минут) и составляют величину 5–6 %. Количество и суммарные длительности превышений в полтора и более раз меньше, чем в периоды возрастания активности, предшествующие землетрясениям. Аналогичные результаты получены также при обработке магнитных записей шумов океана, зарегистрированных в последние годы в периоды сейсмической активности приемными антеннами, установленными у побережья Камчатки и Охотоморского региона.

Список литературы

1. Кадыков, И.Ф. Акустика подводных землетрясений / И.Ф. Кадыков. – М.: Наука, 1986.
2. Петроченко, С.П. Конверсионное применение стационарных гидроакустических систем / С.П. Петроченко. – Петропавловск-Камчатский, 1997.
3. Ринемак, Т. Предсказание землетрясений / Т. Ринемак. – М.: Мир, 1979.
4. Белавин, Ю.С. Регистрация фаз Т в сигналах землетрясений в северо-западной части Тихого океана / Ю.С. Белавин, И.Ф. Кадыков, С.Л. Соловьев // Вулканология и сейсмология. – 1980. – № 1. – С. 60–69.

Сведения об авторах: Мироненко Михаил Владимирович, доктор технических наук, профессор, e-mail: professor@mail.primorye.ru;

Стародубцев Павел Анатольевич, доктор технических наук, профессор, e-mail: spa1958@mail.ru;

Бакланов Евгений Николаевич, доцент, e-mail: baklanoven@mail.ru;

Пичугин Константин Александрович, доцент, e-mail: pka2004@yandex.ru.

СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ, УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ, ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА СУДОВОЖДЕНИЯ, ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ СУДОВ

УДК 533.62.01

Б.И. Руднев, О.В. Повалихина

Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б

ЗОНАЛЬНАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЛОКАЛЬНОГО РАДИАЦИОННОГО ТЕПЛООБМЕНА В КАМЕРЕ СГОРАНИЯ СУДОВОГО ДИЗЕЛЯ

Представлена математическая модель (ММ) процесса локального теплообмена излучением в камере сгорания (КС) судового дизеля. В основу ММ положен зональный метод расчета теплообмена излучением. Приведена система алгебраических уравнений, аппроксимирующая соответствующую систему интегральных уравнений излучения. Показана роль эффективных потоков излучения в формировании результирующих радиационных потоков. Установлено, что влиянием эффективных потоков излучения можно пренебречь. Выполненные с использованием предложенной ММ расчеты позволили получить значения локальных результирующих потоков излучения для судового дизеля типа 6ЧН 24/36. Их сопоставление с известными опытными данными подтвердило адекватность разработанной ММ, расхождение расчетных и экспериментальных данных составило 10–18 %.

Ключевые слова: теплообмен излучением, судовый дизель, зональный метод, математическая модель.

B.I. Rudnev, O.V. Povalikhina

ZONAL MATHEMATICAL MODEL OF LOCAL RADIANT HEAT TRANSFER IN MARINE DIESEL ENGINE COMBUSTION CHAMBER

The purpose of this work is to develop a mathematical model (MM), of local heat transfer process by emission in the combustion chamber (CC) of the marine diesel. In the MM based the method for calculating heat transfer by emission that well developed in thermo physics. The article presents the basic system of integral equations that describe the process of heat transfer by emission, as well as their approximation by taking into account the conditions in the CC marine diesel. The article shows the role of effective emission streams in forming the resulting radiation streams. It is established that the influence of the effective emission streams can be neglected. The estimates showed that the magnitude of the local resultant radiation stream is mainly determined by the value of incident stream of emission from the volume zone in CC. Calculations that made with proposed MM allowed to obtain local values of the resulting streams of emission for ship diesel of the 6 ChN 24/36 type. Their comparison with known experimental data confirmed the adequacy of the developed MM. The divergences between the calculated and experimental data was 10–18 %.

Key words: radiant heat transfer, marine diesel, zonal method, mathematical model.

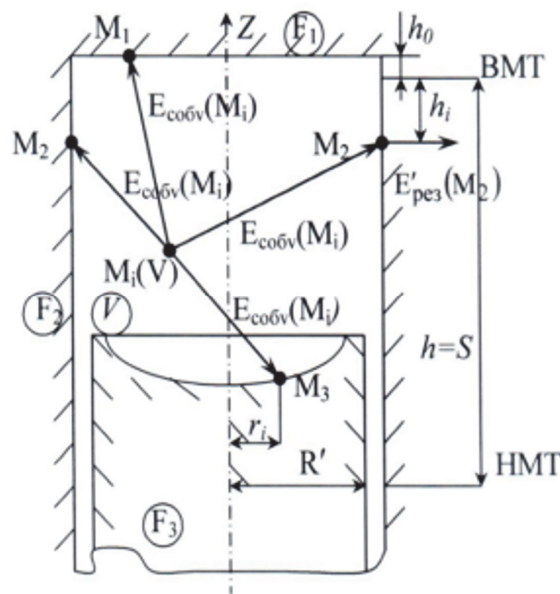
Введение

Форсирование современных судовых дизелей по параметрам рабочего процесса приводит к значительному увеличению температур деталей, образующих КС. В мощных малооборотных судовых дизелях для улучшения температурного состояния деталей цилиндропоршневой группы используется водяное охлаждение вместо масляного. Вместе с тем расчетное определение тепловых потоков, в том числе и радиационных на поверхностях деталей КС

(крышки цилиндра, поршня и втулки цилиндра), на стадии проектирования вызывает значительные трудности. Это увеличивает сроки доводки новых образцов дизелей и подтверждает актуальность разработки новых и совершенствование уже существующих ММ с целью более достоверного определения теплового состояния деталей, образующих КС.

Особенности использования зонального метода расчета теплообмена излучением применительно к камере сгорания судового дизеля

Процесс локального радиационного теплообмена в цилиндре судового дизеля с открытой КС на установившемся режиме работы рассматривается нами на адекватной физической модели, представленной на рисунке. Она представляет замкнутую осесимметричную цилиндрическую излучающую систему.



Зональная модель излучающей системы в цилиндре судового дизеля с открытой камерой сгорания
Zonal model radiation system in marine diesel engine open combustion chamber

Первая особенность этой системы в том, что она состоит из трех граничных (поверхностных) зон: F_1 – крышка цилиндра, F_2 – боковая поверхность втулки цилиндра, F_3 – днище поршня и объемной зоны V .

Вторая особенность излучающей системы заключается в нестационарном положении зоны F_3 вдоль координаты Z . Это обуславливает нестационарность всех угловых коэффициентов излучения, характеризующих взаимодействие потоков излучения в КС, и значительно усложняет решение задачи. Вместе с тем необходимо отметить, что поскольку время распространения электромагнитной волны излучения $t_{\text{р}}$ намного меньше времени перемещения зоны F_3 $t_{\text{пр}}$, обусловленной скоростью движения поршня, то условия квазистационарности $t_{\text{пр}} \gg t_{\text{р}}$ гарантированно выполняются. Последнее позволяет решать задачу локального радиационного теплообмена в КС судового дизеля применительно к непрерывно-дискретному случаю как квазистационарную для фиксированного момента времени.

При этом предполагается, что все оптические и энергетические характеристики излучающей системы в течение времени Δt неизменны и изменяются скачком при переходе к следующему интервалу времени. В статье рассматривается модифицированная фундамен-

тальная постановка задачи. Как известно [1, 2], при фундаментальной постановке задаются оптические и энергетические характеристики всех зон, т.е. их степени черноты и температуры. Модификация фундаментальной постановки задачи состоит в том, что эффективные потоки излучения от поверхностных зон F_1, F_2 и F_3 не учитываются.

При такой постановке задачи отпадает необходимость в ряде допущений, принятых в работе [3], а современные экспериментальные данные [4–7] и расчетные методы [8–11] позволяют задавать локальные значения оптических и энергетических характеристик объемной зоны V . В частности, характеристики объемной зоны V , степень черноты и температура пламени рассчитываются и определяются по приведенным в [12–16] методикам и экспериментальным данным.

Математическая модель локального радиационного теплообмена в камере сгорания судового дизеля

В основу предлагаемой авторами статьи ММ для расчета локальных радиационных тепловых потоков в КС судового дизеля положен итерационно-зональный метод исследования и расчета теплообмена излучением, предложенный Ю.А. Суриновым [17]. Математическую основу этого метода составляет конечная система линейных алгебраических уравнений, аппроксимирующую соответствующую систему интегральных уравнений излучения. Эта система алгебраических уравнений запишется следующим образом:

$$\left. \begin{aligned}
 E_{\text{пад}}(M_k) &= \sum_{j=1}^n E_{\text{соб}}(M_j) \Phi(M_j, F_k) + \sum_{V=1}^m E_{\text{соб}}(M_V) \Phi(M_V, F_k), \\
 E_{\text{эф}}(M_k) &= \sum_{j=1}^m E_{\text{соб}}(M_k) \Phi(M_k, F_j) + (1 - \varepsilon_k) \sum_{V=1}^m E_{\text{соб}}(M_j) \Phi(M_j, F_k) + \\
 &\quad + (1 - \varepsilon_k) \sum_{V=1}^m E_{\text{соб}}(M_V) \Phi(M_V, F_k), \\
 E_{\text{рез}}(M_k) &= \varepsilon_k \left[\sum_{j=1}^n E_{\text{соб}}(M_j) \Phi(M_j, F_j) + \sum_{V=1}^m E_{\text{соб}}(M_V, F_k) - \right. \\
 &\quad \left. - \sum_{j=1}^n E_{\text{соб}}(M_k) \Phi(M_k, F_j) \right]
 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где R_k, ε_k – коэффициенты отражения и поглощения (степени черноты) поверхности F в точке M_k ; M_j – произвольная точка поверхности F , лежащая вне окрестности точки M_k ; M_i – произвольная точка объема V ; $\Phi(M_V, F_k)$ – разрешающий угловой коэффициент излучения; $E_{\text{соб}}(M_V)$ – собственный поток излучения объемной зоны (пламени); $E_{\text{пад}}(M_k)$ – падающий поток излучения; $E_{\text{эф}}(M_k)$ – эффективный поток излучения; $E_{\text{рез}}(M_k)$ – результирующий поток излучения.

Уравнения (1) получены в предположении, что излучающая система состоит из n граничных и m объемных зон. Их решение позволяет определить мгновенное локальное распределение по элементам граничной поверхности всех видов потоков излучения. Проведенный анализ взаимодействия основных потоков излучения в такой системе позволил установить, что результирующий поток излучения для конкретной точки поверхности КС формируется

при взаимодействии двух потоков: собственного потока излучения объемной зоны $E_{\text{соб}V}(M_i)$ и собственных потоков излучения поверхностей, образующих граничную поверхность $E_{\text{соб}F}(M_i)$ [14]. При этом собственные потоки излучения граничной поверхности и объемной зоны однозначно определяются по зависимостям

$$E_{\text{соб}F} = \sigma_0 \varepsilon_F T_F^4, \quad E_{\text{соб}V} = \sigma_0 \varepsilon_V T_V^4, \quad (2)$$

где $F_{\text{соб}F}$ – собственный поток излучения граничной поверхности (крышки цилиндра, поршня и втулки цилиндра); ε_F – степень черноты граничной поверхности; ε_V – степень черноты объемной зоны (пламени); σ_0 – постоянная Больцмана; T_F – температура граничной поверхности; T_V – температура объемной зоны (пламени).

В результате сложного взаимодействия рассмотренных выше потоков излучения между объемной зоной и соответствующими точками граничной поверхности в замкнутой системе формируются результирующие потоки, определяющие радиационную тепловую нагрузку деталей КС.

Известно также, что в КС дизелей температура объемного излучателя (пламени) намного превышает температуры поверхностей крышки цилиндра, поршня и втулки [12]. Вследствие этого собственный поток излучения объемной зоны также значительно больше собственного потока излучения соответствующих поверхностей.

Расчеты показывают, что при температурах крышки цилиндра и поршня в пределах 550–620 К, втулки цилиндра 430–450 К, $E_{\text{соб}V}(M_i)$ на два порядка больше $E_{\text{соб}F}(M_i)$. Поэтому можно считать, что роль эффективных потоков излучения поверхностей, образующих КС, в формировании результирующих потоков незначительна и укладывается в пределах 10–15 %, т.е. сопоставима с погрешностью экспериментального определения температуры объемного излучателя (пламени) и концентрации частиц сажи в цилиндре дизеля. Тогда для точки M_k граничной поверхности F можно приближенно считать $E_{\text{эф}F_1}(M_1) = E_{\text{эф}F_2}(M_2) = E_{\text{эф}F_3}(M_3) \approx 0$. Учитывая приведенные выше положения в рамках предлагаемой ММ в КС судового дизеля, рассматривается взаимодействие только собственного потока излучения объемных зон V_i и соответствующих граничных (поверхностных) зон F_1, F_2 и F_3 .

Проведенная модификация фундаментальной постановки задачи радиационного теплообмена в части учета эффективного излучения позволило предложить для расчета падающих на поверхности крышки цилиндра, втулки и поршня потоков излучения систему уравнений вида:

$$\left. \begin{aligned} E_{\text{пад}}(M_1) &= E_{\text{соб}V}(M_{V_2})\psi(M_{V_2}, F_1) + E_{\text{соб}V}(M_{V_3})\psi(M_{V_3}, F_1) + \\ &\quad + E_{\text{соб}F}(M_{V_3})\psi(M_{V_3}, F_1); \\ E_{\text{пад}}(M_2) &= E_{\text{соб}V}(M_{V_2})\psi(M_{V_2}, F_2) + E_{\text{соб}V}(M_{V_3})\psi(M_{V_3}, F_2) + \\ &\quad + E_{\text{соб}F}(M_{V_3})\psi(M_{V_3}, F_2); \\ E_{\text{пад}}(M_3) &= E_{\text{соб}V}(M_{V_2})\psi(M_{V_2}, F_3) + E_{\text{соб}V}(M_{V_3})\psi(M_{V_3}, F_3) + \\ &\quad + E_{\text{соб}F}(M_{V_3})\psi(M_{V_3}, F_3). \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

где $\psi(M_{V_i}, F_i)$ – обобщенный угловой коэффициент излучения.

Обобщенные угловые коэффициенты излучения $\psi(M_{V_i}, F_i)$ от локальных объемных зон в системе уравнений (3) представлены в ММ как произведение угловых (геометрических) коэффициентов и параметра Бугера, учитывающего поглощение излучения в объеме КС:

$$\psi(M_V, F_k) = \varphi(M_V, F_k) \exp(-kL), \quad (4)$$

где (M_V, F_k) – геометрический угловой коэффициент излучения; k – коэффициент ослабления потока излучения; L – эффективная длина пути луча.

В итоге с учетом принятого в ММ допущения результирующие потоки излучения для поверхностей крышки цилиндра, втулки и поршня могут быть определены следующим образом:

$$E_{\text{рез}}(M_1) \approx E_{\text{пад}}(M_1); \quad E_{\text{рез}}(M_2) \approx E_{\text{пад}}(M_2); \quad E_{\text{рез}}(M_3) \approx E_{\text{пад}}(M_3). \quad (5)$$

Система уравнений (3) с соответствующими краевыми условиями решалась на ЭВМ по специальной программе в квазистационарном представлении.

Заключение

Выполненные с использованием предложенной ММ расчеты позволили получить значения локальных результирующих потоков излучения для поверхностей всех деталей, образующих КС судового дизеля типа 6ЧН 24/36. Средние за рабочий цикл значения указанных потоков лежат в пределах 40–90 кВт/м², что с точностью 10–18 % совпадает с известными экспериментальными данными [5, 6, 7, 16] и подтверждает адекватность предложенной ММ. Ее использование позволяет еще на стадии проектирования и доводки прогнозировать теплонпряженное состояние деталей, образующих КС, и решать ряд вопросов, связанных с повышением эксплуатационной надежности современных форсированных судовых дизелей.

Список литературы

1. Зигель, Р. Теплообмен излучением / Р. Зигель, Дж. Хауэлл. – М.: Мир, 1975. – 934 с.
2. Блох, А.Г. Теплообмен излучением: справочник / А.Г. Блох, Ю.А. Журавлев, Л.Н. Рыжков. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 432 с.
3. Петриченко, Р.М. Элементы автоматизированного проектирования ДВС: Алгоритмы прикладных программ / Р.М. Петриченко, С.А. Батурин, Ю.Н. Исаков и др. – Л.: Машиностроение, 1990. – 328 с.
4. Гладышев, А.В. Экспериментальное исследование температурно-концентрационных полей в цилиндре дизеля / А.В. Гладышев, В.А. Вагнер, Д.Д. Матиевский // Двигателестроение. – 1990. – № 7. – С. 3–6.
5. Kamimoto T., Yagita M. Particulate formation structure in diesel engine // SAE Preprints. – 1989. – № 890436. – 9 p.
6. Oguri T., Inaba S. Radiant heat transfer in diesel engines // SAE Preprints. – 1972. – № 720023. – 19 p.
7. Kostin A.K., Rudnev B.I. Radiative heat transfer in a diesel cylinder an experiment and method of calculation // Proceedings 19th International Symposium “Heat and mass transfer in gasoline and diesel engines”. – Dubrovnik, Yugoslavia, 1987. – P. 439–448.
8. Кавтарадзе, Р.З. Локальный теплообмен в поршневых двигателях / Р.З. Кавтарадзе. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – 472 с.
9. FIRE. Users Manual Version 8.5. AVL LIST GmbH Graz, Austria, 2007. (Лицензионное соглашение DKNR: BMSTU 101107 между МГТУ им. Н.Э. Баумана и APS Consulting).
10. Bozza F., Cameretti M.C., Tuccillo R. Numerical simulation of incylinder processes and duct flow in a light duty diesel engine // Fourth International symposium on small diesel engine. – Journal of Polish CIMAC. – Warsaw, Poland. – 1996. – Vol. 2. – № 1. – P. 51–56.

11. Руднев, Б.И. Оптические параметры частиц сажи и энергетические характеристики радиационного теплообмена в камере сгорания дизельного двигателя / Б.И. Руднев, О.В. Повалихина // *Тепловые процессы в технике*. – 2013. – Т.5, № 10. – С. 476–480.
12. Руднев, Б.И. Процессы локального теплообмена в камере сгорания дизелей / Б.И. Руднев. – Владивосток: Дальнаука, 2000. – 221 с.
13. Руднев, Б.И. Процессы теплообмена в камере сгорания дизельных двигателей. Эксперимент и математическое моделирование / Б.И. Руднев, О.В. Повалихина. – Saarbrücken, Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013. – 112 с.
14. Руднев, Б.И. Анализ взаимодействия радиационных тепловых потоков в камере сгорания дизеля / Б.И. Руднев, О.В. Повалихина // *Materials of the X International scientific and practical conference “Modern European science-2014”*. Technical sciences. – Sheffield. – Science and Education LTD. – 2014. – Vol. 17. – P. 65–72.
15. Руднев, Б.И. Особенности расчета оптико-геометрических характеристик теплообмена излучением в камере сгорания дизельного двигателя / Б.И. Руднев, О.В. Повалихина // *Тепловые процессы в технике*. – 2015. – Т. 7, № 2. – С. 87–91.
16. Flynn P., Mizusawa M., Uyehara O.A. et al. An experimental determination of the instantaneous potential radiant heat transfer within an operating Diesel engine // *SAE Preprints*. – 1972. – № 720022. – 32 p.
17. Суринов, Ю.А. Об итерационно-зональном методе исследования и расчета лучистого теплообмена в поглощающей и рассеивающей среде / Ю.А. Суринов // *Изв. СО АН СССР*. – 1978. – Вып. 2, № 8. – С. 106–125.

Сведения об авторах: Руднев Борис Иванович, доктор технических наук, профессор; Повалихина Ольга Владимировна, доцент, e-mail: rovalichina@mail.ru.

ТЕХНОЛОГИЯ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

УДК 664.97

В. Д. Богданов, А. А. Симдянкин, А. В. НазаренкоДальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б

ОБОСНОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ЗАМОРАЖИВАНИЯ ТРЕПАНГА ПЕРЕД КРИОИЗМЕЛЬЧЕНИЕМ

Работа была выполнена с целью обосновать температуру замораживания трепанга перед его криоизмельчением. Определена оптимальная температура замораживания трепанга при измельчении, которая равна -30°C . Рекомендуется при данной температуре использовать режущую деформацию, а при температурах ниже – молотковые и шаровые дробилки с ударной деформацией. Выведена математическая зависимость, описывающая взаимосвязь эквивалентного диаметра частиц замороженного трепанга после измельчения и температуры замораживания.

Ключевые слова: трепанг, температура замораживания, криоизмельчение, размер частиц, режущая деформация.

V.D. Bogdanov, A.A. Simdiankin, A.V. Nazarenko

RATIONALE FOR FREEZING TEMPERATURE BEFORE CRYOMILLING OF SEA CUCUMBER

The work was done with the purpose to justify freezing temperature of sea cucumber in front of his cryomilling. The optimal freezing temperature of sea cucumber during grinding, which is equal to -30°C . It is recommended to use at a given temperature deformation of the cutting, and at lower temperatures hammer crushers and ball impact deformation. We derive a mathematical relationship describing the relationship of the equivalent diameter of the particles after grinding the frozen sea cucumber and freezing temperature.

Key word: sea cucumber, freezing temperature, cryomilling, particle size, cutting deformation.

При переработке трепанга важным является сохранение в нем максимального количества полезных веществ. Для этого нами предложена технология получения сухого концентрата из трепанга. Данная технология основана на принципах криообработки. Важным процессом при получении сухого концентрата трепанга является замораживание. Замораживание в данном случае выполняет не только функцию консервирования, но и подготавливает сырье к последующему за ним процессу криоизмельчения.

Целью данной работы является обоснование температуры замораживания трепанга перед криоизмельчением.

Объектом исследования является дальневосточный трепанг, относящийся к типу иглокожих, классу голотурий. Благодаря своему уникальному химическому составу трепанг обладает противогрибковым, омолаживающими и продлевающими человеческую жизнь свойствами, за что получил название «морской женьшень». Биологически активными химическими соединениями, содержащимися в трепанге, являются белки, тритерпеновые гликозиды, гексозамины,

липиды и минеральные вещества, которые действуют отдельно или в комплексе, обеспечивая высокую фармакологическую ценность получаемого из него концентрата [1, 2].

При подготовке продукта к криоизмельчению одинаковые по размеру и массе экземпляры свежесвыловленного трепанга замораживались до различной конечной температуры. Образцы замораживались в морозильной камере, оборудованной холодильной установкой АМЕ-L-3x2EC2 на базе трех полугерметичных поршневых компрессоров 2EC-22-40С фирмы Bitzer. Измерение температуры осуществлялось с помощью датчиков WT-1, WT-5 с диапазоном $-70...300\text{ }^{\circ}\text{C}$ с точностью измерения $\pm 0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ [3]. Измельчение производилось с помощью центробежной дробилки с двухлезвийным ножом, частота вращения ножевого вала 130 c^{-1} , 166 c^{-1} , 193 c^{-1} , 207 c^{-1} , продолжительность по 8 с.

Для построения графиков использована программа CurveExpert 1.4, для аппроксимации кривых с выводом формул использовалась программа CurveExpert Professional 2.3.

Цель замораживания – сохранение всей массы продукта и всех биологически активных веществ, а также подготовка к измельчению и последующему обезвоживанию. Основным критерием выбора температуры замораживания является размер частиц замороженного продукта после измельчения.

Для обоснования выбора температуры замораживания трепанг замораживали в морозильной камере с воздушным охлаждением до следующих температур -5 ; -10 ; -15 ; -20 ; -25 ; $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Кривые замораживания представлены на рис. 1.

На рис. 1 видно, что замораживание в камере с воздушным охлаждением имеет небольшую скорость. Известно, что при таком замораживании образуются крупные кристаллы льда, способствующие разрушению молекулярной структуры, что позволит при сублимационной сушке удалить не только свободную, но и связанную воду.[4]

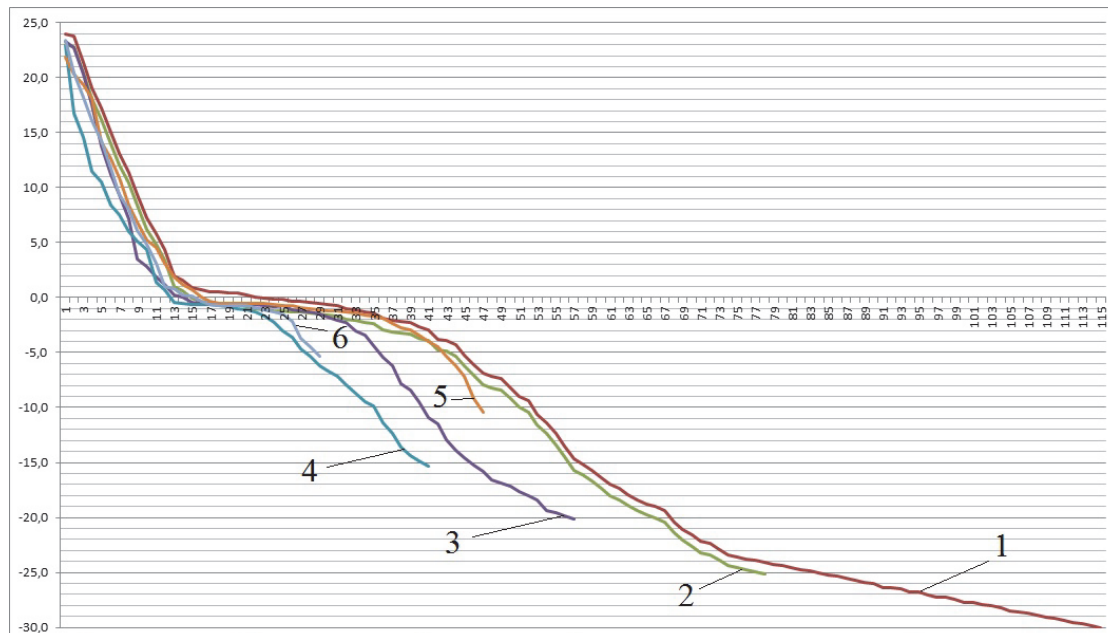


Рис. 1. Кривые изменения температуры в середине тушки трепанга в зависимости от времени замораживания: 1 – замораживание до температуры $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$; 2 – замораживание до температуры $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$; 3 – замораживание до температуры $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$; 4 – замораживание до температуры $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$; 5 – замораживание до температуры $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$; 6 – замораживание до температуры $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$

Fig. 1. The curves of temperature change in the of the sea cucumber carcass depending on the time of freezing: 1 – freezing to a temperature of $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$; 2 – freezing to a temperature of $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$; 3 – freezing to a temperature of $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$; 4 – freezing to a temperature of $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$; 5 – freezing to a temperature of $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$; 6 – freezing to a temperature of $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$

Мороженое сырье измельчали с целью подготовки материала для последующего обезвоживания и придания порошкообразного состояния сухому концентрату голотурий. Высокая степень измельчения сырья значительно сокращает продолжительность сушки. Этот фактор используется в распылительных и гелиосушилках, где хорошо измельченный материал высушивается за сравнительно непродолжительное время [4]. При тонком измельчении также имеет место частичное разрушение клеточной структуры материала. Тонкое измельчение оказывает денатурационное действие на белок, что способствует лучшему его усвоению организмом человека.

Эффективность процесса измельчения характеризуется рядом показателей: изменением дисперсности; степенью измельчения (отношение среднего размера кусков (зерен) исходного материала к среднему размеру кусков (зерен, частиц) измельченного продукта); удельными энергетическими затратами (в кВт·ч на 1 т продукта). Главные характеристики продукта измельчения – гранулометрический состав (в %) и удельная поверхность (в см²/г). Проводилось исследование влияния температуры замороженного трепанга на размеры частиц после его измельчения с использованием режущей деформации. Мороженые образцы измельченного трепанга подвергали сублимационной сушке в течение 16 ч и определяли в них содержание воды. Данные исследований приведены в таблице.

Зависимость размера частиц измельченного трепанга от температуры замораживания
The dependence of the particle size of the crushed sea cucumber
from the freezing temperature

Температура в центре образца, °С	Размер частиц, мм	Содержание воды после сушки, %
-5	3–10	4,5
-10	1–7	3,9
-15	1–5	–
-20	0,7–3	3,5
-25	0,5–2	–
-30	0,01–1,0	2,7
-35	5–7	4,7

По результатам экспериментов можно сделать вывод, что чем ниже температура замораживания трепанга, тем меньше его частицы после измельчения. При использовании устройств с режущей деформацией рациональная температура замораживания трепанга и его измельчения –30 °С. При данной температуре получается смесь из мышечной ткани трепанга и кристаллов льда с размером частиц от 0,01 до 1 мм. При более высоких температурах замораживания имеют место частицы с более крупными размерами – от 0,5 до 10 мм. При температурах ниже –30 °С использование режущей деформации при измельчении мало эффективно, так как в получаемой смеси наблюдаются частицы с довольно крупными размерами (5–7 мм). Известно, что материалы биологического происхождения глубокого замораживания измельчают в молотковых и шаровых дробилках, где используется ударная деформация [5,6]. При измельчении ударной деформацией необходим постоянный подвод жидкого азота для поддержания низкой температуры измельчаемого сырья.

Степень измельчения материала оказывает влияние на условия его сублимационной сушки. Как следует из данных таблицы, чем выше степень измельчения трепанга, тем меньше содержание в нем воды после сушки. Так, образец трепанга, измельченного при температуре –30 °С до размеров частиц 0,01–1,0 мм имеет после сушки самую низкую влажность –

2,7 %, в то время как влажность образца, измельченного при температуре $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ составляет 4,5 %. Так как условия сушки образцов были совершенно одинаковы, то из полученных результатов экспериментов следует, что чем выше степень дисперсности материала, тем эффективнее процесс его обезвоживания в условиях сублимационной сушки.

Для математической обработки полученных экспериментальных данных на рис. 2 показан график зависимости изменения размера частиц от температуры замораживания.

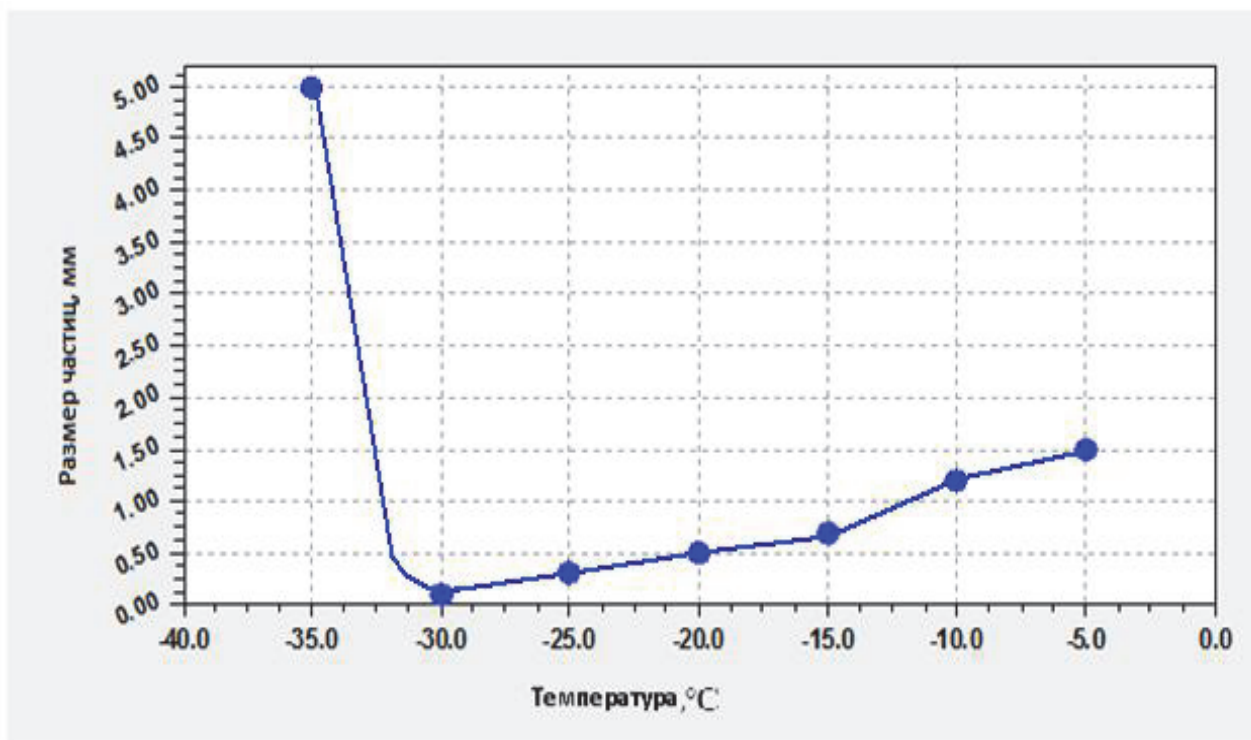


Рис. 2. Зависимость размера частиц от температуры замораживания

Fig. 2. Dependence of the particle size of the freezing temperature

Аппроксимируя кривую (рис. 2) с помощью программы *CurveExpert Professional 2.3*, получаем формулу

$$d = -7,9 \cdot 10^{-6} \cdot t^5 - 6,994 \cdot 10^{-4} \cdot t^4 - 2,33 \cdot 10^{-2} \cdot t^3 - 0,357 \cdot t^2 - 2,377 \cdot t - 3,971,$$

где d – эквивалентный диаметр частиц замороженного трепанга после измельчения;

t – температура замораживания трепанга перед измельчением.

Данная формула может быть использована для расчета эквивалентного диаметра частиц после измельчения замороженного трепанга в зависимости от температуры его замораживания в интервале температур от $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ с коэффициентом корреляции 0,99.

Выводы

Определена оптимальная температура замораживания трепанга при измельчении, которая равна $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Рекомендуется при данной температуре использовать режущую деформацию, а при температурах ниже – молотковые и шаровые дробилки с ударной деформацией.

Выведена математическая зависимость, описывающая взаимосвязь эквивалентного диаметра частиц замороженного трепанга после измельчения и температуры замораживания.

Список литературы

1. Левин, С.В. Дальневосточный трепанг: биология, промысел, воспроизводство / С.В. Левин. – СПб.: Голанд, 2000. – 200 с.
2. Аюшин, Н.Б. Химический состав и содержание биологически активных веществ в мышечной ткани трепанга / Н.Б. Аюшин, А.Г. Ким, Т.Н. Слуцкая // Пищ. технология. – 2014. – № 4 (340). – С. 35–37.
3. Богданов, В.Д. Криотехнология сухого пищевого концентрата из голотурий / В.Д. Богданов, А.В. Назаренко, А.А. Симдянкин // Науч. тр. Дальрыбвтуза. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2016. – № 38. – С. 64–68.
4. Рысакова, К.С. Влияние способа сушки на свойства ферментного препарата из гепатопанкреаса камчатского краба (*Paralithodescamtschaticus*) / К.С. Рысакова, И.И. Лыжов, В.А. Мухин, В.Ю. Новиков // Рыб. хоз-во. – 2007 – № 3. – С. 103–105.
5. Фатыхов, Ю.А. Криоразделение сырья биологического происхождения / Ю.А. Фатыхов, Б.С. Бабакин. – Калининград: КГТУ, 2003. – 266 с.
6. Пат. 2399296 Российская Федерация, МПК А23L1/00, А23L1/30. Способ получения биокорректоров из натурального сырья / Груздева А.Е. (RU), заявитель и патентообладатель ООО «ГРАНДЭ» (RU) – заявл. 27.03.2009; опубл. 20.09.10. – 7 с.

Сведения об авторах: Богданов Валерий Дмитриевич, доктор технических наук, профессор, e-mail: bogdanovvd@dgtru.ru;

Симдянкин Андрей Андреевич, старший преподаватель, e-mail: And-sim@mail.ru;

Назаренко Антон Валерьевич, старший преподаватель, e-mail: NazAnton@yandex.ru.

УДК 664.95

Н.В. Дементьева, Ю.А. Лунина

Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б

ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ КОМПОНЕНТОВ В ПАСТООБРАЗНОЙ ПРОДУКЦИИ ИЗ ИКРЫ МИНТАЯ И КАМБАЛЫ

При производстве пастообразной продукции важным является стабильность ее свойств как до, так и после тепловой обработки, которая зависит от многих факторов: соотношения основных компонентов в продукте, последовательности их внесения, продолжительности их измельчения и перемешивания, температуры при конструировании и тепловой обработке и др.

Из икры минтая и камбалы приготовили крем-паштеты, в качестве основных компонентов которых использовали икру, яйцо и молоко. На основании проведенных исследований установлены рациональные соотношения основных компонентов при приготовлении крем-паштетов: икра 50–55 %, яйцо 20–25 %, молоко 15–20 %. Соблюдение этого количества компонентов в составе крем-паштетов позволяет получить продукт с однородной, очень нежной мажущей консистенцией, приятным икорно-белковым вкусом и запахом.

Ключевые слова: *икра минтая и камбалы, крем-паштеты, рациональные соотношения, органолептические показатели.*

N.V. Dementeva, Y.A. Lynina

SUBSTANTIATION OF RATIONAL COMPONENTS IN THE PASTE-LIKE PRODUCT FROM THE EGGS OF ALASKA POLLOCK AND FLOUNDER

In case of production of pastelike products stability of its properties both to, and after thermal treatment which depends on many factors is important: a ratio of the main components in a product, the sequence of their introduction, duration of their crushing and hashing, temperature when designing and thermal treatment, etc.

From the eggs of Alaska Pollock and flounder cooked cream pies, as the main components of which used the caviar, egg and milk. On the basis of the conducted research, established a rational ratio of basic components in the preparation of cream-pies from the eggs of Alaska Pollock and flounder: eggs 50 – 55 %, egg 20 – 25 %, milk 15 – 20 %. Observe the number of components in the composition of the cream - pies allows to obtain a product with uniform, very gentle spotting consistency, nice caviar-protein taste and smell.

Key words: *caviar of pollock and flounder, cream pies, rational ratio, organoleptic characteristics.*

Введение

Известно, что икра – самая ценная в пищевом и товарном отношении часть рыбы, содержащая больше белка и жира, чем ткани мышц, характеризуется большей усвояемостью, богата витаминами, минеральными и биологически активными веществами [1].

В связи с запретом на вылов осетровых рыб, дорогой ценой на икру рыб, выращиваемых в условиях аквакультуры, а также довольно высокими ценами на икру лососевых актуальным является более широкое использование доступной по цене икры других видов рыб, например, икры минтая и камбалы.

Проведенные исследования показывают, что икра этих рыб является ценным пищевым сырьем. Несомненно, по пищевой ценности икра камбалы и минтая уступает лососевой, однако является высокобелковым продуктом, богатым источником минеральных веществ, витаминов, мало липидов с высокой долей биологически активных полиненасыщенных жирных кислот [2, 3]. Соответственно перспективным направлением является разработка новых видов пищевых продуктов на основе икры камбалы и минтая.

Одним из перспективных направлений переработки икорного сырья является производство пастообразной продукции: паштетов, спредов, паст, соусов, кремов и масел [4, 5]. Расширение вышеприведенного ассортимента продукции будет способствовать увеличению объема её производства с использованием всех биологически ценных органов и тканей водных биологических ресурсов, что приведет к созданию безотходных технологий и продуктов, обогащенных физиологически важными нутриентами.

При производстве пастообразной продукции важным является сохранение ее стабильности как до, так и после тепловой обработки, которое зависит от многих факторов: соотношения основных компонентов в продукте, последовательности их внесения, продолжительности их измельчения и перемешивания, температуры при конструировании и тепловой обработке и др.

Целью научной работы являлось обоснование рациональных компонентов в композициях пастообразной продукции из икры минтая и камбалы.

Объекты и методы исследований

В качестве основного исследуемого сырья использовали икру камбалы, которую извлекали из мороженой рыбы, после ее размораживания до температуры 0 °С минус 1 °С.

По качеству камбала соответствовала ГОСТ 32366–2023 «Рыба мороженая. Технические условия»; икру минтая – ТУ 9264-022-33620410-2004 «Икра минтая ястычная мороженая».

В качестве вспомогательных материалов использовали молоко коровье пастеризованное ГОСТ 32922 – 2014. Молоко коровье пастеризованное – сырье. Технические условия; яйца куриные пищевые ГОСТ 31654 – 2012. Яйца куриные пищевые. Технические условия.

Отбор проб сырья и подготовку проб к анализу проводили по стандартным методикам (ГОСТ 31339-06, ГОСТ 7631-08, ГОСТ 8756.0-70).

Органолептическую оценку качества пастообразной продукции из икры минтая и камбалы проводили по ГОСТ 7631-2008.

Результаты и их обсуждение

Из икры минтая и камбалы готовили крем-паштеты, в качестве основных компонентов которых использовали икру, яйцо и молоко. Рациональные соотношения основных компонентов подбирали экспериментально, путем их варьирования. У приготовленных модельных образцов крем-паштетов оценивали органолептические показатели.

Сначала подбирали рациональное количество яйца в крем-паштете. Его добавляли в количестве 15, 20, 25, 30 % к общей массе сырьевого набора. Модельные образцы крем-паштета составляли при соотношении компонентов, представленных в табл. 1.

Таблица 1

Соотношение компонентов в крем-паштете из икры минтая и камбалы в зависимости от количества яйца

Table 1

The ratio of the components in the cream-paste from the eggs of Alaska Pollock and flounder depending on the number of eggs

Наименование компонентов крема	Содержание, %			
	Образец 1	Образец 2	Образец 3	Образец 4
Икра (минтая или камбалы)	60	55	50	45
Молоко	25	25	25	25
Яйцо	15	20	25	30

Подготовленный полуфабрикат для производства крем-паштета гомогенизировали 5–7 мин, а затем подвергали варке при температуре 80–90 °С в течение 20–25 мин при постоянном перемешивании. У готовых крем-паштетов определяли органолептические показатели. Результаты исследований представлены в табл. 2.

Исследование органолептических показателей модельных образцов крем-паштетов показало, что рациональная концентрация яйца составляет 20–25 %. При более низкой концентрации яйца консистенция крем-паштета очень густая, при увеличении концентрации более 25 % наблюдается разжижение консистенции и небольшое расслоение крем-паштета.

Таблица 2

Органолептические показатели крем-паштетов из икры минтая и камбалы

Table 2

Sensory characteristics of cream pies from the eggs of Alaska Pollock and flounder

Наименование показателя	Образец 1	Образец 2	Образец 3	Образец 4
Цвет	Темно-кремовый	Кремовый	Светло-кремовый	Светло-кремовый
Вкус	Икорный	Икорный	Икорно-белковый	Белковый
Запах	Икры минтая	Белковый, с оттенком икры минтая	Белковый с оттенком икры минтая	Белковый
Консистенция	Однородная, густая, мажущая	Однородная, нежная, мажущая	Однородная очень нежная, мажущая	Однородная, нежная, жидковатая, с расслоениями
Оценка, балл	3,5	4, 5	5	3

На следующем этапе подбирали рациональное количество молока, которое добавляли в количестве 10, 15, 20, 25 % к сырьевому набору крем-паштета. Модельные образцы крем-паштетов составляли при соотношении основных компонентов, представленных в табл. 3.

Таблица 3

Соотношение компонентов в крем-паштете из икры минтая и камбалы в зависимости от количества молока

Table 3

The ratio of the components in the cream-paste from the eggs of Alaska Pollock and flounder depending on the amount of milk

Наименование компонентов крема	Содержание, %			
	Образец 1	Образец 2	Образец 3	Образец 4
Икра (минтая или камбалы)	65	60	55	50
Молоко	10	15	20	25
Яйцо	25	25	25	25

Органолептические показатели модельных образцов крем-паштетов в зависимости от концентрации молока представлены в табл. 4.

Таблица 4

Органолептические показатели крем-паштетов из икры минтая и камбалы

Table 4

Sensory characteristics of cream pies from the eggs of Alaska Pollock and flounder

Наименование показателя	Образец 1	Образец 2	Образец 3	Образец 4
Цвет	Темно-кремовый	Кремовый	Светло-кремовый	Бледно-кремовый
Вкус	Икорный	Икорный	Икорно-белковый	Белковый
Запах	Икры минтая	Белковый, с оттенком икры минтая	Белковый с оттенком икры минтая	Белково-молочный
Консистенция	Крупинчатая, густая, мажущая	Однородная, нежная, мажущая	Однородная очень нежная, мажущая	Однородная, жидковатая, с расслоениями
Оценка, балл	3,0	4, 5	5	3,5

Экспериментально установлено, что рациональное содержание молока в крем-паштете из икры минтая и камбалы составляет 15–20 %. При добавлении молока менее 15 % консистенция крем-паштета неоднородная, с комочками, густая. При увеличении концентрации молока более 20 %, крем-паштет имеет жидковатую структуру и менее привлекательный вкус и запах.

Выводы

На основании проведенных исследований установлены рациональные соотношения основных компонентов при приготовлении крем-паштетов из икры минтая и камбалы: икра 50–55 %, яйцо 20–25 %, молоко 15–20 %. Соблюдение этого количества компонентов в составе крем-паштетов позволяет получить продукт с однородной, очень нежной мажущей консистенцией, приятным икорно-белковым вкусом и запахом.

Список литературы

1. Радакова, Т.Н. Икра и икорные продукты на мировом рынке / Т.Н. Радакова // Рыб-пром. – 2009. – № 1. – С. 6–7.
2. Ахмерова, Е.А. Пищевая ценность икры рыб / Е.А. Ахмерова, Л.Р. Копыленко, Т.Е. Рубцова // Вестн. биотехнологии и физико-химической биологии имени Ю.А. Овчинникова. – 2012. – Т. 8, № 4. – С. 12–20.
3. Ким, Г.Н. Сравнительное исследование пищевой ценности икры рыб тихоокеанского бассейна / Г.Н. Ким, Н.В. Дементьева, В.Д. Богданов // Рыб. хоз-во. – 2016. – № 3. – С. 102–107.
4. Дементьева, Н.В. Технология соленых рыбных паст с икрой сельди тихоокеанской / Н.В. Дементьева, В.А. Ерохина // Науч. тр. Дальрыбвтуза. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2016. – Т. 38. – С.104–109.
5. Радыгина, А.Ф. Обоснование и разработка технологии эмульсионных продуктов питания на основе икорного сырья: дис. ... канд. техн. наук: 05. 18. 04 / Радыгина А.Ф. – М.: РГБ, 2005. –186 с.

Сведения об авторах: Дементьева Наталья Валерьевна, кандидат технических наук, доцент, e-mail: dnvdd@mail.ru;

Лунина Юлия Алексеевна, магистрант, гр. ТПм-212, e-mail: lunina@mail.ru.

УДК 664.951 + 593.96

Ю.М. Позднякова, Д.А. Конькова

Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ КОЛЛАГЕНСОДЕРЖАЩИХ КОМПЛЕКСОВ ИЗ ГОЛОТУРИЙ И ИХ ХАРАКТЕРИСТИКА

Проведено обоснование технологии получения коллагенсодержащих комплексов из мышечной ткани трепанга и кукумарии на основе биомодификации с помощью ультразвука и ферментов. Исследован состав и растворимость полученных субстанций. Полученные коллагенсодержащие комплексы трепанга и кукумарии могут найти применение как в пищевой промышленности для изготовления функциональных пищевых продуктов на основе биологически активных компонентов – коллагена и гексозаминов, так и в косметологии и медицине, где востребован нативный нерастворимый коллаген.

Ключевые слова: голотурии, коллаген, гексозамины, ферментоллизат, ультразвук.

Y.M. Pozdnyakova, D.A. Konkova

TECHNOLOGY OF OBTAINED COLLAGEN COMPLEX FROM SEA CUCUMBER AND THEIR CHARACTERISTICS

The justification of technology of collagen complex from trepang and sea cucumber muscle tissue on the basis biomodifications by ultrasonic and enzymes was conducted. The composition and solubility of the obtained substance has been investigated. The obtained collagen-containing complexes of trepang and sea cucumber can be applied in the food industry for the manufacture of functional foods on the basis of biologically active components – collagen, hexosamine, and in cosmetology and medicine, where the native insoluble collagen in demand.

Key words: sea cucumber, collagen, hexosamine, fermentolysate, ultrasonic.

Введение

Коллаген – белок, который достаточно широко распространен в тканях животных и имеет широкий спектр применения в биомедицинской, фармацевтической, косметической и пищевой промышленности [1]. Физические и химические свойства морского коллагена отличаются от коллагена млекопитающих [2].

Как правило, основными источниками коллагена являются кожа и кости свиней и коров. Возникновение коровьего бешенства привело к снижению использования этого вида сырья. Таким образом, существует острая необходимость в разработке альтернативных источников коллагена. Морские организмы были признаны в качестве потенциальных источников из-за их доступности, отсутствия диетических ограничений, отсутствия риска заболеваний, а также высоких объемов вылова [3].

За последние годы наблюдается тенденция снижения объемов вылова и переработки рыбного сырья. В целом по России с 2000 г. уровень добычи рыбы снижается в среднем ежегодно на 17,7 %. Поэтому актуальны задачи более широкого использования нерыбных объектов лова (беспозвоночных, ракообразных, водорослей и др.) и комплексной, безотходной переработки гидробионтов, выработки БАВ и БАД из отходов (голов, кожи, костей и т. д.) рыбопереработки с использованием методов биотехнологии. Более широкое вовлечение в переработку разнообразных морских организмов, пока не являющихся основными объектами

промысла (морских губок, иглокожих, червей, кишечнорастворимых и т.д.), позволит значительно расширить ассортимент ценных биопродуктов морского происхождения, повысить рентабельность рыбной продукции.

Мышечная ткань голотуриевых (трепанга и кукумари) содержит около 70–80 % коллагена от общего содержания белка, что дает основание применять данный вид сырья для получения коллагена.

Целью данной работы является обоснование технологии коллагенсодержащих комплексов из трепанга и кукумари в качестве субстанции для функциональных продуктов питания, а также в косметологии, медицине и других областях и сферах применения.

Объекты и методы исследований

В работе использовали мускульный мешок трепанга дальневосточного *Apostichopus japonicus* и кукумари японской *Cucumaria japonica*, которая была заготовлена в мае 2016 г в экспедиционных условиях на месте промысла и в замороженном виде доставлена в лабораторию.

Получение коллагенсодержащего комплекса из мышечной ткани трепанга и кукумари проводили по следующей технологии. Свежемороженую мышечную ткань измельчали до однородного состояния на волчке или мясорубке с диаметром отверстий решетки 2,0 мм. Далее 1 кг измельченной ткани мускульного мешка смешивали с водой в соотношении 1 : 10 и перемешивали при температуре 2–6 °С в течение 30 мин. Смесь центрифугировали при 4000 об/мин в течение 15 мин. Осадок вновь смешивали с водой в соотношении 1 : 10 и перемешивали в течение 1 ч. Далее смесь центрифугировали при 4000 об/мин в течение 15 мин, осадок смешивали с трис-НСI буфером рН 8,0, содержащим 4 мМ ЭДТА-Na соли в соотношении 1 : 10, и перемешивали в течение двух суток при температуре 2–6 °С. Далее смесь вновь центрифугировали при 4000 об/мин в течение 15 мин, осадок промывали в десятикратном объеме воды дважды. После проведенных процедур осадок высушивали до содержания остаточной влаги 10–12 %.

Обработку экстракта трепанга и кукумари ультразвуком проводили на аппарате Sonic VCH 500 (производитель – США) при мощности 75 Вт·см² в течение 15 мин.

Ферментирование промытого коллагенсодержащего комплекса осуществляли с помощью ферментного препарата протамекс в концентрации 2,5 ПЕ/г сырья, при рН 8,0 и гидромодуле 1 : 3, температуре 40–42 °С в течение 3 ч.

Содержание гексозаминов определяли спектрофотометрически согласно Фармокопейной статье № 42-1286-99 [4].

Определение содержания водорастворимого белка проводили по методу Лоури [5].

Содержание коллагена проводили по методу Замараевой [6].

Растворимость препаратов определяли визуально. Для этого навеску препарата растворяли в 500-кратном количестве растворителя, непрерывно встряхивали в течение 10 мин при комнатной (23–25 °С) температуре. Препарат считали растворимым, если при наблюдении в проходящем свете не обнаруживали частиц вещества.

Результаты и их обсуждение

После проведенного анализа литературы по теме выделения коллагена из различных видов сырья нами была взята за основу технология получения коллагена из мускульного мешка трепанга *Bohadschia spp* [7]. Процесс получения коллагена по такой технологии включает большое количество стадий, занимающих по времени почти 5 сут. Нами был модифицирован этот метод на различных его стадиях, а также сокращен по времени получения конечного продукта. Поскольку применение конечного продукта предусматривает несколько направлений функциональных продуктов питания, в том числе напитков, то, так как воздействие ультразвука оказывает влияние на агрегатное состояние вещества, было предусмотрено два вида обработки промытого коллагена: ультразвуком и ферментами.

Соответственно процесс получения коллагена из мышечной ткани трепанга и кукумарии проводили по двум схемам, включающим следующие стадии:

1. Измельчение, промывка, обработка ультразвуком, сушка.
2. Измельчение, промывка, ферментализ, сушка.

Предварительная стадия промывки измельченной ткани общая для двух схем. Она включала измельчение свежемороженой мышечной ткани голотурий до однородного состояния на волчке или мясорубке с диаметром отверстий решетки 2,0 мм. Далее измельченную ткань мускульного мешка голотурий смешивали с водой в соотношении 1 : 10 и перемешивали при температуре 2–6 °С в течение 30 мин. Смесь центрифугировали при 4000 об/мин в течение 15 мин. Осадок вновь смешивали с водой в соотношении 1 : 10 и перемешивали в течение 1 ч. Далее смесь центрифугировали при 4000 об/мин в течение 15 мин, осадок смешивали с трис-НСI буфером рН 8,0, содержащим 4 мМ ЭДТА-На соли в соотношении 1 : 10 и перемешивали в течение двух суток при температуре 2–6 °С. Далее смесь вновь центрифугировали при 4000 об/мин в течение 15 мин, осадок промывали в десятикратном объеме воды дважды. Оставшийся после последней отмывки осадок обрабатывали с помощью двух способов: ультразвуком и ферментами.

Воздействие ультразвука на мышечную ткань голотурий оценивали по выходу экстрактивного белка.

По результатам исследования рациональные параметры ультразвуковой обработки трепанга (рис. 1) следующие: гидромодуль 1 : 3, мощность 100 Вт/см² в течение 10 мин. При таких условиях происходило возрастание экстрактивного белка в 3,6 раза.

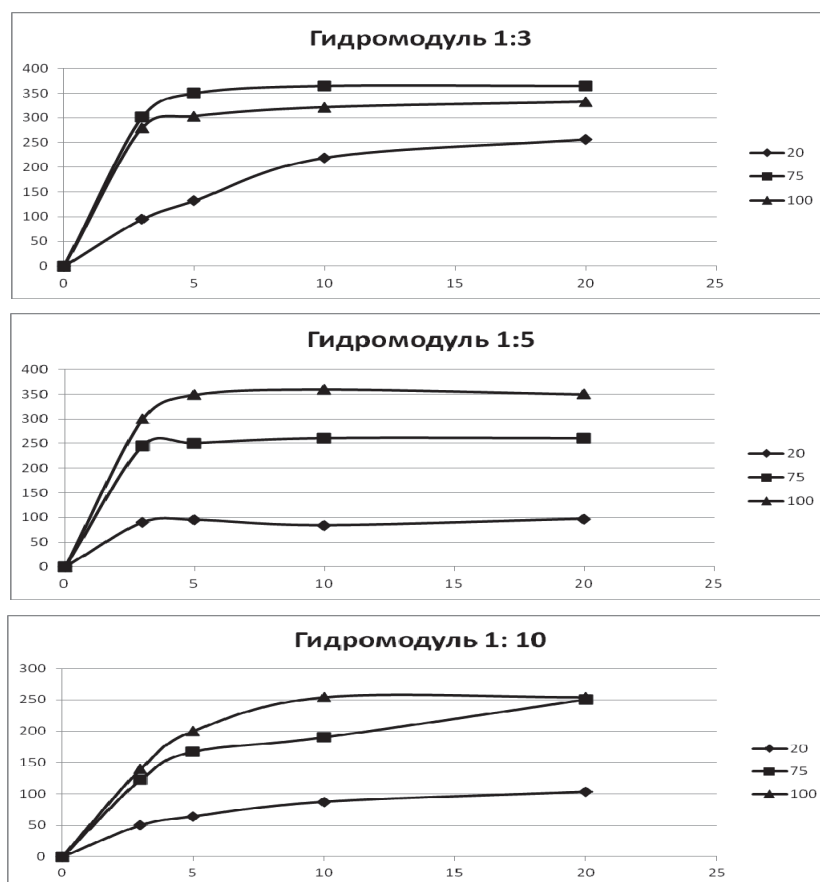


Рис. 1. Влияние параметров обработки ультразвуком на прирост экстрактивного белка мышечной ткани трепанга

Fig. 1. Influence of ultrasonic parameters to increase muscle protein extracting trepangs tissue

Результаты по обработке кукумарии ультразвуком показали (рис. 2), что наибольший прирост экстрактивного белка наблюдался при гидромодуле 1 : 3, мощности озвучивания 75 % и времени 20 мин. Практически такие же результаты были достигнуты с применением такого же гидромодуля и мощности 100 %, но за более короткое время – 3 мин, а также при использовании гидромодуля 1 : 10, мощности 75 % и времени 5 мин. С применением мощности 20 % наблюдался слабый прирост экстрактивности при всех гидромодулях.

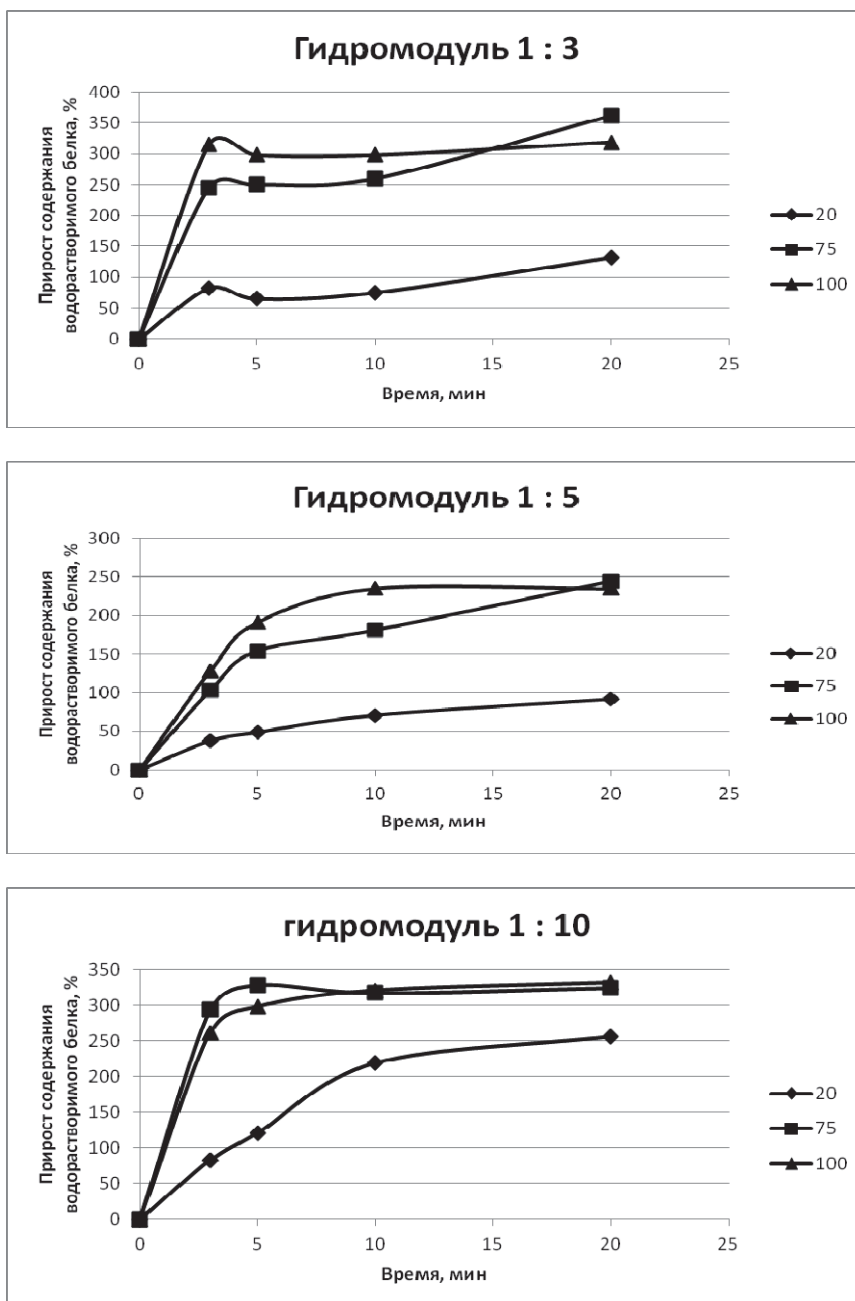


Рис. 2. Влияние параметров обработки ультразвуком на прирост экстрактивного белка мышечной ткани кукумарии

Fig. 2. Effect of ultrasonic treatment parameters to increase muscle protein extracting sea cucumber tissue

Таким образом, рациональными условиями обработки ультразвуком мышечной ткани трепанга являются: гидромодуль 1 : 3, мощность 100 %, время 10 мин. Для кукумарии ра-

циональные параметры УЗ-обработки: гидромодуль 1 : 10, мощность 75 % и время обработки 5 мин, либо гидромодуль 1 : 3, мощность 100 %, время 3 мин.

После обработки экстракта голотурий ультразвуком в смесях наблюдались нерастворимые компоненты ткани. Далее экстракты отправляли на сублимационную сушку.

По второй схеме с оставшимся после промывки осадком мышечной ткани голотурий проводили ферментативный гидролиз. Параметры ферментализации также были разработаны ранее [8]. Для этого осадок смешивали с водой в соотношении 1 : 2, доводили рН экстракта до 8,0 с помощью 0,1 М раствора едкого натра. Затем проводили ферментативный гидролиз, добавляя в смесь 100 мл раствора протамекса с протеолитической активностью 300 Е/г концентрацией 0,05 г/мл. Смесь выдерживали при температуре 37 °С 2 ч. Затем смесь нагревали до температуры 80 °С и выдерживали 15 мин для инактивации фермента. Далее ферментализат направляли на сублимационную сушку.

В полученных двумя способами коллагенсодержащих комплексах трепанга и кукумарии определяли содержание белков и гексозаминов (табл. 1).

Таблица 1

Содержание белка и гексозаминов в коллагенсодержащих комплексах из мышечной ткани голотурий, %

Table 1

The proteins and hexosamines content in collagen complexes of sea cucumbers muscle tissue, %

Препарат	Общий белок	Водорастворимый белок, в % от общего белка	Коллаген, в % от общего белка	Гексозамины
Трепанг				
С обработкой ультразвуком	58,7	46,8	63,2	9,2
Ферментативный гидролизат	58,7	66,9	52,5	4,6
Кукумария				
С обработкой ультразвуком	50,2	13,3	30,2	8,9
Ферментативный гидролизат	50,2	41,8	28,6	4,9

Полученные данные свидетельствуют о том, что на содержание общего белка не влияют условия обработки мышечной ткани трепанга в процессе извлечения коллагена. В то время как содержание остальных компонентов в той или иной степени отличается для препаратов, полученных с помощью обработки ультразвуком и ферментами. Водорастворимого белка в 1,42 раза больше в конечном препарате при обработке ткани ферментами, коллагена больше в 1,2 раза в препарате, полученном с обработкой ультразвуком.

Условия обработки мышечной ткани кукумарии в процессе извлечения коллагенсодержащего комплекса влияют только на содержание водорастворимого белка и гексозаминов. Так, водорастворимого белка в ферментализате в 3,1 раз больше, чем в препарате, обработанном ультразвуком. Гексозаминов больше в 1,8 раз в препарате, обработанном ультразвуком.

На основании величин содержания гексозаминов полученные разными способами препараты голотурий могут быть использованы в качестве хондропротекторного средства для производства БАД и функциональных пищевых продуктов [9].

В полученных препаратах коллагена была исследована растворимость в растворах с различной ионной силой и при различных значениях pH.

Обнаружено, что повышение ионной силы растворов несколько снижает растворимость ферментолизата коллагена трепанга (табл. 2.), в то время как pH раствора не влияет на его растворимость. Препарат полностью растворялся за 3 мин при 3, 6, 8 pH.

Ферментоллизат коллагена кукумарии полностью растворялся во всех испытуемых растворах в течение 3 мин.

Коллагенсодержащие комплексы трепанга и кукумарии, полученные с помощью обработки ультразвуком, оказались нерастворимы ни при каких условиях.

Таблица 2

Растворимость препаратов коллагена, полученных различными способами

Table 2

Solubility of collagen preparations in various ways obtained

Растворы	Ультразвук	Ферментный
Трепанг		
Вода	Нерастворим	Растворим за 1 мин
0,2М NaCl	Нерастворим	Растворим за 2 мин
0,5М NaCl	Нерастворим	Растворим за 3 мин
фосфатный буфер pH=8,0	Нерастворим	Растворим за 3 мин
фосфатный буфер pH=6,0	Нерастворим	Растворим за 3 мин
цитратный буфер pH=3,0	Нерастворим	Растворим за 3 мин
Кукумария		
Вода	Нерастворим	Растворим за 3 мин
0,2М NaCl	Нерастворим	Растворим за 3 мин
0,5М NaCl	Нерастворим	Растворим за 3 мин
фосфатный буфер pH=8,0	Нерастворим	Растворим за 3 мин
фосфатный буфер pH=6,0	Нерастворим	Растворим за 3 мин
цитратный буфер pH=3,0	Нерастворим	Растворим за 3 мин

Выводы

Таким образом, анализ химического состава коллагенсодержащих комплексов, полученных из мышечной ткани трепанга и кукумарии различными методами, показал зависимость как от способа выделения коллагена, так и от вида исходного сырьевого источника. Получение коллагенсодержащих комплексов из голотурий с применением ферментных препаратов целесообразно с целью его использования в пищевой промышленности для производства функциональных продуктов питания, например, напитков, вследствие его хорошей растворимости и высокого содержания биологически активных компонентов (гексозамины, коллаген). Коллаген, полученный с обработкой ультразвуком, не приемлим для применения в напитках по причине его слабой растворимости, но может применяться в других продуктах питания, например кондитерских, хлебо-булочных изделиях, а также в сферах, где растворимость не является необходимым свойством, а требуется негидролизованый нативный коллаген, например, в косметологии или медицине (для производства раневых покрытий, пломбирочных материалов, пластырей и др.) [10].

Список литературы

1. Kittiphattanabawon, P., et al. Characterisation of acid-soluble collagen from skin and bone of bigeye snapper (*Priacanthus tayenus*) // Food Chemistry. – 2005. – Vol. 89, № 3. – P. 363–372.
2. Nishimura, T., A. Hattori, and K. Takahashi. Structural weakening of intramuscular connective tissue during conditioning of beef // Meat science. – 1995. – Vol. 39, № 1. – P. 127–133.
3. Liu, H.Y., D. Li, and S.D. Guo. Studies on collagen from the skin of channel catfish (*Ictalurus punctatus*) // Food Chemistry. – 2007. – № 101(2). – P. 621–625.
4. Фармокопейная статья 42-1785-96.
5. Lowry O., Rosenbrough N., Parr A., Randall R. Protein measurement with the Folin phenol reagent // J. Biol. Chem. – 1951. – Vol. 193, № 1. – P. 265–276.
6. Замараева, Т.В. Современные методы в биохимии / Метод определения содержания коллагеновых белков по оксипролину / Т.В. Замараева. – М.: Медицина, 1977. – С. 262–264.
7. Siddiqui Y. D, Arief E. M, Yusoff A, Suzina A. H, Abdullah S.Y. Isolation of pepsin-solubilized collagen (psc) from crude collagen extracted from body wall of sea cucumber (*bohad-schia spp*) // International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences. – 2013. – Vol. 5, № 2. – P. 555–559.
8. Позднякова, Ю.М. Биоконверсия мышечной ткани трепанга методом ультразвуковой обработки и ферментативного гидролиза / Ю.М. Позднякова, Г.Н. Ким, Н.Н. Ковалев, А.Д. Перцева // Вестн. КрасГАУ. – 2015. – № 4. – С. 54–59.
9. Приложение 11 к техническому регламенту Таможенного союза «О безопасности пищевой продукции» (ТР ТС 021/2011).
10. <http://www.procollagene.ru/files/file/collagene.pdf>.

Сведения об авторах: Позднякова Юлия Михайловна, кандидат технических наук, e-mail: pozdneyakova.julia@yandex.ru;

Конькова Дарья Александровна, студентка 4-го курса, группа БТб-412, e-mail: dash_ka955_00@mail.ru.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ И ТРАНСПОРТНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ РЫБОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ОТРАСЛИ

УДК 66.067.15

А.И. Крикун, С.Д. Угрюмова

Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
690078, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФИЛЬТРОВАНИЯ МОРСКОЙ ВОДЫ

Проведено математическое моделирование процесса фильтрации в линии подготовки морской воды для предприятий рыбной отрасли на основании теории В.А. Панфилова. На основании имеющихся данных формировалась цепочка процессов технологического потока подготовки морской воды, полученная цепочка преобразовывалась в операторную модель. Проводилась оценка уровня целостности функционирующего технологического потока, по результатам оценки осуществлялась корректировка операторной модели, включающая уточнение содержания и последовательности выполнения технологических операций. Определение оптимальных параметров насыпных фильтров, на которых осуществляется процесс фильтрации морской воды, произведено на основе блок-схем алгоритма методом Зейделя.

Ключевые слова: математическое моделирование, линия, морская вода, фильтр, методика, операторная модель, адекватность.

A.I. Krikun, S.D. Ugryumova

MATHEMATICAL MODELING OF PROCESSES FILTERING SEA WATER

Mathematical modeling of the filtering process in the line of preparation of sea water for fishing enterprises on the basis of the theory V.A. Panfilova. Based on available data formed chain of process flow desalination received the chain transformed into an operator model. The estimation of the level of integrity of the functioning of the process stream, the evaluation was carried out the adjustment of the operator model, including clarification of the content and sequence of technological operations. Determination of the optimal parameters of bulk filters, on which the sea water filtration process produced on the basis of a flowchart of the method of Seidel.

Key words: mathematical modeling, line, sea water, filter technique, the operator model, adequacy.

Введение

Для решения задач оптимизации процесса фильтрации морской воды на однослойных и многослойных насыпных фильтрах необходима разработка математической модели. Полная математическая модель процесса включает основные параметры процесса, соотношения, связывающие основные параметры между собой, ограничения на процесс и критерии опти-

мальности. По экстремальным значениям критерия оптимальности предоставляется возможным определить соответствующие ему наиболее выгодные в технологическом или экономическом плане значения управляющих параметров [6, 10].

Разработка математической модели, адекватно описывающей процесс фильтрования морской воды в насыпных зернистых фильтрах, позволяющей определить параметры работы устройств, при которых достигается максимальная производительность фильтров и не происходит срыв зерен в фильтрат, являлась целью данной работы.

Для достижения поставленной цели сформулированы и решены следующие задачи:

- автоматизирована и модернизирована типовая линия подготовки воды для Дальнего Востока, предусматривающая наличие большого количества контрольно-измерительных приборов;

- разработана операторная модель данной линии, произведена оценка возможности выхода из подсистем морской воды заданного качества [7, 9];

- построена математическая модель, описывающая процесс фильтрования в насыпных зернистых фильтрах относительно минимальной величины времени фильтрования (τ , с) и максимальной удельной производительности однослойных и двухслойных насыпных фильтров (V_f , м³/м²); произведена проверка адекватности полученной математической модели.

Объекты и методы

Объектами исследования являлись автоматизированная и модернизированная технологическая линия подготовки морской воды и фильтрующее устройство, разработанное и сконструированное с участием авторов.

Математическое моделирование процесса фильтрования в линии подготовки морской воды производилось на основании теории В.А. Панфилова по двум направлениям: *статистическому* – на этапе исследования системы и ее подсистем (макромодель процесса) и *теоретическому* – на этапе исследования процесса, протекающего в насыпных зернистых фильтрах (микромодель процесса) [8].

Пробы морской воды (для исследования) отбирались в соответствии с действующими методиками [2–5] в 16 различных точках зал. Петра Великого: бухты Лазурная (Шамора), Стеклянная, Сухопутная (Тихая), Мелководная, Песчаная и Угловая (п-ов Де-Фриз), бухты Врангель, Находка, о. Попова (ю. побережье), бухта Новик (о. Русский), о. Елена (пролив Босфор Восточный), бухты Троица, Экспедиции, Рейд Паллада, Северная и Табунная (Безверхово).

Результаты и их обсуждение

Для исследования макромодели процесса фильтрования была автоматизирована и модернизирована линия подготовки морской воды для береговых предприятий рыбной отрасли, предусматривающая наличие большого количества контрольно-измерительных приборов: мутномеры, обеспечивающие непрерывный контроль мутности в диапазоне 50÷100 ЕМФ (30÷60 мг/л по каолину); анализаторы химического состава и взвешенных механических примесей морской воды; сигнализирующие датчики кислотности, кислородосодержания, солености, температуры, расхода объема и уровня фильтрата и слоя засыпки.

На основании имеющихся данных разработана операторную модель (рис. 1, табл. 1).

Таблица 1

Условные обозначения моделей в линии подготовки морской воды

Table 1

Symbols of the models in the line of preparation of sea water

Технологическая операция	Условные обозначения	Технологическая операция	Условные обозначения
Временное хранение (емкости, фильтры, отстойники и др.)		Водозабор (морской)	
Соединение без сохранения поверхности раздела (смешивание сред)		Соединение с сохранением поверхности раздела (образование осадка)	
Разделение на фракции (морская вода, осадок)		Термостатирование (в зависимости от вида гидробионтов)	

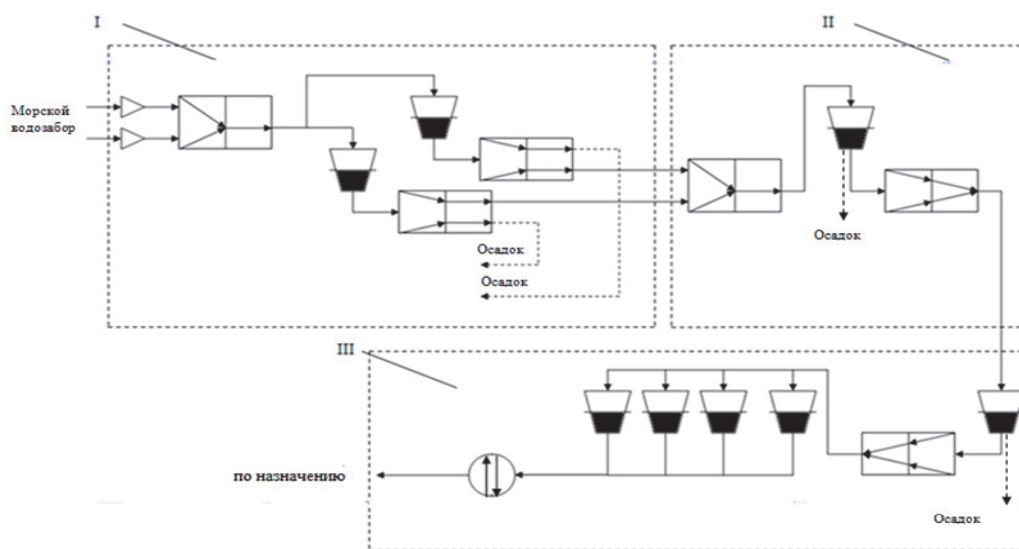


Рис. 1. Операторная модель управления линии подготовки морской воды [9]: I – морской водозабор и механическая очистка морской воды; II – грубая очистка морской воды; III – тонкая очистка морской воды и хранение

Fig. 1. An operator model for the control line desalination [9]: I – the sea water intake and mechanical cleaning of seawater; II – coarse cleaning of sea water; III – fine purification of sea water and storage

Оценивалась каждая из трех подсистем операторной модели управления линии подготовки морской воды для культивирования гидробионтов в отдельности, рассчитывалась вероятность выхода фильтрата заданного качества ($P_i, \%$). Результаты возможности выхода из подсистем морской воды (фильтрата) заданного качества представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты возможности выхода из подсистем фильтрата заданного качества

Table 2

The results of exit opportunities given quality filtrate subsystems

Подсистема		Вероятность выхода из каждой подсистемы морской воды необходимого качества $P_i, \%$
1	2	3
I	Механическая очистка морской воды	$P_1 = 98,5$

Окончание табл. 2

1	2	3
II	Грубая очистка морской воды	$P_{II} = 98,5$
III	Тонкая очистка морской воды и хранение	$P_{III} = 99$
	Система	Общая вероятность выхода из системы морской воды заданного качества $P_{общ} = 98,6 \%$

Проводилась оценка уровня целостности функционирующего технологического потока; по результатам оценки осуществлялась корректировка операторной модели, включающая уточнение содержания и последовательности выполнения технологических операций.

Поскольку в процессе эксплуатации разработанной нами экспериментальной установки (рис. 2) процесс фильтрования морской воды протекал с образованием осадка, то скорость фильтрования (v , м/с) определялась по общему дифференциальному уравнению процесса (уравнению Рута-Кармана):

$$v = \frac{d\Omega}{d\tau_s} = \frac{\Delta P}{\mu(R_{\phi n} + R_{oc})} = \frac{\Delta P}{\mu(R_{\phi n} + x_o r_o \Omega)}, \quad (1)$$

где τ_s – продолжительность фильтрования (опред. экспериментально), с; F_ϕ – поверхность фильтрования (опред. экспериментально), м²; V – объем фильтрата (опред. эксперимент.), м³; Ω – отношение V/F_ϕ , м³/м²; μ – динамическая вязкость воды, Па·с; разность давлений по обе стороны фильтровальной перегородки (ΔP , Па); $R_{\phi n}$ – сопротивление фильтрующей перегородки, м⁻¹; R_{oc} – сопротивление осадка, м⁻¹; x_o – коэффициент пропорциональности, зависящий от концентрации твердой фазы и структуры осадка; r_o – удельное сопротивление осадка, м⁻²:

$$r_o = \frac{2K_o \Delta P F_\phi^2}{\mu \cdot x_o}, \quad (2)$$

где K_o – константа фильтрования, характеризующая сопротивление осадка, с/м⁶.

Сопротивление фильтрующей перегородки ($R_{\phi n}$, м⁻¹):

$$R_{\phi n} = \frac{K_{\phi n} r_o \cdot x_o}{2K_o F_\phi}, \quad (3)$$

где $K_{\phi n}$ – константа фильтрования, характеризующая сопротивление фильтрующей перегородки, с/м³. Следовательно,

$$r_o = \frac{R_{\phi n} \cdot 2K_o F_\phi}{K_{\phi n} \cdot x_o}. \quad (4)$$

Данное уравнение определяет параметры, влияющие на структуру осадка и протекание процесса фильтрования.

Установлено, что при пуске установки (в первоначальный период) эксплуатации только происходит образование осадка на фильтрующей перегородке и начинает формироваться сопротивление фильтрующей перегородки. Перепад давления (ΔP , Па) $\neq \text{const}$, следовательно, дифференциальное уравнение, определяющее скорость процесса фильтрования (1), требует уточнения.

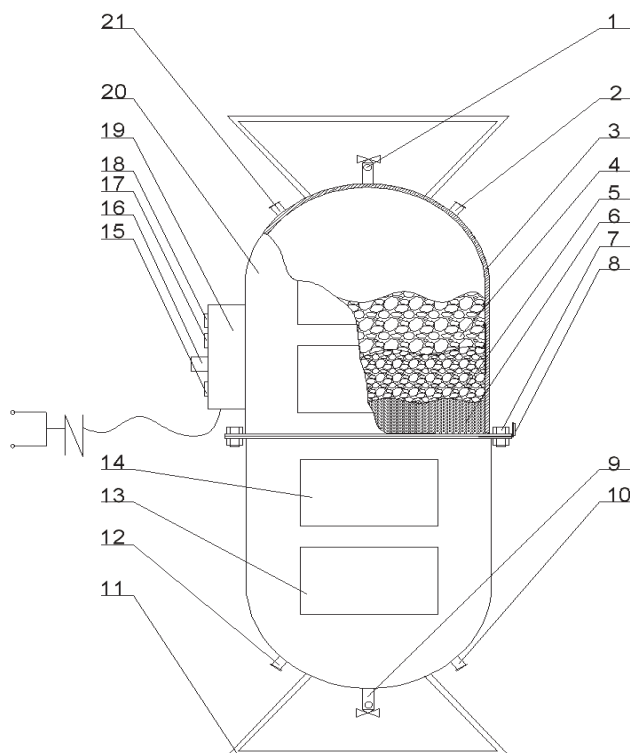


Рис. 2. Принципиальная схема фильтрующей установки: 1 – патрубок подвода очищаемой морской воды; 2 – патрубок отвода промывной воды; 3 – цилиндрический корпус; 4, 5, 6 – слои зернистых фильтрующих материалов на сетчатой разделительной перегородке; 7 – эксцентриковые вибромоторы; 8 – уплотнительная резиновая прокладка; 9 – патрубок отвода фильтрата; 10 – патрубок подвода промывной воды; 11 – подставка; 12 – патрубок подвода воздуха; 13 – нижний резервуар; 14 – смотровые окна из оргстекла с подсветкой; 15 – кнопка одновременного включения питания и подачи воздуха; 16 – кнопка выключения (СТОП); 17 – потенциометр, регулирующий частоту вибрации сетчатой перегородки эксцентриковыми вибромоторами; 18 – кнопка включения освещения в смотровых окнах; 19 – пульт управления со встроенным компрессором и потенциометром; 20 – верхний резервуар; 21 – патрубок отвода воздуха

Fig. 2. Schematic diagram of the filter installation: 1 – supply pipe cleaned seawater; 2 – rinsing water outlet conduit; 3 – a cylindrical body; 4,5,6 – layers of granular filter materials on the mesh partition wall; 7 – eksetrikovye vibro motors; 8 – a sealing rubber pad; 9 – filtrate discharge pipe; 10 - wash water supply pipe; 11 – stand; 12 – air intake pipe; 13 – the bottom tank; 14 - viewing window made of plexiglass with illumination; 15 – button at the same time turn on the power and air supply; 16 - off button (STOP); 17 – potentiometer, which regulates the vibration frequency of the vibrating motor eccentric mesh partitions; 18 – switch button lighting in the viewing window; 19 – remote control with built-in compressor and a potentiometer; 20 – upper reservoir; 21 – exhaust air pipe

Скорость фильтрации в первоначальный период эксплуатации установки (v_n , м/с), с учетом параметров, характеризующих фильтруемую морскую воду и фильтрующую перегородку, определялась:

$$v_n = \frac{d\Omega_n}{d\tau} = \Psi \cdot n_n \cdot \exp[-\Psi \cdot \varepsilon_1(\chi + \xi) \cdot \tau_s] \quad (5)$$

где Ω_n – отношение V/F_ϕ в первоначальный период эксплуатации установки, $\text{м}^3/\text{м}^2$; Ψ – отношение: $(\Phi \cdot \Delta P)/\mu$; Φ – параметр, характеризующий фильтрующую перегородку, м^3 ($\Phi = 0,375(r_{no}^4/h_{\phi n})$); r_{no} – радиус поры осадка, м; $h_{\phi n}$ – толщина фильтрующей перегородки, м; n_n – количество капилляров на ед. поверхности фильтрации, м^{-2} ; ε_1 – пористость фильтрующей перегородки; χ, ξ – комплекс параметров, характеризующих морскую воду в зави-

симости от количества частиц соответственно с радиусом больше ($r_{ч1}$) и меньше ($r_{ч2}$) радиуса поры (r_{no}), плотности тв. частиц ($\rho_ч$) и концентрации морской воды (по массе) – C ; $\chi = K_{сб} \cdot F_{сб}$, $\xi = K_{см} \cdot F_{сб} \cdot (r_{ч2}^2 / r_{no})$; $K_{сб}$, $K_{см}$ – количество частиц соответственно с радиусом больше ($r_{ч1}$) и меньше ($r_{ч2}$) радиуса поры (r_{no}); $F_{сб}$, $F_{сб1}$ – параметры, характеризующие фильтрующую морскую воду ($F_{сб1} = C / (4r_{ч1}^3 \rho_ч)$); $\rho_ч$ – плотность тв. частиц, кг/м³. Уточненное дифференциальное уравнение процесса фильтрации относительно скорости протекания процесса:

$$v = \frac{d\Omega}{d\tau_s} = \frac{\Delta P}{\mu(R_{фн} + R_{oc} + R_n)} = \frac{\Delta P}{\mu(R_{фн} + x_o r_o \Omega + R_n)}. \quad (6)$$

Пренебрегая сопротивлением фильтрующей перегородки:

$$v = \frac{d\Omega}{d\tau_s} = \frac{\Delta P}{\mu(R_{oc} + R_n)} = \frac{\Delta P}{\mu(x_o r_o \Omega + R_n)}. \quad (7)$$

Разработана математическая модель (методом Зейделя) [7], описывающая процесс фильтрации морской воды в насыпных зернистых фильтрах (микромодель процесса) относительно минимальной величины расчетного времени фильтрации (τ_p , с) и максимальной удельной производительности однослойных и двухслойных насыпных фильтров (V_f , м³/м²), с последующим составлением программ по расчету на ЭВМ (табл. 3).

При разработке математической модели учитывались следующие основные параметры: входные значения, полученные экспериментальным путем (высота водяного столба, объем воды, средний размер частиц фильтрующей загрузки (по диаметру) и др.); управляющие значения, поддающиеся изменениям в соответствии с теми или иными технологическими требованиями (поверхности фильтрации, высота слоя фильтрующей загрузки и т.п.); характеристики состояния, определяющие режим процесса фильтрации (общее количество и объем образованного осадка); возмущаемые величины, изменяющиеся случайным образом и оказывающие существенное воздействие на процесс в целом (падение давления, срыв зерен и примесей в фильтрат и др.).

Таблица 3

Математическая модель решения оптимизационной задачи в технологической линии подготовки морской воды, по расчету насыпных фильтров

Table 3

A mathematical model for solving the optimization problem in the production line preparation of the sea water, for the calculation of bulk filters

№ п/п	Расчетная формула	Единицы	Фильтруемая вода	Пределы измерений			
				Стеклопанельная модель		Полупромышленная установка	
				Однослойный фильтр	Двухслойный фильтр	Однослойный фильтр	Двухслойный фильтр
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Разность давлений по обе стороны фильтровальной перегородки: $\Delta P = P_1 - P_2$, где P_1 , P_2 – давление жидкости над и под фильтрующей перегородкой, Па: $\Delta P = h_g \cdot 9,81$, h_g – высота водяного столба (опред. экспериментально) ¹ , мм вод. ст.	Па	дистил. пресная морская	931,95 ÷ 3727,80		7357,50 ÷ 14715,00	

Продолжение табл. 3

1	2	3	4	5	6	7	8
2	μ – динамическая вязкость воды, при температуре $t_e = 0 \div 30$ °С	Па·с	дистил.	$(0,789 \div 1,581) \cdot 10^{-3}$		$(0,789 \div 1,581) \cdot 10^{-3}$	
	пре- сная		$(0,801 \div 1,792) \cdot 10^{-3}$		$(0,801 \div 1,792) \cdot 10^{-3}$		
	мор- ская		$(1,372 \div 1,945) \cdot 10^{-3}$		$(1,372 \div 1,945) \cdot 10^{-3}$		
3	Коэффициент пропорц., зависящий от концентрации тв. фазы и структуры осадка: $x_0 = \frac{V_0}{V},$ где V_0 – объем образ. осадка, м ³ ; V – объем фильтрата (опред. эксперимент.), м ³	-	дистил.	$1,16 \cdot 10^{-6} \div 2,34 \cdot 10^{-4}$	$(6,79 \div 15,45) \cdot 10^{-5}$	$(1,98 \div 4,11) \cdot 10^{-8}$	$(5,08 \div 5,56) \cdot 10^{-8}$
	пре- сная		$(1,87 \div 73,44) \cdot 10^{-5}$	$(9,98 \div 91,98) \cdot 10^{-5}$	$8,43 \cdot 10^{-8} \div 1,40 \cdot 10^{-7}$	$(1,48 \div 1,81) \cdot 10^{-7}$	
	мор- ская		$(2,50 \div 86,72) \cdot 10^{-5}$	$(10,27 \div 98,3) \cdot 10^{-5}$	$(1,16 \div 1,59) \cdot 10^{-7}$	$(1,59 \div 1,95) \cdot 10^{-7}$	
4	Объем образ. осадка: $V_0 = \frac{m_0 \cdot K_3 / \rho_{\phi.з}}{1 - \varphi},$ где m_0 – общее кол-во образ. осадка, кг; K_3 – коэфф. запаса ³ ; $\rho_{\phi.з}$ – плотность всех слоев фильт. загрузки, кг/м ³ ; φ – влажность осадка ⁶ , %	м ³	дистил.	$2,89 \cdot 10^{-10} \div 2,34 \cdot 10^{-7}$	$1,70 \cdot 10^{-8} \div 1,55 \cdot 10^{-7}$	$9,91 \cdot 10^{-9} \div 2,07 \cdot 10^{-6}$	$2,54 \cdot 10^{-8} \div 2,80 \cdot 10^{-6}$
	пре- сная		$4,68 \cdot 10^{-9} \div 7,34 \cdot 10^{-7}$	$2,49 \cdot 10^{-8} \div 9,20 \cdot 10^{-7}$	$4,22 \cdot 10^{-8} \div 7,04 \cdot 10^{-6}$	$7,39 \cdot 10^{-8} \div 9,11 \cdot 10^{-6}$	
	мор- ская		$6,25 \cdot 10^{-9} \div 8,67 \cdot 10^{-7}$	$2,57 \cdot 10^{-8} \div 9,83 \cdot 10^{-7}$	$5,80 \cdot 10^{-8} \div 8,00 \cdot 10^{-6}$	$7,97 \cdot 10^{-8} \div 9,81 \cdot 10^{-6}$	
5	Общее количество осадка, образованного в процессе фильтрования: $m_0 = m_2 - m_1 - \Delta m,$ где m_1, m_2 – соответственно Σ масса всех слоев фильт. загрузки до и после фильтрования, кг; Δm – погрешность измер. прибора ⁴ , кг	кг	дистил.	$(5,00 \div 30,00) \cdot 10^{-5}$	$(2,20 \div 39,20) \cdot 10^{-4}$	$(16,90 \div 27,9) \cdot 10^{-4}$	$(5,80 \div 7,99) \cdot 10^{-3}$
	пре- сная		$(8,10 \div 9,40) \cdot 10^{-4}$	$(1,31 \div 5,76) \cdot 10^{-3}$	$(71,90 \div 94,9) \cdot 10^{-4}$	$(1,69 \div 2,60) \cdot 10^{-2}$	
	мор- ская		$(10,80 \div 11,1) \cdot 10^{-4}$	$(1,40 \div 5,93) \cdot 10^{-3}$	$(98,90 \div 107,9) \cdot 10^{-4}$	$(1,82 \div 2,80) \cdot 10^{-2}$	
6	m_1 – масса фильт. загрузки до процесса фильтрования (опред. экспериментально)	кг	дистил.	$(13,03 \div 103,7) \cdot 10^{-3}$	$(22,30 \div 206,5) \cdot 10^{-3}$	$12,85 \cdot 10^{-2} \div 3,12$	$22,05 \cdot 10^{-2} \div 6,20$
	пре- сная						
	мор- ская						
7	m_2 – масса фильтрующей загрузки после процесса фильтрования (опред. экспериментально)	кг	дистил.	$(13,09 \div 104,0) \cdot 10^{-3}$	$(26,23 \div 206,7) \cdot 10^{-3}$	$13,02 \cdot 10^{-2} \div 3,12$	$22,63 \cdot 10^{-2} \div 6,21$
	пре- сная		$(13,85 \div 104,6) \cdot 10^{-3}$	$(28,07 \div 207,8) \cdot 10^{-3}$	$13,57 \cdot 10^{-2} \div 3,13$	$23,74 \cdot 10^{-2} \div 6,23$	
	мор- ская		$(14,12 \div 104,8) \cdot 10^{-3}$	$(28,24 \div 207,9) \cdot 10^{-3}$	$13,84 \cdot 10^{-2} \div 3,13$	$23,87 \cdot 10^{-2} \div 6,23$	
8	Плотность всех слоев фильтрующей загрузки: $\rho_{\phi.з} = \frac{m_1}{V_{\phi.з}},$ где $V_{\phi.з}$ – общий объем всех слоев загрузки, м ³	кг/м ³	дистил.	$(6,14 \div 829,94) \cdot 10^3$	$(6,84 \div 1108,6) \cdot 10^3$	$(6,47 \div 818,47) \cdot 10^3$	$(13,7 \div 1096,3) \cdot 10^3$
	пре- сная						
	мор- ская						

Окончание табл. 3

1	2	3	4	5	6	7	8
9	<p>Общий объем всех слоев фильтрующей загрузки:</p> $V_{\phi.z.} = \left(\frac{\pi \cdot d_{q1}^2 \cdot h_c}{4 \cdot 2} \right) + \left(\frac{\pi \cdot d_{q2}^2 \cdot h_c}{4 \cdot 2} \right),$ <p>где d_{q1}, d_{q2} – средний размер частиц 1–2-го слоя загрузки, м; h_c – Σ высота всех слоев фильтрующей загрузки, м</p>	м ³	дис-тил. пре-сная мор-ская	1,57·10 ⁻⁸ ÷1,69·10 ⁻⁵	2,01·10 ⁻⁸ ÷3,02·10 ⁻⁵	1,57·10 ⁻⁷ ÷4,82·10 ⁻⁴	2,01·10 ⁻⁷ ÷ 4,53·10 ⁻⁴
10	<p>h_c – высота всех слоев фильтрующей загрузки (опред. экспериментально)</p>	м	дис-тил. пре-сная мор-ская	(2÷2,1)·10 ⁻²	(2÷2,5)·10 ⁻²	(20÷60)·10 ⁻²	
11	<p>Удельное сопротив. осадка:</p> $r_0 = \frac{\Delta P}{\mu \cdot h_0 \cdot v},$ <p>где h_0 – высота слоя осадка, м; v – скорость фильтрования, м/с</p>	м ⁻²	дис-тил. пре-сная мор-ская	1,88·10 ¹² ÷ 7,03·10 ¹⁴	5,57·10 ¹² ÷ 2,69·10 ¹³	1,43·10 ¹² ÷ 2,21·10 ¹⁵	2,06·10 ¹² ÷ 1,20·10 ¹⁵
12	<p>Высота слоя осадка:</p> $h_0 = \frac{x_0 \cdot V}{F_\phi},$ <p>где F_ϕ – поверхность фильтрования (опред. экспериментально)⁷, м²</p>	м	дис-тил. пре-сная мор-ская	1,22·10 ⁻⁷ ÷ 9,87·10 ⁻⁵	7,15·10 ⁻⁶ ÷ 6,51·10 ⁻⁵	7,89·10 ⁻⁸ ÷ 1,65·10 ⁻⁵	2,02·10 ⁻⁷ ÷ 2,23·10 ⁻⁵
13	<p>τ_s – время работы фильтра до остановки (опред. экспериментально)</p>	с	дис-тил. пре-сная мор-ская	7,63÷33,21	17,12÷65,92	74,43÷1015,72	172,17÷1979
14	<p>Скорость фильтрования:</p> $v = \frac{V}{F_\phi \cdot \tau_s}$	м/с	дис-тил. пре-сная мор-ская	(1,27÷1,38)· 10 ⁻²	(6,15÷6,39)· 10 ⁻³	(5,35÷39,51)· 10 ⁻²	(23,1÷202,8)·10 ⁻³
15	<p>Время работы фильтра до остановки (расчетное):</p> $\tau_p = \frac{\mu \cdot x_0 \cdot r_0}{\Delta P} \cdot \left(\frac{V}{F_\phi} \right)^2$	с	дис-тил. пре-сная мор-ская	7,63÷33,21	17,12÷65,92	74,43÷1015,72	172,17÷1979
16	<p>Удельная производительность фильтра, пренебрегая сопротивлением фильтровальной перегородки ($R_{\phi.n}$):</p> $V_f = \sqrt{\left(\frac{\Delta P}{\mu \cdot x_0 \cdot r_0} \cdot \tau_\delta \right)}$	м ³ /м ²	дис-тил. пре-сная мор-ская	(105,3÷421,1)· 10 ⁻³	(105,3÷421,1)·10 ⁻³	3,98÷401,27	3,98÷401,27

Примечание. ¹ h_0 – высота водяного столба, мм вод. ст.: ст. модель = 95÷380, полупром. установка=750÷1500; ² V – объем фильтрата, м³ (ст. модель=2,5·10⁻⁴÷1,00·10⁻³, полупром. установка=0,5÷50,4); ³ K_z – коэффициент запаса: 1,2; ⁴ Δm – погрешность измерительного прибора, кг: ±1·10⁻⁵; ⁵ d_q – средний

размер частиц фильтрующей загрузки, по диаметру, м: $(0,1 \div 3,2) \cdot 10^{-2}$; ${}^6\varphi$ – влажность осадка, %: 75; ${}^7d_{п.ф}$ – диаметр поверхности фильтрования, м: ст. модель = $5,5 \cdot 10^{-2}$, полупром. установка = $40 \cdot 10^{-2}$; ${}^8F_{\phi} = (\pi \cdot d_{п.ф}^2) / 4$, м²: ст. модель = $2,37 \cdot 10^{-3}$, полупром. установка = $12,56 \cdot 10^{-2}$.

S – соленость воды, ‰: дистиллированная вода (S → 0,0 ‰), пресная вода (S < 0,5 ‰), морская вода (S = 26,78 ÷ 34‰).

Выводы

В результате получили следующие оптимальные параметры работы насыпных фильтров, при которых обеспечивается максимальная производительность при минимальной продолжительности процесса фильтрования (не происходит срыв зерен в фильтрат) [9]: для однослойного фильтра (стеклянная модель) – минимальная величина времени фильтрования (τ_p) = 7,91 с, максимальная удельная производительность (V_f) = $105,3 \cdot 10^{-3}$ м³/м²; для однослойного фильтра (полупромышленная установка) – минимальная величина времени фильтрования (τ_p) = 79,27 с, максимальная удельная производительность (V_f) = $3,98$ м³/м²; для двухслойного фильтра (стеклянная модель) – минимальная величина времени фильтрования (τ_p) = 17,34 с, максимальная удельная производительность (V_f) = $105,3 \cdot 10^{-3}$ м³/м²; для двухслойного фильтра (полупромышленная установка) – минимальная величина времени фильтрования (τ_p) = 175,13 с, максимальная удельная производительность (V_f) = $3,98$ м³/м².

Произведена проверка адекватности полученной математической модели. Данные, полученные в процессе эксплуатации полупромышленной установки, отличались от предсказанных в математической модели в среднем не более чем на 4,87 %. Следовательно, разработанная математическая модель является адекватной и может быть использована при прогнозировании удельной производительности фильтрования в зависимости от изменяемых параметров.

Список литературы

1. Варжапетян, А.Г. Автоматизация контроля параметров водной среды / А.Г. Варжапетян, Г.И. Коршунов, М.А. Надеяев. – Л.: Судостроение, 1988. – 232 с.
2. ГОСТ Р ИСО 5667.2-93. Качество воды. Отбор проб. Руководство по методам отбора проб. – М.: Госстандарт РФ, 1993. – 29 с.
3. ГОСТ 17.1.3.08-82. Охрана природы. Гидросфера. Правила контроля качества морских вод. – М.: Госстандарт РФ, 1982. – 6 с.
4. ГОСТ Р 51592-2000. Вода. Общие требования к отбору проб. – М.: Госстандарт РФ, 2000. – 19 с.
5. ГОСТ 17.1.3.07-99. Охрана природы. Правила контроля качества воды в водоемах и водотоках. – М.: Госстандарт РФ, 1999. – 21 с.
6. Крикун, А.И. Математическое моделирование процесса фильтрования / А.И. Крикун, С.Д. Угрюмова // Науч. жизнь (ВАК). – 2016. – № 12. – С. 6–14.
7. Панфилов, В.А. Технологические линии пищевых производств (теория технологического потока) / В.А. Панфилов. – М.: Колос, 1993. – 288 с.
8. Плюта, А.И. Об одном варианте метода Зейделя / А.И. Плюта // Математическое моделирование. – 2003. – Т. 15, № 12. – С. 79–85.
9. Угрюмова, С.Д. Операторная модель управления как показатель надежности технологических систем в пищевых производствах / С.Д. Угрюмова, А.И. Крикун, И.В. Панюкова // Фундаментальные и прикладные вопросы естествознания. – Владивосток: ТОВМИ им. С.О. Макарова ВУНЦ «ВМА», 2012. – Т. 3. – С. 213–216.
10. Угрюмова, С.Д. Исследование факторов, определяющих эффективную производительность фильтров / С.Д. Угрюмова, А.И. Крикун // Приморские Зори. – Владивосток: МАНЭБ, 2015. – С. 131–135.

Сведения об авторах: Крикун Александра Игоревна, старший преподаватель, e-mail: aleksa13@list.ru;

Угрюмова Светлана Дмитриевна, доктор технических наук, профессор, e-mail: ms.s.d.u@mail.ru.

УДК 664.951.002.5

В.И. Погонец

Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б

ТЕНЗОМЕТРИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ВАКУУМНОЙ РАЗДЕЛКИ САЙРЫ И САРДИНЫ ТИХООКЕАНСКОЙ

Проведены исследования процесса вакуумной разделки сайры и сардины тихоокеанской с использованием тензометрии и осциллографирования. Выявлены параметры процесса и изложено его объяснение и обоснование.

Ключевые слова: вакуумная разделка рыб, тензометрия процесса, осциллографирование, оптимальные параметры.

V.I. Pogonets

STRAIN GAUGE STUDIES OF THE PROCESS OF VACUUM CUTTING SAURY AND SARDINES IN THE PACIFIC

The process vacuum cutting saury and Pacific sardine using strain gauges and oscilloscope. The parameters of the process and set forth his explanation and justification.

Key words: vacuum cutting the fish, strain measurement process, oscillography, optimal parameters.

Для оценки прочности связи внутренностей со стенками брюшной полости у рыб (сайры и сардины), усилий их отрыва, распределения давления в вакуумной насадке при вакуум-отсосе проведены тензометрические исследования этого процесса в лабораторных условиях на сырье охлаждённом и дефростированном 3-, 5-, 10- и 11- часового хранения.

Измерение усилий отрыва внутренностей рыб, разрежений в трубопроводе и вакуум-насадке проводили тензорезисторами по схеме, приведённой на рис. 1. Обезглавленную рыбу 1 за хвостовой плавник крепили к тензометрическому динамометру 2, чувствительный элемент которого выполнен в виде балки равного сопротивления, на которую наклеивали тензодатчики.

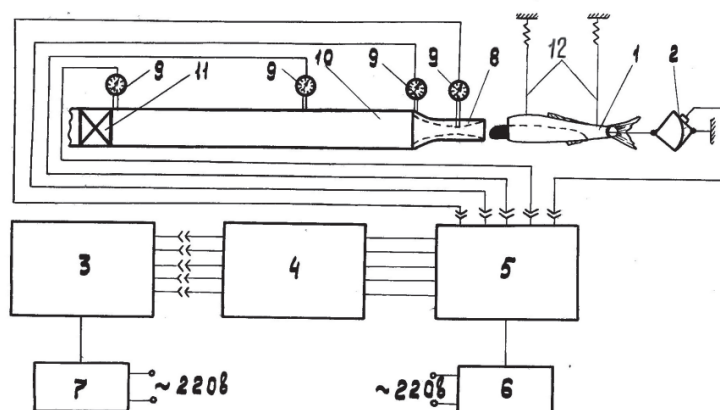


Рис. 1. Схема записи усилий отрыва внутренностей у рыб и разрежений в насадках с помощью тензорезисторов

Fig. 1. The scheme records the efforts of separation of the viscera from the fish and vacuum in the nozzle using strain gages

Рыбу фиксировали на гибкие нити 12 и подводили головным срезом к вакуум-насадке 8, выполненной из прозрачного органического стекла. На стеклянный трубопровод 10 устанавливали регулировочный кран вакуума 11. На полые пружины вакуумметров 9 наклеивали тензорезисторы марки 2ПКБ-5-100 (рис. 2). В схеме использовали комплект аппаратуры, состоящий из тензометрического усилителя 5 марки 8АНЧ-7М с блоком питания 6, магазин сопротивлений R156 (4), служащий для регулировки сигнала, поступающего от тензорезисторов и светолучевой двенадцатишлейфовый осциллограф Н115 (3) с блоком питания П133 (7).

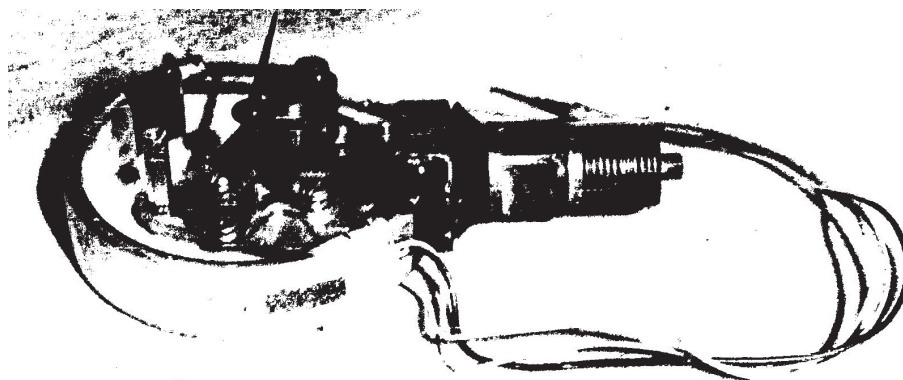


Рис. 2. На фотографии показан метод установки тензорезисторов на полые пружины вакуумметров

Fig. 2. The photo shows the installation method of the strain gauges on the hollow spring vacuum gauges

Эксперименты проводили с подачей воды в насадку, отдельные опыты проводили без подачи воды.

Для расшифровки полученных при экспериментах осциллограмм в масштабе усилий и разрежений, тензометрический динамометр, а также полые пружины вакуумметров подвергали статической градуировке. Вакуумметры градуировали на переносном приборе системы Петрова (марки ППР-2М). Ультрафиолетовую запись осциллограмм выполняли на фотоленте типа УФ.

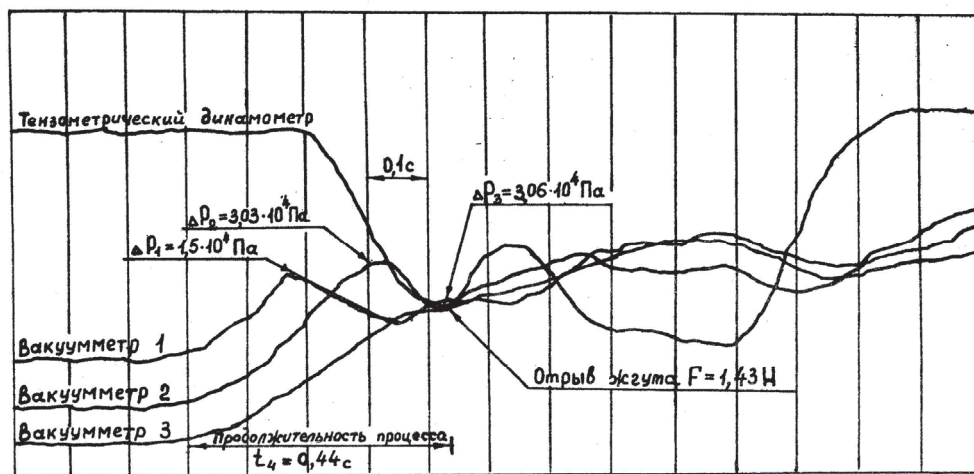


Рис. 3. Осциллограмма процесса вакуум-отсоса внутренностей у сардины ($L = 0,185$ м; $l_4 = 0,015$ м; $a = 0,042$ м)

Fig. 3. The oscillogram of the process the vacuum suction entrails from sardines ($L = 0,185$ м; $l_4 = 0,015$ м; $a = 0,042$ м)

При расшифровке осциллограмм установлено, что прочность связи внутренностей с брюшной полостью у сайры и сардины с увеличением их размерного состава увеличивается. Разрежение в вакуум-насадках, необходимое для вакуум-отсоса компонентов полости, также возрастает с увеличением размеров рыб.

На рис. 3, 4 представлены отдельные осциллограммы с записью процесса вакуум-отсоса внутренностей сайры и сардины. Кривые изменения разрежений в цилиндрических вакуум-насадках соответствуют показаниям вакуумметров № 1, 2, 3 в момент отрыва жгута внутренностей. Прочности связи внутренностей с брюшной полостью соответствуют кривые тензометрического динамометра. Расстояние между вертикальными прямыми на осциллограммах соответствует времени $t_4 = 0,1$ с. Под осциллограммами указаны линейные размеры рыбы и параметры выступающей части жгута внутренностей её.

При исследованиях процесса вакуумной разделки рыб использовали скоростную киносъёмку, которую проводили со скоростью 1000 кадров в секунду.

Рассмотрение результатов исследования процесса извлечения внутренностей, полученных при использовании прозрачного насадка и скоростной киносъёмки, показало, что развитие исследуемого процесса протекает по этапам. Отмечено, что в первую очередь начинает двигаться твёрдая фаза, находящаяся вблизи головного среза и покрывающая (частично) поверхность собственно жгута внутренностей. Из всего промежутка времени отрыва на этот этап уходит приблизительно $\Delta t_1 \sim 5\text{--}10\%$ времени.

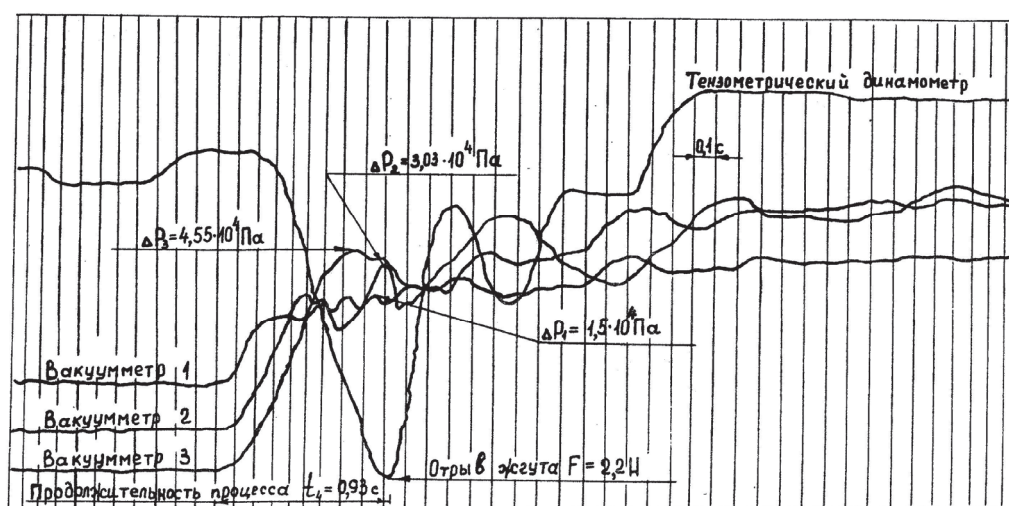


Рис. 4. Осциллограмма процесса вакуум-отсоса внутренностей у сайры
($L = 0,33$ м; $l_4 = 0,024$ м; $a = 0,034$ м)

Fig. 4. The oscillogram of the process the vacuum suction of the guts of saury
($L = 0,33$ м; $l_4 = 0,024$ м; $a = 0,034$ м)

Следующим этапом процесса является срыв жидкой фазы с поверхности жгута внутренностей, при этом отчётливо было заметно, как эта фаза разбрызгивается по стенкам насадка перед процессом отрыва. Необходимо подчеркнуть, что промежуток времени, прошедший с момента срыва твёрдой фазы до срыва жидкой (иначе, время срыва жидкой) больше, чем Δt_1 , что объясняется, на наш взгляд, значительной вязкостью последней. Величина Δt_2 изменяется в проведённых опытах приблизительно в пределах

$$10\% < \Delta t_2 < 90\%$$

от общего времени отрыва.

И наконец, последний, третий, этап процесса характеризуется большой скоростью его течения. В этот период величина Δt_3 оказывается много меньше величин Δt_1 и Δt_2 ; причём удаётся установить только порядок их величин при записи на осциллографе со скоростью движения осциллографической ленты $V = 2,5$ м/с. При анализе результатов осциллографирования и киносъёмки удаётся отчётливо заметить только второй и третий этапы процесса: сразу за срывом жидкой фазы – отрыв непосредственно жгута внутренностей.

Из сказанного ясно, что изучение исследуемого процесса должно выполняться также по этапам.

Кроме того, при изучении кадров отснятой киноленты отмечается вытягивание внутренностей в жгут сразу после первого этапа, т. е. одновременно со срывом жидкой фазы. Причём этот процесс вытягивания конечен как во времени (меньше Δt_2), так и в отношении величины деформации, после некоторой деформации жгут внутренностей далее ведёт себя подобно твёрдому телу. Вакуумное удаление внутренностей рыб показало некоторые особенности, которые имеют большое практическое значение. Объяснение природы этих процессов, на наш взгляд, следующее.

В ходе проведения опытов установлено, что процесс экстракции внутренностей рыб является нестационарным и осуществляется за счёт возникновения тангенциальных усилий при движении воздуха между стенкой вакуум-насадки и поверхностью жгута внутренностей. При входе последних в головную зону вакуум-насадки с их поверхности в начальный момент потоком воздуха срываются частицы, обволакивающие твёрдую фазу, слизь и жир.

Атмосферное давление, на первый взгляд способствующее выдавливанию внутренностей из брюшной полости рыбы, при нахождении её на некотором расстоянии от входного отверстия вакуум-насадки, в первый момент существенным образом не влияет на процесс их извлечения. Для проверки данного положения был выполнен следующий эксперимент. При полном перекрытии входного отверстия вакуум-насадки срезом внутренностей, т. е. при исключении подсоса воздуха, извлечения внутренностей из полости рыбы не наблюдалось. В отдельных случаях имело место лишь частичное вырывание их, а также створок полости без последующего движения внутренностей по трубопроводу.

Применение цилиндрических насадок с зазором для прохождения воздуха между стенкой и поверхностью внутренностей при опытах на рыбе одного размерного состава показало, что внутренности в большинстве опытов стремятся занять центральное положение относительно геометрической их оси, при этом они формируются в цилиндрический жгут.

В опытах при уменьшенном разрежении в системе наблюдалось опускание внутренностей к нижней стенке насадка, но полного соприкосновения их со стенками не происходило. Поток воздуха способствует их подъёму и удержанию во взвешенном состоянии в центральной части канала.

Установлено, что применение цилиндрических насадок при вакуум-отсосе внутренностей из полости сайры и сардины требует более низкого разрежения системы, чем при применении цилиндрической формы насадок. При использовании последних создаётся возможность уменьшить мощность и энергоёмкость вакуумной системы в целом, рациональнее использовать вакуум, при этом качество зачистки брюшной полости рыбы не ухудшается. Характерной особенностью применения цилиндрических насадок является то, что сужение канала насадки на некотором расстоянии от входного сечения даёт возможность искусственно увеличить разрежение в цилиндрическом участке насадки, в то время как величина разрежения в системе остаётся постоянной. Незначительное местное уменьшение площади минимального сечения канала насадки способствует увеличению скорости потока воздуха и значительному понижению давления в рабочей части, что, на наш взгляд, с экономической точки зрения наиболее выгодно. С физической стороны процесса это способствует увеличению усилий отрыва внутренностей и лучшему захвату их во входной части насадка при первоначальной операции вакуум-отсоса.

Переходя к рассмотрению течения воздуха в пограничном слое жгута внутренностей, заметим, что скорость внешнего потока нам известна. Для решения задачи необходимо знать ещё распределение давления вдоль пограничного слоя жгута внутренностей. Кроме того, как мы в дальнейшем покажем, скорость течения рабочей среды в насадке не превышает $V \leq 100$ м/с, что позволяет нам рассматривать нашу среду как несжимаемую [3, 4]. Градиент давления определится из уравнения

$$-\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} = \frac{\partial V}{\partial t} + V \frac{\partial V}{\partial x}, \quad (1)$$

где x – координата вдоль линий тока и, следовательно, параллельная поверхности жгута внутренностей;

V – скорость на внешней границе пограничного слоя.

Так как эта скорость не зависит от продольной координаты, выражение (1) переписется в виде:

$$-\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} = \frac{\partial V}{\partial t}. \quad (2)$$

Независимость внешней скорости от этой координаты позволит получить в дальнейшем точное решение уравнения, которое запишется в виде:

$$\frac{\partial U}{\partial t} - V \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} = \frac{\partial V}{\partial t}. \quad (3)$$

В это уравнение следует подставить значение скорости. Однако особенность исследуемого процесса заключается в наличии предварительного срыва твёрдых элементов, жидкой фазы, а также относительно большая вязкость фазы (состоящей из органических соединений), покрывающая поверхность жгута внутренностей, даёт возможность несколько упростить задачу. В самом деле, положив минимальную допустимую скорость $V = 10$ м/с, которая соответствует небольшим, практически неиспользуемым в силу недостаточности возникающего тангенциального усилия перепадам давлений, получим, взяв для длины выступающей части жгута внутренностей $l = 0,02$ м:

$$t_1 = \frac{2 \cdot 0,02}{10} = 0,004 \text{ с}.$$

Такой промежуток времени значительно меньше времени срыва жидкой фазы с поверхности жгута внутренностей, что следует из результатов скоростной кинесъёмки и является вполне понятным, так как вязкость этой фазы достаточно велика.

Отсюда следует, что скорость к моменту срыва с поверхности жгута внутренностей жидкой фазы уже достигнет своего асимптотического значения.

Рассмотрим распределение скоростей в пограничном слое жгута внутренностей. Граничные условия для поставленной задачи запишем следующим образом, в наиболее общем виде:

$$\begin{aligned} u &= u_1 \text{ при } y = 0, \\ u &= V(t) \text{ при } y > \delta, \end{aligned} \quad (4)$$

где u_1 – скорость движения верхней границы жидкой фазы внутренностей;

$V(t)$ – скорость на внешней границе пограничного слоя, образовавшегося на поверхности этой вязкой фазы.

Схема распределения скоростей может быть в нашем представлении показана на (рис. 5). Изображённый на этом рисунке профиль скоростей условен, так как истинный характер изменения скорости вдоль нормальной координаты нам пока неизвестен. Цель этой иллюстрации – показать наличие в первоначальный момент двухслойной схемы в исследуемом случае. Кроме того, ось x пока также условно направлена по границе между жидкой фазой и газовым пограничным слоем.

В силу больших скоростей внешнего течения промежутки времени от начала процесса до срыва жидкой фазы относительно мал – согласно данным киносъёмки составляет $5 \div 10$ % времени всего процесса отрыва.

В определённый момент времени жидкая фаза срывается потоком, а выступающая часть внутренностей прочно им захватывается и дополнительно вытягивается. В это время действует максимальное тангенциальное усилие на поверхность жгута и создаётся реальная возможность отрыва вытянутого жгута. Именно это усилие нас и интересует в теоретическом плане.

После срыва жидкой фазы граничные условия к поставленной задаче запишем иначе:

$$\begin{aligned} u &= 0 \quad \text{при} \quad y = 0, \\ u &= V \quad \text{при} \quad y > \delta. \end{aligned} \tag{5}$$

Кроме того, за время срыва этой фазы скорость внешнего течения достигает своего асимптотического значения и, следовательно, перестаёт зависеть от времени.

В этом случае уравнение (3) приводится к уравнению теплопроводности и при граничных условиях (5) имеет точное решение.

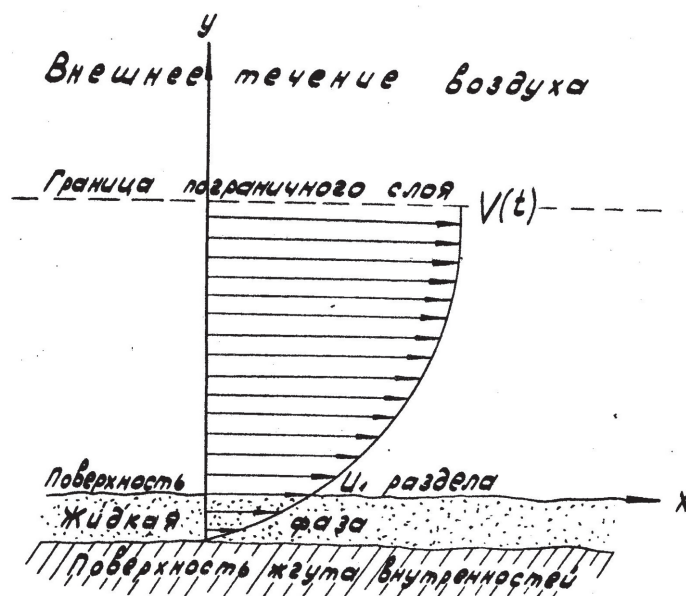


Рис. 5. Схема распределения скоростей воздуха в пограничном слое извлекаемого жгута внутренностей у рыб
 Fig. 5. The scheme of distribution of air velocities in the boundary layer extracted harness the innards of the fish

Введём новую безразмерную переменную (как это делается в теории теплопроводности [5]):

$$\eta = \frac{y}{2\sqrt{\vartheta \cdot t}} \quad (6)$$

и положим:

$$u = V \cdot f(\eta).$$

Тогда для функции $f(\eta)$ имеем дифференциальное уравнение:

$$f''(\eta) + 2 \cdot \eta \cdot f'(\eta) = 0. \quad (7)$$

Граничные условия к этому уравнению с учётом замены переменной будут:

$$\begin{aligned} f(\eta) &= 0 & \text{при} & \quad \eta = 0, \\ f(\eta) &= 1 & \text{при} & \quad \eta = \infty. \end{aligned} \quad (8)$$

Решение уравнения (3) будет тогда иметь следующий вид:

$$u = \frac{2V}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\eta} e^{-\eta^2} \cdot d\eta. \quad (9)$$

Распределение скоростей, таким образом, будет описываться интегралом ошибок.

Следует заметить, что в выражении (9) отсутствует координата x . Такое решение как раз и соответствует исследуемому случаю, так как в соответствии с особенностью нашего процесса точку начала пограничного слоя на жгуте внутренностей указать точно нельзя. Как мы уже указывали, задача подобна обтеканию пластины в две противоположные стороны. Решение (9), вообще говоря, неприменимо для тех случаев вблизи передней кромки пластины (где имеет место влияние этой кромки), однако вполне соответствует исследуемому случаю.

Кроме того, мы также в силу особенности исследуемого процесса задаем ещё и граничные условия для времени, так как весьма затруднительно указать точные моменты удаления твёрдой и жидкой фаз.

Иначе говоря, такое неполное решение при точности решений уравнения (9) как раз и соответствует нашему исследуемому случаю.

Определим тангенциальные напряжения, усилия засасывания и полное сопротивление отрыва жгута внутренностей. Следующим этапом решения этой задачи является определение напряжений трения на поверхности жгута внутренностей.

Напряжения трения определяются следующим образом:

$$\tau = \mu \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)_{y=0}, \quad (10)$$

где μ – коэффициент вязкости рабочей среды (воздуха в нашем случае).

Определим значение производной по нормальной координате. Для этого дифференцируем выражение (9) по y :

$$\frac{\partial u}{\partial y} = \frac{2V}{\sqrt{\pi vt}} \cdot \exp\left\{\frac{y^2}{4vt}\right\}. \quad (11)$$

Находя значение производной на поверхности жгута внутренностей и подставляя в прежнее (10), получим:

$$\tau = \frac{2\mu V}{\sqrt{\pi vt}}.$$

Подставляя в это выражение значение асимптотической скорости, получим:

$$\tau = \frac{2\mu}{\sqrt{\pi vt}} \cdot \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}}. \quad (12)$$

В приведённых выражениях: ρ – плотность воздуха,
 ν – коэффициент кинематической вязкости воздуха.

Усилия засасывания, действующие на всю поверхность жгута внутренностей, определяются из следующей формулы:

$$F_{\tau} = \int_A \mu \left(\frac{\partial U}{\partial y}\right)_{y=0} \cdot dA \quad (13)$$

Подставляя в это выражение значение производной и учитывая, что искомая сила будет функцией времени, получим:

$$F_{\tau} = \frac{2 \cdot \mu \cdot a \cdot l}{\sqrt{\pi \cdot \nu \cdot t}} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P}{\rho}}, \quad (14)$$

где a – периметр жгута внутренностей,
 l – длина выступающей части жгута.

Сила, определённая формулой (14), действует очень короткий промежуток времени, от момента срыва жидкой фазы до полного затягивания выступающей части жгута в вакуумный насадок.

В итоге на жгут внутренностей действуют, после этого момента, две силы: сила засасывания и сила от перепада давления, проявляющаяся в полной мере только тогда, когда F_{τ} создаёт условия для вытягивания внутренностей в жгут. Она будет равна:

$$F_{\Sigma} = \frac{2 \cdot \mu \cdot a \cdot l}{\sqrt{\pi \cdot \nu \cdot t}} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P}{\rho}} + \Delta P \cdot S, \quad (15)$$

где S – площадь сечения жгута внутренностей в концевом сечении рабочей части насадка.

Следует сразу же отметить, что вторая сила, соответствующая $F_{\Sigma} = \Delta P \cdot S$, много больше по величине, чем первая. Однако необходимо разделить время существования этих сил: первая из них появляется раньше, независимо от второй, и существует дольше, порождая вторую.

Сопоставление экспериментальных результатов и данных наших приближённых теоретических исследований мы приведём по двум направлениям. Первое из них – сравнение по-

лученных результатов в качественном направлении; под этим мы понимаем теоретические выводы конструктивного характера, имеющие целью оптимизацию исследуемого процесса.

Второе направление – сопоставление количественных данных экспериментов и величин сил, рассчитанных для этих случаев по полученным формулам.

Так, необходимость наличия зазора для прохода рабочей среды – воздуха, подтвержденная опытом, свидетельствует о правильном представлении природы процесса, конкретно в данном случае – о том, что предварительным этапом процесса является засасывание внутренностей в рабочую часть насадка. В противном случае отрыв жгута внутренностей имел бы место и при экспериментах без подсосов (точнее при незначительном подсосе) воздуха.

Необходимость прохода воздуха уже в рабочей части насадка в кольцевом зазоре, вытекающая из теоретических предпосылок, также подтверждается экспериментами – в тех случаях, когда имеет место отсутствие этого зазора, происходит закупорка насадка внутренностями или последующий их отрыв получается некачественным.

Не входя пока в подробное рассмотрение величин сил, возникающих при экстракции внутренностей исследуемым способом, заметим, что перечисленные факторы в полной мере качественно подтверждают картину процесса, представленную в виде описанных ранее последовательно протекающих этапов.

На основании полученных теоретических данных создаются предпосылки для выбора оптимальных режимов проведения процесса вакуумной разделки рыб.

Выводы

На основании проведенных исследований можно констатировать:

1. Разделка сайры и сардины различного размерного состава с помощью вакуума возможна, качество разделки в сравнительном отношении с механическим способом лучше.
2. Выявлено что, более приемлемыми с точки зрения качества разделки являются цилиндрические насадки с площадью входного отверстия от $113 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$ до $154 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$ и насадка с формой сечения в виде эллипса с площадью отверстия $125 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$.
3. Оптимальная величина разрежения в насадках находится в пределах от $3,45 \cdot 10^4 \text{ Па}$ до $6,11 \cdot 10^4 \text{ Па}$.

Список литературы

1. Погонец, В.И. К вопросу оптимизации процесса разделки рыб вакуум-способом / В.И. Погонец // Науч. тр. Дальрыбвтуза. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2011. – Вып. 23. – С.263–266.
2. Погонец, В.И. Исследования процесса разделки сардины тихоокеанской вакуумным способом / В.И. Погонец // Науч. тр. Дальрыбвтуза. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2016. – Вып. 38. – С. 96–100.
3. Прандтль, Л. Гидроаэромеханика / Л. Прандтль. – М.: ИЛ, 1951. – 575 с.
4. Романов, А.А. Основные направления создания и совершенствования рыбообделочных машин / А.А. Романов. – М.: ЦНИИТЭИРХ, 1974. – Сер.4, вып. 2. – 85 с.
5. Шлихтинг, Г. Теория пограничного слоя / Г. Шлихтинг. – М.: Наука, 1969. – 742 с.

Сведения об авторе: Погонец Владимир Ильич, доктор технических наук, профессор, e-mail: pogonetsvi@mail.ru.

УДК 664.951. 002. 5

В.И. Погонец

Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б

ВАКУУМНАЯ РАЗДЕЛКА РЫБ, ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИ И РЕАЛЬНОГО ПРОЦЕССА

Проведены теоретические и экспериментальные исследования вакуумной разделки мелких и средних по размерам рыб. Получены аналитические формулы, позволяющие рассчитать основные параметры для проведения процесса, а по выявленным экспериментальным данным построены графические зависимости. Предлагается методика проверки этих результатов (модели и реального процесса).

Ключевые слова: исследования, вакуумная разделка рыб, формулы, экспериментальные данные, методика, сравнение результатов.

V. I. Pogonets

VACUUM PROCESSING FISH, EVALUATION OF THE PARAMETERS OF THE MODEL AND THE REAL PROCESS

Carried out theoretical and experimental study of vacuum dressing small and medium sized fish. Analytical formulas allowing to calculate the main parameters for conducting the process, and identified the experimental data built graphics based on. A method is proposed to verify these results (model and the real process).

Key words: research, vacuum cutting fish, formulas, experimental data, methodology, results are compared.

По результатам выполненных исследований по вакуумной разделке рыб (сардины, корюшки, сайры, песчанки) нами [1, 2, 3] построена математическая модель процесса. Получено основное дифференциальное уравнение движения воздушного потока при вакуум-отсосе внутренностей рыб в виде:

$$\frac{\partial U}{\partial t} - \nu \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} = \frac{\partial V}{\partial t}, \quad (1)$$

где V и U – соответственно продольная и нормальная к поверхности жгута внутренностей рыб составляющие скорости;

ν – кинематическая вязкость воздуха;

t – время;

y – нормальная к поверхности жгута координата.

В результате решения уравнения (1) с учетом начальных и граничных условий процесса получены аналитические выражения для усилий засасывания жгута внутренностей (2) и полного сопротивления отрыва кишечника из брюшной полости у рыб (3):

$$F_{\tau} = \frac{2\mu \cdot a \cdot l}{\sqrt{\pi \cdot \nu \cdot t}} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P}{\rho}}. \quad (2)$$

$$F_{\Sigma} = \frac{2\mu \cdot a \cdot l}{\sqrt{\pi \cdot v \cdot t}} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P}{\rho}} + \Delta P \cdot S, \quad (3)$$

где a – периметр жгута внутренностей;

l – длина выступающей части жгута внутренностей за пределы головного среза тушки рыбы;

s – площадь сечения жгута внутренностей в концевом сечении рабочей части вакуум-насадки.

Полученные данные экспериментальных работ по вакуум-отсосу внутренностей рыб для размерного состава 0,26–0,32 м приведены на рис. 1, здесь же показана рассчитанная теоретическая кривая для этого же размерного состава рыб.

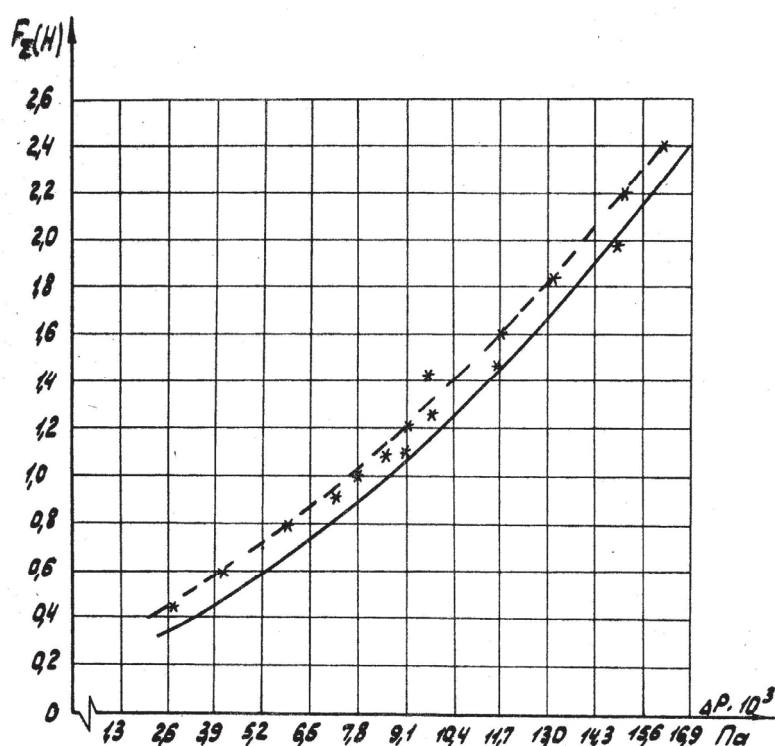


Рис. 1. Теоретическая (сплошная) и экспериментальная пунктирная характеристики сил отрыва внутренностей сайры при вакуум-отсосе для размерного состава 0,26–0,32 м

Fig. 1. Theoretical (solid) and experimental (dotted) characteristics of the detachment forces of the guts of saury during vacuum-suction for dimensional structure 0,26–0,32 m

По результатам выполненных работ была проведена проверка адекватности модели и реального процесса извлечения внутренностей из рыб по предлагаемой ниже методике. Для определения качества разделки рыбы в зависимости от технологических параметров были использованы следующие величины процесса: величина разрежения в вакуумной насадке ΔP , диаметр входного отверстия насадки d , время хранения сырья в аккумуляционном отделении t . По этим значениям был проведён метод активного планирования экспериментов [5, 6]. Ниже рассмотрим более полно эту методику.

При традиционном классическом подходе к исследованию опыты должны ставиться в некоторой последовательности так, чтобы при переходе от одного к другому изменялся

только один фактор (параметр), а все остальные остались бы на каком-то постоянном уровне. Поэтому в оценке каждого из результатов здесь участвует только малая часть опытов.

Основное преимущество предлагаемого метода активного планирования экспериментов заключается в том, что здесь опыты ставятся так, что одновременно изменяются все переменные. Поэтому каждое значение качества разделки рыбы определяется по результатам всех N экспериментов – дисперсия в оценке коэффициентов уравнения оказывается в N раз меньше дисперсии для ошибки опыта.

Изучение зависимости качества разделки рыбы C_1 от технологических параметров методом активного планирования в общем проводится в обычной последовательности большинства научных исследований. Оно проходит следующие этапы:

1. Постулирование математической модели.
2. Планирование эксперимента.
3. Выбор действительных технологических параметров.
4. Проведение эксперимента.
5. Оценка параметров.
6. Проверка адекватности постулированной модели.
7. Оценка доверительных интервалов.

Постулирование математической модели.

Задача исследования в том, чтобы получить функцию отклика:

$$C_1 = f(\Delta P, d, t).$$

Геометрический образ, соответствующий функции отклика, называется поверхностью отклика. В самом общем случае, когда исследование функции отклика ведётся при неполном знании механизма изучаемых явлений, аналитическое выражение функции отклика неизвестно. Поэтому приходится ограничиваться представлением её полиномом:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 \cdot x_1 + \beta_2 \cdot x_2 + \beta_3 \cdot x_3. \quad (4)$$

В дальнейших рассуждениях вместо времени хранения рыбы в аккумуляционном отделении будем применять, для удобства, соответствующую силу связи F внутренностей с брюшной полостью.

Пользуясь результатами экспериментов, можно определить только выборочные коэффициенты регрессии.

Уравнение регрессии, полученное на основании опыта, запишется следующим образом:

$$\hat{Y} = B_0 + B_1 \cdot x_1 + B_2 \cdot x_2 + B_3 \cdot x_3 + \epsilon. \quad (5)$$

Уравнение (5) является полиномом первой степени. Коэффициенты этого линейного уравнения можно легко оценить по методу наименьших квадратов, как будет показано далее.

Планирование эксперимента.

Дополнительно был проведён планированный эксперимент. План этого эксперимента является составным планом, первоначально предложенным Боксом [5]. Такой план состоит из 24 опытов в четырёх сериях, причём каждая серия состоит из 6 опытов.

В исследованиях [2, 3], проведённых в данных работах, применены только первые две серии опытов. Эти первые 12 опытов образуют обычную факторную схему порядка 2^3 с дополнительной центральной точкой, повторенной четыре раза. Размещение опытных точек показано условно на рис. 2, где номера точек соответствуют номерам опытов.

Первая серия была составлена из шести опытов: 2, 3, 5, 8, 9, 10. Используя эти 6 опытов, можно оценить 4 параметра в постулированном уравнении. Резервные точки в центре служат для оценки ошибки эксперимента, по которой можно оценить доверительные интервалы параметров, а следовательно, само качество разделки рыбы.

Вторая серия: 1, 4, 6, 7, 11, 12 – добавлена для получения лучших доверительных интервалов параметров.

Выбор уровней изменения технологических режимов.

План из 12 опытов предусматривает три уровня для каждой переменной. Выбор уровня был проведён с учётом работы вакуумной экспериментальной установки (скорости подачи сырья к вакуум-насадкам и режимов работы вакуумного насоса).

Пробные опыты показали, что диаметры цилиндрических насадок целесообразно принимать в пределах до 0,16 м. Дальнейшее увеличение диаметра насадок приводит к резкому ухудшению обработки брюшной полости у рыб.

Время хранения рыбы в аккумуляционном отделении допускалось в течение 11 ч, исходя из технологических регламентов хранения свежего сырья в производственных условиях при его переработке.

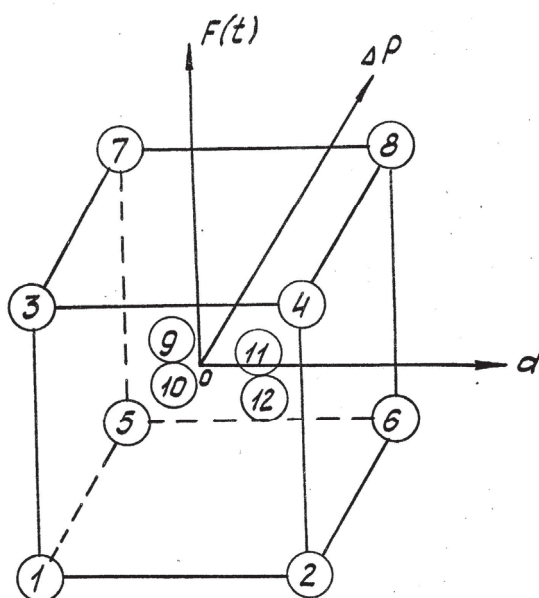


Рис. 2. План проверочного эксперимента из 12 опытов
Fig. 2. Plan of test experiment 12 experiments

Разрежение в насадках принимали в пределах $5,3 \cdot 10^4 - 8 \cdot 10^4$ Па.

Принятые уровни сведены в табл. 1.

Для удобства эти уровни закодированы при помощи следующих уравнений преобразования таким образом, что нижний уровень соответствует -1 , а верхний $+1$:

$$X_1 = \frac{2(\ln \Delta P - \ln 8)}{\ln 8 - \ln 5,3} + 1.$$

$$X_2 = \frac{2(\ln d - \ln 0,16)}{\ln 0,16 - \ln 0,08} + 1. \quad (6)$$

$$X_3 = \frac{2(\ln F - \ln 5,6)}{\ln 5,6 - \ln 1,1} + 1.$$

Таблица 1

Уровни планирования экспериментов по вакуум-отсосу внутренностей у рыб

Table 1

The levels of planning of experiments on vacuum-suck the innards of fish

Уровень планирования	ΔP , Па · 10 ⁴	d, м	F, Н	Кодовое обозначение		
				X ₁	X ₂	X ₃
Верхний	8,0	0,016	5,6	1	1	1
Средний	5,6	0,012	3,1	0	0	0
Нижний	5,3	0,008	1,1	-1	-1	-1

Проведение эксперимента.

Эксперименты проводили на вакуумной установке с использованием базовой производственной машины ИРПС-2 (рис. 3).

Первая пробная серия из шести опытов была проведена в случайном порядке. После анализа результатов опытов были проведены шесть дополнительных. Результаты 12 опытов приведены в табл. 2 вместе с действительными значениями качества разделки рыбы и кодовыми обозначениями.

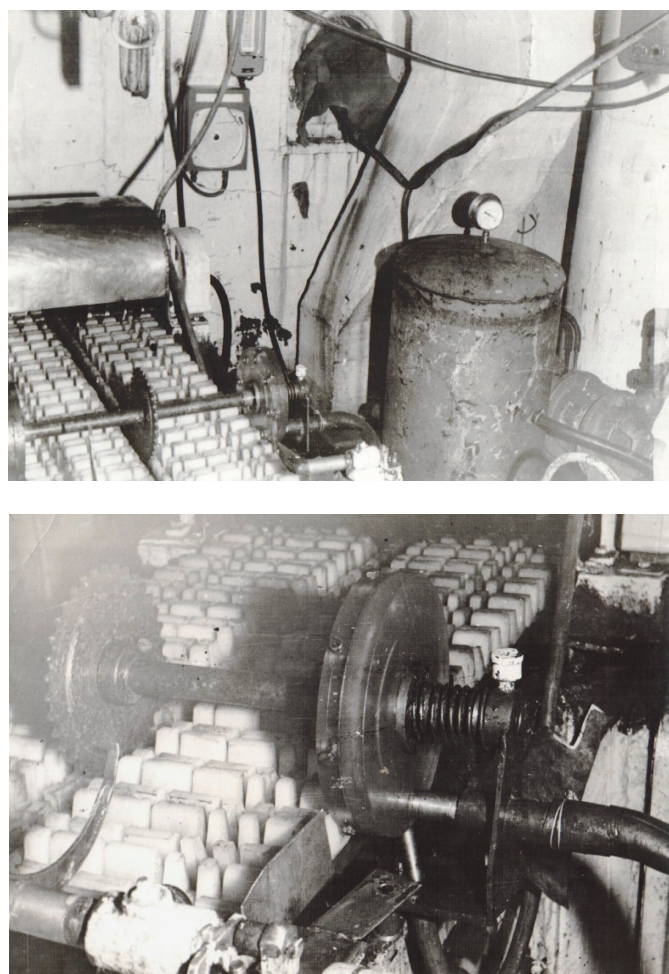


Рис. 3. Машина ИРПС-2 укомплектована вакуумной системой для разделки сайры
 Fig. 3. Machine IRPS-2 equipped with a vacuum system for cutting saury

Оценка параметров.

По окончании первой серии из шести опытов можно оценить четыре коэффициента в постулированной эмпирической формуле:

$\dot{Y} = B_0 + B_1 \cdot x_1 + B_2 \cdot x_2 + B_3 \cdot x_3 + \epsilon$, пользуясь методом наименьших квадратов.

Основная формула имеет вид:

$$B = (X^1 X)^{-1} X^1 Y^1, \quad (7)$$

где $(X^1 X)$ – матрица коэффициентов нормальных уравнений;

$(X^1 X)^{-1}$ – матрица ошибок, или корреляционная матрица.

При ортогональном планировании корреляционная матрица $(X^1 X)^{-1}$ становится диагональной, в этом случае все коэффициенты определяются независимо друг от друга и все ковариации показываются равными нулю; благодаря применению метода наименьших квадратов выборочные коэффициенты регрессии обладают свойством минимальной дисперсии.

Таблица 2

Результаты 12 опытов с заданными параметрами вакуумной разделки рыб

Table 2

The results of 12 experiments with the defined parameters of the vacuum cutting fish

Номер опыта	ΔP , Па · 10 ⁴	d , м	F , Н	Кодовые обозначения			C_1 , %	y
				X ₁	X ₂	X ₃		
1	5,3	0,008	1,1	-1	-1	-1	46	3,828
2	8,0	0,008	1,1	1	-1	-1	84	4,430
3	5,3	0,016	1,1	-1	1	-1	38	3,637
4	8,0	0,016	1,1	1	1	-1	66	4,189
5	5,3	0,008	5,6	-1	-1	1	17	2,833
6	8,0	0,008	5,6	1	-1	1	23	3,135
7	5,3	0,016	5,6	-1	1	1	19	2,944
8	8,0	0,016	5,6	1	1	1	55	4,007
9	5,6	0,012	3,1	0	0	0	67	4,204
10	5,6	0,012	3,1	0	0	0	69	4,234
11	5,6	0,012	3,1	0	0	0	65	4,174
12	5,6	0,012	3,1	0	0	0	68	4,219

С размерным составом рыб, равным 0,22–0,32 м, матрица независимых переменных X для первой серии из шести опытов имеет вид:

$$X = \begin{pmatrix} 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (8)$$

Отсюда

$$X^1X = \begin{pmatrix} 6 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 4 \end{pmatrix} \quad (9)$$

$$(X^1X)^{-1} = \begin{pmatrix} 1/6 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1/4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1/4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/4 \end{pmatrix} \quad (10)$$

Следовательно, уравнение (5) можно записать для первых шести опытов следующим образом:

$$\begin{aligned} B_0 &= \frac{1}{6}(y_2 + y_3 + y_5 + y_8 + y_9 + y_{10}). \\ B_1 &= \frac{1}{4}(y_2 - y_3 - y_5 + y_8). \\ B_2 &= \frac{1}{4}(-y_2 + y_3 - y_5 + y_8). \\ B_3 &= \frac{1}{4}(-y_2 - y_3 + y_5 + y_8), \end{aligned} \quad (11)$$

где индексы при y обозначают номера опытов.

Подставляя в уравнение (5) значения коэффициентов, вычисленные по уравнениям (11), получим уравнение, предсказывающее значения качества разделки для первых шести опытов:

$$\hat{y} = 3,890 + 0,491X_1 + 0,095X_2 - 0,365X_3. \quad (12)$$

В табл. 3 приведены значения качества разделки рыбы, полученные по уравнению (12) и по эксперименту.

Таблица 3

Значения качества разделки рыб по уравнению и по эксперименту

Table 3

Values of the quality of cutting fish by the equation and the experiment

Номер опыта	C_1	y	C_1^1	y'	$y - y'$	$(y - y')^2$	95 % доверительные интервалы	
							C_1^1	y'
2	84	4,430	83,5	4,425	0,005	0,000025	66,1–100	4,191–4,659
3	38	3,637	39	3,663	-0,026	0,000676	39–49,3	3,429–3,897
5	17	2,833	19	2,944	-0,111	0,012321	15,1–24,0	2,710–3,178
8	55	4,007	57	4,043	-0,036	0,001296	45,1–72,1	3,809–4,277
9	67	4,204	69	4,234	-0,030	0,000900	54,7–87,3	4,000–4,468
10	69	4,234	68	4,219	0,005	0,000025	49,2–86,0	3,985–4,453

Нужно заметить, что вследствие ортогональности плана вычисленные значения коэффициентов B_0, B_1, B_2, B_3 не коррелированы между собой.

Доверительные интервалы.

Вследствие ошибки опыта ϵ , оцениваемые параметры, а отсюда оцененное значение качества разделки y^i ненадёжны. Лучшим способом определения точности этих величин является расчёт соответствующих доверительных интервалов. Если принять, что наблюдения y не коррелированы, то ошибки ϵ имеют нормальное распределение и одинаковые дисперсии и можно вычислить доверительные интервалы для данного i -го параметра, воспользовавшись величинами:

$$\text{статистика } i \pm t_f \sqrt{C^{ii} \cdot S^2}, \quad (13)$$

где C^{ii} – элементы i -й строки и i -го столбца матрицы $(X^T X)^{-1}$;

S^2 – оценка дисперсии.

Эти границы ошибки можно применять для выведения следующей формулировки вероятности или доверительного интервала:

$$P \left(\text{статистика } i - t_f \sqrt{C^{ii} \cdot S^2} \leq \text{параметр} \leq \right. \\ \left. \leq \text{статистика } i + t_f \sqrt{C^{ii} \cdot S^2} \right) = 1 - \alpha, \quad (14)$$

где $1 - \alpha$ – уровень вероятности.

Границы ошибок для зависимой переменной, т. е. качества разделки рыбы, определяются выражением

$$y^i \pm t_f \sqrt{C_1(y^i)}, \quad (15)$$

из которого получается доверительный интервал для зависимой переменной

$$P \left(y^i - t_f \sqrt{C_1(y^i)} \leq \text{зависимая переменная} \leq \right. \\ \left. \leq y^i + t_f \sqrt{C_1(y^i)} \right) = 1 - \alpha.$$

Для первых шести опытов вычислим доверительные интервалы. При вычислении доверительного интервала сначала необходимо определить дисперсию и стандартное отклонение.

Оценка дисперсии S^2 , основанная на сумме квадратов разностей при 2 степенях свободы, равна 0,0152.

Дисперсия оценки качества разделки рыбы на вакуумной установке вычисляется в соответствии с различными значениями технологических параметров.

1. Для опытов 2, 3, 5 или 8:

$$C_1(y^i) = C_1(B_0 + B_1 X_1 + B_2 X_2 + B_3 X_3) = \\ = C_1(B_0) + X_1^2 C_1(B_1) + X_2^2 C_1(B_2) + X_3^2 C_1(B_3) = \\ = \left(\frac{1}{6} + \frac{1}{4} + \frac{1}{4} + \frac{1}{4} \right) S^2 = \frac{11}{12} S^2. \quad (16)$$

Следовательно, 95 % доверительный интервал равен:

$$y' \pm t_2 \sqrt{\frac{11}{12} S^2} = 2 \sqrt{\frac{11}{12}} 0,0152 = y' \pm 0,234.$$

2. Для опытов 9 и 10

$$C_1(y') = \frac{1}{6} S^2; \quad y' \pm t_2 \sqrt{\frac{1}{6} S^2} = y' \pm 0,100.$$

Проверка адекватности постулированной модели.

Обычный метод проверки адекватности данной модели заключается в вычислении отношения среднеквадратичной невязки к среднеквадратичной ошибке и в сравнении этого отношения со статистикой F^* .

Среднеквадратичная ошибка оценивается по повторным опытам, проведённым при одинаковых режимах. В первых шести опытах центральная точка повторялась дважды, чтобы получить оценку среднеквадратичной ошибки. Среднеквадратичная ошибка, оценённая по повторным опытам, равна 0,000925.

Среднеквадратичная невязка равна разности суммы квадратов разностей и среднеквадратичной ошибки $0,0152 - 0,000925 = 0,014275$.

Расчётное значение статистики F^* равно:

$$F^* = \frac{S_1^2 / f_1}{S_2^2 / f_2} = \frac{0,014275}{0,000925} = 15,43.$$

Статистика Фишера, заимствованная из таблицы [6] при 2 степенях свободы, равна:

$$F^* = 161,4; \quad F^* \ll F^* .$$

Следовательно, делаем заключение, что постулированная математическая модель адекватна.

Выводы

На основании выполненных теоретических и экспериментальных работ по вакуумной разделке рыб можно констатировать:

1. Экспериментальные данные, полученные в результате проведения работ по вакуумной разделке рыб, согласуются с теоретическими на 84 %.

2. Аналитические формулы, полученные для вакуумной разделки рыбы, включают основные параметры при проведении процесса и могут быть рекомендованы для выявления оптимальных режимов обработки сырья, а также для использования при проектировании нового рыбообделочного оборудования с вакуумной разделкой применительно для мелких и средних по размерам рыб.

3. Предлагаемая методика сопоставления результатов реального процесса при вакуумной разделке рыбы и модели достаточно распространённая в других областях исследований, приемлема для многих инженерных и технологических процессов.

Список литературы

1. Погонец, В.И. Исследования процесса разделки сардины тихоокеанской вакуумным способом / В.И. Погонец // Науч. тр. Дальрыбвтуза. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2016. – Вып. 38. – С. 96–100.
2. Погонец, В.И. Исследование процесса извлечения внутренностей рыб вакуум-способом / В.И. Погонец // Состояние и развитие работ в области автоматизации обработки рыбы: тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. конф. – Л., 1991. – С. 13–16.
3. Погонец, В.И. К вопросу оптимизации процесса разделки рыб вакуум-способом / В.И. Погонец // Науч. тр. Дальрыбвтуза. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2011. – Вып. 23. – С. 263–266.
4. Прандтль, Л. Гидроаэромеханика / Л. Прандтль. – М.: ИЛ, 1951. – 575 с.
5. Труды Американского общества инженеров и механиков // Мир. – 1964. – № 2. – С. 25–31.
6. Митропольский, А.К. Техника статистических вычислений / А.К. Митропольский. – М.: Физматгиз, 1961. – 479 с.

Сведения об авторе: Погонец Владимир Ильич, доктор технических наук, профессор, e-mail: pogonetsvi@mail.ru.

СОДЕРЖАНИЕ

ИХТИОЛОГИЯ. ЭКОЛОГИЯ	3
<i>Дубина В.А., Плотников В.В., Вакульская Н.М.</i> Дрейф льда в Охотском море по спутниковым данным	3
<i>Ищенко А.Н., Рыбникова И.Г.</i> Особенности выращивания окуня-аухи в Южном Приморье	9
<i>Казаченко В.Н.</i> Находки представителей рода <i>Sphyrion</i> (Crustacea: copepoda)	13
<i>Пак Е.А., Хапов Д.С., Дубина В.А.</i> Мезомасштабные абиотические факторы в прибрежных экосистемах залива Терпения (Охотское море)	17
<i>Плотников В.В., Руденко О.Н.</i> Мониторинг ледовых условий в системе морей восточного сектора Арктики (Восточно-Сибирское, Чукотское моря) в конце XX начале XXI вв.	22
ПРОМЫШЛЕННОЕ РЫБОЛОВСТВО. АКУСТИКА	29
<i>Мироненко М.В., Стародубцев П.А., Бакланов Е.Н., Пичугин К.А.</i> Практические пути прогнозирования сильных землетрясений с использованием донных гидроакустических систем	29
СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ, УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ, ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА СУДОВОЖДЕНИЯ, ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ СУДОВ	34
<i>Руднев Б.И., Повалихина О.В.</i> Зональная математическая модель локального радиационного теплообмена в камере сгорания судового дизеля	34
ТЕХНОЛОГИЯ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ	40
<i>Богданов В.Д., Симдянкин А.А., Назаренко А.В.</i> Обоснование температуры замораживания трепанга перед криоизмельчением	40
<i>Дементьева Н.В., Лунина Ю.А.</i> Обоснование рациональных компонентов в пастообразной продукции из икры минтая и камбалы	45
<i>Позднякова Ю.М., Конькова Д.А.</i> Технология получения коллагенсодержащих комплексов из голотурий и их характеристика	49
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ И ТРАНСПОРТНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ РЫБОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ОТРАСЛИ	56
<i>Крикун А.И., Угрюмова С.Д.</i> Математическое моделирование процесса фильтрования морской воды.....	56
<i>Погонец В.И.</i> Тензометрические исследования процесса вакуумной разделки сайры и сардины тихоокеанской	65
<i>Погонец В.И.</i> Вакуумная разделка рыб, оценка параметров модели и реального процесса	74

CONTENTS

ICHTHYOLOGY. ECOLOGY	3
<i>Dubina V.A., Plotnikov V.V., Vakulskaya N.M.</i> Sea ice drift in the Okhotsk sea according to satellite data.....	3
<i>Ishchenko A. N., Rybnikova I. G.</i> Peculiarity of growing chinese perch in Southern Primorye.....	9
<i>Kazachenko V.N.</i> Finding the representatives of the genus <i>Sphyrion</i> (Crustacea: copepoda) off the southwest coast of Africa.....	13
<i>Pak E.A., Hapov D.S., Dubina V.A.</i> Submesoscale abiotic factors in coastal marine ecosystems of the Terpeniya bay (Okhotsk sea).....	17
<i>Plotnikov V.V., Rudenko O.N.</i> Monitoring of ice conditions in system of the seas of east sector of the Arctic (the East Siberian, Chukchi sea) at the end of XX beginning of the XXI centuries	22
INDUSTRIAL FISHERIES. ACOUSTICS	29
<i>Mironenko M.V., Starodubtcev P.A., Baklanov E.N., Pichugin K.A.</i> Practical ways of prediction of strong earthquakes using bottom sonar systems.....	29
SHIP POWER PLANTS, EQUIPMENT AND SYSTEMS, SHIP NAVIGATION FACILITIES, SHIP ELECTRICAL FACILITIES	34
<i>Rudnev B.I., Povalikhina O.V.</i> Zonal mathematical model of local radiant heat transfer in marine diesel engine combustion chamber.....	34
TECHNOLOGY AND QUALITY CONTROL OF FOOD PRODUCTS	40
<i>Bogdanov V.D., Simdiankin A.A., Nazarenko A.V.</i> Rationale for freezing temperature before cryomilling of sea cucumber.....	40
<i>Dementeva N.V., Lynina Y.A.</i> Substantiation of rational components in the paste-like product from the eggs of alaska pollock and flounder.....	45
<i>Pozdnyakova Y.M., Konkova D.A.</i> Technology of obtained collagen complex from sea cucumber and their characteristics.....	49
TECHNOLOGICAL AND TRANSPORTATION EQUIPMENT OF FISHERIES	56
<i>Krikun A.I., Ugryumova S.D.</i> Mathematical modeling of processes filtering sea water.....	56
<i>Pogonets V.I.</i> Strain gauge studies of the process of vacuum cutting saury and sardines in the pacific.....	65
<i>Pogonets V. I.</i> Vacuum processing fish, evaluation of the parameters of the model and the real process.....	74

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЬИ

Статья должна соответствовать научным требованиям, быть интересной достаточно широкому кругу российской научной общественности.

Материал, предлагаемый для публикации, должен быть оригинальным, не опубликованным ранее в других печатных изданиях, написан в контексте современной научной литературы и содержать очевидный элемент создания нового знания.

За точность воспроизведения имен, цитат, формул, цифр несет ответственность автор.

Объем статьи (включая список литературы, таблицы и надписи к рисункам) должен быть от 4 до 12 страниц; текст – в формате А4; наименование шрифта – Times New Roman; размер (кегель) шрифта – 12 пунктов; все поля должны быть 2 см, отступ (абзац) – 1 см, межстрочный интервал – одинарный.

Текст статьи набирать без принудительных переносов, слова внутри абзаца разделять только одним пробелом, не использовать пробелы для выравнивания. Следует избегать перегрузки статей большим количеством формул, дублирования одних и тех же результатов в таблицах и графиках.

Границы таблиц и рисунков должны соответствовать параметрам полей текста. Математические уравнения и химические формулы должны набираться в редакторе формул Equation (MathType) или в Редакторе MS Word, одним объектом, а не состоять из частей, сами формулы должны быть 12-14 кегля.

Формулы и уравнения печатаются с новой строки и нумеруются в круглых скобках в конце строки.

Рисунки должны быть представлены в формате *.jpg или *.bmp. Подрисовочная подпись должна состоять из номера и названия (Рис. 1. ...). В тексте статьи обязательно должны быть ссылки на представленные рисунки. Графики, диаграммы и т.п. рекомендуется выполнять в программах MS Excel или MS Graph. Таблицы должны иметь заголовки и порядковые номера. В тексте статьи должны присутствовать ссылки на каждую таблицу.

Допускаются смысловые выделения – полужирным шрифтом.

Статья должна включать следующие данные:

1. Индекс УДК (на первой странице в левом верхнем углу).

2. Инициалы и фамилии всех авторов, через запятую.

3. Полное название учреждения (место работы), город, почтовый адрес и индекс.

Если авторов несколько и они работают в разных учреждениях, возле названия каждого учреждения и фамилии автора ставится соответствующий надстрочный символ.

4. Над фамилиями авторов справа указывается один из следующих разделов сборника:

- **Ихтиология. Экология.**

- **Промышленное рыболовство. Акустика.**

- **Судовые энергетические установки, устройства и системы, технические средства судовождения, электрооборудование судов.**

- **Технология и управление качеством пищевых продуктов.**

- **Технологическое и транспортное оборудование рыбохозяйственной отрасли.**

5. Заголовок. Название статьи должно быть кратким (не более 10 слов). Заголовки набирают полужирными заглавными буквами. В заглавии не допускается употребление сокращений, кроме общепризнанных.

6. Аннотацию (не более 700 печатных знаков) набирают курсивом.

7. Ключевые слова (не более 9).

8. Текст статьи обязательно должен содержать следующие разделы (возможно выделение данных разделов в тексте):

Введение

Объекты и методы исследований

Результаты и их обсуждение

Выводы

9. Список литературы оформляется согласно ГОСТ 7.0.5-2008 «Библиографическая ссылка». Список литературы приводится в порядке цитирования работ в тексте в квадратных скобках [1, 2, 3].

На английском языке необходимо предоставить следующую информацию (после ключевых слов на русском языке):

- инициалы и фамилии авторов;
- заглавие статьи;
- текст аннотации;
- ключевые слова (Key words);
- подписи к рисункам и названия таблиц (приводятся в тексте по смыслу).

Сведения об авторах приводятся в конце статьи (после списка литературы) и включают в себя: Фамилия, имя, отчество (полностью), научная степень, звание, должность, e-mail.

В редакцию предоставляются:

1. Электронная версия статьи в программе MS Word 3 на CD диске, флэш-носителе или отправляется на электронный адрес редакции (nauch-tr@dgtru.ru). Файл статьи следует назвать по фамилии первого автора – Петров А.А.doc. Не допускается в одном файле помещать несколько файлов.

2. Распечатанный экземпляр статьи, строго соответствующий электронной версии.

3. Сопроводительное письмо на имя главного редактора сборника (ректора ФГБОУ ВПО «Дальрыбвтуз» Кима Г.Н.) на бланке направляющей организации о возможности опубликовать научную статью в сборнике, с подписью руководителя учреждения (заверенной печатью), в котором выполнена работа, или его заместителя (сотрудникам Дальрыбвтуза не требуется сопроводительное письмо).

4. Экспертное заключение о возможности публикации в открытой печати с гербовой печатью организации.

5. Заявка (Ф.И.О., город, учреждение, название статьи, название рубрики, контактные (рабочий, сотовый) телефоны, дата подачи статьи).

Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.

Пример оформления статьи

УДК 123

Ихтиология. Экология

А.А. Иванов¹, И.Б. Петров²

¹ Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, 690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б

² Тихоокеанский научно-исследовательский рыбохозяйственный центр, 690091, г. Владивосток, пер. Шевченко, 4.

НАЗВАНИЕ СТАТЬИ

Аннотация.

Ключевые слова: гидробионты.

Данные на английском языке.

Текст статьи (по ширине страницы) [1, 2, 3].

Список литературы

Сведения об авторах: Иванов Александр Александрович, кандидат технических наук, доцент, e-mail: ivanova@mail.ru;

Петров Игорь Борисович, кандидат биологических наук, профессор, научный сотрудник, e-mail: petrov@mail.ru.

Адрес: 690087, Россия, Владивосток, ул. Луговая, 52б, каб. 412б
Тел./факс: (4232) 44-11-76
e-mail: nauch-tr@dgtru.ru
сайт: <http://nauch-tr.dgtru.ru>

Научное издание

НАУЧНЫЕ ТРУДЫ ДАЛЬРЫБВТУЗА

Сборник научных статей

Том 40

Свидетельство о регистрации средства массовой информации
ПИ № ФС77-45533 от 16 июня 2011 г.

Редактор Т.В. Ломакина
Художественный редактор С.П. Конищев
Макет, обложка О.В. Нечипорук
Мастер печати Н.В. Сауцкая

Подписано в печать 20.03.2017. Формат 60x84/8.
Усл. печ. л. 10,23. Уч.-изд. л. 8,50. Заказ 0631. Тираж 400 экз. (1-й завод 52 экз.).
Отпечатано: Издательско-полиграфический комплекс Дальневосточного
государственного технического рыбохозяйственного университета
690091, г. Владивосток, ул. Светланская, 27