



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

НАУЧНЫЕ ТРУДЫ ДАЛЬРЫБВТУЗА

Scientific Journal of DALRYBVTUZ Vol. 39

Том

39

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>

2016

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

ИХТИОЛОГИЯ. ЭКОЛОГИЯ

УДК 594. 5

В.В. Булыгин, И.Г. Рыбникова

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

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ И УЛОВЫ ТИХООКЕАНСКОГО КАЛЬМАРА В ЗАЛИВЕ ПЕТРА ВЕЛИКОГО (ЯПОНСКОЕ МОРЕ) В ЛЕТНЕ-ОСЕННИЙ ПЕРИОД

Тихоокеанский кальмар – ценный промысловый объект. Результаты мониторинговых работ по поиску и облову обнаруженных скоплений кальмара косвенно свидетельствуют, что подходы его в зал. Петра Великого в 2009 г. носили промысловый характер. В 2010 г. основной поток мигрирующего на нагул кальмара проходил в мористой части, не образовывая промысловых скоплений в прибрежье. В 2011 г. промысловая ситуация в межгодовом аспекте была такая же, как и в 2009 г. В исследуемые годы, в период нагульных миграций, облавливался кальмар двух группировок – зимнего и осеннего нереста.

Ключевые слова: тихоокеанский кальмар, сезонные группировки, промысловые скопления, улов на усилие.

V.V. Bulygin, I.G. Rybnikova

DISTRIBUTION AND CATCHES OF PACIFIC FLYING SQUID IN PETER THE GREAT BAY (SEA OF JAPAN) DURING THE SUMMER-AUTUMN PERIOD

Pacific flying squid is a valuable commercial fishery object. The results of monitoring activities in searching for and fishing off the detected aggregations of squid indirectly suggest that its approach in Peter the Great Bay in 2009 was of a commercial nature. In 2010 the main stream of the squid migrating to the feeding grounds took place in offshore areas without forming commercial fishery aggregations in the coastal zone. In 2011 the fishery situation in the interannual aspect was the same as in 2009. In the studied years, during the period of feeding migrations, the squid of two groups – winter and autumn spawning seasons – was fished out.

Key words: Pacific flying squid, seasonal groups, commercial fishery aggregations, catch per effort.

Введение

Todarodes pacificus – тихоокеанский кальмар в водах России (Японское море) встречается с мая по февраль, а промысловые скопления образует с июня по октябрь. Ареал обитания тихоокеанского кальмара в летне-осенний период охватывает акваторию зоны России от южных границ (банка Кита-Ямато и зал. Посьета) до самых северных районов Татарского пролива (51°20' с.ш.). С июля по сентябрь встречается практически повсеместно [1, 2, 3, 4].

В летне-осенний период в водах России в большом количестве отмечаются как молодь, так и взрослые особи тихоокеанского кальмара. Размеры варьируют от 10 до 320 мм [1]. Тихоокеанский кальмар кроме горизонтальных миграций совершает и вертикальные суточные миграции. На поверхности он встречается в темное время суток, а днем опускается на глубину [5].

Для исследования внутривидовых группировок тихоокеанского кальмара, различающихся по времени нереста (зимняя, весенняя, летняя и осенняя), в нагульный период в зал. Петра Великого мы провели анализ распределения и уловов на усилие (CPUE) в экз. на одну лебедку в час.

Объект и методы исследований

В работе использованы материалы стандартных комплексных съемок в зал. Петра Великого, проведенных летом-осенью 2009-2011 гг. Комплексная съемка проводилась с июня по октябрь, дважды в месяц по стандартной схеме станций. Сбор материала осуществлялся в темное время суток. Поисковые работы проводились в светлое время суток и сводились к выполнению получасовых контрольных дрейфовых станций в районах с благоприятными гидрологическими условиями. На станциях проводился облов толщи воды до дна автоматическими лебедками и ручными удочками. Облов кальмара осуществлялся в темное время суток на световых станциях продолжительностью от 2 до 11 ч. Если в течение ночи выполнялось две станции, то продолжительность каждой составляла не менее 2 ч. По результатам лова для каждой световой станции определялся общий вылов кальмаров, вылов на единичное промысловое усилие (экз. в час на одну лебедку), горизонты лова кальмаров, выполнялись массовые промеры [6].

Результаты и их обсуждение

Уже в первой декаде июля 2009 г. подходы кальмара зимней группировки имели массовый характер (рис. 1). В этот период в Амурском заливе кальмар образовывал устойчивые плотные скопления. Среднесуточный вылов на усилие составил величину 46,7 экз./леб. в час, а максимальный доходил до 147 экз./леб. в час. Облавливался кальмар с длиной мантии от 13 до 21 см и средней – 16,7 см. Средняя масса облавливаемого в этот период кальмара составляла 104 г. Особенно плотные скопления отмечались в центральной части Амурского залива над глубинами 24–34 м, средняя величина вылова на усилие составляла здесь 82,3 экз./леб. в час, что соответствовало возможному суточному вылову 342 кг.

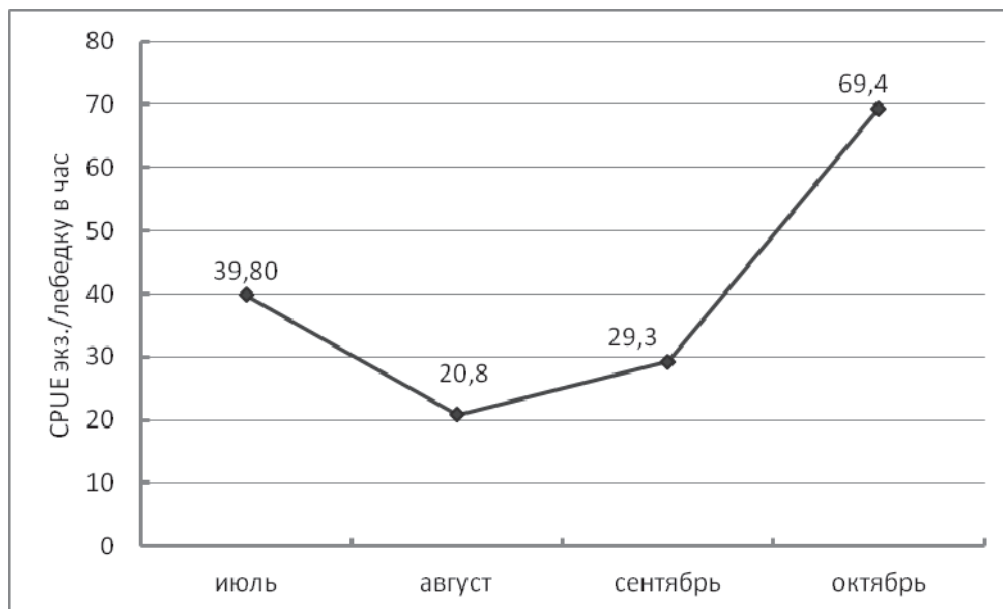


Рис. 1. Средние уловы на усилие (экз./леб. в час) в зал. Петра Великого в июле – октябре 2009 г.
Fig. 1. Average catches per effort (ind./winch per hour) in Peter the Great Bay in July – October, 2009

В конце второй декады июля кальмар этой группировки (средняя длина 17,2 см) успешно облавливался ручными удочками в светлое время суток над глубинами 21–22 м. В Уссурийском заливе подходы первой «волны» кальмара осеннего нереста отмечены со второй декады июля. Кальмар образовывал довольно плотные скопления в приостровной части залива

над глубинами 31–55 м, где его уловы доходили до 45–54 экз./леб. в час, составив среднюю величину вылова на усилие 28,5 экз./леб. в час. Облавливался кальмар размерами 14–27 см, средняя длина мантии – 20,1 см, средняя масса – 187 г.

В августе 2009 г. поисковые работы проводились в западной и центральной части Уссурийского залива. Наиболее плотные скопления кальмара фиксировались вдоль островов над глубинами 34–45 м. Максимальный вылов на усилие 83 экз./леб. в час был отмечен в конце месяца при глубине 40 м. В это время облавливался кальмар с размерами от 18 до 28 см. В Уссурийском заливе вылов на усилие не превышал 15 экз./леб. в час.

В сентябре 2009 г. в Амурском заливе плотных скоплений кальмар уже не образовывал, средний вылов на усилие составил 21,2 экз./леб. в час. Основные же скопления, как и в августе, кальмар образовывал в приостровной части Уссурийского залива. В третьей декаде сентября кальмар начал образовывать очень плотные скопления, вылов на усилие колебался от 38 до 74, средний – 55,4 экз./леб. в час. Такое увеличение концентраций кальмара связано не только со значительным похолоданием в восточной части Уссурийского залива и сокращением акватории с благоприятными условиями, но и с подъемом термоклина в приостровной части. Как правило, кальмар в этот период концентрируется в относительно тонком поверхностном слое, ограниченном снизу холодными глубинными шельфовыми водами [2, 5, 7, 8].

Наиболее благоприятные условия для промысла сложились в зал. Петра Великого в первой половине октября 2009 г. В этот период кальмар уже совершает обратные миграции в южном направлении и зачастую значительная его часть отрезается холодными водами в бухтах и заливах побережья Приморья. Кроме того, в октябре отмечаются и подходы мелкоразмерного анчоуса и молоди коносира – основных объектов питания кальмара в этот период. Вылов на усилие в первой половине октября был максимальным за исследуемый период и колебался от 16 до 83 экз./леб. в час, средний размер вылавливаемого кальмара составил 44,9 см. Отдельными кратковременными периодами кальмар был очень активен: уловы его за один подъем лебедкой превышали 10–12 экз., что при пересчете на час лова обеспечивало возможный вылов до 300–400 экз. В целом результаты мониторинговых работ по поиску и облову скоплений кальмара свидетельствуют, что подходы его в зал. Петра Великого в 2009 г. носили промысловый характер. Это касается как его северных, так и южных миграционных потоков.

В июле 2010 г. подходы кальмара в зал. Петра Великого были неустойчивыми. Средняя для июля величина вылова на усилие для Уссурийского залива является реперной величиной, по которой можно косвенно судить об интенсивности и обилии подходов кальмара на нагул как в зал. Петра Великого, так и в целом в Южное Приморье. В июле 2010 г. эта величина составила 12,1 экз./леб. в час (рис. 2).

В августе 2010 г. подходы тихоокеанского кальмара в зал. Петра Великого были еще слабыми. Лишь в конце 1-й декады августа была отмечена всего одна волна подходов зимне-нерестующей группировки в Амурский залив и осенне-нерестующей группировки – в Уссурийский залив. Средняя величина вылова на усилие в августе составила 3,6 экз./лебедку в час.

В Уссурийском заливе лишь в сентябре 2010 г. стали отмечаться стабильные скопления тихоокеанского кальмара осенней группировки с модальными размерами мантии 22–25 см. Однако средняя величина вылова на усилие (15,5 экз./леб. в час) была почти в 2 раза ниже по сравнению с 2009 г. Облавливался крупноразмерный кальмар с средней длиной 23,1 см.

Как и в прошлые годы, наиболее плотные концентрации кальмара наблюдались в зал. Петра Великого в первой половине октября 2010 г. В этот период кальмар уже совершает обратные миграции в южном направлении и зачастую значительная его часть отрезается холодными водами в бухтах и заливах побережья Приморья. В октябре отмечались подходы мелкоразмерного анчоуса и молоди коносира – основных объектов питания кальмара в этот период [9].

Вылов на усилие в первой и второй декадах октября 2010 г. был максимальным за исследуемый период и колебался от 10 до 37 экз./леб. в час, средний размер составил 21,4 см. Однако, как и в предыдущие месяцы, он был в два раза ниже, чем в 2009 г.

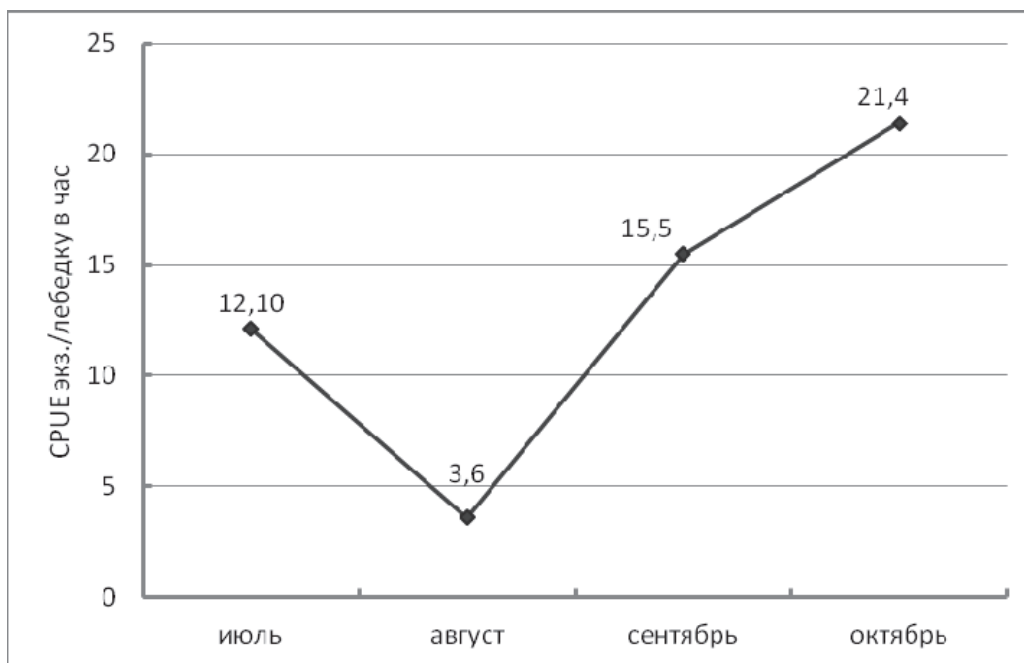


Рис. 2. Средние уловы на усилие (экз./леб. в час) в зал. Петра Великого в июле–октябре 2010 г.
 Fig. 2. Average catches per effort (ind./winch per hour) in Peter the Great Bay in July–October 2010

Анализ обнаруженных скоплений кальмара свидетельствует, что в 2010 г. основной поток мигрирующего на нагул кальмара проходил в мористой части, не образуя промысловых скоплений в прибрежье. Подходы мелкоразмерного кальмара зимнего нереста, который обычно мигрирует вдоль Корейского п-ова, побережья Южного Приморья и далее в Амурский залив, также были слабыми.

В 2011 г. в конце июня – начале июля традиционно кальмар зимнего нереста мигрирует вдоль берегов Корейского п-ова и Южного Приморья. Основной поток кальмара осенне-нерестующей группировки проходит в мористой части моря. Зимняя генерация кальмара в начале июля отмечалась в уловах рыбаков-любителей в незначительных количествах. Практически не были отмечены мелкоразмерные особи зимне-нерестующей группировки. Возможно, это связано с динамикой прибрежных течений, не позволившей кальмару этой группировки продвинуться в российские воды, либо с условиями, не соответствующими для нереста [8], и поэтому численность кальмара зимне-нерестующей группировки была невысокой. Мелкоразмерная группа кальмара не встречалась и на смежных участках обследованной акватории.

В зал. Петра Великого, как и в мористой части Японского моря, в июле облавливался кальмар осенне-нерестующей группировки с модальными размерами 20–23 см (73 %). Особенно высокие концентрации кальмар образовывал в зал. Петра Великого во второй половине июля, когда вылов на усилие доходил до 150–160 экз./леб. в час. Средняя величина вылова на усилие для июля составила 40,5 экз./леб. в час, превышая в 3 раза среднюю многолетнюю величину, и была сопоставима с данными 2009 г.

В августе 2011 г. в зал. Петра Великого повсеместно также отмечались высокие концентрации тихоокеанского кальмара, средний улов в августе составил около 22 экз.

В сентябре в зал. Петра Великого кальмар продолжал образовывать достаточно плотные скопления. В третьей декаде сентября в центральной части Уссурийского залива вылов на усилии составлял более 20 экз./леб. в час.

В первой половине октября была обследована акватория, прилегающая к экономической зоне КНДР и вдоль границы территориальных вод России. Скопления тихоокеанского кальмара отмечались в южной части обследованного района, на остальной акватории кальмар находился в рассеянном состоянии. Наиболее плотные концентрации в этот период кальмар обычно образует в закрытых бухтах и заливах, где его блокируют холодные воды Приморского течения. В первой декаде октября при температуре воды у поверхности 9,6 °С вылов его на усилии варьировал от 30 до 60 экз. в час на одну удочку. Облавливался кальмар размерами 22–28 см, средний – 24,2 см, что указывает на принадлежность его к осенне-нерестующей группировке. Половина самцов находилась в нерестовом состоянии, а у самок каждая четвертая была со следами спаривания.

Заключение

Подходы тихоокеанского кальмара в зал. Петра Великого летом-осенью 2009 г. можно охарактеризовать как обильные, с образованием промысловых концентраций. В связи с тем, что основной поток мигрирующего на нагул кальмара проходил в мористых районах, подходы кальмара в 2010 г. были нестабильные. В 2011 г. промысловая ситуация в межгодовом аспекте была такая же, как и в 2009 г. В период нагульных миграций облавливался кальмар двух группировок – зимнего и осеннего нереста.

Список литературы

1. Шевцов, Г.А. Фауна головоногих моллюсков зоны России Японского моря в летне-осенний период / Г.А. Шевцов, Н.М. Мокрин // Изв. ТИНРО. – 1998. – Т. 123. – С. 191–206.
2. Мокрин, Н.М. Руководство по поиску и промыслу пелагических кальмаров в Японском море и Южно-Курильском районе / Н.М. Мокрин, Е.В. Слободской – Владивосток: ТИНРО-Центр, 1998. – 39 с.
3. Млынар, Е.В. Тихоокеанский кальмар *Todarodes pacificus* в северо-западной части Татарского пролива / Е.В. Млынар, А.Ю. Немченко // Методические и прикладные аспекты рыбохозяйственных исследований на Дальнем Востоке. – Хабаровск: ХоТИНРО, 2003. – С. 163–169.
4. Дуленин, А.А. Ресурсы и промысел тихоокеанского кальмара *Todarodes pacificus* в северо-западной части Татарского пролива // А.А. Дуленин, П.А. Дуленина, М.В. Дергачев // Материалы Всероссийской науч.-техн. конф. по промысловым беспозвоночным. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2015. – С. 180–182.
5. Шевцов, Г.А. Возможность тралового промысла тихоокеанского кальмара *Todarodes pacificus* в районе южных Курильских островов / Г.А. Шевцов, В.Д. Диденко, Е.В. Слободской // Материалы Всероссийской науч.-техн. конф. по промысловым беспозвоночным. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2015. – С. 205–207.
6. Слободской, Е.В. Методы определения плотности скоплений пелагических кальмаров // Ресурсы и перспективы использования кальмаров Мирового океана: сб. науч. тр. – М.: Изд-во ВНИРО, 1986. – С. 85–93.
7. Мокрин, Н.М. Экология и перспективы промысла тихоокеанского кальмара (*Todarodes pacificus*) в Японском море: дис. ... канд. биол. наук / Н.М. Мокрин. – Владивосток, 2006. – 156 с.

8. Зуев, Г.В. Кальмары (биология и промысел) / Г.В. Зуев, К.Н. Несис. – М.: Пищ. пром-сть, 1971. – 200 с.

9. Булыгин, В.В. Некоторые особенности питания тихоокеанского кальмара в заливе Петра Великого (Японское море) в летне-осенний период / В.В. Булыгин, И.Г. Рыбникова // Науч. тр. Дальрыбвтуза. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2016. – Т.37. – С. 13–16.

Сведения об авторах: Булыгин Владимир Владимирович, аспирант,
e-mail: bulygin_vlad@bk.ru;

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**НОВЫЕ НАХОДКИ *ACANTHOCANTHOPSIS QUADRATA* (CRUSTACEA: COPEPODA: CHONDRACANTHIDAE) В БОЛЬШОМ АВСТАЛИЙСКОМ ЗАЛИВЕ И У НОВОЙ ЗЕЛАНДИИ**

Сообщение о паразитической копеподе *Acanthocanthopsis quadrata*, зарегистрированной на новых хозяевах *Diodon nictemerus* и *Allomyxerus pilatus* (Pisces: Tetraodontiformes: Diodontidae) из вод Большого Австралийского залива и Новой Зеландии.

Ключевые слова: паразитические копеподы, рыбы, Большой Австралийский залив, Новая Зеландия.

V.N. Kazachenko**NEW FINDINGS *ACANTHOCANTHOPSIS QUADRATA* (CRUSTACEA: COPEPODA: CHONDRACANTHIDAE) IN THE GREAT Australian Bight and New Zealand**

Report of parasitic copepod *Acanthocanthopsis quadrata*, registered on the new hosts *Diodon nictemerus* and *Allomyxerus pilatus* (Pisces: Tetraodontiformes: Diodontidae) in the waters of the Great Australian Bight and New Zealand.

Key words: parasitic copepods, fish, Great Australian Bight, New Zealand.

Представители семейства Chondracanthidae являются паразитами демерсальных рыб. В состав семейства входит 3 подсемейства с 47 родами и примерно 160 видами копепод [1, 2, 3]. При обработке коллекции ТИНРО-Центра паразитических копепод рыб Тихого океана были обнаружены на новых хозяевах и в новых районах представители рода *Acanthocanthopsis* Heegaard, 1945. Сбор и обработка материала проводились по общепринятым методикам [4]. Этим находкам посвящено настоящее сообщение.

Семейство Chondracanthidae Milne Edwards, 1840
Подсемейство Chondracanthinae Milne Edwards, 1840
Род *Acanthocanthopsis* Heegaard, 1945
Acanthocanthopsis quadrata Heegaard, 1945 (рис.)

Хозяева:

Diodon nictemerus Cuvier, 1818 (Tetraodontiformes, Diodontidae).

Место и время обнаружения: а) Большой Австралийский залив (31⁰48S, 133⁰48E), 12 июня 1966 г.; б) Большой Австралийский залив (32⁰32S, 126⁰42E), 19 сентября 1971 г.

Локализация: жаберные лепестки.

Интенсивность и экстенсивность инвазии: а) 2 экз. на одной из 2 обследованных рыб; б) 8–30 экз. на 4 из 15 обследованных рыб.

Allomyxerus pilatus Whitley, 1931 (Tetraodontiformes, Diodontidae).

Место и время обнаружения: а) Новая Зеландия (40⁰30S, 173⁰40E), 27 мая 1966 г.; б) Большой Австралийский залив (31⁰48S, 130⁰48E), 12 июня 1966 г.; в) Большой Австралийский залив (33⁰17S, 128⁰45E), 26 апреля 1967 г.; г) Большой Австралийский залив (32⁰32S, 126⁰42E), 23 сентября 1971 г.

Локализация: а) жаберные лепестки; б) жаберная полость; в) на внешней поверхности жаберной крышки.

Интенсивность и экстенсивность инвазии: а) 2 экз. на одной из 3 обследованных рыб; б) 1 экз. на 1 из 3 обследованных рыб; в) 2 экз. на одной из 2 обследованных рыб; г) 1–2 экз. у 2 из 15 обследованных рыб.

Самка. Форма тела хондракантоидная (рисунок). Головогрудь состоит только из цефалосомы, имеются две пары вентролатеральных отростков. Короткая шея представлена первым грудным сегментом. Туловище имеет отростки и вздутия. Генитоабдомен слит с каудальными ветвями; каудальные ветви несколько вытянутые, несут небольшие шипики. Первая антенна мясистая, расширена проксимально и сужена дистально. Вторая антенна крючковидная. Края мандибулы несут мелкие зубчики. Первая максилла лопастевидная. Края дистального членика второй максиллы зазубрены. Максиллипед 3-члениковый, с терминальным когтем. Первая плавательная нога видоизменена, двуветвиста, ветви не членистые, внутренняя ветвь короче внешней, остальные ноги отсутствуют.

Самец не обнаружен.

Измерения *A. quadrata* по данным разных авторов приведены в таблице.

**Измерения *A. quadrata* по данным разных авторов
Measurements of *A. quadrata* by different authors**

Признаки	Авторы		
	Heegaard, 1945	Tang, Ho, 2005	Собственные данные
Длина тела	4,3 мм	-	-
Длина с постлатеральными отростками	5,3 мм	4,88 мм	4,5–5,7 мм
Цефалосома	1,8x1,8 мм	1,50x2,20 мм	2,1–2,5x1,9–2,1 мм
Шея	0,5 мм	-	0,3–1,5x1,4 мм
Туловище	2,0x3,3 мм	Ширина 3,55 мм	2,1–3,2x3,3 мм
Туловище с постлатеральными отростками	3,0 мм	-	-
Генитальный сегмент	-	198x544 мкм	-
Брюшко	-	66x330 мкм	-
Яйцевые мешки	-	-	4,5–5,0x0,6 мм

Обсуждение. Копепода *A. quadrata* была описана Хигардом [5] с рыбы *Diodon* sp., пойманной у берегов Японии. Хоу [3] свел род *Acanthocanthopsis* в синоним рода *Condracanthus*. Танг и Хоу [6] зарегистрировали этот вид на *Contusus brevicaudatus* и *Dicotylichthys punctulatus* в водах Австралии (Новый Южный Уэльс и Виктория) и восстановили валидность рода *Acanthocanthopsis*.

A. quadrata – специфичный паразит рыб отряда Tetraodontiformes.

Обращает на себя внимание локализация *A. quadrata*. Танг и Хоу [6] находили этого паразита у основания грудных и анальных плавников, в жаберной полости на стенке жаберной крышки. В нашем материале копеподы прикреплялись к жаберным лепесткам, паразитировали в жаберной полости и на внешней поверхности жаберной крышки.

В Большом Австралийском заливе и у Новой Зеландии *A. quadrata* зарегистрирована впервые.

Diodon nictemerus и *Allomycterus pilatus* – новые хозяева *A. quadrata*.

Род *Acanthocanthopsis* входит в состав подсемейства Chondracanthinae. Ниже приводится определительная таблица родов этого подсемейства.



Acanthocanthopsis quadrata, вентрально, оригинал
Acanthocanthopsis quadrata, ventral, original

Определительная таблица родов подсемейства Chondracanthinae

- 1а. Второй грудной сегмент входят в состав головогруди *Ttetaloia* Uyeno et Nagasawa, 2012
 б. Второй грудной сегмент не входит в состав головогруди 2
 2а. Туловище не имеет отростков 3
 б. Туловище имеет отростки 10
 3а. Туловище очень длинное, длина его превышает ширину примерно в 20–40 раз *Andreina* Brian, 1939
 б. Туловище короткое, длина превышает ширину менее чем в 20-40 раз 4
 4а. Ноги отсутствуют *Brachiochondria* Shiino, 1957
 б. Ноги имеются 5
 5а. Имеется одна пара невидоизмененных ног *Humphreysia* Leigh-Sharpe, 1934
 б. Имеется две или более пар ног 6

6а. Голова состоит из цефалосомы и первого грудного сегмента	7
6б. Голова состоит только из цефалосомы	8
7а. Вторая антенна крючковидная; имеются 1–5 пары ног	<i>Prochondracanthus</i> Yamaguti, 1939
6б. Вторая антенна 3-ветвистая; имеются 1–2 и 6 пары ног	<i>Blias</i> Krøyer, 1863
8а. Голова имеет пару поствентральных отростков, направленных назад; ноги сильно редуцированы и представлены очень маленькими пластинами	<i>Prochondracanthopsis</i> Shiino, 1960
6б. Голова не имеет поствентральных отростков; эндоподиты ног очень маленькие	9
9а. Первая антенна имеет вентральный выступ; протоподит второй ноги имеется, эндоподит значительно меньше экзоподита	<i>Pseudoblias</i> Heegaard, 1962
6б. Первая антенна не имеет вентрального выступа; протоподит второй ноги отсутствует, эндоподит соизмерим с экзоподитом	<i>Bactrochondria</i> Ho, Kim et Kumar, 2000
10а. Отростки туловища очень маленькие, расположены вентрально на заднем крае туловища, других отростков туловища нет	11
6б. Отростки туловища иные	13
11а. На заднем крае туловища медианно расположен один маленький редуцированный отросток; первая и вторая пары ног двуветвистые	<i>Protochondria</i> Ho, 1970
6б. На заднем крае туловища медиально расположена пара редуцированных отростков	12
12а. Первая и вторая пары ног одноветвистые; вторая пара антенн крючковидная	<i>Heterochondria</i> Yu, 1935
6б. Первая и вторая пары ног двуветвистые; вторая пара антенн булавовидная, коготь редуцирован, маленький	<i>Berea</i> Yamaguti, 1963
13а. Первый грудной сегмент, образующий шею, имеет дорсальный отросток, туловище отростков не имеет	<i>Ceratochondria</i> Yu, 1935
6б. Первый грудной сегмент, образующий шею, не имеет дорсального отростка, туловище имеет отростки; если первый грудной сегмент имеет дорсальный отросток (отростки), то туловище тоже имеет отростки	14
14а. Первая и вторая пары ног отсутствуют	15
6б. Ноги имеются	17
15а. Головогрудь со множеством отростков	<i>Apodochondria</i> Ho et Dojiri, 1988
6б. Головогрудь без отростков или имеет пару отростков	16
16а. Головогрудь без отростков	<i>Rohdea</i> Kabata, 1992
6б. Головогрудь несет пару небольших поствентральных отростков	<i>Immanthe</i> Leigh-Sharpe, 1934
17а. Имеется только одна пара ног	18
6б. Имеются две пары ног	23
18а. Первая пара ног видоизменена	19
6б. Первая пара ног не видоизменена	20
19а. Туловище имеет небольшие дорсальные и латеральные отростки	<i>Acanthocanthopsis</i> Heegaard, 1945
6б. Туловище не имеет дорсальных и латеральных отростков	<i>Pseudochondracanthus</i> Wilson, 1908
20а. Имеются три пары латеральных туловищных отростков, четвертая пара антеродорсальных отростков направлена вперед	<i>Juanettia</i> Wilson, 1921
6б. Трех пар латеральных туловищных и антеродорсальных отростков нет	21
21а. Туловище длинное, на переднем конце имеется пара длинных латеральных отростков	<i>Protochondracanthus</i> Kirtisinghe, 1950

б. Туловище короткое, на переднем конце отсутствует пара длинных латеральных отростков	22
22а. На дорсальной стороне туловища, в месте соединения его с шейей, имеется пара коротких отростков	<i>Praecidochondria</i> Kabata, 1968
б. На дорсальной стороне туловища, в месте соединения его с шейей, нет коротких отростков	<i>Neobrachiochondria</i> Kabata, 1969
23а. Имеются две пары грудных отростков, одна из которых или обе направлены вперед	24
б. Двух пар грудных отростков нет	25
24а. Обе пары грудных отростков направлены вперед; первая пара отростков больше второй и простирается дальше переднего края головы	<i>Parapharodes</i> Shiino, 1960
б. Первая пара грудных отростков меньше второй и направлена назад	<i>Diocus</i> Krøyer, 1863
25а. Голова состоит только из цефалосомы	26
б. Голова состоит из цефалосомы и первого грудного сегмента	32
26а. Грудные ноги не видоизменены	<i>Lagochondria</i> Ho et Dojiri, 1988
б. Грудные ноги видоизменены	27
27а. Грудные ноги одноветвистые	<i>Acanthochondrites</i> Oakley, 1930
б. Грудные ноги двуветвистые	28
28а. Туловище не имеет латеральных отростков, имеется пара задних туловищных отростков.....	29
б. Туловище имеет латеральные отростки	30
29а. Вторая пара ног двуветвистая	<i>Acanthochondria</i> Oakley, 1927
б. Вторая пара ног редуцирована, кнопковидная	<i>Pseudacanthocanthopsis</i> Yamaguti et Yamasu, 1959
30а. Первая-вторая пары ног расположены на основаниях латеральных отростков шеи	<i>Lateracanthus</i> Kabata et Gussev, 1966
б. Первая-вторая пары ног расположены не на основаниях латеральных отростков шеи	31
31а. Ноги видоизменены: протоподиты первой-второй пар вздутые; ветви ног прутовидные; латеральные отростки туловища широкоовальные	<i>Chondracanthodes</i> Wilson, 1932
б. Ноги видоизменены: ветви ног непрутовидные, мясистые, 2–3-ветвистые	<i>Chondracanthus</i> Delaroche, 1811
32а. Имеются первая-третья пары двуветвистых ног; на переднем крае головы, впереди первых антенн, имеется носообразный отросток, второй длинный отросток расположен вентрально позади первой пары ног	<i>Rhynchochondria</i> Ho, 1967
б. Имеются только первая-вторая пары двуветвистых ног; на переднем крае головы и после первой пары ног нет отростков	33
33а. Задний край туловища имеет дорсальный медианный и два латеральных отростка; эти отростки широкоокруглые на дистальных концах	<i>Cryptochondria</i> Izawa, 1971
б. Задний край туловища не имеет трех отростков	34
34а. Латеральные отростки туловища и головы	
длинны	<i>Hoia</i> G. Avdeev et Kazatchenko, 1985
б. Латеральные отростки туловища и головы короткие,	
широкоокруглые	<i>Pseudodiocus</i> Ho, 1972

Благодарности

Выражаю искреннюю благодарность С.Е. Позднякову, чл.-корр. РАЕН, доктору биол. наук, зам. ген. директора, зав. научно-исследовательским отделением сырьевой базы прибрежного рыболовства ФГУП «ТИНРО-Центр» и Л.С. Швецовой, канд. биол. наук, зав. сектором прибрежных исследований ФГУП «ТИНРО-Центр» за представленный материал.

Список литературы

1. Казаченко, В.Н. Паразитические копеподы рыб: справочник / В.Н. Казаченко. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2016. – 443 с.
2. Boxshall G.A., Halsey S.H. An introduction to copepod diversity. London: The Ray Society. – 2004. Part 1–2. – 966 p.
3. Ho J.-s. Revision of the genus *Chondracanthidae*, a copepod family parasitic on marine fishes // *Beaufortia*. – 1970. – Vol. 17. – P. 105–218.
4. Быховская-Павловская, И.Е. Паразиты рыб. Руководство по изучению / И.Е. Быховская-Павловская. – Л.: Наука, 1985. – 121 с.
5. Heegaard P. Some parasitic copepods from fishes in the Uppsala University collections // *Arkiv för Zoologi*. – 1945. – Bd. 35 A, № 18. – P. 1–26.
6. Tang D., Ho J.-s. Resurrection of *Acanthocanthopsis* Heegaard, 1945 (Copepoda, Pöcilocostomatoida, Chondracanthidae), parasitic on tetraodontiform fishes // *Crustaceana*. – 2005. – Vol. 78 (7). – P. 809–818.

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

УДК 591.69.7

В.Н. КазаченкоДальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б**НОВЫЕ НАХОДКИ ПАРАЗИТИЧЕСКИХ КОПЕПОД (CRUSTACEA: COPEPODA)
РЫБ В ТИХОМ И ИНДИЙСКОМ ОКЕАНАХ**

Приведены сведения о зараженности 11 видами паразитических копепод рыб Тихого и Индийского океанов. Новыми хозяевами для *Hatschekia quadrata* являются *Allomyxerus pilatus* и *Diodon nictemerus*, для *Aethon garricki* – *Genypterus blacodes*, для *Aethon morelandi* – *Zanclistius elevatus* и *Anoplocapros lenticularis*, для *Sagum foliaceus* – *Plageogeneion rubigenosum* и *P. macrolepis*, для *Hyponeo australis* – *Lestidium prolixum* и *Melamphaes lugubris*. *Chondracanthus lotellae* – специфичный паразит *Pseudophycis bachus*, *Hatschekia crenata* – *Lepidopus caudatus*, *Aethon percis* – *Parapercis colias*. Эндемики Новой Зеландии – *Chondracanthus lotellae*, *Aethon percis*. Впервые в Большом Австралийском заливе зарегистрированы копеподы *Lepeophtheirus polyprioni*, *Hatschekia crenata*, *H. quadrata* и *Sagum foliaceus*.

Ключевые слова: паразитические копеподы, Тихий и Индийский океаны.

V.N. Kazachenko**NEW DATA OF PARASITIC COPEPODS (CRUSTACEA: COPEPODA) OF FISH IN THE
PACIFIC AND INDIAN OCEANS**

Information about the infestation by 11 species of parasitic copepods of fish the Pacific and Indian Oceans. The new hosts for *Hatschekia quadrata* are *Allomyxerus pilatus* and *Diodon nictemerus*, for *Aethon garricki* – *Genypterus blacodes*, for *Aethon morelandi* – *Zanclistius elevatus* and *Anoplocapros lenticularis*, for *Sagum foliaceus* – *Plageogeneion rubigenosum* and *P. macrolepis*, for *Hyponeo australis* – *Lestidium prolixum* and *Melamphaes lugubris*. *Chondracanthus lotellae* – is specific parasite of *Pseudophycis bachus*, *Hatschekia crenata* – *Lepidopus caudatus*, *Aethon percis* – *Parapercis colias*. Endemics of New Zealand are *Chondracanthus lotellae*, *Aethon percis*. For the first time in the Great Australian Bight account copepods *Lepeophtheirus polyprioni*, *Hatschekia crenata*, *H. quadrata* and *Sagum foliaceus*.

Key words: parasitic copepods, Pacific and Indian Oceans.

При обработке коллекции паразитических копепод ТИНРО-Центра обнаружены паразитические копеподы 11 видов 8 родов 7 семейств на новых хозяевах и в новых районах. Паразитические копеподы добыты из районов Южной Австралии (Индийский океан), Новой Зеландии и Курильских о-вов (Тихий океан).

Материал и методика. Обследовано 20 видов 15 семейств 7 отрядов рыб 821 экз., заражено 324 экз., процент заражения – 41,7 (таблица). Используются общепринятые методики при исследовании паразитов рыб [1]. Автор принимал участие в сборе материала.

**Количество обследованных и зараженных рыб
Number of examined and infected fish**

№ п/п	Хозяева	Количество, экз.		
		обследовано	заражено	% заражения
1	2	3	4	5
1. Отряд Hexanchiformes				

Окончание таблицы

1	2	3	4	5
1. Семейство Hexanchidae				
1	<i>Notorynchus cepedianus</i>	5	4	-
2. Отряд Aulopiformes				
2. Семейство Paralepididae				
2	<i>Lestidium prolixum</i>	6	3	-
3. Отряд Gadiformes				
3. Семейство Moridae				
3	<i>Pseudophycis bachus</i>	199	98	49,2
4. Семейство Merlucciidae				
4	<i>Macruronus novaezelandiae</i>	25	1	4,0
4. Отряд Ophidiiformes				
5. Семейство Ophidiidae				
5	<i>Genypterus blacodes</i>	2	2	-
5. Отряд Perciformes				
6. Семейство Cheilodactylidae				
6	<i>Nemadactylus macropterus</i>	222	82	36,9
7	<i>N. valenciennesi</i>	32	12	37,5
7. Семейство Gempylidae				
8	<i>Rexea solandri</i>	8	4	-
9	<i>Thyrsites atun</i>	198	72	36,4
8. Семейство Emmelichthyidae				
10	<i>Plageogeneion macrolepis</i>	6	3	-
11	<i>P. rubigenosum</i>	15	1	6,7
9. Семейство Pentacerotidae				
12	<i>Zanclistius elevatus</i>	12	7	58,3
10. Семейство Pinguipedidae				
13	<i>Parapercis colias</i>	15	1	6,7
11. Семейство Polyprionidae				
14	<i>Polyprion oxygeneios</i>	1	1	-
12. Семейство Trichiuridae				
15	<i>Lepidopus caudatus</i>	16	11	68,8
6. Отряд Stephanoberyciformes				
13. Семейство Melamphaidae				
16	<i>Melamphaes lugubris</i>	15	1	6,7
7. Отряд Tetraodontiformes				
14. Семейство Aracanidae				
17	<i>Anoplocapros lenticularis</i>	4	2	-
15. Семейство Diodontidae				
18	<i>Allomycterus pilatus</i>	19	17	89,5
19	<i>Diodon nichthemerus</i>	17	16	94,1
20	<i>Tragulichthys jaculiferus</i>	4	4	-
Итого		821	342	41,7

Отряд *Copropoda* Milne Edwards, 1840
 Подотряд *Poecilostomatoida* Thorell, 1859
 Семейство *Chondracanthidae* Milne Edwards, 1840
 Род *Chondracanthus* Delaroche, 1811
Chondracanthus lotellae Thomson, 1889

Син.: *Chondracanthodes lotellae* (Thomson, 1889) in Yamaguti, 1963; nec Wilson, 1935.

Хозяева:

Pseudophycis bachus (Forster, 1801) (*Gadiformes*: *Moridae*), на жабрах у 1 из 4 обследованных рыб, интенсивность инвазии 6 экз., Новая Зеландия (40° 30 S, 173° 25 E), 01 июня 1966 г.;

P. bachus, на жабрах у 10 из 21 обследованных рыб, интенсивность инвазии 1–16 экз., Новая Зеландия (40° 08 S, 173° 48 E; 40° 00 S, 174° 12 E), 10 и 23 июля 1968 г.;

P. bachus, на жабрах и в ротовой полости у 15 из 30 обследованных рыб, интенсивность инвазии 1–6 экз., зал. Кентерберри (44° 21 S, 172° 15 E), 05 июня 1969 г.;

P. bachus, в жаберной полости у 1 обследованной рыбы, интенсивность инвазии 2 экз., зал. Кентерберри (43° 58 S, 173° 58 E), 13 июля 1971 г.;

P. bachus, в жаберной полости у 13 из 15 обследованных рыб, интенсивность инвазии 1–12 экз., банка Мерноо (43° 30 S, 174° 39 E), 19 августа 1971 г.;

P. bachus, на жабрах у 1 обследованной рыбы, интенсивность инвазии 10 экз., банка Мерноо (43° 22 S, 174° 54 E), 29 октября 1971 г.;

P. bachus, на жабрах у 13 обследованных рыб, интенсивность инвазии 1–11 экз., зал. Кентерберри (44° 54 S, 171° 56 E), 29 октября 1971 г.;

P. bachus, на жабрах у 14 из 16 обследованных рыб, интенсивность инвазии 1–10 экз., банка Мерноо (42° 22 S, 174° 54 E), 20 октября 1971 г. и зал. Кентерберри (42° 54 S, 171° 55 E), 24 декабря 1971 г.

Копепода *Ch. lotellae* – специфичный паразит *Pseudophycis bachus* (= *Lotella bacchus*, *Physiculus bacchus*, «red cod») в водах Новой Зеландии [2, 3, 4], там же найден Пилгримом [5] на *Nemadactylus macropterus* из семейства *Cheilodactylidae* отряда *Perciformes*.

Копепода *Ch. lotellae* – эндемик Новой Зеландии.

Подотряд *Siphonostomatoida* Latreille, 1829
 Семейство *Caligidae* Burmeister, 1835
 Род *Lepeophtheirus* Nordmann, 1832
Lepeophtheirus polyprioni Hewitt, 1963

Хозяин: *Polyprion oxygeneios* (Schneider et Forster, 1801) (*Perciformes*: *Polyprionidae*), на жаберных лепестках у 1 обследованной рыбы, интенсивность инвазии 1 экз., Большой Австралийский залив (33° 18 S, 129° 15 E), 11 марта 1966 г.

Этот вид известен из Новой Зеландии и Южной Австралии от рыб *Polyprion americanus*, *P. toene* и *P. oxygeneios* [3, 5, 6, 7, 8].

Семейство *Pandaridae* Milne Edwards, 1840
 Род *Nesippus* Heller, 1865
Nesippus orientalis Heller, 1868

Син.: *Nesippus alatus* Wilson, 1905; *N. angustatus* Beneden, 1892; *N. australis* Heegaard, 1962; *N. incisus* Heegaard, 1962; *N. ornatus* Thomsen, 1949; *N. tentax* of Wilson, 1907.

Хозяин: *Notorynchus cepedianus* (Péron, 1807) (*Hexanchiformes*: *Hexanchidae*), в ротовой полости у 4 из 5 обследованных рыб, интенсивность инвазии 1–80 экз., Новая Зеландия (43° 19 S, 173° 11 E; 40° 14 S, 173° 32 E; 40° 13 S, 174° 51 E; 43° 21 S, 173° 11 E), 12 и 17 мая 1966 г., 18 июня 1969 г., 02 февраля 1972 г.

Космополит, зарегистрирован на *Alopias vulpinus*, *Carcharhinus acronotus*, *C. amblyrhynchus*, *C. brevipinna*, *C. leucas*, *C. limbatus*, *C. obscurus*, *Carcharodon carcharias*, *Eugomphodus*

taurus, *Fundulus majalis*, *Galeocerdo cuvier*, *Galeorhinus galeus*, *Ginglymostoma cirratum*, *Mustelus antarcticus*, *M. asterias*, *M. canis*, *M. lenticulatus*, *M. schmitti*, *Negaprion brevirostris*, *Notorynchus cepedianus*, *Raja nasuta*, *Rhizoprionodon acutus*, *Rh. oligolinx*, *Rh. terraenovae* и *Sphyrna zygaena* [3, 5, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31].

Семейство Hatschekiidae Kabata, 1979

Род *Hatschekia* Poche, 1902

Hatschekia crenata Hewitt, 1969

Хозяева:

Lepidopus caudatus (Euphrasen, 1788) (Perciformes: Trichiuridae), на жаберных лепестках у 4 из 6 обследованных рыб, интенсивность инвазии 1–2 экз., Новая Зеландия (40° 35 S, 173° 35 E), 19–26 мая 1966 г.

L. caudatus, на жаберных лепестках у 2 обследованных рыб, интенсивность инвазии 1–6 экз., Большой Австралийский залив (33° 14 S, 127° 16 E), 11 июня 1967 г.

L. caudatus, на жаберных лепестках у 2 из 3 обследованных *L. caudatus*, интенсивность инвазии 5–6 экз., Тасманово море (37° 22 S, 174° 11 E), 10 сентября 1968 г.

L. caudatus, на жаберных лепестках у 3 из 5 обследованных *L. caudatus*, интенсивность инвазии по 1–26 экз., Тасманово море (40° 33 S, 173° 38 E), 17 июня 1969 г.

H. crenata – специфичный паразит *L. caudatus* [3, 32, 33].

В Большом Австралийском заливе вид *H. crenata* зарегистрирован впервые.

Hatschekia quadrata Hewitt, 1969

Хозяева:

Allomycterus pilatus Whitley, 1931 (Tetraodontiformes: Diodontidae), на жаберных лепестках у 1 обследованной рыбы, интенсивность инвазии 30 экз., Тасманово море (38° 49 S, 170° 08 E), 27 мая 1966 г.;

A. pilatus, на жаберных лепестках у 1 обследованной рыбы, интенсивность инвазии 48 экз., Большой Австралийский залив (31° 48 S, 130° 48 E), 12 июня 1966 г.;

A. pilatus, на жаберных лепестках у 2 обследованных рыб, интенсивность инвазии 8–17 экз., Большой Австралийский залив (33° 17 S, 128° 45 E), 26 апреля 1967 г.;

A. pilatus, на жаберных лепестках у 13 из 15 обследованных рыб, интенсивность инвазии 2–45 экз., Большой Австралийский залив (32° 32 S, 126° 42 E), 23 сентября 1971 г.;

Diodon nichthemerus Cuvier, 1818 (Tetraodontiformes: Diodontidae), на жаберных лепестках у 2 обследованных рыб, интенсивность инвазии 48–100 экз., Большой Австралийский залив (31° 48 S, 130° 48 E), 12 июня 1966 г.;

D. nichthemerus, на жаберных лепестках у 14 из 15 обследованных рыб, интенсивность инвазии 2–34 экз., Большой Австралийский залив (32° 32 S, 126° 27 E), 19 сентября 1971 г.;

Tragulichthys jaculiferus (Cuvier, 1818) (Tetraodontiformes: Diodontidae), на жаберных лепестках у 2 обследованных рыб, интенсивность инвазии 5–6 экз., Новая Зеландия (40° 30 S, 173° 40 E), 27 мая 1966 г.;

T. jaculiferus, на жаберных лепестках у 2 обследованных рыб, интенсивность инвазии 11–80 экз., Новая Зеландия (44° 32 S, 173° 36 E), 04 сентября 1968 г.

Измерения в мм (n=7): длина (вся) 1,15–1,55, цефалосома 0,30–0,44x0,45–0,50, туловище 0,75–1,15x0,40–0,45, яйцевые мешки 0,50–0,95x0,20, количество яиц в яйцевом мешке 5–11.

Измерения [по 32]: длина 1,58–1,92 мм; цефалосома 0,32–0,39x0,48–0,54, туловище 0,93–1,43x0,39–0,58; абдомен 0,063–0,073x0,112–0,132.

Измерения [по 33]: длина 1,58–1,92 мм.

Вид *H. quadrata* известен из прибрежных вод Новой Зеландии от *Tragulichthys jaculiferus* (= *Allomycterus jaculiferus*) [3, 32, 33].

A. pilatus и *D. nichthemerus* – новые хозяева *H. quadrata*.

В Большом Австралийском заливе вид *H. quadrata* зарегистрирован впервые.

Семейство Lernanthropidae Kabata, 1979

Род *Aethon* Krøyer, 1836

Aethon percis (Thomson, 1889)

Син.: *Lernanthropus percis* Thomson, 1889; nec. *L. percis* Thomson, 1889 in Wilson, 1935.

Хозяин: *Parapercis colias* (Forster, 1801) (Perciformes: Pinguipedidae), на жаберных лепестках, у 1 из 15 обследованных рыб, интенсивность инвазии 1 экз., Тасманово море (40° 40 S, 173° 32 E), 28 декабря 1971 г.

Этот вид является эндемиком Новой Зеландии [2, 3, 5, 34]; специфичный паразит *Parapercis colias* (= *Percis colias*, blue cod).

Aethon garricki Hewitt, 1968 (рис. 1, 2)

Хозяева:

Genypterus blacodes (Forster, 1801) (Ophidiiformes: Ophidiidae), на жаберных лепестках у 2 обследованных рыб, интенсивность инвазии по 2 экз., Новая Зеландия (40° 30 S, 173° 40 E; 42° 21 S, 173° 11 E), 29 мая 1966 г.;

Nemadactylus macropterus (Forster, 1801) (Perciformes: Cheilodactylidae), на жаберных лепестках у 4 из 7 обследованных рыб, интенсивность инвазии по 1 экз., Новая Зеландия (40° 28 S, 173° 41 E), 28 октября 1966 г.;

N. macropterus, на жаберных лепестках у 6 из 15 обследованных рыб, интенсивность инвазии 1–14 экз., Тасманово море (40° 15 S, 173° 47 E), 26 мая 1969 г.;

N. macropterus, на жаберных лепестках у 10 из 34 обследованных рыб, интенсивность инвазии 1–8 экз., Тасманово море (38° 34 S, 174° 48 E), 01 июля 1969 г.;

N. macropterus, на жаберных лепестках у 5 из 15 обследованных рыб, интенсивность инвазии 1–4 экз., Тасманово море (40° 25 S, 173° 29 E), 08 июля 1968 г.;

N. macropterus, на жаберных лепестках у 7 из 31 обследованной рыбы, интенсивность инвазии по 1 экз., Большой Австралийский залив (33° 00 S, 125° 00 E), 01 апреля 1967 г.;

N. macropterus, на жаберных лепестках у 3 из 14 обследованных рыб, интенсивность инвазии 3–6 экз., Новая Зеландия (44° 29 S, 171° 48 E), 01 августа 1968 г.;

N. macropterus, на жаберных лепестках у 2 из 10 обследованных рыб, интенсивность инвазии по 1 экз., Большой Австралийский залив (33° 13 S, 127° 18 E), 13 марта 1971 г.;

N. macropterus, на жаберных лепестках у 3 из 15 обследованных рыб, интенсивность инвазии 1–20 экз., Тасманово море (38° 35 S, 172° 59 E), 21 июня 1971 г.;

N. macropterus, на жаберных лепестках у 2 обследованных рыб, интенсивность инвазии 1–2 экз., залив Кентербери (43° 52 S, 173° 58 E), 13 июля 1971 г.;

N. macropterus, на жаберных лепестках у 7 из 16 обследованных рыб, интенсивность инвазии 1–4 экз., Большой Австралийский залив (33° 49 S, 125° 28 E; 34° 34 S, 133° 47 E), 18 и 30 сентября 1971 г.;

N. macropterus, на жаберных лепестках у 7 из 17 обследованных рыб, интенсивность инвазии 1–3 экз., зал. Пегас (43° 22 S, 173° 27 E), 17 октября 1971 г.;

N. macropterus, на жаберных лепестках у 10 из 25 обследованных рыб, интенсивность инвазии 1–8 экз., Тасманово море (40° 41 S, 173° 31 E; 40° 18 S, 173° 45 E), 08 и 18 января 1972 г.;

N. macropterus, на жаберных лепестках у 1 из 5 обследованных рыб, интенсивность инвазии 2 экз., Большой Австралийский залив (35° 17 S, 133° 03 E), 27 августа 1973 г.;

N. macropterus, на жаберных лепестках у 4 из 15 обследованных рыб, интенсивность инвазии 1–14 экз., зал. Тасмана (41° 31 S, 173° 19 E), 19 июля 1977 г.;

N. macropterus, на жаберных лепестках у 1 обследованной рыбы, интенсивность инвазии 4 экз., зал. Тасмана (40° 34 S, 173° 39 E), 24 января 1975 г.

Самка. Форма тела лернантропоидная (рис. 1,а). Головогрудь сужена на переднем и заднем концах, сильнее сужена на переднем крае, расширена посередине. На переднем конце головогрудки имеется щиток с двумя выступами на переднем крае. От основания этого щитка берет начало второй щиток, края которого изгибаются назад и направлены к латеральным

краям. На границе $\frac{1}{2}$ головогруды спускающиеся края второго щитка резко поворачивают к внешним краям головогруды. На вершине второго щитка медианно расположена бороздка. Туловище шире головогруды и с каждой стороны образует по одному выросту, направленному назад. Второй и третий грудные сегменты слиты, с дорсальной стороны представлены поперечными полосками, их латеральные края образуют заостренные отростки, направленные назад. Четвертый грудной сегмент несет дорсальный клапан, который на заднем крае имеет небольшую выемку; клапан закрывает abdomen и яйцевые мешки, скрученные в правильную спираль.

Первая антенна (рис. 1,з, 2,б) суживается к дистальному концу, состоит из 8 члеников. Основной членик на дистальном конце несет щетинку. Второй членик вооружен четырьмя щетинками, одна из которых превышает по размеру остальных. Третий членик короткий, не вооружен. Четвертый членик самый длинный, несет три щетинки. Пятый членик короткий, имеет одну щетинку. Шестой членик с одной дистальной щетинкой. Седьмой членик вооружен тремя дистально расположенными щетинками. Последний членик вооружен 9 элементами.

Вторая антенна (рис. 1,ж) 2-членистая. Дистальный членик когтевидный, на внутреннем крае, ближе к основанию расположен хитиновый шип. На основном членике у основания расположен бугорок.

Ротовая трубка конусовидная (рис. 2,а). С каждой стороны ее видны хитиновые образования в виде знаков «ε» и «э».

Первые максиллы (рис. 1,г, 2,а) расположены по бокам ротовой трубки, эндоподит короткий с двумя шипиками на вершине. Экзоподит 1-члениковый с тремя щетинками на вершине, средний из них в 2 раза длиннее.

Вторые максиллы (рис. 1,б) 2-членистые, основной членик длиннее дистального. Последний на вершине снабжен хитиновым когтем, по краям которого расположены мелкие зубчики. У основания этого когтя с внутренней стороны расположен нежный шип; рядом находится хитиновый шип.

Максиллипед (рис. 2,в) 2-членистый. Основной членик короткий, широкий. На нем с внутренней стороны у основания на некотором расстоянии друг от друга расположены 2 маленьких шипика. Дистальный членик крепкий, когтевидный. Ближе к его середине расположен шов, соединяющий основную и дистальную части членика.

Первая плавательная нога (рис. 1,е) двуветвистая; каждая ветвь 1-члениковая. Базиподит широкий, 1-члениковый. Экзоподит несет 5 коротких треугольных шипов, расположенных вдоль вершины членика. Эндоподит суживается к вершине, с одним длинным шипом на дистальном конце. На внутреннем крае базиподита, у основания эндоподита, на кнопковидном бугорке находится шип.

Вторая плавательная нога (рис. 1,д) сильно развита, треугольной формы и на дистальном конце несет мощный плоский коготь. На задней поверхности ноги у основания плоского когтя находится мощно развитый хитиновый выступ, на вершине он раздвоен. От этого выступа вдоль ноги протягивается хребет. Неподалеку от хитинового выступа к основанию ноги находится чувствующий волосок, расположенный на небольшом хитиновом бугорке.

Третья плавательная нога 2-ветвистая, ветви пластинчатые, составляет примерно половину длины тела, направлены к заднему концу, слиты у основания, прикрывают яйцевые мешки.

Четвертая плавательная нога 2-ветвистая, ветви пластинчатые, составляют примерно половину длины третьей пары ног.

Пятая плавательная нога одноветвистая, рудиментарная, соизмерима с размером генитального комплекса.

Вид *A. garricki* зарегистрирован на *Nemadactylus macropterus* (= *Cheilodactylus macropterus*) у Новой Зеландии и в водах Южной Австралии [3, 5, 8, 34].

Genypterus blacodes – новый хозяин для *A. garricki*.

Aethon morelandi Hewitt, 1968

Хозяева:

Nemadactylus valenciennesi (Whitley, 1937) (Perciformes: Cheilodactylidae), на жаберных лепестках у 8 из 15 обследованных рыб, интенсивность инвазии 1–5 экз., Большой Австралийский залив (33° 19 S, 126° 12 E), 28–30 марта 1966 г.;

N. valenciennesi, на жаберных лепестках у 3 из 14 обследованных рыб, интенсивность инвазии 1–2 экз., Большой Австралийский залив (33° 00 S, 126° 00 E), 02 апреля 1967 г.;

N. valenciennesi, на жаберных лепестках у 1 из 3 обследованных рыб, интенсивность инвазии 2 экз., Большой Австралийский залив (36° 44 S, 126° 29 E), 09 сентября 1973 г.;

Zanclistius elevatus (Whitley, 1937) (Perciformes: Pentacerotidae), на жаберных лепестках у 7 из 12 обследованных рыб, интенсивность инвазии 1–14 экз., Большой Австралийский залив (32° 15 S, 128° 37 E), 12 сентября 1973 г.;

Anoplocapros lenticularis (Richardson, 1841) (Tetraodontiformes: Aracanidae), на жаберных лепестках у 2 из 4 обследованных рыб, интенсивность инвазии по 3 экз., Большой Австралийский залив (33° 44 S, 126° 18 E), 04 марта 1966 г.

Вид *A. morelandi* зарегистрирован на *Latridopsis ciliaris*, *Nemadactylus macropterus*, *N. valenciennesi* у Новой Зеландии и водах Южной Австралии [3, 8, 34, 35].

Z. elevatus и *A. lenticularis* новые хозяева для *A. morelandi*.

Род *Sagum* Wilson, 1913

Sagum foliaceus (Goggio, 1905)

Син.: *Lernanthropus foliaceus* Goggio, 1905; *Paralernanthropus foliaceus* (Goggio, 1905) in Hewitt, 1968.

Хозяева:

Rexea solandri (Cuvier, 1832) (Perciformes: Gempylidae), на жаберных лепестках у 2 обследованных рыб, интенсивность инвазии по 3 экз., Большой Австралийский залив (33° 19 S, 128° 30 E), 12 марта 1966 г.;

Rexea solandri, на жаберных лепестках у 1 из 5 обследованных рыб, интенсивность инвазии 1 экз., Большой Австралийский залив (30° 00 S, 128° 00 E), 06 апреля 1967 г.;

Rexea solandri, на жаберных лепестках у 1 обследованной рыбы, интенсивность инвазии 1 экз., Тасманово море (38° 49 S, 173° 08 E), 29 июня 1969 г.;

Thyrsites atun (Euphrasen, 1791) (Perciformes: Gempylidae), на жаберных лепестках у 2 из 44 обследованных рыб, интенсивность инвазии по 1–8 экз., Большой Австралийский залив (33° 12 S, 126° 12 E), 11 апреля 1966 г.;

Th. atun, на жаберных лепестках у 13 из 15 обследованных рыб, интенсивность инвазии по 1–6 экз., Большой Австралийский залив (33° 00 S, 128° 00 E), 28 марта 1967 г.;

Th. atun, на жаберных лепестках у 13 из 15 обследованных рыб, интенсивность инвазии по 1–8 экз., Тасманово море (40° 40 S, 173° 29 E), 28 июня 1968 г.;

Th. atun, на жаберных лепестках у 1 из 50 обследованных рыб, интенсивность инвазии 4 экз., Тасманово море (40° 00 S, 173° 00 E), 04 сентября 1968 г.;

Th. atun, на жаберных лепестках у 6 из 9 обследованных рыб, интенсивность инвазии по 1–4 экз., Тасманово море (40° 39 S, 173° 31 E), 22 мая 1969 г.;

Th. atun, на жаберных лепестках у 1 обследованной рыбы, интенсивность инвазии 1 экз., Тасманово море (40° 27 S, 173° 37 E), 24 мая 1969 г.;

Th. atun, на жаберных лепестках у 1 обследованной рыбы, интенсивность инвазии 4 экз., Тасманово море (39° 12 S, 172° 47 E), 03 июля 1969 г.;

Th. atun, на жаберных лепестках у 5 из 30 обследованных рыб, интенсивность инвазии по 1–2 экз., зал. Кентербери (44° 43 S, 171° 49 E), 11 июля 1969 г.;

Th. atun, на жаберных лепестках у 1 из 16 обследованных рыб, интенсивность инвазии 6 экз., Тасманово море (40° 26 S, 173° 49 E), 05 июня 1970 г.;

Th. atun, на жаберных лепестках у 2 обследованных рыб, интенсивность инвазии 5–17 экз., Большой Австралийский залив (33° 08 S, 130° 33 E), 22 марта 1971 г.;

Th. atun, на жаберных лепестках у 10 из 15 обследованных рыб, интенсивность инвазии 1–7 экз., Тасманово море (40° 37 S, 171° 56 E), 16 июня 1971 г.;

Th. atun, на жаберных лепестках у 5 из 15 обследованных рыб, интенсивность инвазии 1–2 экз., зал. Кентербери (44° 50 S, 171° 53 E), 31 июля 1971 г.;

Th. atun, на жаберных лепестках у 12 из 15 обследованных рыб, интенсивность инвазии 1–20 экз., зал. Кентербери (44° 54 S, 171° 55 E), 29 октября 1971 г.;

Plageogeneion rubigenosum (Hutton, 1875) (Perciformes: Emmelichthyidae), на жаберных лепестках у 1 из 15 обследованных рыб, интенсивность инвазии по 1 экз., зал. Тасмана (33° 19 S, 128° 30 E), 02 сентября 1969 г.;

P. macrolepis McCulloch, 1914, на жаберных лепестках у 3 из 6 обследованных рыб, интенсивность инвазии 1 экз., Тасманово море (39° 32 S, 172° 42 E), 20 июня 1970 г.

Вид *S. foliaceus* зарегистрирован на *Nemadactylus macropterus* (= *Cheilodactylus macropterus*), *Rexea solandri* (= *Jordanidia solandri*), *Ruvettus pretiosus* (= *Thyrsites pretiosus*) и *Thyrsites atun* в Средиземном море и водах Новой Зеландии [3, 5, 34, 36, 37].

В Большом Австралийском заливе вид *S. foliaceus* зарегистрирован впервые.

Plageogeneion rubigenosum и *P. macrolepis* – новые хозяева *S. foliaceus*.

Семейство Нурпонеидае Heegaard, 1962

Род *Hyponeo* Heegaard, 1962

Hyponeo australis Heegaard, 1962

Хозяева:

Lestidium prolixum Harry, 1953 (Aulopiformes: Paralepididae), на жаберных лепестках у 3 из 6 обследованных рыб, интенсивность инвазии 31–57 экз., Курильские о–ва (44° 53 N, 149° 25 E и 48° 57 N, 155° 38 E), глубина 890 м, 19 января и 16 апреля 1976 г.;

Melamphaes lugubris Gilbert, 1890 (Stephanoberyciformes, Melamphaidae), на жаберных лепестках, у 1 из 15 обследованных рыб, интенсивность инвазии 1 экз., Курильские о–ва (45° 47 N, 150° 34 E), глубина 1530 м, 29 мая 1976 г.

Вид *H. australis* был описан Хигардом [25] по материалам Австралийской антарктической экспедиции (1911–1914 гг.) от неопределенной до вида рыбы. Сообщение о находке этого вида в Охотском море было сделано Маркевичем и Титаром [38], но хозяин не был указан. Титар выслал материал, собранный с жаберных лепестков *Paralepis rossi* у Курильских о–вов (45° 37 N, 150° 31 E) Кабате, последний передал копепод Хоу [39], который привел описание конечностей *H. australis*.

L. prolixum и *M. lugubris* являются новыми хозяевами *H. australis*.

H. australis паразитирует на глубоководных рыбах и, по-видимому, имеет широкий круг хозяев.

В состав семейства Нурпонеидае входит 3 рода, ниже приводится определительная таблица родов этого семейства.

Определительная таблица родов семейства Нурпонеидае

- 1а. Две пары отростков головогруды направлены вперед *Hyponeo* Heegaard, 1962
 б. Две пары отростков головогруды, направленных вперед, отсутствуют 2
 2а. Туловище имеет пару отростков, направленных вперед, заднелатеральные отростки туловища отсутствуют *Tautochondria* Но, 1987

б. Туловище не имеет пары отростков, направленных вперед, имеется пара небольших заднелатеральных отростков туловища *Greeniedeets Benz*, 2006

Семейство Pennellidae Burmeister, 1835

Род *Trifur* Wilson, 1917

Trifur tortuosus Wilson, 1917

Син.: *Lernaecera lotellae* Thomson, 1989; *Trifur physiculi* Heegaard, 1962; *T. puntaniger* Thomé, 1963.

Хозяева:

Pseudophyscis bachus (Forster, 1801) (Gadiformes: Moridae), в ротовой полости у 2 из 16 обследованных рыб, интенсивность инвазии по 1 экз., банка Мерноо (42° 22 S, 174° 54 E), 20 октября 1971 г.

P. bachus, в ротовой полости у 2 из 7 обследованных рыб, интенсивность инвазии 8–9 экз., Тасманово море (40° 08 S, 173° 48 E), 10 июля 1968 г.;

P. bachus, в ротовой полости и на поверхности головы у 16 из 20 обследованных рыб, интенсивность инвазии 1–7 экз., зал. Кентерберри (42° 21 S, 172° 16 E), 05 июня 1969 г.;

P. bachus, жаберные дуги у 2 из 5 обследованных рыб, интенсивность инвазии 4–5 экз., о. Окленд (52° 32 S, 167° 38 E), 11 мая 1970 г.;

P. bachus, в ротовой и жаберной полостях у 3 из 15 обследованных рыб, интенсивность инвазии 1–2 экз., банка Мерноо (43° 58 S, 174° 38 E), 19 августа 1971 г.;

P. bachus, в ротовой полости и мышцах спины у 2 из 12 обследованных рыб, интенсивность инвазии по 1 экз., зал. Кентерберри (44° 54 S, 171° 51 E), 29 октября 1971 г.;

Macruronus novaezelandiae (Hector, 1871) (Gadiformes: Merlucciidae), на поверхности головы у 1 из 25 обследованных рыб, интенсивность инвазии 2 экз., банка Мерноо (43° 20 S, 174° 52 E), 8 июля 1969 г.

Измерения (n=11, половозрелые самки):

длина 20,2–38,3; головогрудь за рогами 1,8–2,5x1,1–1,5; шея 10,5–18,5x0,7–1,1; генитальный сегмент 4,0–11,0x2,0–3,3; abdomen 3,2–6,3; латеральные рога 1,8–4,1; дорсальные рога 1,7–4,0; яйцевые мешки 4,0–8,3;

и (n=2; молодые самки):

длина 18,0–19,9; головогрудь за рогами 2,0x1,0–1,1; шея 10,0–11,5x0,8–1,0; генитальный комплекс 2,5–3,5x0,9; abdomen 2,9–3,5; латеральные рога 1,3–1,8; дорсальные рога 0,6–0,8.

Измерения [по 41]: длина 18,6–37,5, шея 4,8–12,0; генитальный комплекс 4,4–13,8; abdomen 3,8–7,7; латеральные рога 2,1–3,6; дорсальные рога 2,2–3,7. Этчегоин с соавторами [41] показали, что в зависимости от вида хозяина размеры копепод варьируют.

Измерения [по 25]: длина 30–40 мм.

Измерения [по 40]: длина 16–20 мм.

Вид *T. lotellae* зарегистрирован на *Macruronus novaezelandiae*, *Parapercis colias*, *Pseudophyscis bachus* (*Physiculus bachus*), *P. barbata* (= *Physiculus barbatus*), *P. brevisculus*, *Pseudopercis semifasciata* у берегов Аргентины, Новой Зеландии и Австралии: Новый Южный Уэльс, Тасмания [3, 5, 25, 40, 41].

Выводы

1. Эндемиками Новой Зеландии являются копеподы *Chondracanthus lotellae* и *Aethon percis*.

2. Впервые в Большом Австралийском заливе зарегистрированы копеподы *Lepocephtheirus polyprioni*, *Hatschekia crenata*, *H. quadrata* и *Sagum foliaceus*.

3. *Chondracanthus lotellae* – специфичный паразит *Pseudophyscis bachus*, *Hatschekia crenata* – *Lepidopus caudatus*, *Aethon percis* – *Parapercis colias*.

4. Новыми хозяевами для копепод *Hatschekia quadrata* являются *Allomyxterus pilatus* и *Diodon nichthemerus*, для *Aethon garricki* – *Genypterus blacodes*, для *Aethon morelandi* – *Zan-*

clistius elevatus и *Anoplocapros lenticularis*, для *Sagum foliaceus* – *Plageogeneion rubigenosum* и *P. macrolepis*, для *Hyponeo australis* – *Lestidium prolixum* и *Melamphaes lugubris*.

5. *Nesippus orientalis* – космополит.

Благодарности

Выражаю искреннюю благодарность С.Е. Позднякову, чл.-корр. РАЕН, доктору биол. наук, зам. ген. директора, зав. научно-исследовательским отделением сырьевой базы прибрежного рыболовства ФГУП «ТИНРО-Центр», Л.С. Швецовой, канд. биол. наук, зав. сектором прибрежных исследований ФГУП «ТИНРО-Центр» за представленный материал и Е.В. Казаченко за помощь в оформлении рисунков копепод.

Список литературы

1. Быховская-Павловская, И.Е. Паразиты рыб. Руководство по изучению / И.Е. Быховская-Павловская. – Л.: Наука, 1985. – 121 с.
2. Thomson G.M. Parasitic Copepoda of New Zealand, with descriptions of new species // Transactions of New Zealand Inst. – 1889. – Vol. 22. – P. 353–376.
3. Hewitt G.C., Hine P.M. Checklist of parasites of New Zealand fishes and of their hosts // Fisheries Research Publication. – 1972. – № 181. – P. 69–114.
4. Ho J.-s. Cyclopoid copepods of the family Chondracanthidae on New Zealand marine fishes // Publ. Seto Mar. Biol. Lab. – 1975. – Vol. 22, № 5. – P. 303–319.
5. Pilgrim R.L.C. Parasitic Copepoda from marine coastal fishes in the Kaikoura-banks peninsula region, South Island, New Zealand // Mauri Ora. – 1985. – Vol. 12. – P. 13–53.
6. Hewitt G.C. Some New Zealand parasitic Copepoda of the family Caligidae // Transactions of the Royal Society of New Zealand, Zoology. – 1963. – Vol. 4. – P. 61–115.
7. Hewitt G.C. The postchalimus development of *Lepeophtheirus polyprioni* Hewitt, 1963 (Copepoda: Caligidae) // Transactions of the Royal Society of New Zealand, Zoology. – 1964. – Vol. 4. – P. 157–159.
8. Hutson K.S., Catalano S.R., Whittington I.D. Metazoan parasite survey of selected macroinshore fish of southeastern Australia, including species of commercial importance. // Final Report to FRDC (Project No. 2007/225). James Cook University, Townsville. – 2011. – I–XIV. – 1–259 p.
9. Heller C. Crustaceen. Reise der Oesterreichischen Fregatte Novara um die Erde in den Jahren 1857, 1858, 1859. Zoologischer Theil, 1868. – 2(3). – 1–280.
10. Steenstrup J.J.S., Lutken C.F. Bidrag til kundskab om det aabne havs snyltekkrebs og lernaer samt om nogle andre nye eller hidtil kun ufuldstaendigt kjendte parasitiske kopepoder // K. danske Vidensk. Selsk. Skr. – 1861. – Ser. 5 (5). – P. 341–432.
11. Wilson C.B. New species parasitic copepods from the Massachusetts coast // Proc. Biol. Soc. Washington. – 1905. – Vol. 18. – P. 127–132.
12. Wilson Ch. B. North American parasitic copepods belonging to the family Caligidae. Part 2. The Trebinae and Euryphorinae // Proc U. S. nat. Mus. – 1907. – Vol. 31. – P. 669–720.
13. Wilson Ch.B. The copepods of the Woods Hole region, Massachusetts // Bull. U. S. nat. Mus. – 1932. – № 158. – P. 1–635.
14. Brian A. Copepodi parassiti dei pesci d'Italia. – Genova, 1906. – 190 p.

15. Brian A. Parasitologia Mauritanica. Materieux pour la faune parasitologique en Mauritanie. Arthropoda (1-re partie). Copepoda // Bull. Com. Etud. Hist. Scient. Afr. Occid. Fr. – 1924. – P. 365–427.
16. Bere R. Parasitic copepods from Gulf of Mexico fish // Am. Midl. Nat. – 1936. – Vol. 17, № 3. – P. 577–625, pls. 1–12.
17. Thomsen R. Copepodos parasitos de los peces marinos del Uruguay // Com. Zool. Mus. Hist. Nat. Montevideo. – 1949. – Vol.3, № 54. – P. 1–41, lam. 1–14.
18. Pearse A.S. Parasitic Crustacea from the Texas coast // Publs Inst. mar. Sci. Univ. Tex. – 1952. – Vol. 2. – P. 5–42.
19. Capart A. Quelques Copépodes parasites de poissons marins de la region de Dakar // Bulletin de l'institut francais d'Afrique Noire. – 1953. – Nome 15, № 2. – P. 647–671.
20. Capart A. Copépodes parasites // Result. scient. Expéd. océanogr. belg. Eaux cét. afr. Atlant. sud. (1948–1949). – 1959. – Vol. 3, fasc. 5. – P. 55–126.
21. Barnard K.H. South African parasitic Copepoda // Ann. S. Afr. Mus. – 1955. – Vol. 41, № 5. – P. 223–312.
22. Nunes-Ruivo L. Copépodes parasitas de peixes dos Mares de Angola // Anais Junta Invest. Ultramar. – 1956. – Vol. 9 (2). – P. 9–45.
23. Nunes-Ruivo L. Copépodes parasites de poissons des côtes d'Angola (2me série) // Mems. Junta Invest. Ultram. – 1962. – Ser. 2, № 33. – P. 65–86.
24. Heegaard P. Parasitic copepods mainly from tropical and Antarctic Seas // Arkiv för Zoologi, 1943. – Bd. 34A, N. 18. – P. 1–37.
25. Heegaard P. Parasitic Copepoda from Australian waters // Rec. Austr. Mus. – 1962. – Vol. 25, № 9. – P. 149–231.
26. Hewitt G. C. Some New Zealand parasitic Copepoda of the family Pandaridae // New Zealand journal of marine and freshwaters research. – 1967. – Vol. 1, № 2. – P. 180–264.
27. Hewitt G.C. Eight species of parasitic Copepoda on a white shark // New Zealand journal of marine and freshwaters research. – 1979. – Vol. 13, № 1. – P. 171.
28. Cressey R. Revision of the family Pandaridae (Copepoda: Caligoida) // Proc. U. S. Nat. Mus. – 1967. – Vol. 121, № 3570. – P. 1–133.
29. Cressey R. Copepods parasitic on sharks from the west coast of Florida // Smith. Contrib. Zool. – 1970. – № 38. – P. 1–30.
30. Казаченко, В.Н. Некоторые паразитические копеподы рыб Тихого и Индийского океанов // Проблемы паразитологии: тр. 7-й науч. конф. паразитологов УССР / В.Н. Казаченко. – Киев: Наукова думка, 1972. – Ч. 1. – С. 323–325.
31. Kensley B., Grindley J. R. South African parasitic copepoda // Ann. S. Afr. Mus., 1973. – Vol. 62, № 3. – P. 69–130.
32. Hewitt G.C. Two new species of *Hatschekia* (Copepoda, Dichelesthidae) from New Zealand waters // New Zealand journal of marine and freshwaters research. – 1969. – Vol. 3 (1). – P. 159–168.
33. Jones J.B. A revision of *Hatchekia* Poche, 1902 (Copepoda: Hatschekiidae), parasitic on marine fishes // New Zealand Journ. Zool. – 1985. – Vol. 12. – P. 213–271.

34. Hewitt G.C. Some New Zealand parasitic Copepoda of the family Anthosomidae // Zool. Publ. Victoria Univ. Wellington. – 1968. – № 47. – P. 1–31.
35. Rohde K., Roubal F., Hewitt G.C. Ectoparasitic Monogenea, Digenea, and Copepoda from the gills of some marine fishes of New Caledonia and New Zealand // New Zealand journal of marine and freshwaters research. – 1980. – Vol. 14, № 1. – P. 1–13.
36. Goggio E. Intorno al genere *Lernanthropus*, de Blainv. (*Epachthes*, v. Nordm.) con descrizione di tre specie non descritte // Atti della Societa Toscana di Scienze Naturali Residente in Pisa. – 1905. – Vol. 21. – P. 134–148, tav. 2.
37. Wierzbicka J., Gaida M. Parasitic fauna of the barracouta, *Thyrsites atun* (Euphrasen, 1791) from off New Zealand // Acta Ichthyol. et piscator. – 1984. – Vol. 1–2. – P. 149–156.
38. Markevitch A.P., Titar V.M. Copepod parasites of marine fishes from the Soviet Far East // 4 Int. Congr. Parasitol. – 1978. – P. 38–39.
39. Ho J.-s. *Tautochondria dolichoura* n. g., n. sp., a copepod parasitic on the bathypelagic fish *Anoplogaster cornuta* (Valenciennes) in the western North Atlantic // Syst. Parasitol. – 1987. – Vol. 9. – P. 179–184.
40. Thomson G.M. Parasitic copepoda of New Zealand, with descriptions of new species // Trans. Proc. New Zealand Inst. – 1890. – Vol. 22. – P. 353–376.
41. Etchegoin J.A., Lanfranchi A.L., Timi J.T. The mesoparasitic copepod *Trifur tortuosus* Wilson, 1917 (Pennellidae): redescription with notes on its congeners // Acta Parasitologica. – 2009. – Vol. 54(1). – P. 57–63.

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

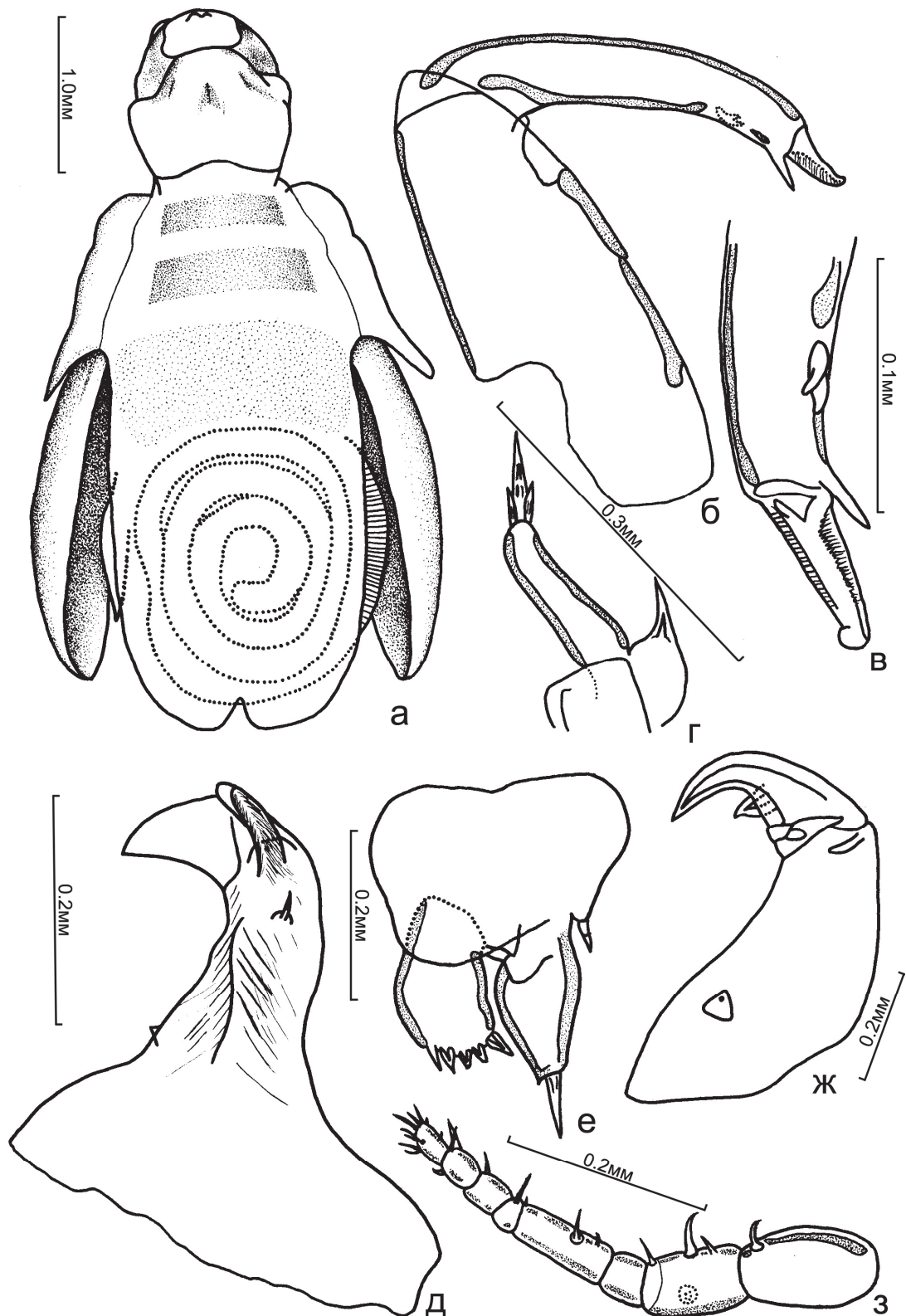


Рис. 1. *Aethon garricki*: а – дорсально; б – вторая максилла; в – дистальная часть второй максиллы; г – первая максилла; д – вторая нога; е – первая нога; ж – вторая антенна; з – первая антенна

Fig. 1. *Aethon garricki*: а – dorsal view; б – second maxilla; в – distal end of second maxilla; г – first maxilla; д – second leg; е – first leg; ж – second antenna; з – first antenna

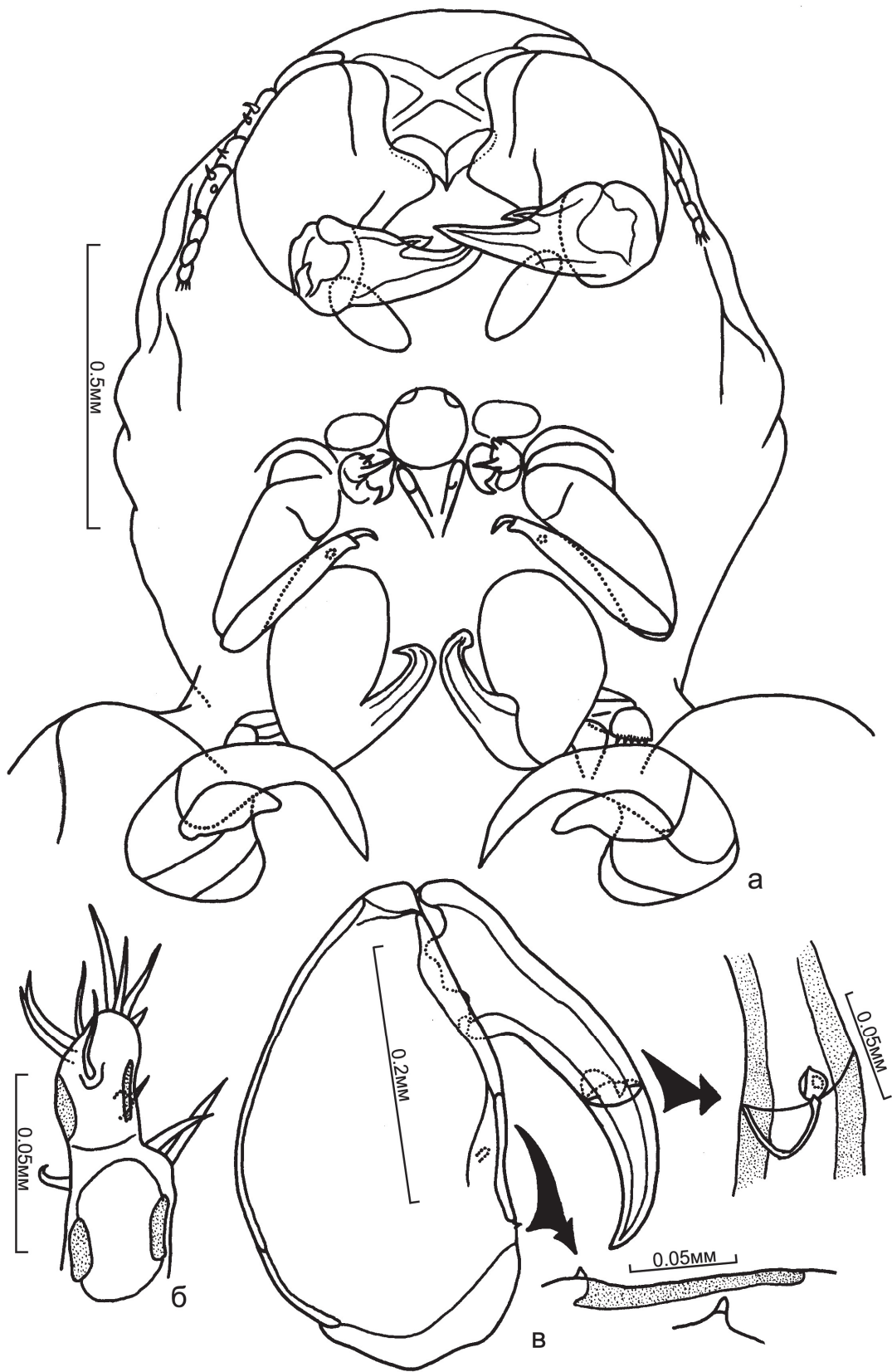


Рис. 2. *Aethon garricki*: а – цефалосома вентрально; б – дистальная часть первой антенны; в – максиллипед

Fig. 2. *Aethon garricki*: а – cephalosome ventral; б – distal part of first antenna; в – maxilliped

УДК 551.465; 528.88

К.О. Лебедева¹, Т.А. Дячук¹, 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, Владивосток, ул. Балтийская, д. 43**ПОВЕРХНОСТНАЯ ЦИРКУЛЯЦИЯ ВОД ТАТАРСКОГО ПРОЛИВА ПО ДАННЫМ
СПУТНИКОВ СЕРИИ LANDSAT**

Собран архив изображений Татарского пролива, полученных со спутников серии Landsat. Архив содержит более 200 изображений, принятых в различных погодных условиях в теплые сезоны года в 1982–2016 гг. В работе приводятся предварительные результаты совместного анализа спутниковых видимых и инфракрасных снимков и подспутниковых наблюдений. Выявлены разномасштабные особенности поверхностной циркуляции Татарского пролива.

Ключевые слова: Татарский пролив, поверхностные течения, мезомасштабные вихри, Западно-Сахалинское течение, спутники серии Landsat.

K.O. Lebedeva, T.A. Dyachuk, V.A. Dubina**SURFACE CIRCULATION OF THE TATAR STRAIT ACCORDING TO DATA OF
LANDSAT SATELLITES OBSERVATIONS**

More than 900 Landsat images of the Tatar Strait acquired in 1982-2016 under different weather conditions during a warm season were collected. The results of analysis of satellite infrared and visible images and supplementary information are given in a paper. The surface manifestations of the current fronts, eddies of different sizes and other oceanic phenomena were revealed.

Key words: Tatar Strait, surface current, submesoscale eddies, West-Sakhalin current, Landsat satellites.

Введение

После ввода в эксплуатацию системы экспорта нефти в рамках проекта Сахалин-1 резко возросла антропогенная нагрузка на морские экосистемы Татарского пролива. Система включает в себя трубопровод протяжённостью 225 км, по которому нефть из скважин в Охотском море через Сахалин и Татарский пролив поступает на нефтяной терминал в посёлке Де-Кастри (<https://www.sakhalin.info/news/39032>). В 2014 г. грузооборот порта Де-Кастри составил 8,19 млн т, из которых на нефть приходится 7,95 млн т, при этом объёмы вывозимой сырой нефти продолжают расти (<http://www.morvesti.ru/analytics/detail.php?ID=38708>). Грузоперевозки в Татарском проливе осуществляются круглый год, в том числе зимой в тяжёлых ледовых условиях. Средняя толщина дрейфующего льда составляет 40 см и нередко достигает 60–80 см [1]. Для корректного расчёта экологических рисков и адекватного моделирования возможных аварийных ситуаций, а также разработки мероприятий по устранению их последствий, необходимо знать точные гидрометеорологические характеристики, в первую очередь, скорости и направления ветра и морских течений.

Изучение циркуляции в Татарском проливе началось с работ Леопольда Шренка в 60-х – 70-х гг. XIX в. Но до сих пор картина течений в этом районе не до конца ясна. По мнению авторов [4], Татарский пролив является одним из немногих мест, в котором отмечаются наибольшие расхождения в схемах течения Японского моря у разных авторов. А на большинстве генеральных схем течений Татарский пролив вообще обрезан [1]. Одним из важнейших

вопросов, касающихся динамики вод пролива, является вопрос о присутствии в крайней северной акватории Японского моря мезомасштабных явлений и их вкладе в процессы перемешивания.

Целью настоящей работы являлось исследование разномасштабной вихревой динамики в Татарском проливе в тёплый период года на материалах съёмки спутников серии Landsat.

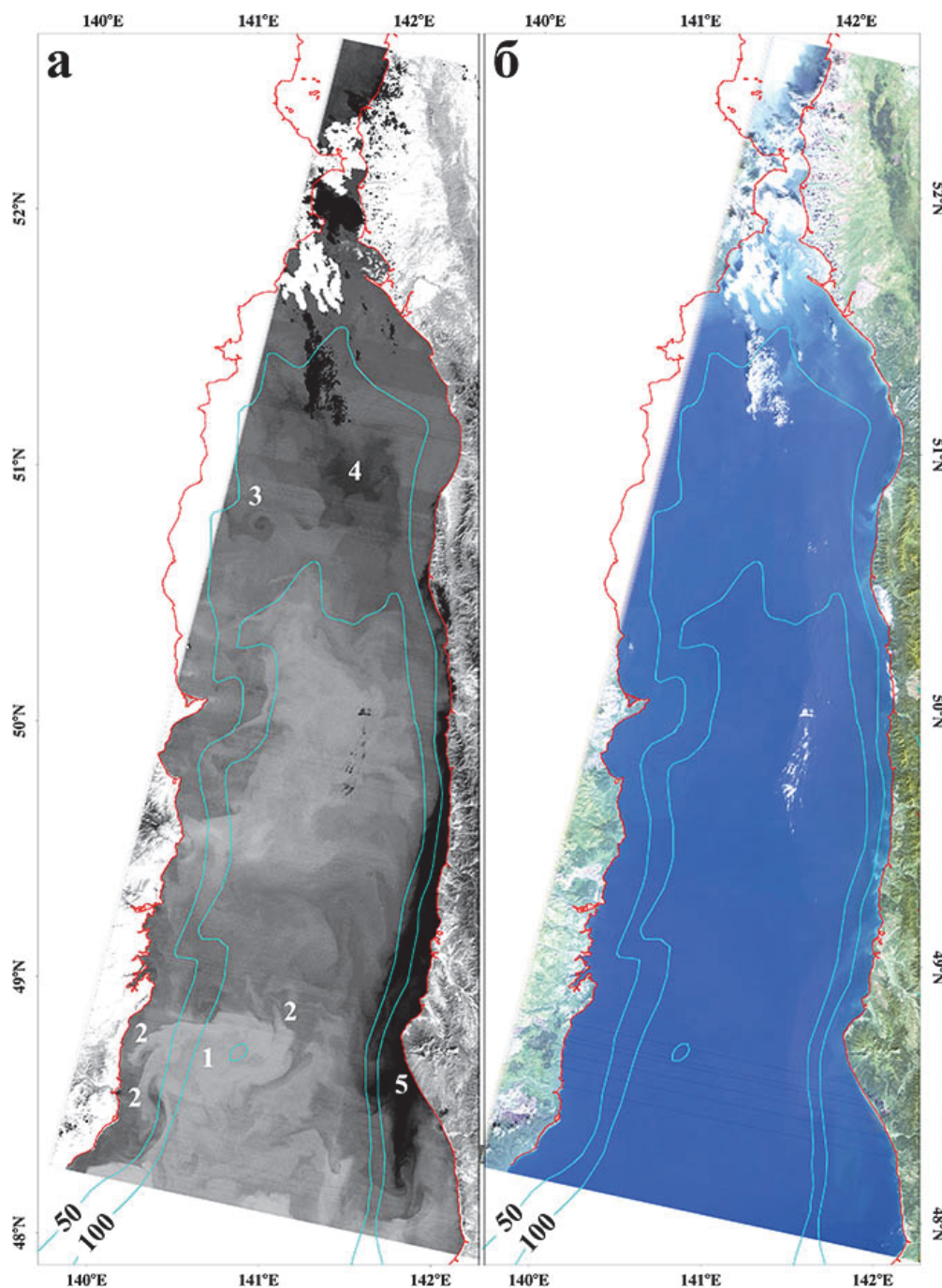
Объекты и методы исследования

Южной и северной границами Татарского пролива являются линии, которые соединяют соответственно мыс Белкина ($45^{\circ}49' \text{ N}$, $137^{\circ}41' \text{ E}$) с мысом Кузнецова ($46^{\circ}03' \text{ N}$, $141^{\circ}55' \text{ E}$) и мыс Южный ($51^{\circ}41' \text{ N}$, $141^{\circ}06' \text{ E}$) с мысом Тык ($51^{\circ}45' \text{ N}$, $141^{\circ}41' \text{ E}$) [2].

Несмотря на то, что в «самом общем случае» движение вод в Японском море «можно рассматривать как совокупность градиентных течений», обусловленных переносом через Корейский пролив, считается, что в Татарском проливе система течений в большей степени связана с ветром, чем с постоянными течениями [4]. При этом порядок скоростей дрейфовых течений составляет 0,3–0,4 уз, что заметно ниже приливных [4]. В работе [3] приведены максимальные и средние скорости течений в поверхностном слое Татарского пролива. В основу расчётов были положены сведения о течениях на 29 пунктах за полный приливной цикл 18,6 лет, рассчитанные по гармоническим постоянным за каждые сутки через 2 ч. По этим данным с учётом остаточных течений выбирались максимальные и рассчитывались средние скорости. За остаточные течения были приняты сведения о непериодических течениях при скорости ветра не более 5 м/с [3]. Максимальные скорости отмечены в проливе Невельского (3,6 уз) и на подходах к проливу Лаперуза (2,4 уз). Ещё одна область повышенных максимальных скоростей находится в районе мыса Сюркум (1,8 уз). На остальной акватории пролива максимальные скорости варьируют от 0,84 до 1,4 уз. Средние скорости течений в поверхностном слое на большей части акватории составляют 0,2–0,4 уз. Наибольшие средние скорости отмечаются на севере у входа в пролив Невельского (0,8–1,1 уз) и на подходах к проливу Лаперуза (0,8 уз) [3].

В Татарском проливе к северу от 48° с.ш. общая циркуляция вод является преимущественно циклонической. Западное звено циркуляции выражено более чётко по сравнению с восточной, которая сформирована отдельными струями Цусимского течения [4]. Поток в Татарском проливе, направленный вдоль материка на юг, авторы работы [4] предложили называть течением Шренка. Это течение отличается по гидрофизическим характеристикам от вод Приморского течения и Амурского лимана. Приморское течение следует вдоль кромки шельфа на расстоянии 10–15 миль от берега и имеет максимум скорости на горизонте около 100 м (ниже слоя скачка 25–50 м). А течение Шренка наблюдается в 30-мильной прибрежной зоне с максимумом скорости на поверхности. Многие исследователи выделяют в Татарском проливе Западно-Сахалинское (Сахалинское) течение, которое следует на юг вдоль побережья юго-западной оконечности о. Сахалин.

Все вышеперечисленные особенности поверхностной циркуляции вод Татарского пролива получены из анализа инструментальных наблюдений. Наиболее эффективным методом исследования прибрежных районов океана является совместное использование контактных измерений и данных дистанционного спутникового зондирования. Зондирование Земли из космоса с высоким пространственным разрешением уже более 30 лет применяется для исследования и мониторинга прибрежной зоны. Первой программой по изучению Земли из космоса стала программа спутников серии Landsat Геологической службы США. Архив изображений, полученных с этих спутников, с 2009 г. открыт для бесплатного доступа (<http://glovis.usgs.gov/>). Данные спутники предназначены в основном для мониторинга суши, но изображения, полученные с них, захватывают практически всю прибрежную область Мирового океана.



Инфракрасное (а) и видимое (б) изображения со спутника Landsat-5 за 25 сентября 2005 г. Цифровые обозначения на ИК-изображении поясняются в тексте

Infrared (а) and visible (б) Landsat-5 images obtained on 25 September. Numbers indications are explained in text

Территорию Татарского пролива покрывают 12 стандартных фреймов Landsat. В архиве находятся данные с октября 1982 г. по октябрь 2016 г. За это время было сделано 12788 снимков пролива, из которых 960 снимков с облачностью 0 %, а 2219 снимков с облачностью от 90 до 100%. Данные в архиве представляют собой измерения на 4 каналах радиометра MSS со спутников Landsat-4 и Landsat-5 (пространственное разрешение 80 м), на 7 каналах тематического картографа ТМ со спутника Landsat-5 (разрешение 30 м в видимом и ближнем инфракрасном (ИК) и 120 м в тепловом ИК-диапазонах), на 8 каналах усовершенствованного

картографа ETM+ со спутника Landsat-7 (разрешение 15, 30 и 60 м) и измерения на 11 каналах с двух сенсоров спутника Landsat-8. Данные последнего спутника поступают с 2013 г. и имеют разрешение 15, 30 и 100 метров на пиксель. В исследовании использовались снимки, принятые в тепловом ИК-диапазоне (10,4–12,5 мкм), и изображения в истинных цветах (RGB), полученные комбинированием измерений на соответствующих каналах, в тёплый период года (в отсутствии ледяного покрова). Изображения Landsat анализировались совместно с другими видами информации. Привлекались все доступные гидрометеорологические наблюдения, карты течений, построенные по спутниковым альтиметрическим данным, видимые и ИК-изображения радиометров AVHRR со спутников серии NOAA и спектрорадиометров MODIS со спутников Terra и Aqua.

Результаты и их обсуждение

На спутниковых изображениях Татарского пролива контрасты наблюдаются и в поле температуры поверхности, и в цвете воды. Последние связаны главным образом с речным стоком как рек, впадающих в пролив, так и со стоком р. Амур. Амурские воды поступают в крайнюю северную часть пролива во время ветровых нагонов в Сахалинском заливе, которые возникают при прохождении циклонов через север Охотского моря. Распреснённые воды перемещаются вдоль обоих берегов пролива на юг, чаще всего и южнее всего вдоль побережья Сахалина. Течение Шренка на спутниковых изображениях в отсутствие ледяного покрова плохо выражено. Наблюдались ситуации, когда прибрежный поток у западной границы пролива совершал циклонический поворот в районе 45–50° с.ш. Течение вдоль Сахалина наблюдается значительно чаще и не только вдоль его самой юго-западной оконечности, но и почти на всём протяжении от пролива Невельского до мыса Крильон. Лучше всего этот поток отмечается в сентябре-октябре в поле температуры поверхности моря. Циркуляция в проливе имеет выраженный вихревой характер. Крупные синоптические антициклоны (диаметром 50–80 м) проникают с цусимскими водами в южную часть пролива. Границы прибрежных течений в большинстве случаев имеют волнистую форму с горизонтальным масштабом меандров 5–10 км. Мезомасштабные вихри с холодными ядрами регулярно встречаются на всей акватории Татарского пролива.

На рисунке показано инфракрасное (рисунок, а) и RGB (рисунок, б) изображения Татарского пролива, полученные 25 сентября 2005 г. со спутника Landsat-5. Как видно из рисунка, поле температуры поверхности моря (рисунок, а) значительно более неоднородно, чем изображение поверхности в видимом диапазоне (рисунок, б). Более тёплые воды на снимке более светлые.

На юге исследуемого района в области проникающих в пролив тёплых вод Цусимского течения наблюдается антициклонический синоптический вихрь *1* эллиптической формы со средним диаметром примерно 64 км. На границе этого антициклона отмечаются мезомасштабные присоединённые циклонические образования *2* диаметром около 10 км.

Мезомасштабный циклонический вихрь с холодным ядром *3* диаметром 6,5 км наблюдается также в северной части пролива на широте 50,8° с.ш. Между этим вихрем и побережьем о. Сахалин на изображении расположено темное пятно *4* (низкая температура воды), которое, скорее всего, связано с циклоническим вращением вод в этой части пролива. Его размер составляет примерно 35 км. Эта температурная аномалия регулярно наблюдается в северной части Татарского пролива между изобатами 50 и 10 м на ИК-изображениях, полученных различными сенсорами.

Мезомасштабные вихри указанного масштаба регулярно регистрируются на ИК-изображениях, принятых со спутников серии Landsat, и почти не различимы на изображениях, полученных спектрорадиометрами MODIS и радиометрами AVHRR. Узкая прибрежная полоса холодной воды *5* возле Сахалина связана, вероятно, с Западно-Сахалинским течением, кото-

рое направлено на юг и отмечается на спутниковых ИК-изображениях чаще всего в сентябре-октябре. 25 сентября 2005 г. пояс холодных вод распространялся примерно от 50,5° с.ш. на юг до 48° с.ш., постепенно увеличиваясь по ширине до 22 км (рисунок, а).

Как видно из рисунка, большинство особенностей поверхностной циркуляции в Татарском проливе наблюдаются в поле температуры поверхности воды и плохо различимы (или вообще не видны) в поле цвета (мутности) воды. На видимом изображении в северной части пролива на изобате 50 м восточнее облаков наблюдается слабоконтрастный спиральный мезомасштабный вихрь диаметром примерно 10 км. Несовпадение контрастов температуры и цвета – довольно типичная ситуация при анализе спутниковых изображений Татарского пролива.

Заключение

Создан архив изображений Татарского пролива, полученных со спутников серии Landsat. Архив содержит более 200 изображений, принятых в различных погодных условиях в теплые сезоны года в 1982–2016 гг. В работе приводятся предварительные результаты совместного анализа спутниковых видимых и инфракрасных снимков и подспутниковых наблюдений. Контрасты температуры и цвета морской воды на изображениях Татарского пролива часто не совпадают, что не характерно для Японского моря. И на видимых и на ИК-изображениях выявлена мезомасштабная вихревая структура поверхностных течений в проливе. Циклонические спиральные вихри с горизонтальными размерами 5–10 км встречаются на всей акватории пролива. Мезомасштабные явления играют ключевую роль в процессах перемешивания верхнего квазиоднородного слоя прибрежных вод Мирового океана, поэтому наличие вихревых структур в Татарском проливе должно учитываться при расчёте экологических рисков и адекватного моделирования возможных аварийных ситуаций, а также при планировании мероприятий по устранению их последствий.

Список литературы

1. Гидрометеорология и гидрохимия морей. Т.VIII. Японское море. Вып.1. Гидрометеорологические условия / под ред. А.С. Васильева, Ф.С. Терзиева, А.Н. Косарева. – СПб.: Гидрометеоиздат, 2003. – 398 с.
2. Лоция Татарского пролива, Амурского лимана и пролива Лаперуза. – СПб.: Гл. упр. навигации и океанографии МО РФ, 2003. – 436 с.
3. Супранович, Т.И. Максимальные и средние скорости течений в поверхностном слое Татарского пролива / Тр. ДВНИГМИ / Т.И. Супранович. – Л.: Гидрометеоиздат, 1989. – Вып. 39. – С. 34–36.
4. Юрасов, Г.И. Течения Японского моря / Г.И. Юрасов, В.Г. Яричин. – Владивосток: Изд. ДВО АН СССР, 1991. – 174 с.

Сведения об авторах: Лебедева Ксения Олеговна, студентка 4-го курса по направлению «Экология и природопользование»;

Дячук Татьяна Александровна, студентка 3-го курса по направлению «Экология и природопользование», e-mail: street_lies@mail.ru;

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

УДК 576.371

И.В. Матросова, С.Е. ЛесковаДальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б**НЕКОТОРЫЕ ЧЕРТЫ РЕПРОДУКТИВНОЙ БИОЛОГИИ АСЦИДИИ ПУРПУРНОЙ
*HALOCYNTHIA AURANTIUM PALLAS***

Исследовались половые железы асцидии пурпурной *Halocynthia aurantium Pallas*, выловленной на плантации марикультуры, располагающейся в акватории о. Рикорда и частично о-вов Пахтусова (зал. Петра Великого, Японское море). В половых железах асцидии несколько раз происходит последовательное созревание либо ооцитов, приводящее к их вымету, либо спермиев. Полученные данные по гистологической организации и клеточному составу половых желез у исследованных гидробионтов дополняют сведения о их репродуктивной биологии.

Ключевые слова: асцидия пурпурная, половые железы, компартмент, фолликулярные клетки, ооциты.

I.V. Matrosova, S.E. Leskova**SOME FEATURES OF THE ASCIDIAN PURPLE *HALOCYNTHIA AURANTIUM PALLAS*
REPRODUCTION BIOLOGY**

Gonads of Halocynthia purple aurantium Pallas, caught on mariculture plantation, located in the waters of the Rikord island and partially Pahtusova islands (Average Bay of P. Grand, the sea of Japan) were investigated. In the ascidian sexual glands several times were going steady maturation of the oocyte, or resulting in their spawning, or sperm. The data obtained for histological organization and cell composition of the sexual glands in the investigated hydrobionts supplement their reproduction biology.

Key words: ascidia purple, sex glands, compartment, the follicular cells, oocytes.

Введение

Асцидии – древние реликтовые животные. Об этом свидетельствуют извлечения в пластах земли, поднятых со дна моря. В течение длительного периода развития жизни на земле эти гидробионты не изменили сколько-нибудь существенно своего вида и строения; приспособились к тяжелым условиям жизни, низким температурам, высокому давлению, недостаточности кислорода, выработали эффективные способы защиты от врагов при малой своей подвижности.

Достаточный запас асцидий, неприхотливые условия их существования, возможность восстановления необходимых популяций – все это делает перспективным их изучение и использование в марикультуре [1–3].

В Японском море обитает два промысловых вида асцидий, которые являются ценным сырьем для получения лекарственных препаратов, а за рубежом также используются в пищу [2]. К ним относятся бугорчатая асцидия *Halocynthia roretzi* и пурпурная асцидия *Halocynthia aurantium*. Асцидия пурпурная обитает преимущественно на глубине от 1 до 65 м, и ее запасы позволяют производить промышленный вылов. В Японии, КНДР и Республике Корея эти виды асцидий культивируются на морских плантациях и в больших объемах выращиваются в прибрежной зоне на специальных искусственных рифах. Халоцинтия пурпурная нарастает на канатах с рассадой морской капусты, не мешая ее развитию. Эти животные настолько плотно прикрепляются друг к другу, что канаты становятся похожими на бусы, унизанные красным

бисером. За год жизни халоцинтия пурпурная достигает размеров 3–4 см в длину и имеет при этом строение взрослого животного [1–3]. Продолжительность их выращивания в Японии составляет 2–3 года, за которые асцидии вырастают до товарного размера – около 15 см.

В Корее разработан цикл культивирования смешанного типа бугорчатой асцидии *Halocynthia roretzi* – подращивание асцидии в естественной среде в подвешенном состоянии на плантации. Он заключается в следующем: за несколько дней до начала нереста асцидий помещают в аквариум, где находится уже подготовленный субстрат [7]. Из яиц через 2–5 ч выходят личинки, которые в течение нескольких суток оседают и прикрепляются к нему. Потом субстрат – собственно канаты с прикрепившимися личинками асцидий, вывешивают на коллекторы марихозайства в акватории и подращивают в течение 3–4 лет. По истечении этого периода асцидии, достигающие товарного размера около 15 см в длину и имеющие массу 300–400 г, пригодны к последующему использованию в качестве объекта для исследования, приготовления препарата и использования в пищевой промышленности.

Химический состав асцидий характеризуется наличием специфических компонентов из разряда пептидов, каротиноидов, алкалоидов, углеводов [4–7]. Поэтому асцидии по праву относятся к числу объектов, пригодных для пищевого использования, а также они могут быть полезны в качестве сырьевой базы при производстве лечебно-профилактических веществ и фармакологических препаратов [4–7].

В последние годы добыча халоцинтии пурпурной ведется для получения сырья для производства биологически активной добавки к пище «Хаурантин», изготавливаемой в Тихоокеанском океанологическом институте им. В.И. Ильичева ДВО РАН. За рубежом фармацевты из организма асцидий выделили противораковые препараты эстеинасцидин-743 и асцидин.

Сегодня хозяйства марикультуры, которые существуют на территории Приморского края, занимают около 8 тыс. га площадей. Если культивировать асцидий на части этих хозяйств, то при культивировании асцидий примерно на 2–3 га можно получить около 2,5–3 т сырца. Для получения 50 г препарата «Хаурантин» требуется обработать 1 т асцидии пурпурной [5–7].

Биология и экология асцидии пурпурной, обитающей у берегов Приморья, изучены недостаточно хорошо. Отсутствуют сведения об особенностях размножения и сезонных изменениях в половых железах асцидий. Знания о процессах гонадо- и гаметогенеза и влиянии на них экологических факторов необходимы как для оценки промысловых запасов и определения квот вылова с целью рационального промысла, так и для разработки биотехнологии культивирования асцидии.

Цель настоящей работы – изучение некоторых черт репродуктивной биологии асцидии пурпурной из зал. Петра Великого в 2015, 2016 гг.

Объект и методы исследования

Исследовались половые железы асцидии пурпурной *Halocynthia aurantium* Pallas, выловленной на плантации марикультуры, располагающейся в акватории о. Рикорда и частично о-вов Пахтусова (Японское море) в 2015, 2016 гг. с глубины 15 м. У животных определяли общую массу и высоту тела. Пол животных и состояние гонады определяли на постоянных гистологических препаратах. Гонады фиксировали в 70%-м спирте, проводили через Isoprep (производство БиоВитрум) и заливали в Histomix (производство БиоВитрум) согласно протоколу проводки [8]. Полученные на санном микротоме срезы толщиной 5–6 мкм окрашивали гематоксилином Эрлиха с докраской эозином и заключали в синтетическую монтирующую среду Bio Mount (производство БиоВитрум). Готовые препараты исследовались в проходящем свете при различном увеличении (100, 400) на микроскопе Olympus model ВНТ-2 и фотографировались с помощью цифровой камеры Olympus. Диаметр половых клеток измеряли с помощью винтового окуляр-микрометра МОВ-1-15х.

Результаты и их обсуждение

По внешнему облику асцидия напоминает двугорлую банку, плотно прикрепленную основанием к субстрату и имеющую два отверстия – ротовой и клоакальный сифоны. Снаружи тело покрыто туникой: она одета тонкой, обычно твердой кутикулой, под которой лежит плотная фиброзная сеть, содержащая клетчаткоподобное вещество – туницин и кислые мукополисахариды. Туника выделяется эпителием и обычно пропитывается неорганическими солями, превращаясь в защитную оболочку [4].

Размерный состав асцидии пурпурной зал. Петра Великого в 2015 г. включал особей с длиной от 6,5 до 27,5 см, составив в среднем $12,58 \pm 0,31$ см; в 2016 г. размеры особей варьировали от 7 до 27,1 см, составив в среднем $13,42 \pm 0,39$ см.

Весовой состав асцидии пурпурной в 2015 г. был представлен особями с общей массой в 2015 г. от 52 до 950 г, в 2016 г. – от 86 до 849 г, составив в среднем $343,94 \pm 14,9$ г. Масса кожно-мышечного мешка изменялась от 11 до 470 г, составив в среднем в 2015 г. $137,54 \pm 7,32$ г, в 2016 г. – $138,69 \pm 14,12$ г.

Толщина кожно-мышечного мешка асцидии пурпурной варьировала от 2,4 до 5,0 мм, составив в среднем $3,98 \pm 0,05$ мм.

Асцидии – гермафродиты, у одной и той же особи имеются одновременно и мужские, и женские половые железы. Яичники и семенники лежат по одному или по несколько пар с каждой стороны тела, обычно в петле кишечника. Протоки их открываются в клоаку, так что клоакальное отверстие служит не только для выхода воды и экскрементов, но и для выведения половых продуктов. Самооплодотворения у асцидии не происходит, так как яйца и сперма созревают в разное время. Оплодотворение чаще всего происходит в околожаберной полости, куда с током воды проникают сперматозоиды другой особи. Реже оно бывает снаружи. Оплодотворенные яйца выходят через клоакальный сифон, но иногда яйца развиваются в околожаберной полости и наружу выходят уже сформированные плавающие личинки.

У асцидий, как показали наши исследования, фолликулярный тип оогенеза. Фолликулярные клетки образуют один или несколько слоев вокруг ооцита. Формируются они из соматических клеток гонады и принимают активное участие в процессах роста и созревания ооцита благодаря своей способности отвечать на гормональные стимулы со стороны нервной и эндокринной систем определенных белков и гормонов. Сперматогенные клетки асцидий локализованы в строгой последовательности. Сперматогонии расположены около стенки семенника. По направлению к центру фолликулы находятся сперматоциты, сперматиды и зрелые гаметы, имеющие характерный тип организации. Со стадии сперматогониев до стадии поздних сперматид мужские гаметы соединены межклеточными мостиками.

В мае в половых железах асцидии в мужском компартменте присутствовали сперматоциты и спермии, а в женском компартменте – резорбирующиеся ооциты диаметром 136–204 мкм и небольшое количество растущих ооцитов малого роста диаметром 85–119 мкм. Префолликулярные клетки расположены на поверхности ооцита, образуя пласт и отделяясь от соединительной ткани базальной мембраной. В июне размер зрелых ооцитов увеличился до 274 мкм. В это время начинается стадия уплощенного фолликулярного эпителия, приводящая к первичной его трансформации. Фолликулярные клетки становятся низкопризматическими, кубическими или столбчатыми. В октябре у большинства асцидий яичник был опустошен, а в семеннике находились спермии. Обнаруживались также особи, у которых в женском компартменте находились зрелые ооциты диаметром 383,6 мкм наряду со значительным числом растущих ооцитов с диаметром от 85 до 164,4 мкм. Характерной особенностью женских половых желез в это время было наличие четвертого и пятого периодов развития фолликулярного эпителия, характеризующегося вторичной его трансформацией и совпадающего с завершением большого роста ооцита. В это время фолликулярный эпителий вторично уплощается и через некоторое время разрушается. В некоторых случаях, например,

у сомовых рыб, фолликулярный эпителий входит в состав дефинитивной оболочки яйца. У асцидии же нами обнаружена миграция фолликулярных клеток в цитоплазму зрелого ооцита и изменение формы с округлой на кубическую.

Нами обнаружено, что в половых железах асцидии несколько раз происходит последовательное созревание либо ооцитов, приводящее к их вымету, либо спермиев. Если присутствуют зрелые ооциты, то в семеннике наблюдается резорбция зрелых спермиев и, наоборот, при наличии спермиев в мужском компартменте женский компартмент, как правило, заполнен единичными зрелыми и большим количеством растущих ооцитов.

Полученные данные о некоторых чертах репродуктивной биологии асцидии пурпурной дополняют имеющиеся сведения об этом объекте.

Список литературы

1. Саватеева, Л.Ю. Дальневосточные голотурии и асцидии как ценное пищевое сырье / Л.Ю. Саватеева, М.Г. Маслова, В.Л. Володарский. – Владивосток: Изд-во Дальневост. ун-та, 1983. – 184 с.
2. Саватеева, Л.Ю. Научно обоснованная товароведная характеристика гидробионтов дальневосточных морей и продуктов их комплексной переработки: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Л.Ю. Саватеева. – Л., 1990. – 43 с.
3. Санамян, К.Э. Асцидии (Tunicata: Ascidiacea) прибрежных вод о-ва Старичков / К.Э. Санамян, Н.П. Санамян // Тр. Камчатского филиала Тихоокеанского Института географии ДВО РАН. – Петропавловск-Камчатский: Камчатпресс, 2009. – Вып. VIII. – 350 с.
4. Щербаков, И.А. Исследование и использование асцидии *Halocynthia aurantium* на Дальнем Востоке / И.А. Щербаков // Проблемы экологии морского шельфа: материалы Всерос. науч. молодежной конф.-школы. – Владивосток: Изд-во ДВФУ, 2010. – С. 197–201.
5. Белорукова, А.А. Оценка содержания каротиноидов у асцидий *Halocynthia aurantium* и *Styela clava* / А.А. Белорукова, П.А. Задорожный, Т.Н. Пивненко, Е.В. Якуш // Изв. ТИНРО. – 2006. – Т. 147. – С. 347–353.
6. Добряков, Е.Ю. Фармакологические эффекты экстракта из туники асцидии *Halocynthia aurantium*: автореф. дис. ... канд. мед. наук / Е.Ю. Добряков. – Владивосток, 2004. – 23 с.
7. Моторя, Е.С. Исследование иммуномоделирующей и мембранотропной активности каротиноидов из туники асцидии *Halocynthia aurantium* / Е.С. Моторя, Т.Н. Пивненко, А.К. Гажа, Л.А. Иванушко, В.Н. Воронцов, Н.М. Санина // Тихоокеанский мед. журн. – 2009. – № 3. – С. 28–31.
8. Микодина Е.В. и др. Гистология для ихтиологов: Опыт и советы. – М.: Изд-во ВНИРО, 2009. – 112 с.

Сведения об авторах: Матросова Инга Владимировна, кандидат биологических наук, доцент, e-mail: ingavladm@mail.ru;

Лескова Светлана Евгеньевна, кандидат биологических наук, доцент, e-mail: svetaleskova@mail.ru.

УДК 575.26

**И.М. Мирабдуллаев¹, Е.Н. Гинатуллина², А.Р. Кузметов¹, А.К. Мусаев³,
К.А. Сапаров³, З.А. Мустафаева¹**

¹Национальный университет Узбекистана,
Узбекистан, 100174, г. Ташкент, Вузгородок

²Институт санитарии, гигиены и профессиональных заболеваний,
Узбекистан, 100056, г. Ташкент, ул. Олтын-Тепа, 325

³Научно-исследовательский институт естественных наук Каракалпакского отделения
Академии наук Республики Узбекистан,
Узбекистан, 142000, г. Нукус, Проспект Бердаха, 41

ПЛАНКТОННЫЕ СООБЩЕСТВА ГИДРОЭКОСИСТЕМ ВЕТЛАНДА СУДОЧЬЕ (ПРИАРАЛЬЕ, УЗБЕКИСТАН)

Исследовали фито- и зоопланктон 4 крупнейших озер ветланда Судочье. Фитопланктон представлен 271 видами водорослей, из которых почти половина относится к диатомовым. Зоопланктон представлен 76 видами, из которых 8 видов являются новыми для Каракалпакии, 1 – новый для фауны Узбекистана. Рассмотрены изменения состава зоопланктона в связи с изменением минерализации.

Ключевые слова: фитопланктон, зоопланктон, ветланд, озера, минерализация, Судочье, Приаралье, Узбекистан.

**I.M. Mirabdullayev, E.N. Ginatullina, A.R. Kuzmetov, A.K. Musaev, K.A. Saparov,
Z.A. Mustafaeva**

PLANCTON COMMUNITIES OF HYDROECOSYSTEMS OF WETLAND SUDUCHYE (ARAL SEA REGION, UZBEKISTAN)

Phyto- and zooplankton of the 4 largest lakes of the Wetland Sudochie were investigated. Phytoplankton was represented by 271 seaweed species, almost half of them belong to Bacillariophyta. Zooplankton was represented by 76 species, 8 of them are new to fauna of Karakalpakstan, and 1 species is new to fauna of Uzbekistan. Changes in zooplankton composition in connection with changes of mineralization are discussed.

Key words: phytoplankton, zooplankton, wetland, lakes, mineralization, Sudochye, Aral Sea region, Uzbekistan.

Введение

Бывший залив Аральского моря (в XIX в.), расположенный на северо-западе Узбекистана (рис. 1), ветланд Судочье остается одной из наиболее сохранившихся экологических зон дельты р. Амударьи, местом сохранения и поддержания биологического разнообразия этого региона. Это одна из крупнейших озерных систем Центральной Азии, имеющая важное значение также для рыболовства и охоты на ондатру. На современном этапе ветланд Судочье состоит из большого числа небольших и четырёх относительно крупных водоемов, а также из прилежащих к ним территорий (рис. 2).

В 2000–2002 гг. нами в рамках мониторинговых исследований и сбора данных в рамках проекта Глобального Экологического Фонда (GEF) «Экологический мониторинг ветланда Судочье» были проведены комплексные гидробиологические исследования на самых крупных озерах ветланда: Акушпа, Каратерень, Бегдулла-Айдын и Большое Судочье. Все озера мелководны, впрочем, как и почти все другие водоемы низовьев Амударьи.



Рис. 1. Карта Узбекистана. S – ветланд Судочье
 Fig. 1. Map of Uzbekistan. S – ветланд Sudochy

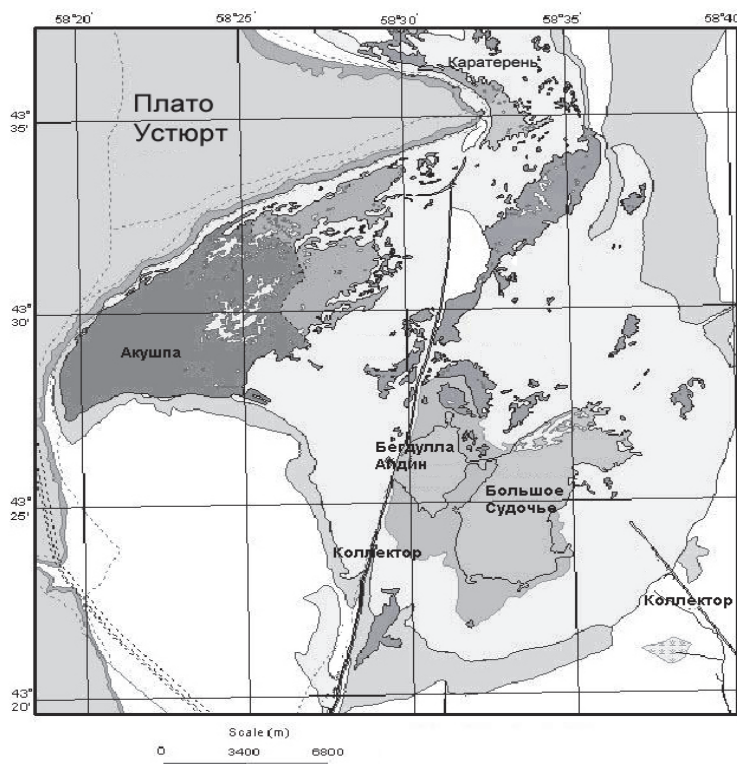


Рис. 2. Карта ветланда Судочье
 Fig. 2. Card of a vetland of Sudochy

Объекты и методы исследований. Общая характеристика озера

Оз. Акушпа занимает западную часть ветланда Судочье, прилегая к восточной оконечности чинка плато Устюрт, это самый большой водоем ветланда, площадь которого в многоводные годы превышает более 12000 га. Глубина 1,0–1,8 м. Свободная зеркальная поверхность озера составляет около 60 % от общей его площади, остальная территория озера покрыта зарослями тростника.

Оз. **Каратерень** огибает мыс Урга плато Устюрт. Глубина в центральной части достигает 1,8–2,2 м, средняя глубина равна 1,0–1,2 м.; площадь водного зеркала – 475 га. Со всех сторон озеро окружено сплошными зарослями тростника и рогоза.

Оз. **Бегдулла-Айдын** расположено в центральной части ветланда. Глубина не превышает 1,4–1,5 м, средняя глубина равна 0,6–0,8 м, площадь – 1850 га.

Оз. **Большое Судочье** расположено в юго-восточной части ветланда, имеет удлиненную форму, глубины не превышают 1,2–1,4 м, площадь равна 5100 га. Основной плёс озера практически не имеет зарослей надводной растительности, берега северного залива водоёма покрыты зарослями тростника, образующего в этом районе многочисленные островки растительности, на остальной части береговой линии доминируют рогозовые ассоциации.

Минерализация воды в озерной системе варьировала по годам и сезонам (табл. 1). Основной причиной высокой минерализации воды в озерах является поступление коллекторно-дренажных вод, с которыми в него ежегодно поступает от 2000 до 2600 тыс. т соли. Бессточность озерной системы и высокая интенсивность испарения (около 1000 мм в год) обуславливают ежегодное увеличение минерализации воды в среднем на 1 г/л. В 2001 г. поступление в ветланд воды по коллекторам практически полностью прекратилось, что привело к многократному увеличению минерализации воды в озерах, а оз. Большое Судочье летом полностью высохло (табл. 1). Все это кардинальным образом сказалось на биоте озер.

Таблица 1

Динамика минерализации озер в 2000-2002 гг, г/л

Table 1

Dynamics of a mineralization of lakes in 2000-2002, g/l

Озера	2000			2001			2002		
	Апрель	Июнь	Октябрь	Апрель	Июнь	Октябрь	Апрель	Июнь	Октябрь
Акушпа	15-25	25-35	25-45	25-40	40-50	50	40-50	10-20	10-20
Каратерень	7	8	12	8	15	50	25-35	5	8
Бегдулла-Айдын	3	6	8	8	40	50	10	5	5
Большое Судочье	3	6	12	8	Высох.	Высох.	10-20	5-10	5

Объектами исследований являются организмы зоопланктона (коловратки, ветвистоусые и веслоногие рачки) и фитопланктона (микроводоросли).

Фитопланктон изучали стандартными методами [1]: пробы фитопланктона отбирали батометром и фиксировали раствором Люголя с добавлением формалина – и отстаивали в стеклянном цилиндре. Подсчет микроводорослей вели в камере Фукс-Розенталя под микроскопом Zeiss.

Зоопланктон изучали стандартными методами [1–3]. Количественные пробы отбирали 10-литровым ведром и процеживали 100 л воды через коническую сеть из капронового сита № 76. Качественные пробы собирали протягиванием планктонной сети. Пробы отбирали в пелагиали, в зарослях макрофитов и на прибрежных мелководьях и фиксировали формалином.

Количественную обработку вели под стереомикроскопом МБС-7, используя камеру Богорова и штемпель-пипетку. Индивидуальные веса зоопланктеров вычисляли, используя формулы аллометрического роста, связывающие длину и вес [3–4]. Для сравнения сходства видового состава водоемов использовали коэффициент Сёренсена-Чекановского.

Результаты и их обсуждение

Фитопланктон

Фитопланктон озёр ветланда Судочье представлен 271 видами водорослей, среди которых по видовому богатству выделяются диатомовые водоросли, представленные 130 видами (47 % от общего видового состава), за ними по видовому разнообразию следуют цианобактерии – 79 вида (28 %) и зелёные водоросли – 57 видов (20 %). Остальные систематические группы водорослей представлены единичными формами организмов (рис. 3). Качественный состав микроводорослей оз. Акушпа насчитывает 105 видов, оз. Каратерень – 107 видов, оз. Большое Судочье – 116 видов и оз. Бегдулла-Айдын – 82 вида.

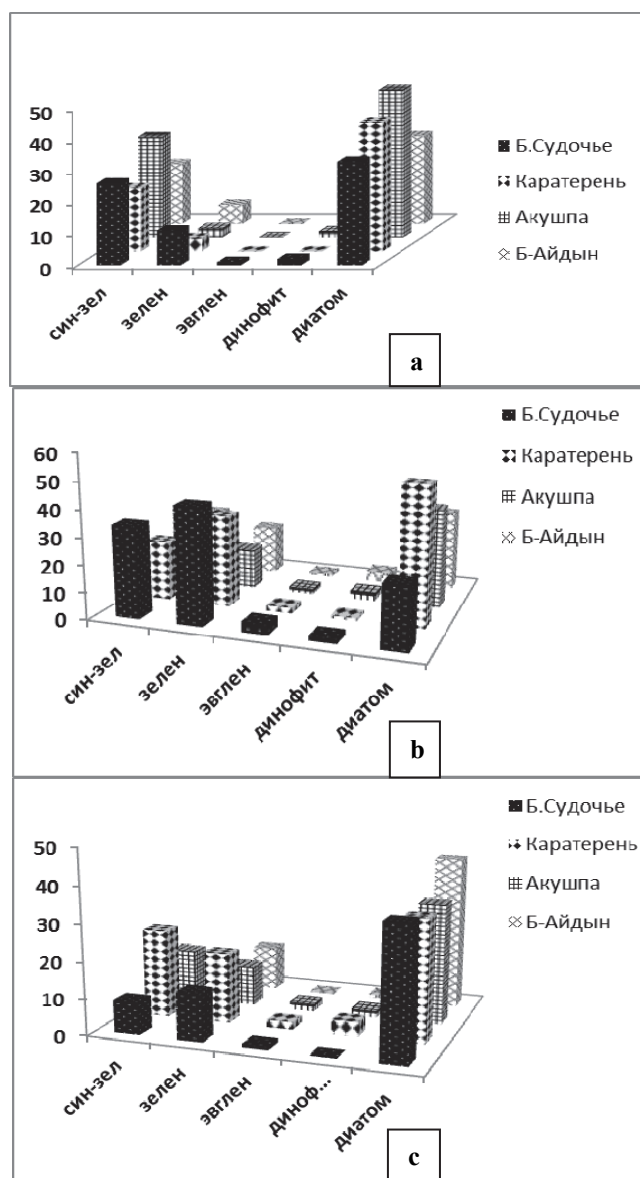


Рис. 3. Сезонные изменения в видовом разнообразии водорослей (по оси ординат – количество видов) озёр ветланда Судочье в 2000 г. а – весна, б – лето, с – осень

Fig. 3. Seasonal changes in a specific variety of seaweed (on ordinate axis – quantity of types) lakes of a wetland of Sudochoye in 2000: a – spring, b – summer, c – fall

Альгофлора каждого из озёр ветланда имеет свои индивидуальные особенности, определяемые условиями окружающей среды и прежде всего уровнем минерализации воды. Наибо-

лее близок качественный состав микроводорослей озёр Бегдулла-Айдын и Большое Судочье, менее – этих озёр и оз. Каратерень и наименее – этих трёх озёр и оз. Акушпа (табл. 2). Значения коэффициентов видового сходства этих озёр соответствуют степени различия их минерализации, что подчеркивает доминирующее значение этого фактора в формировании качественного состава альгофлоры.

Таблица 2

Коэффициенты видового сходства Чекановского-Серенсена альгофлоры озёр ветланда Судочье

Table 2

Coefficients of specific similarity of Chekanovsky-Serensen algoflor of lakes of a vetland of Sudochye

Озера	Акушпа	Каратерень	Бегдулла-Айдын	Большое Судочье
Акушпа		28,0	26,0	25,0
Каратерень	28,0		39,0	31,0
Бегдулла-Айдын	26,0	39,0		52,0
Большое Судочье	25,0	31,0	52,0	

Высокая минерализация южной части оз. Акушпа обуславливает развитие типично морских видов цианобактерий и диатомовых водорослей, составлявших здесь подавляющую часть фитопланктона и не встречающихся в остальных озёрах. В менее минерализованной средней части озёра преобладают солоноватоводные виды цианобактерий и в наименее минерализованной северной части озера – пресноводно-солоноватоводные виды диатомовых водорослей. В остальных озёрах ветланда доминировали пресноводные и пресноводно-солоноватоводные формы водорослей, причём в озёрах Каратерень и Бегдулла-Айдын преобладали диатомовые и цианобактерии, а в оз. Большое Судочье – цианобактерии и зелёные водоросли (см. рис. 3, табл. 3).

Таблица 3

Вклад отдельных групп водорослей в формирование фитопланктона озёр ветланда (N – % от общей численности, B – % от общей биомассы, А – апрель, И – июль, О – октябрь)

Table 3

Contribution of separate groups of seaweed to formation of phytoplankton of lakes of a vetland (N – % of total number, B – % of the general biomass, A – April, I – July, O – October)

Показатели		Озёра											
		Акушпа			Каратерень			Бегдулла-Айдын			Большое Судочье		
		А	И	О	А	И	О	А	И	О	А	И	О
<i>Bacillariophyta</i>	N	73	78	28	8	46	68	67	53	85	67	0	92
	B	88	48	55	40	72	81	81	39	94	73	0	98
<i>Cyanophyta</i>	N	27	22	72	92	51	21	33	42	15	21	91	2
	B	12	52	45	60	27	18	19	59	6	12	89	2
<i>Chlorophyta</i>	N	0	0	0	0	3	11	0	5	0	12	9	0
	B	0	0	0	0	1	7	0	2	0	15	11	0

Формирование количественного состава фитопланктона озёр происходит за счёт относительно небольшого числа доминирующих форм водорослей – 34 вида, из них в оз. Акушпа доминировало 6 видов, в оз. Каратерень – 12 видов, в оз. Бегдулла-Айдын – 13 видов и в оз. Большое Судочье – 15 видов. Подавляющую часть численности и биомассы фитопланктона озёр ветланда составляют цианобактерии и диатомовые водоросли, и только в оз. Большое Судочье вместе с ними относительно значительного развития достигают зелёные водоросли. Наибольшего развития фитопланктон достигает в летний период года, причём в озерах Акушпа и Каратерень основную его часть составляли диатомовые водоросли, а озёрах Бегдулла-Айдын и Большое Судочье – цианобактерии (табл. 3).

Индекс сапробности фитопланктона оз. Акушпа колебался в пределах от 2,43 до 2,51, оз. Каратерень – от 2,26 до 2,50, оз. Бегдулла-Айдын – от 2,37 до 2,67 и оз. Большое Судочье – от 2,31 до 2,54. По значению сапробности все озёра ветланда относятся к β -мезосапробному (умеренно загрязнённому) типу водоёмов.

Зоопланктон

Всего за период мониторинга отмечено 76 таксонов планктонных животных – 1 вид инфузорий, 1 вид турбеллярий, 1 вид аннелид, 38 видов *Rotifera*, 12 видов *Cladocera*, 22 вида *Copepoda*, 2 вида *Ostracoda* (табл. 6). Это заметно больше, чем было известно для оз. Судочье в предшествующие периоды исследования. Например, в 1933 г. было отмечено 50 видов планктонных животных, а в 1970–1986 гг. – 48 видов [5]. Больше выявленное разнообразие зоопланктона обусловлено главным образом более подробными исследованиями в ходе реализации проекта.

Впервые для оз. Судочье отмечено 24 вида зоопланктеров. Восемь видов являются новыми для фауны Каракалпакстана: *Testudinella elliptica*, *Euchlanis incisa*, *Cephalodella sp.*, *Lecane plesia*, *L. stenroosi*, *L. thalera*, *Lophocharis kutikova*, *Diacyclops longuides*. Новым для фауны Узбекистана видом является коловратка *Euchlanis incisa*. По сравнению с предшествующими исследованиями XX в. [5] из планктона озера исчезли такие представители северной палеарктической фауны, как *Sida cristallina*, *Diaphanosoma brachyurum*, *Ceriodaphnia quadrangula*, *C. affinis*, *C. reticulata*, *C. pulchella*, *Scapholeberis mucronata*, *Bosmina longirostris*, *Polyphemus pediculus*, *Leptodora kindtii*, а также представитель Арало-Каспийской фауны *Podonevadne camptonux*.

Эндемиком Приаралья, внесенным в Красную Книгу Узбекистана (2009), является веслоногий рачок *Schizopera aralensis* Borutsky. Этот вид исчез из Аральского моря и его нахождение в озере Судочье представляет природоохранный интерес [6].

В водоеме сравнительно много (6 видов) гарпактицид, что не характерно для озер Центральной Азии и, вероятно, объясняется влиянием морской Аральской фауны. На некоторых видах (*Cletocamptus retrogressus*, *Schizopera aralensis*) отмечены эпибионтные цилиаты из морского рода *Cothurnia*. Из других представителей Аральской фауны (ныне исчезнувшей в связи с осолонением в самом Арале) в планктоне Судочья отмечены морской циклоп *Halicyclops rotundipes* и личинки полихеты *Nereis diversicolor*. Определенный зоогеографический интерес представляет нахождение в озерах ветланда тропической солоноватоводной гарпактициды *Onychocamptus bengalensis*, известной ранее лишь из водоёмов Индии и Австралии [7]. Морские виды отмечены главным образом в более осолоненных озерах Акушпа и Каратерень. Наибольшим разнообразием зоопланктона характеризовались менее минерализованные озера Бегдулла-Айдын, Большое Судочье, Каратерень по сравнению с более осолоненным оз. Акушпа (табл. 7). Общей тенденцией за время мониторинга являлось значительное снижение (в 1,5–3 раза) разнообразия зоопланктона озёр Бегдулла-Айдын, Большое Судочье и Каратерень, что связано с их прогрессирующим осолонением во время засухи 2000–2001 гг. Ранее также отмечалось значительное снижение разнообразия зоопланктона в

периоды осолонения оз. Судочье [5]. В то же время зоопланктон оз. Акушпа был более стабилен, что связано с формированием здесь устойчивого комплекса из 8–10 галофильных видов. Однако пересыхание этого озера в 2001 г. привело, по-видимому, к выпадению из его гидрофауны ряда представителей Аральской фауны, в первую очередь гарпактицид (табл. 4). Доля галофильных видов увеличивалась в 2000–2001 гг. и начала снижаться в 2002 г. в связи с распреснением водоемов (табл. 5).

Для озер Бегдулла-Айдын, Большое Судочье, Каратерень индикаторными видами можно считать *Brachionus angularis*, *B. plicatilis*, *Hexarthra oxyuris*, *Keratella tropica*, *K. valga*, *Synchaeta sp.*, *Chydorus cf. sphaericus*, *Eucyclops serrulatus*, *Cyclops vicinus* (весной), *O. mohammed*. Для более осолоненного оз. Акушпа таковыми являются *Brachionus plicatilis*, *Hexarthra oxyuris* (летом), *Synchaeta sp.*, *Apocyclops dengizicus*, *Halicyclops rotundipes*, *Cletocamptus retrogressus*, *Onychocamptus bengalensis*, *Schizopera aralensis*.

Таблица 4

Фаунистическое разнообразие (количество видов) зоопланктона озер ветланда Судочье

Table 4

Faunistic variety (quantity of types) of zooplankton lakes of a wetland of Sudochoye

Озера	2000			2001			2002		
	Апрель	Июнь	Октябрь	Апрель	Июнь	Октябрь	Апрель	Июнь	Октябрь
Акушпа	15	9	10	17	9	-	16	5	6
Каратерень	26	20	10	8	6	4	9	11	22
Бегдулла-Айдын	18	23	4	8	-	-	7	11	29
Большое Судочье	14	14	6	9	-	-	9	8	31
Всего	45	40	16	21	13	4	22	21	47

Поступление большого количества пресной воды в 2002 г. привело к резкому увеличению разнообразия зоопланктона – количество видов осенью 2002 г. даже превысило соответствующие показатели осени 2000 г. (табл. 5). Это произошло за счет интенсивного развития пресноводных видов. В то же время пересыхание оз. Акушпа в 2001 г. привело, по-видимому, к выпадению из его гидрофауны ряда представителей Аральской фауны, в первую очередь гарпактицид, что привело к дальнейшему снижению здесь разнообразия зоопланктона.

Таблица 5

Доля галофильных видов в качественном составе зоопланктона, %

Table 5

Share the galofilynykh of types in qualitative structure of zooplankton, %

Озера	2000			2001			2002		
	Апрель	Июнь	Октябрь	Апрель	Июнь	Октябрь	Апрель	Июнь	Октябрь
Акушпа	60	100	100	63	89	-	53	100	100
Каратерень	16	20	50	33	50	100	44	45	41
Бегдулла-Айдын	22	33	75	50	-	-	67	18	7
Большое Судочье	38	50	80	67	-	-	50	25	6

В таксономическом отношении наиболее разнообразны были коловратки. В ходе осолонения озер доля коловраток и кладоцер в разнообразии зоопланктона постоянно снижалась, а доля копепод возрастала (табл. 6). В 2002 г. в связи с распреснением озер произошло в значительной степени восстановление исходной таксономической структуры зоопланктона ветланда.

Таблица 6

**Таксономическая структура зоопланктона ветланда Судочье
(доля отдельных таксономических групп, %)**

Table 6

**Taxonomical structure of zooplankton of a wetland of Sudochye
(share of separate taxonomical groups, %)**

Таксоны	2000			2001			2002		
	Апрель	Июнь	Октябрь	Апрель	Июнь	Октябрь	Апрель	Июнь	Октябрь
Rotifera	33	60	19	38	23	25	36	48	53
Cladocera	22	10	12	0	0	0	0	10	15
Copepoda	18	30	56	48	69	75	45	38	30

Разнообразие зоопланктона, как правило, снижалось от весны к осени (см. табл. 4), что связано как с сезонной динамикой минерализации озер, так и появлением летом большого количества молоди рыб, активно потребляющей зоопланктон. В 2002 г., однако, наблюдалась обратная тенденция увеличения разнообразия зоопланктона от весны к осени, обусловленная, очевидно, распреснением озер в течение 2002 г. и снижением на зоопланктон пресса рыб.

В 2000–2001 гг. в связи с ростом минерализации водоемов происходило заметное сближение состава зоопланктона всех исследованных водоемов, что было связано с постепенным выпадением из планктонных сообществ большинства пресноводных видов и формированием однородной галофильной и галотолерантной фауны. В 2002 г. в связи с увеличением разнообразия минерализации водоемов, а также с общим увеличением разнообразия зоопланктона наблюдалось и уменьшение сходства видового состава зоопланктона между различными озерами ветланда (табл. 7).

Таблица 7

Динамика изменения коэффициента сходства видового состава Серенсена-Чекановского зоопланктона ветланда Судочье (средние значения; А – апрель, И – июнь, О – октябрь)

Table 7

Dynamics of change of coefficient of similarity of specific structure of Serensena-Chekanovsky zooplankton of a wetland of Sudochye (average values; A – April, I – June, O – October)

Озера	2000			2001			2002		
	А	И	О	А	И	О	А	И	О
Акушпа	34	50	62	48	70	-	40	39	21
Каратерень	31	30	58	56	58	-	58	50	44
Бегдулла-Айдын	35	45	58	60	-	-	64	50	50
Большое Судочье	28	41	64	57	-	-	59	55	52
Среднее	33,2	43,6	60,8	55,4	68,7	-	55,6	49,9	42,0

По степени сходства видового состава озера распадаются на две группы. С одной стороны, это осолоненное оз. Акушпа, с другой – более пресноводные озера Каратерень, Бегдулла-Айдын и Большое Судочье (табл. 7). При этом зоопланктон озер Бегдулла-Айдын и Большое Судочье был в качественном отношении более сходным между собой, чем оз. Каратерень. Это связано с большим сходством морфологии и гидрологии озер Бегдулла-Айдын и Большое Судочье. Заметное различие зоопланктона оз. Каратерень также связано, видимо, с большим разнообразием его биотопов, и как следствие, с большим разнообразием зоопланктона.

В большинстве озер зоопланктон количественно был более развит весной и летом, чем осенью. В ходе проведения мониторинга отмечены две разные тенденции в количественном развитии зоопланктона. В первый год маловодья (2000 г.) наблюдалось значительное снижение численности и биомассы зоопланктона. Резкое повышение минерализации в Акушпе привело к тому, что практически полностью выпала пресноводная фауна, в то время как ряд галофильных видов (такие, как *Apocyclops dengizicus*, *Halicyclops rotundipes*, *Nereis diversicolor*) еще не успели заселить эти водоемы. В дальнейшем наблюдалась явная тенденция увеличения биомассы зоопланктона, особенно сильно выраженная в 2002 г. (табл. 8), что, очевидно, связано со значительным уменьшением пресса популяций рыб.

Заметное количественное развитие зоопланктона оз. Акушпа также можно связать с бедностью ихтиофауны этого водоема. Таким образом, можно констатировать недоиспользование рыбами естественной кормовой базы в озерах ветланда в связи со слабым развитием рыбного населения.

Индекс сапробности по зоопланктону озер Каратерень, Бегдулла-Айдын и Большое Судочье колебался в пределах 1,5–1,8, что соответствует β-мезосапробной зоне (умеренному органическому загрязнению). Для оз. Акушпа надежную оценку сапробности не удалось получить ввиду отсутствия данных об индикаторном значении большинства галофильных организмов.

Таксономически и количественно зоопланктон был более развит на мелководьях и в зарослях макрофитов, что обусловлено обитанием здесь не только истинно планктонных, но и факультативно планктонных, бентосных и зарослевых форм. Зарослевая фауна была везде более разнообразной, чем пелагическая, и практически включала все отмеченные виды. Только в зарослях отмечены коловратки *Lecane plesia*, *L. stenroosi*, *L. cf. punctata*, *Lepadella cf. patella*, *Trichotria pocillum*, циклоп *Megacyclops viridis*, ветвисоусые рачки *Simocephalus vetulus* (типичный представитель зарослевой фауны) и *Alona rectangula*. Как правило, пробы зарослевого зоопланктона более разнообразны, чем пробы пелагического зоопланктона.

Таблица 8

**Численность (тыс.экз./м³) и биомасса (г/м³) зоопланктона озер
(А – апрель, И – июнь, О – октябрь)**

Table 8

**Number (thousand copies/m³) and biomass (g/m³) of zooplankton of lakes
(A – April, I – June, O – October)**

Годы	2000			2001			2002		
	А	И	О	А	И	О	А	И	О
Месяцы	2	3	4	5	6	7	8	9	10
АКУШПА									
Пелагиаль									
Численность	15800	3060	3200	1950	738	-	5060	5900	7060
Биомасса	0,190	0,010	0,008	0,091	0,110	-	0,060	0,071	0,042

Окончание табл. 8

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Макрофиты									
Численность	28030	13010	14120	41520	1640	-	-	-	-
Биомасса	0,314	0,029	0,092	0,737	0,155	-	-	-	-
КАРАТЕРЕНЬ									
Пелагиаль									
Численность	10670	1240	170	3800	3012	850	21060	30300	3880
Биомасса	0,026	0,005	0,001	0,157	0,143	0,595	0,174	0,132	0,088
Макрофиты									
Численность	17620	1635	860	4470	630	-	30700	47800	13020
Биомасса	0,064	0,160	0,016	0,044	0,034	-	0,498	0,530	0,230
БЕГДУЛЛА-АЙДЫН									
Пелагиаль									
Численность	9650	1145	140	7845	-	-	56800	70600	32600
Биомасса	0,026	0,007	0,001	0,066	-	-	0,132	0,310	0,187
БЕГДУЛЛА-АЙДЫН									
Пелагиаль									
Численность	17620	1635	860	-	-	-	42600	120000	44300
Биомасса	0,064	0,160	0,016	-	-	-	1,008	0,521	0,230
БОЛЬШОЕ СУДОЧЬЕ									
Пелагиаль									
Численность	12000	1903	760	35000	-	-	46600	111000	27300
Биомасса	0,088	0,005	0,003	0,083	-	-	0,097	0,360	0,159
Макрофиты									
Численность	19040	21350	870	-	-	-	49900	103000	52000
Биомасса	0,131	0,101	0,004	-	-	-	0,222	0,760	0,312

Поскольку именно пелагиаль является наиболее типичным планктонным биотопом, то показатели биомассы зоопланктона в 2000–2001 гг. здесь характеризовали скорее олиготрофные условия. Это кажется парадоксальным для такого конечного ирригационного водоема, каким сейчас является система озер Судочье. Однако нужно учесть чрезвычайную зарастаемость водоема жесткой и мягкой водной растительностью, создающей (путем потребления биогенов макрофитами) в результате, по-видимому, олиготрофные условия в пелагиали. Можно сделать вывод, что в исследованных озерах основные потоки энергии идут, очевидно, не через планктонную цепь, а через макрофиты и, возможно, обрастания (перифитон). В пользу этого в частности говорит и тот факт, что в зарослевых и прибрежных биотопах количественные показатели развития зоопланктона характеризовали скорее мезотрофные условия. В количественном отношении зоопланктон исследованных озер был, как правило, копеподный – доля *Copepoda* по биомассе достигала 80–90 % и более. Особенно значительной доля копепод была в период усыхания и осолонения водоемов 2000–2001 гг., что связано с развитием галофильных видов и снижением пресса рыб на рачковый планктон. Летом 2002 г. отмечено массовое развитие кладоцеры *Moina brachiata* на мелководьях озер Бегдулла-Айдын и Большое Судочье. Доля рачков в суммарной численности зоопланктона была менее значительна по сравнению с коловратками, что связано с меньшими размерами и быстрым темпом размножения последних.

Выводы

По значению сапробности все озёра ветланда относятся к β -мезосапробному (умеренно загрязнённому) типу водоёмов. Количественное развитие альгофлоры и зоопланктона озёр ветланда позволяет отнести их по типу продуктивности к олиготрофной группе водоёмов. Это кажется парадоксальным, учитывая конечное расположение озёр ветланда в гидрографической сети региона. Однако необходимо учесть обильное развитие гидрофитов и гидатофитов, потребляющих, очевидно, основную часть биогенных элементов (N, P) и таким образом конкурентно подавляющих развитие фитопланктона.

Увеличение подачи воды в озера и увеличение их глубины должно привести к расширению зоны пелагиали, снижению роли гидрофитов, гидатофитов и перифитона. Это в свою очередь создаст лучшие условия для развития фитопланктона, являющегося основным компонентом питания толстолобика, улучшит кислородный режим озёр.

Список литературы

1. Практическая гидробиология. Пресноводные экосистемы / под ред. В.Д. Федорова, В.И. Капкова. – М.: Изд-во МГУ, 2006. – 365 с.
2. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем. – СПб.: Гидрометеиздат, 1996. – 319 с.
3. Салазкин, А.А. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зоопланктон и его продукция / А.А. Салазкин, В.А. Иванова, В.А. Огородникова. – Л., 1984.
4. Ruttner-Kolisko A. Suggestion for biomass calculation of plankton rotifers // Arch. Hydrobiol., Ergebn. Limnol. – 1977. – Vol. 8. – P. 3–13.
5. Казахбаев, С. Современное состояние зоопланктона озера Судочье / С. Казахбаев // Структура сообществ гидробионтов в низовьях Амударьи. – Ташкент: Фан, 1988. – С. 29–37.
6. Мирабдуллаев, И.М. Озеро Судочье как рефугиум аральской гидрофауны / И.М. Мирабдуллаев, В.Н. Тальских, К.В. Громыко // Доклады Академии наук Республики Узбекистан. – 2001. – № 6/7. – С. 74–75.
7. Mirabdullayev I.M., Ishida T. Records of tropical harpacticoid *Onychocamptus bengalensis* (Sewell, 1934) (Crustacea, Copepoda) in the Aral Sea region // TETHYS Aqua Zoological Research. Vol. 1. Almaty: Tethis. – 2002. – P. 149–154.

Сведения об авторах: Мирабдуллаев Искандар Мирбатирович, доктор биологических наук, профессор, e-mail: mirabdullayev@rambler.ru;

Кузметов Абдулахмет Раимбердиевич, кандидат биологических наук, доцент, e-mail: kuzmetov6108@rambler.ru;

Гинатуллина Елена Николаевна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, e-mail: e-ginatullina@yandex.ru;

Мусаев Аблатдийн Кераматдинович, младший научный сотрудник, e-mail: ablatdiyn@yahoo.com;

Сапаров Куаныш Абдирахманович, младший научный сотрудник;

Мустафаева Зури Асановна, младший научный сотрудник, e-mail: zuri05@mail.ru.

УДК 504.453:519.63

В.А. НаумовКалининградский государственный технический университет,
236022, г. Калининград, Советский пр., 1**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИФFUЗНОГО
ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДОТОКОВ**

Предложена математическая модель распространения в водотоке загрязнений от диффузных источников. Система уравнений и граничные условия приведены к безразмерной форме. Поставленная параболическая краевая задача решена численным методом в среде Mathcad. Предложенная математическая модель позволяет рассчитывать профили концентрации примеси при различной интенсивности диффузных источников как на одном, так и на обоих берегах реки. С помощью этих данных можно оценить влияние загрязнения на экосистему водотока. Установлено, что использование рекомендуемой методическими указаниями формулы для коэффициента поперечной диффузии приводит к существенному занижению расчетных значений загрязнения водотока.

Ключевые слова: водоток, диффузное загрязнение, краевая задача, граничные условия, коэффициент поперечного рассеивания.

V.A. Naumov**MATHEMATICAL MODELING OF DIFFUSE POLLUTION IN WATERCOURSES**

The mathematical model of the watercourse spread pollution from diffuse sources was proposed. The system of equations and boundary conditions are reduced to dimensionless form. The parabolic boundary value problem was solved numerically in Mathcad. The proposed mathematical model allows to calculate the profiles of the concentration of impurities at various intensities of diffuse sources such as on one or on both sides of the river. Using these data we can estimate the effect of pollution on the ecosystem of the watercourse. The use of recommended guidelines, the formula for the coefficient of transverse diffusion leads to a significant underestimation of the calculated values of the watercourse pollution.

Key words: watercourse, diffuse pollution, boundary value problem, boundary conditions, coefficient of transverse dispersion.

Введение

Закономерности распространения загрязнений по водотокам очень важны для оценки состояния экологических систем водных объектов. Поэтому математическому моделированию таких процессов посвящено большое количество исследований [1–8]. Как отмечено в [5], загрязняющие вещества попадают в водные объекты не только из сосредоточенных источников (сбросы предприятий, городские очистные сооружения и т.д.), значительная их часть поступает с водосборных бассейнов. Причем в отличие от сосредоточенных стоков, которые могут быть проконтролированы в той или иной степени, такое диффузное загрязнение водотоков практически не поддается непосредственному контролю. В данной статье представлена математическая модель распространения примесей по водотоку при диффузном загрязнении.

Для решения практических задач распространения примесей по водотокам наиболее приемлемым является использование двумерных стационарных моделей переноса с осреднением концентрации пассивной примеси по глубине [2, 5, 6]. В данной работе рассматриваются процесс горизонтального распространения не осаждающейся консервативной взвеси. Полагаем, что диффузные источники сохраняют свою интенсивность достаточно долго, чтобы можно было решать задачу в стационарном приближении.

Математическая постановка задачи

При указанных условиях эволюция средних значений концентрации примеси на вертикали $C(X, Y)$ описывается следующей системой дифференциальных уравнений в частных производных [2, 6]:

$$U \frac{\partial C}{\partial X} = \frac{\partial}{\partial Y} (D \cdot Q), \quad Q = \frac{\partial C}{\partial Y}, \quad (1)$$

где X, Y – продольная и поперечная координаты; H – средняя глубина водотока; D – коэффициент поперечной турбулентной диффузии примеси.

Обычно полагают водоток прямолинейным, постоянной глубины H , со средней (по расходу) продольной скоростью $U = \text{const}$, при этом поперечная и вертикальная осредненные скорости водотока считают равными нулю. Ось Ox направим вдоль берега в сторону течения, ось Oy – поперек потока.

По физическому смыслу рассматриваемая задача является параболической. Для математической постановки параболической задачи необходимо задать граничные условия по концентрации в исходном сечении водотока $C(0, Y)$, ее производной по поперечной координате $Q(0, Y)$ и вдоль береговых линий вниз по течению. В исходном сечении задаем фоновое значение концентрации C_ϕ во всех точках. Так как вдоль береговой линии находятся диффузные источники загрязнения, то справедливы следующие граничные условия:

$$C(0, Y) = C_\phi; \quad Q(0, Y) = f_0(Y) \quad Q(X, 0) = f_1(X), \quad Q(X, B) = f_2(X), \quad (2)$$

где B – ширина водотока.

Приведем систему дифференциальных уравнений (1) и граничные условия (2) к безразмерной форме:

$$\frac{\partial c}{\partial x} = a \cdot \frac{\partial q}{\partial y}; \quad q = \frac{\partial c}{\partial y}; \quad c(0, y) = c_\phi; \quad q(0, n) = 0; \quad q(x, 0) = f_1(x); \quad q(x, 1) = f_2(x); \quad (3)$$

$$x = \frac{X}{B}; \quad y = \frac{Y}{B}; \quad q = \frac{Q \cdot B}{C_{\text{ПДК}}}; \quad a = \frac{D}{U \cdot B}; \quad c = \frac{C}{C_{\text{ПДК}}}, \quad (4)$$

где $C_{\text{ПДК}}$ – предельно допустимая концентрация рассматриваемого вещества в водотоке.

Расчет коэффициента поперечного рассеивания примеси

Коэффициент поперечной турбулентной диффузии рекомендуется в [9] для летнего времени вычислять по формуле

$$D = \frac{g \cdot U_{\text{cp}} \cdot H}{37 \cdot n \cdot Cs^2}, \quad (5)$$

где n – коэффициент шероховатости ложа реки, определяемый по справочным данным (по таблице М.Ф. Срибног); Cs – коэффициент Шези ($\text{м}^{0.5}/\text{с}$).

По формуле Н.Н. Павловского при $H \leq 5$ м:

$$Cs = R^{ys} / n, \quad ys = 2,5 \cdot \sqrt{n} - 0,13 - 0,75 \cdot \sqrt{R} \cdot (\sqrt{n} - 0,1), \quad (6)$$

где R – гидравлический радиус водотока, м (для широких водотоков $R \approx H$).

В [7] показано, что значительная часть экспериментальных данных по поперечному рассеиванию примеси в водотоках согласуется с эффективным коэффициентом, рассчитанным по формуле

$$D_{Э1} = 0,15 \frac{U_{cp} \cdot H \sqrt{g}}{C}. \quad (7)$$

Кроме турбулентной диффузии перенос примеси из одних частей потока в другие осуществляется механизмом конвекции. В упрощенной постановке, когда конвективными членами пренебрегают, из-за извилистости реки и других факторов приходится вводить поправки с помощью так называемого суммарного, или эффективного, коэффициента диффузии. Эффективный коэффициент поперечного распространения примеси зависит от извилистости русла реки [1, 7]. В [7] получена формула такого эффективного коэффициента для расчета поперечного распространения пассивной примеси в водотоках с большой шириной русла ($b = B/H > 25-30$):

$$D_{Э2} = 3,65 \cdot 10^{-3} U \cdot H \cdot \sqrt{b}. \quad (8)$$

С уменьшением величины b значение эффективного коэффициента $D_{Э2}$, рассчитанного по формуле (8), может оказаться ниже значения, рассчитанного по формуле (7). Что не имеет физического смысла, так как эффективный коэффициент не может быть меньше коэффициента турбулентной диффузии. Можно предложить при уменьшении b рассчитывать значение коэффициента D по формуле (8) до тех пор, пока указанное значение не уменьшится до величины $D_{Э1}$ по (7) при соответствующих условиях. При дальнейшем уменьшении b считаем, что D от b не зависит.

Результаты расчета

Краевая задача (3)-(4) в общем случае не имеет аналитического решения из-за зависимости потока примеси на береговой линии ($f_1(x)$ и $f_2(x)$) от продольной координаты. Задача решалась численным методом в среде Mathcad с помощью операторов Given-Pdesolve. Были заданы следующие параметры расчета: $U = 0,2$ м/с; $H = 2$ м; $B = 50$ м; $n = 0,03$; $c_{\phi} = 0,001$; $f_1(x) = -4$; $f_2(x) = 0$. Последнее условие означает, что диффузные источники загрязнений в правобережной части рассматриваемого участка отсутствуют.

На рис. 1 представлены результаты расчета поперечных профилей концентрации примеси при использовании различных формул для коэффициента поперечного рассеивания. Видно, что расчет D по рекомендуемой в [9] формуле (5) существенно занижает величину c по сравнению с экспериментальными значениями. При $x = 200$ (рис. 1,б) расчет по (5) предсказывает загрязнение ниже ПДК, тогда как в действительности превышение ПДК у берега более чем в полтора раза. Дальнейшие расчеты выполнены с использованием формулы (8).

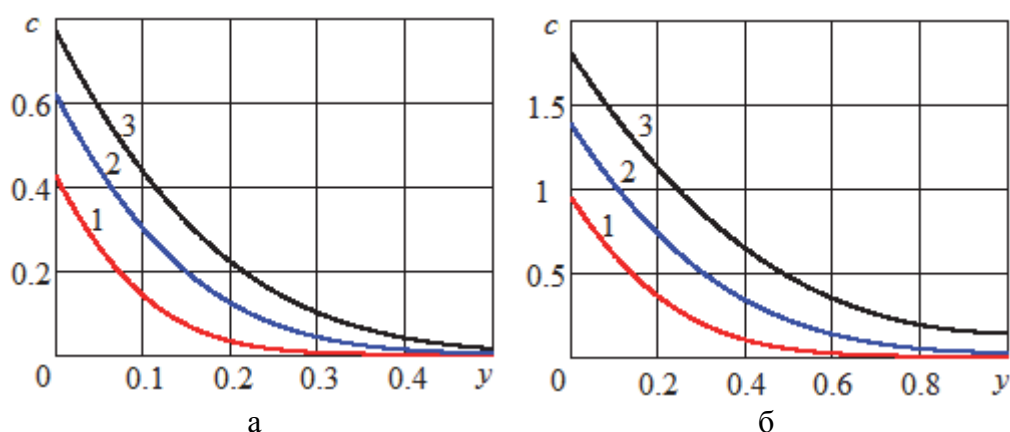


Рис. 1. Поперечные профили безразмерной концентрации примеси:
 а – в створе водотока $x = 40$; б – в створе $x = 200$;
 1 – расчет D по формуле (5); 2 – по формуле (7); 3 – по формуле (8)
 Fig. 1. Transverse profiles of the dimensionless concentration of impurities:
 а – the alignment of the watercourse $x = 40$; б – in the range $x = 200$;
 1 – calculation of D according to (5); 2 – by formula (7); 3 – by formula (8)

На рис. 2 показана эволюция поперечных профилей безразмерной концентрации примеси. Видно (рис. 2,б), как у левого берега расширяется область с загрязнением, превышающим ПДК.

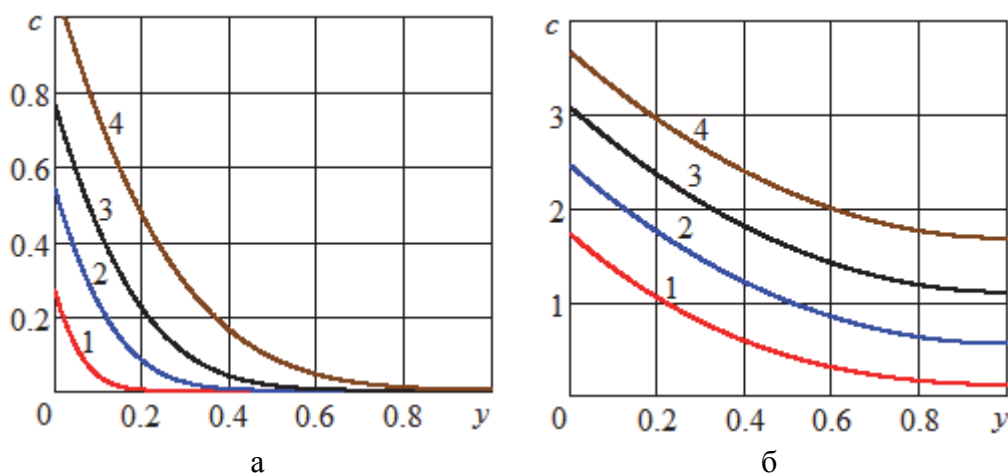


Рис. 2. Поперечные профили безразмерной концентрации примеси:
 а – в ближней области: 1 – $x = 5$; 2 – $x = 20$; 3 – $x = 40$; 4 – $x = 80$;
 б – в дальней области: 1 – $x = 200$; 2 – $x = 400$; 3 – $x = 600$; 4 – $x = 800$
 Fig. 2. Transverse profiles of the dimensionless concentration of impurities:
 а – in the near-field region: 1 – $x = 5$; 2 – $x = 20$; 3 – $x = 40$; 4 – $x = 80$;
 б – in the far field: 1 – $x = 200$; 2 – $x = 400$; 3 – $x = 600$; 4 – $x = 800$

На рис. 3 представлены результаты расчета поперечных профилей концентрации примеси, когда диффузные источники загрязнения есть на обоих берегах реки (при граничных условиях $f_1(x) = -4$; $f_2(x) = 2$).

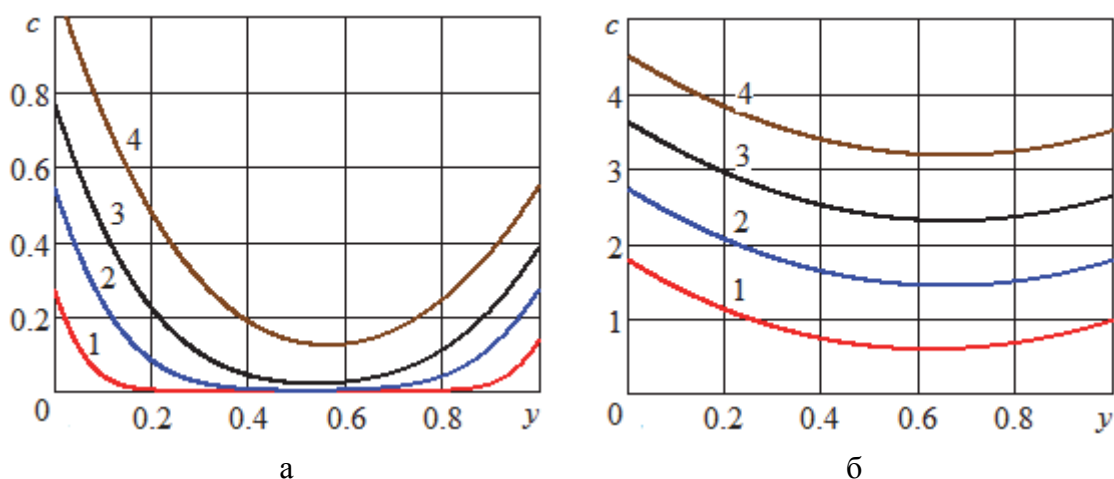


Рис. 3. Поперечные профили безразмерной концентрации примеси (добавлены правобережные диффузные источники загрязнения):
 а – в ближней области: 1 – $x = 5$; 2 – $x = 20$; 3 – $x = 40$; 4 – $x = 80$;
 б – в дальней области: 1 – $x = 200$; 2 – $x = 400$; 3 – $x = 600$; 4 – $x = 800$
 Fig. 3. Transverse profiles of the dimensionless concentration of impurities (added diffuse sources of pollution from the right coast):
 а – in the near-field region: 1 – $x = 5$; 2 – $x = 20$; 3 – $x = 40$; 4 – $x = 80$;
 б – in the far field: 1 – $x = 200$; 2 – $x = 400$; 3 – $x = 600$; 4 – $x = 800$

Заключение

Предложенная математическая модель позволяет рассчитывать профили концентрации примеси при различной интенсивности диффузных источников как на одном, так и на обоих берегах реки. С помощью этих данных можно определить степень превышения ПДК и оценить влияние загрязнения на экосистему водотока.

Установлено, что использование рекомендуемой методическими указаниями [9] формулы для коэффициента поперечной турбулентной диффузии приводит к существенному занижению расчетных значений загрязнения водотока.

Работа была выполнена при подготовке заявки № 17-08-00086 в Российский фонд фундаментальных исследований.

Список литературы

1. Beltaos S. Transverse mixing in natural streams // Canadian Journal of Civil Engineering. – 1979. – Vol. 6 (4). – P. 575–591.
2. Дружинин, Н.И. Математическое моделирование и прогнозирование загрязнения поверхностных вод суши / Н.И. Дружинин, А.И. Шишкин. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 390 с.
3. Sharpley N. A., Smith S. J., Jones O. R., et al. The transport of bioavailable phosphorus in agricultural runoff // Journal Environ. Quality. – 1992. – Vol. 21. – P. 30–35.
4. Виноградов, Ю.Б. Математическая модель «Сток – эрозия – загрязнение» / Ю.Б. Виноградов // Метеорология и гидрология. – 1998. – № 5. – С. 87–96.
5. Михайлов, С.А. Диффузное загрязнение водных экосистем. Методы оценки и математические модели / С.А. Михайлов. – Барнаул: Изд-во «День», 2000. – 130 с.
6. Великанов, Н.Л. Расчет распространения загрязнения в реке Товарная / Н.Л. Великанов, В.А. Наумов, М.Н. Великанова // Вода: химия и экология. – 2011. – № 8. – С. 89–94.
7. Волинов, М.А. Влияние плановой геометрии речного русла на диффузию и дисперсию примеси / М.А. Волинов // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 6. – С. 535–540.

8. Великанов, Н.Л. Взвешенные частицы в водотоке и их осаждение / Н.Л. Великанов, В.А. Наумов // Вода: химия, экология. – 2014. – № 2. – С. 114–119.

9. Методика разработки нормативов допустимых сбросов веществ и микроорганизмов в водные объекты для водопользователей. Утверждена Министерством природных ресурсов Российской Федерации, приказ № 333 от 17 декабря 2007 г.

Сведения об авторе: Наумов Владимир Аркадьевич, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой, e-mail: van-old@mail.ru.

УДК 551.467.3 (265.54)

В.В. Плотников^{1,2}, И.А. Круглик, О.Н. Руденко¹Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б²Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН,
690041, Владивосток, ул. Балтийская, д. 43**ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА
ЯПОНСКОГО МОРЯ**

На основании всей доступной информации о состоянии ледяного покрова на Японском море за период с 1960 г. и по настоящее время оценивается пространственная изменчивость основных характеристик ледяного покрова (сплоченность, возраст, формы льда) моря в течение ледового сезона (осень, зима, весна). Показано, что максимальная изменчивость полей ледовых элементов связана с областями 4–8-балльной сплоченности, где вклад динамического фактора (дрейф льда, взаимодействие между льдинами и т.д.) в перераспределение сплоченности максимален. Основные сезонные различия в распределениях характеристик изменчивости в полях сплоченности, возраста и форм льда выражаются в некотором смещении центров соответствующих изолиний. Эти различия определены тем, что поля форм льда преимущественно формируются под воздействием динамических причин, эволюция полей возраста льда определяется главным образом термическими факторами (формирование полей сплоченности складывается под воздействием как динамических, так и термических факторов) и в зонах, где максимально меняется сплоченность, основные изменения форм льда уже произошли, а изменчивость возраста льда еще не достигла своего максимума. Причем свои особенности накладывают и морфометрические характеристики бассейнов.

Ключевые слова: изменчивость, ледяной покров, сплоченность льда, возраст льда, формы льда, термические и динамические факторы.

V.V. Plotnikov, I.A. Kruglik, O.N. Rudenko
SPATIAL TEMPORAL VARIABILITY OF THE ICE COVER OF THE
JAPAN/EAST SEA

The spatial variability of the main ice cover characteristics (concentration, age, ice forms) of the sea during the ice season (fall, winter, spring) is estimated on the basis of all available information of an ice cover condition on the Japan/East Sea from 1960 and till present. The maximum variability of fields of ice elements is connected with areas 4-8 ball concentration where the dynamic factor contribution (ice drift, interaction between ice floes, etc.) in redistribution of concentration is maximum. The main seasonal distinctions in distributions of variability characteristics of fields of ice concentration, ice age and ice forms are expressed in some shift of the centers of the respective isolines. These distinctions are defined that fields of ice forms are mainly formed under the influence of the dynamic reasons, evolution of ice age fields is mainly defined by thermal factors (formation of fields of concentration develops under influence, both dynamic, and thermal factors) and in zones where concentration as much as possible changes, the main changes of ice forms have already happened, and variability of ice age hasn't reached the maximum yet. And, morphometric characteristics of pools impose the features also.

Key words: variability, ice cover, ice concentration, ice age, ice form, thermal and dynamic factors.

Японское море является одной из основных транспортных артерий и богатейшей промысловой зоной Дальнего Востока. Наличие сезонного ледяного покрова препятствует экономическому развитию региона. Практически все виды хозяйственной деятельности (навигация, рыбный промысел, геологические исследования на шельфе, гидротехническое

строительство), особенно в северной части моря, а также решение ряда задач долгосрочных гидрометеорологических прогнозов во многом зависят от знания ледовой обстановки и возможности ее прогнозирования. Ледяной покров, являющийся границей раздела атмосфера – океан, существенно влияет на формирование климата и погоды, изменение течений, термического режима вод и другие гидрометеорологические процессы. Все это подчеркивает насущную необходимость исследования данного показателя как определенного индикатора климатического состояния и экологического равновесия природной среды. Кроме того, оценки ледовых условий имеют определенное практическое значение и позволяют принимать более эффективные проектные решения при хозяйственном освоении акватории моря.

Анализом ледовых условий Японского моря занимались многие исследователи [1–4, 6–23].

Первое описание ледовых условий выполнено Л.И.Шренком в 1869 г. и касалось только Татарского пролива. Разрозненные материалы наблюдений дали возможность Шренку выявить только качественную зависимость распространения льда в проливе под влиянием преобладающих ветров. По материалам Л.И.Шренка и отчетам Главного Гидрографического управления С.О. Макаров составил таблицы дат вскрытия и замерзания для отдельных районов Японского моря за период с 1852 по 1885 гг., что позволило получить карты изохрон замерзания и исчезновения льда в Татарском проливе. Весьма интересные данные о льдах Японского моря собрал Н.Н. Алексеев, проводивший исследования на ледоколах «Давыдов» и «Добрыня Никитич» во льдах Татарского пролива.

Первые обобщающие исследования, касающиеся физико-географического анализа и описания особенностей ледового режима Японского моря, связаны с именами А.М. Баталина, Г.М. Бирюлина, А.Н. Крындина, Г.А. Столяровой, Л.П. Якунина.

С развитием интенсивного судоходства возникла острая необходимость в получении систематизированных данных о льдах Японского моря. В результате составлены лоция [4], карты и атласы льдов по Японскому морю [1–2, 21–23].

В свое время исследованием ледовых условий Японского моря занималась Г.А. Столярова [15–17], которой проводились расчеты полей сплоченности льда, сжатий и разрежений, декадных положений кромки льда. Но ограниченность данных, несовершенство используемых методик и т.д. не позволили получить достаточно наглядные исчерпывающие результаты.

Последние, наиболее полные, обобщения данных по характеру ледовых условий на Японском море выполнены Л.П. Якуниным [3, 19–23], которым были составлены карты режимных характеристик практически всех элементов ледяного покрова, и В.В. Плотниковым [3, 7–14, 18], оценившим общий характер изменчивости ледовых условий и представившим возможную интерпретация их эволюции. Однако детальный количественный анализ внутренней структуры ледяного покрова на море до сих пор остается открытым вопросом.

Наличие долгопериодных изменений ледовых условий указывает на необходимость привлечения для анализа многолетнего ряда наблюдений.

Все сказанное еще раз подчеркивает сложность, многогранность, но в то же время насущную необходимость решения задачи исследования ледовых условий на Японском море.

Целью данной работы является оценка пространственно-временной изменчивости ледяного покрова Японского моря.

В качестве объектов исследования, достаточно исчерпывающе характеризующих ледовые условия, были выбраны поля сплоченности, возраста и форм льда.

Исходный архив ледовой информации

Исходной информацией при создании архива данных о ледовых условиях дальневосточных морей послужили:

- карты ледовых авиаразведок над Японским морем;
- спутниковые снимки ледяного покрова морей, получаемые с ИСЗ серий *NOAA*, *Meteop*, *Космос*, *Radarsat-1/2*, *Sentinel-1A*, *Landsat u m.n.*;

- гидрометеорологические ежемесячники (ежегодники) по Дальневосточному региону, содержащие данные прибрежных гидрометеорологических станций и постов.

В качестве дополнительной информации привлекались прибрежные радиолокационные и вертолетные наблюдения за льдом, попутные судовые наблюдения, сведения, получаемые при исследованиях на ледовых полигонах, и т.д.

Вся информация о состоянии ледяного покрова, получаемая в течение определенной декады, картировалась и подвергалась предварительному анализу. Основой при выборке исходных данных о ледовом состоянии морей до 1990 г. служили данные ледовых авиаразведок, проводимых в течение данной декады, а после 1990 г. – наблюдения из космоса. Обычно в течение декады имеется несколько карт или снимков ледяного покрова. Полученные фрагменты ледовой обстановки, включая данные прибрежных наблюдений гидрометстанций и постов, осредняются для данной декады по всему морю. Одновременно проводился и критический контроль получаемой информации (данные процедуры обычно выполняются в оперативных подразделениях гидрометслужбы, занимающихся сбором и первичным анализом ледовой информации). То есть минимальная дискретность построения карт ледовой обстановки, охватывающих всю акваторию конкретного моря и представляющих практически непрерывный ряд в течение ледового периода, составила одну декаду. Более высокое временное разрешение, учитывая сложность получения ледовой информации (обширные акватории, наличие неблагоприятных погодных условий и т.д.), возможно только для отдельных локальных акваторий, причем получаемые ряды, в силу уже изложенных причин, будут заведомо неэквидистантны.

По средним декадным картам ледовых условий определялись значения основных ледовых характеристик (сплоченность, возраст, формы льда).

Для численного представления полей ледовых характеристик акватории морей разбивались на ряд сравнительно однородных районов. Использовались осредненные в рамках этих районов значения ледовых элементов, отнесенных к центрам соответствующих районов. Степень детализации сведений о ледовых условиях в данном случае напрямую зависит от размеров элементарных ячеек сетки, которой покрывается акватория моря для снятия значений ледовых характеристик (рис. 1) [13–14].

В прибрежных зонах, наиболее интересных с точки зрения их хозяйственного освоения, площади районов для снятия ледовых характеристик обычно уменьшались.

Список снимаемых параметров на данном этапе решено было ограничить сведениями о сплоченности, возрасте и формах льда. В дальнейшем его планируется существенно расширить, включив туда более детальные представления (по градациям) о сплоченности, возрасте и формах льда, а также сведения о деформационных процессах в ледяных массивах (сжатия-разрежения льда) и в весенний период – о разрушенности льда.

Вся терминология и понятия о ледовых явлениях, используемые в данной работе, соответствуют «Международной символике для морских ледовых карт и номенклатуре морских льдов» [5].

Численные значения характеристик льда снимались непосредственно с ледовых карт в абсолютных или условных (баллах) единицах.

Учитывая высокую степень точности определения местоположения самолета при производстве авиаразведок, следовательно, и точность фиксирования ледовых условий, а при отсутствии авиаразведок достаточную точность привязки и дешифровки спутниковых данных, можно полагать, что возможные ошибки наблюдений и фиксирования полей сплоченности, возраста и форм льда не превышают одного балла [6, 13, 14].

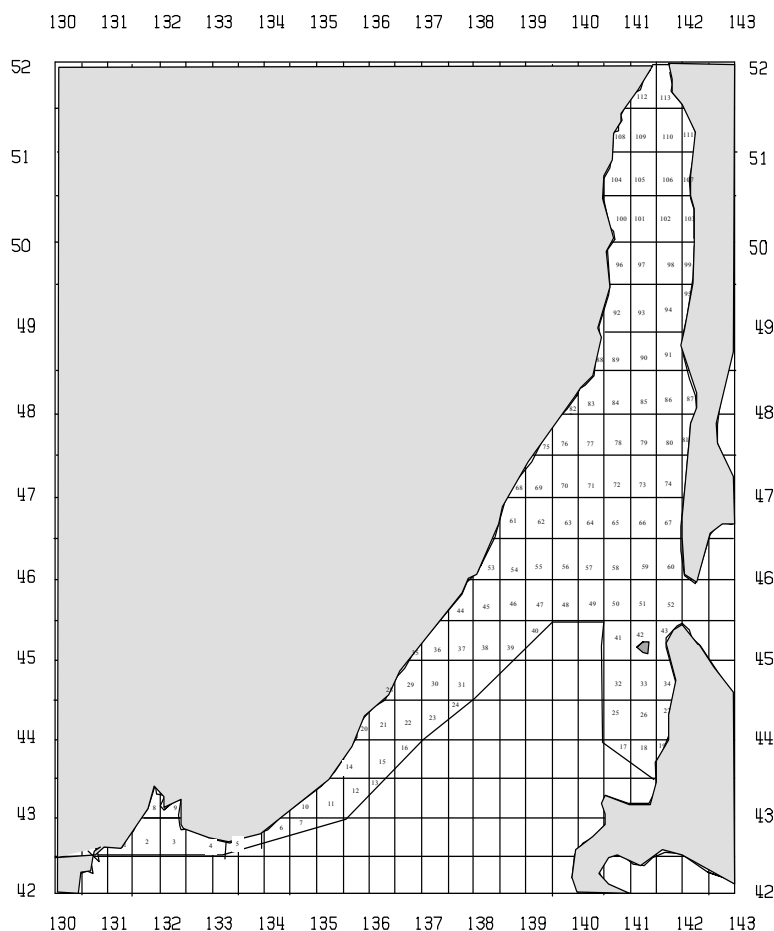


Рис. 1. Расположение и нумерация районов для снятия значений ледовых характеристик на Японском море (непрерывная линия показывает границу предельного распространения льда)

Fig. 1. Location and numbering of the areas to take values of the ice characteristics on the Japan/East Sea (the continuous line shows border of limit ice distribution)

В результате для оценки состояния льда на море были сформированы информационные матрицы размерностью $M \cdot N \cdot P \cdot K$, где M – количество лет ($M=55$), N – количество декад ледового периода ($N=15$, для Японского моря: с I декады декабря по III декаду апреля), а P – количество фиксируемых для данного моря ледовых параметров (3 – сплоченность, возраст, форма льда), K – размерность полей ($K=114$, рис. 1), которые были объединены в архив ледовой информации. За начало отсчета при формировании информационных матриц был принят декабрь 1960 г. Более ранние наблюдения в связи с их исходной неполнотой (отсутствием ледовой информации одновременно по всему морю), недостаточным объемом и качеством наблюдений, а следовательно, сложностью их критической оценки в архив не включались.

Результаты и их обсуждение

Основные черты развития ледовых процессов в море. По ледовым условиям Японское море можно разделить на 3 района: Татарский пролив, район от мыса Поворотного до мыса Белкина и зал. Петра Великого, причем в зимний период постоянно лед наблюдается только в Татарском проливе и зал. Петра Великого, на остальной акватории лед за исключением закрытых бухт и заливов наблюдается не чаще, чем в 25 % случаев. Самым холодным районом является Татарский пролив, где в зимний период формируется и локализуется более 90 % всего льда, наблюдаемого в Японском море. Исходя из этого, общий анализ характера рас-

пределения ледовых условий Японского моря можно проводить, базируясь только на данных о состоянии ледяного покрова Татарского пролива, что в ряде случаев в дальнейшем изложении практиковалось.

По многолетним данным, продолжительность периода со льдом в зал. Петра Великого составляет около 120 дней, а в Татарском проливе в силу его большей меридиональной протяженности – от 40–80 дней в южной части пролива до 140–170 дней в северной его части.

Первое появление льда повсеместно наблюдается в вершинах бухт и заливов, закрытых от ветра волнения и имеющих опресненный поверхностный слой. В умеренные зимы в зал. Петра Великого первое появление льда обычно наступает во второй декаде ноября. В Татарском проливе в вершинах заливов Советская Гавань, Чихачева и проливе Невельского первичные формы льда наблюдаются уже в начале ноября. Раннее ледообразование в зал. Петра Великого (Амурский залив) наступает в начале ноября, в Татарском проливе – во второй половине октября. Позднее – в конце ноября. В начале декабря развитие ледяного покрова вдоль о. Сахалин происходит быстрее, чем вблизи материкового берега и, соответственно, в восточной части Татарского пролива в это время льда больше, чем в западной. К концу декабря количество льда в восточной и западной частях выравнивается, и после достижения параллели мыса Сюркум направление кромки меняется: смещение ее вдоль сахалинского берега замедляется, а вдоль материкового активизируется. В начале января лед заполняет всю северную часть Татарского пролива примерно до широты мыса Ламанон. В Татарском проливе ледяной покров достигает максимального развития во второй половине февраля, в зал. Петра Великого – в середине февраля. В среднем льдом покрывается около 52 % площади Татарского пролива и 56 % площади зал. Петра Великого. В Татарском проливе абсолютный максимум ледовитости (86,8 %) был зафиксирован в зиму 1950–1951 гг. В зал. Петра Великого этот максимум пришелся на зиму 1969–1970 гг. (около 95 % от площади залива).

Таяние льда обычно начинается в первой половине марта. В середине марта от дрейфующего льда очищаются открытые районы зал. Петра Великого и все приморское побережье до мыса Золотого. Граница ледяного покрова в Татарском проливе отступает на северо-запад. В восточной части пролива происходит очищение от льда. Раннее очищение Японского моря от льда наступает во второй декаде апреля, позднее – в конце мая–начале июня [11, 21].

Основные черты распределения полей сплоченности, возраста и форм льда.

Несмотря на относительно небольшую площадь, занимаемую льдом в Японском море, сплоченность, возраст и формы льда отличаются значительным пространственно-временным разнообразием. Например, при сильных и продолжительных западных и северо-западных ветрах происходит вынос льда в центральную и восточную части Татарского пролива. Одновременно вдоль западного побережья образуется полынья шириной до 5–10 миль, где, в свою очередь, происходит интенсивное продуцирование начальных видов льда. При продолжительных штормах с ветрами северных направлений происходит разрежение, а при южных ветрах – сплочение льда в центральной части пролива, приводящее к смещению кромки льда на север.

В зал. Петра Великого к середине декабря, в восточных и северных частях Амурского и Уссурийского заливов, а также в зал. Посыет преобладают зоны льда сплоченностью 7–9 баллов. В бухтах и заливах центрального Приморья сплоченность льда не превышает 6 баллов, и только в бухте Преображения и гавани Тихая Пристань сплоченность льда может достигать 9–10 баллов.

Распределение возрастных видов льда имеет свои закономерности. В самой северной части пролива, как правило, наблюдается зона серого льда с преобладающей сплоченностью 9 баллов. Южнее ее располагается массив сплоченного серо-белого и тонкого белого льда. В прикромочной зоне шириной 10–15 миль преобладает битый серо-белый лед. В мягкие зимы более тяжелый лед скапливается у западного и юго-западного побережья, а в зимы, близкие к

норме, – концентрируется вдоль сахалинского берега. Ледовитым зимам соответствует широтное распределение возрастных зон льда: от пролива Невельского молодой лед постепенно переходит в более старые виды и только вблизи ледовой кромки повторяемость молодого льда вновь увеличивается.

В январе–феврале Амурский и Уссурийский заливы в основном заполнены серым и серо-белым льдом сплоченностью 7–9 баллов. Понижение температуры способствует смерзанию малых форм льда в поля сморози, которые, начиная с января, встречаются по всей акватории Амурского и Уссурийского заливов. Весной в результате интенсивного таяния сплоченность льда быстро уменьшается, исчезают молодые виды льда и увеличивается процентное содержание более старого льда. В середине марта сплоченный лед можно встретить только в северной половине Амурского и восточных районах Уссурийского заливов. За одну – две декады до окончательного очищения сплоченность льда повсеместно уменьшается до 1–3 баллов [11, 21–23].

Изменчивость полей ледовых характеристик обладает ярко выраженным сезонным характером. В сезонной эволюции ледовых условий можно условно выделить три периода:

- осенний период (октябрь – январь) – нарастание объемов льда;
- зимний период (январь – март) – стационарирование льда;
- весенний период (март – май) – таяние льда.

Понимание процессов эволюции ледяного покрова в эти периоды особенно важно для глобальной оценки сезонного перераспределения льда в море.

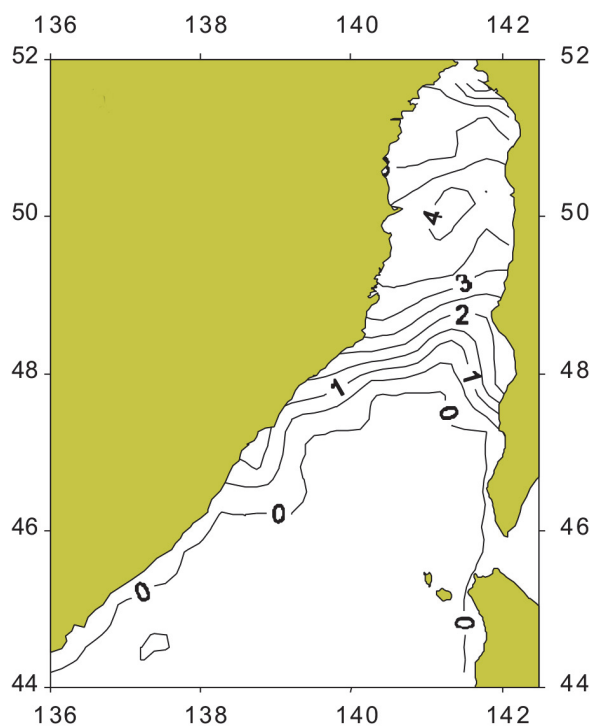
Для количественного анализа пространственно-временной изменчивости сплоченности, возраста и форм льда внутри каждого из отмеченных периодов были выделены реперные декады, отражающие наиболее типичные свойства ледяного покрова в данном периоде. Учитывая особенности сезонного хода ледовых процессов на Японском море [3, 11, 18], в качестве реперных декад были соответственно приняты:

- осенний период – третья декада декабря;
- зимний период – вторая декада февраля;
- весенний период – первая декада апреля.

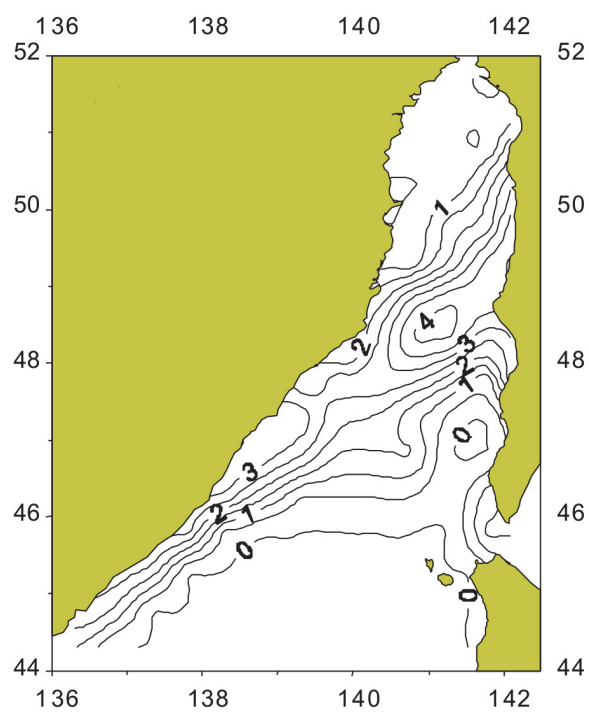
Для ориентировочной численной оценки характера пространственно-временной изменчивости полей сплоченности, возраста и форм льда по акватории моря были рассчитаны и построены карты средних квадратических отклонений полей сплоченности, возраста и форм льда для каждого из отмеченных периодов, рис. 2–4.

Из анализа приведенных распределений (рис. 2–4) видно, что минимальная изменчивость приурочена к областям, где формирование ледяного покрова уже заканчивается и сплоченность достигает 9–10 баллов (в северных районах и закрытых заливах) или еще только начинается и льда очень мало (меньше 3 баллов) – юго-восточные районы моря. Эти зоны ($\sigma \leq 1$) особенно интересны, так как в любой ситуации можно полагать существование в этих зонах определенных ледовых условий (ледовые параметры находятся в состоянии, близком к стационарному). Соответственно, для этих зон решена и проблема прогностического обеспечения, так как климатологический прогноз ледовых параметров в этих зонах, учитывая, что допустимая ошибка равна одному баллу, будет иметь оправдываемость, близкую к 100 %.

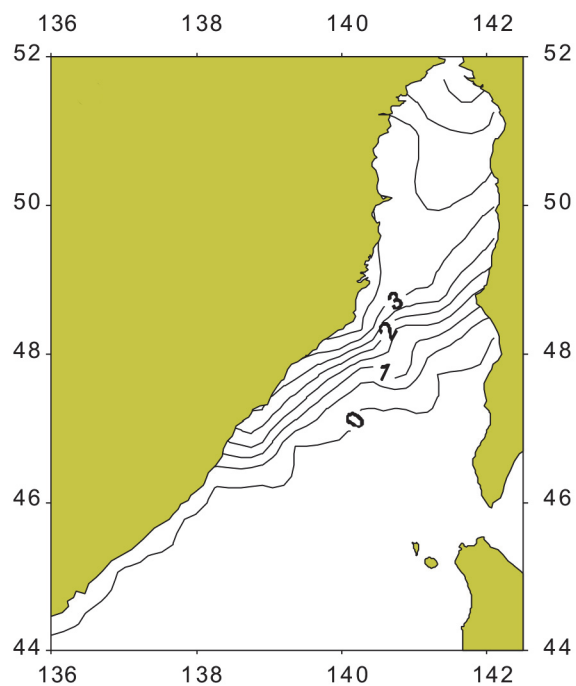
Зона максимальной изменчивости сплоченности, возраста и форм льда в первой половине ледового сезона направленно смещается с севера на юг, а во второй – поднимается обратно к северу. В апреле вследствие активного разрушения льда особенно в прибрежных районах эта зона вытягивается по направлению с северо-востока на юго-запад. В зимний период, следуя за постоянно смещающейся кромкой льда, максимум изменчивости сплоченности льда зимой смещается с 50° с.ш. на 48° с.ш.



а

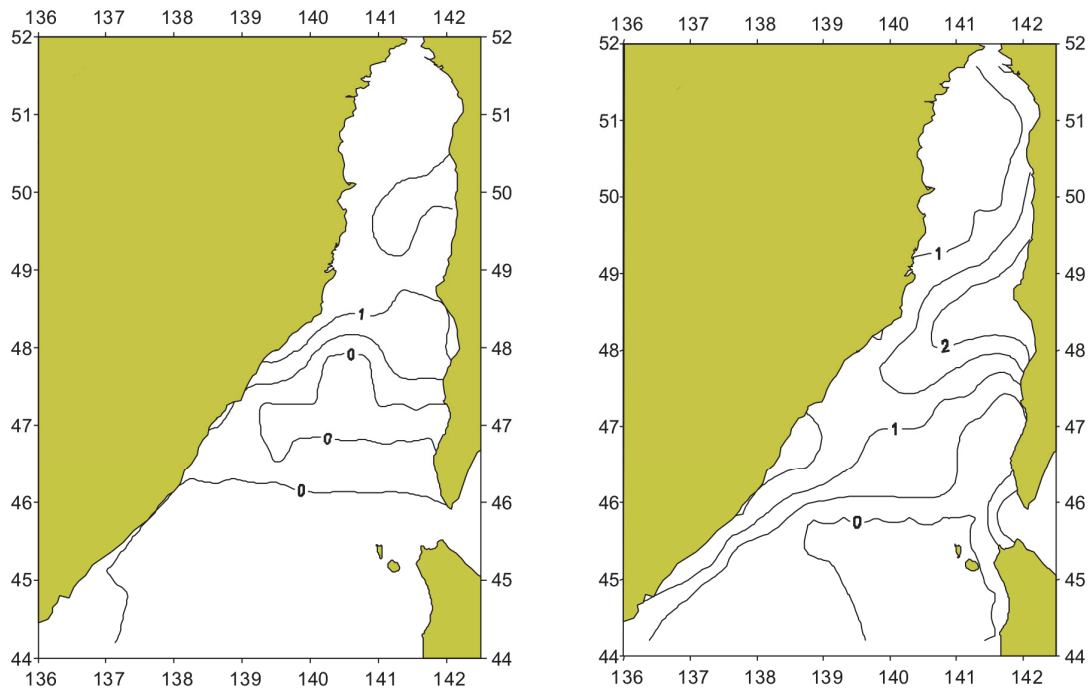


б



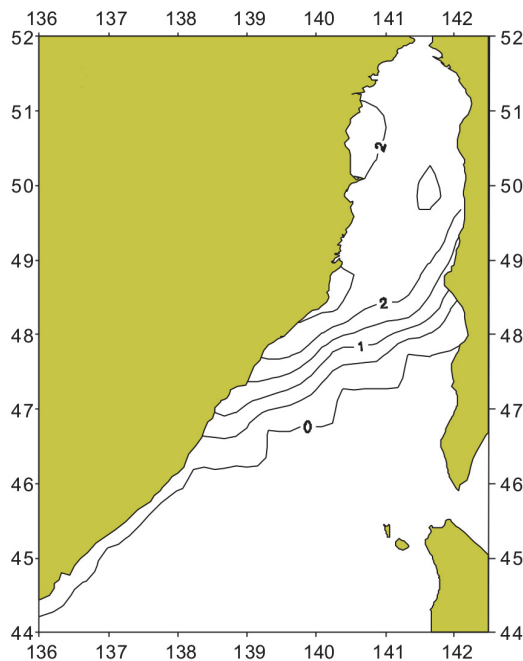
в

Рис. 2. Распределение среднего квадратического отклонения сплоченности льда в Японском море для осеннего (а), зимнего (б) и весеннего (в) периодов
 Fig. 2. Distributions of mean-square deviation of ice concentration in the Japan/East Sea for the autumn (a), winter (б) and spring periods (в)



а

б



в

Рис. 3. Распределение среднего квадратического отклонения преобладающих возрастных категорий льда в Японском море для осеннего (а), зимнего (б) и весеннего (в) периодов

Fig. 3. Distributions of mean-square deviation of the prevailing age ice categories (thickness) in the Japan/East Sea for the autumn (а), winter (б) and spring periods (в)

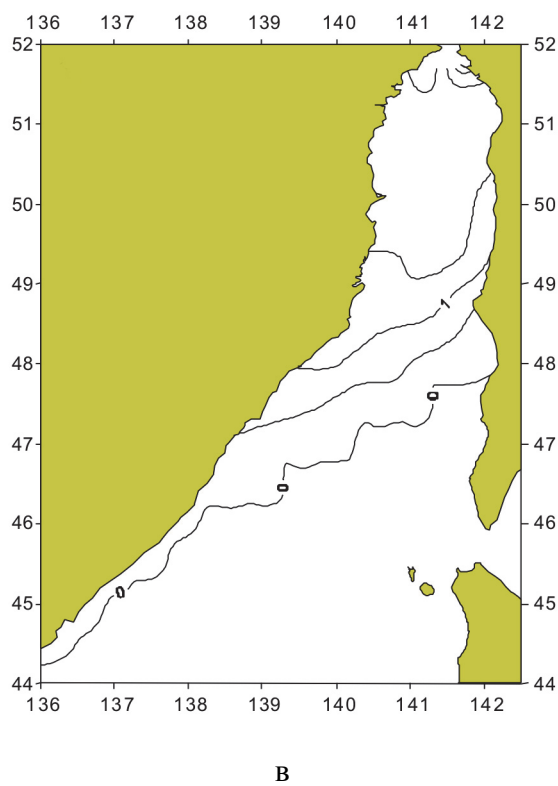
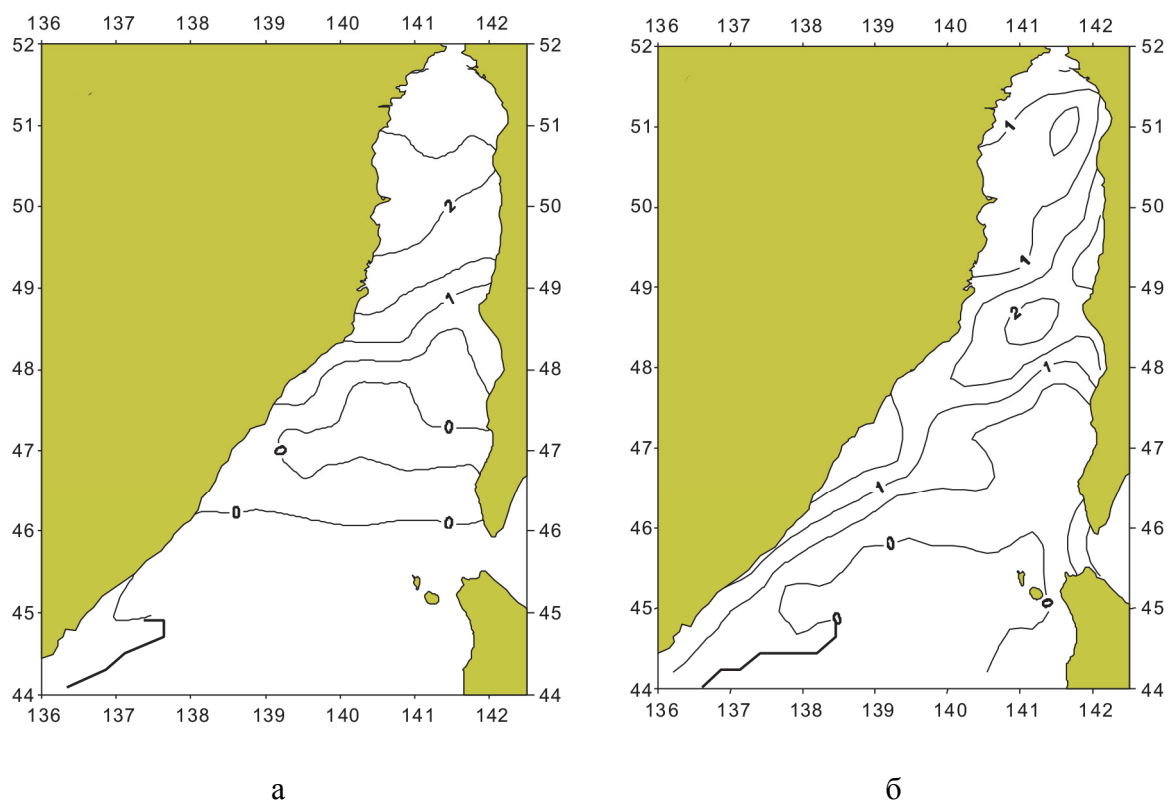


Рис. 4. Распределение среднего квадратического отклонения преобладающих форм льда в Японском море для осеннего (а), зимнего (б) и весеннего (в) периодов
 Fig. 4. Distributions of mean-square deviation of the prevailing ice forms in the Japan/East Sea for the autumn (а), winter (б) and spring periods (в)

Если осенью зона наибольшей изменчивости сплоченности локализуется на севере моря, то зимой она вытягивается с юго-запада на северо-восток рассматриваемой акватории. А весной, когда начинают превалировать процессы таяния и разрушения льда, эта зона, не меняя своей ориентации, смещается обратно к северу, рис. 2–4.

Распределение стандартного отклонения дает общую изменчивость по всему морю. Более детальную картину – спектральное (по пространственным масштабам) распределение изменчивости сплоченности, возраста и форм льда по акваториям дальневосточных морей может дать анализ основных эмпирических составляющих этих полей. Однако данный анализ выходит за рамки поставленных задач и в работе не проводится.

Заключение

К основным результатам можно отнести следующее.

1. Для Японского моря сформирован архив ледовой и сопутствующей гидрометеорологической информации. Архив включает сведения об основных характеристиках ледяного покрова (поля сплоченности, возраста и форм льда), а также комплексе метеорологических и гидрологических параметров, их определяющих. Объем и характер собранного материала позволили получить достаточно репрезентативные оценки основных характеристик ледяного покрова и их изменчивости.

2. Распределение полей сплоченности, возраста и форм льда в Японском море весьма схожи между собой. Подобное сходство обусловлено связью исследуемых характеристик, распределения которых складываются под воздействием одних и тех же факторов. При этом максимальная изменчивость полей ледовых элементов связана с областями 4–8-балльной сплоченности, где вклад динамического фактора (дрейф льда, взаимодействие между льдинами и т.д.) в перераспределение сплоченности максимален.

3. Основные сезонные различия в распределениях характеристик изменчивости в полях сплоченности, возраста и форм льда выражаются в некотором смещении центров соответствующих изолиний. Эти различия определены тем, что поля форм льда преимущественно формируются под воздействием динамических причин, эволюция полей возраста льда определяется главным образом термическими факторами (формирование полей сплоченности складывается под воздействием как динамических, так и термических факторов) и в зонах, где максимально меняется сплоченность, основные изменения форм льда уже произошли, а изменчивость возраста льда еще не достигла своего максимума. Причем свои особенности накладывают и морфометрические характеристики бассейнов.

Проведенные в рамках поставленных задач исследования и полученные результаты открывают определенные перспективы в решении задач моделирования состояния ледяного покрова на Японском море.

Список литературы

1. Атлас опасных и особо опасных для мореплавания и рыболовства гидрометеорологических явлений: Охотское, Японское и Берингово моря. – Л.: ГУНИО МО, 1980. – 251 с.
2. Гидрометеорологическая карта Японского моря. – Л.: ГУНИО МО СССР, 1989.
3. Гидрометеорология и гидрохимия морей. Т. VIII, Японское море, Вып. 1, Гидрометеорологические условия. IX. Ледовые условия и методы их прогнозирования. – СПб.: Гидрометеоиздат, 2003. – С. 187–215.
4. Лоция Японского моря. – М.: Изд-во ГГУ МО СССР, 1960. – Ч. 1, 2.
5. Международная символика для морских ледовых карт и номенклатура морских льдов. – Л.: Гидрометеоиздат, 1984. – 56 с.

6. Плотников, В.В. Оценка точности спутниковой информации о состоянии льда, реализуемая в схеме физико-статистического прогноза / В.В. Плотников // Тез. докл. на III съезде сов. океанол. – Л., 1987. – С. 186.
7. Плотников, В.В. Опыт использования вероятностной байесовской модели для прогноза некоторых ледовых характеристик на Охотском и Японском морях / В.В. Плотников // Метеорология и гидрология. – 1996. – № 4. – С. 81–86.
8. Плотников, В.В. Пространственно-временная сопряженность ледовитости дальневосточных морей / В.В. Плотников // Метеорология и гидрология. – 1997. – № 3. – С. 67–79.
9. Плотников, В.В. Использование гидрометеорологической (ледовой) информации для обеспечения безопасности мореплавания в холодный период на дальневосточных морях / В.В. Плотников. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 1998. – 52 с.
10. Плотников, В.В. Особенности зимнего плавания на трассах Японского моря (тезисы и доклад) / В.В. Плотников, П.А. Трусков, С.А. Покрашенко // Тр. VI Междунар. конф. по судам и морским конструкциям в холодных регионах «ICETECH-2000». – СПб.: Изд-во ЦНИИ им. А.Н. Крылова, 2000. – С. 78–86.
11. Плотников, В.В. Изменчивость ледовых условий дальневосточных морей и их прогноз / В.В. Плотников. – Владивосток: Дальнаука, 2002. – 172 с.
12. Плотников, В.В. Оценка состояния ледяного покрова Японского моря / В.В. Плотников, А.Н. Четырбоцкий, Т.В. Гордейчук // Метеорология и гидрология. – 2010. – № 2. – С. 65–75.
13. Плотников, В.В. Синтез разноплановой информации при формировании исторических архивов о ледовых условиях на ДВ морях / В.В. Плотников // Современные информационные технологии для научных исследований: материалы Всерос. конф., Магадан, 20–24 апреля 2010 г. – Магадан, 2010. – С. 66–68.
14. Плотников В.В., Шкорба С.П., Ростов И.Д., Дмитриева Е.В. Свидетельство о государственной регистрации базы данных «Состояние ледяного покрова Японского моря». № 2011620558, зарегистрировано 03.08. 2011 г.
15. Столярова, Г.А. К вопросу о расчете сплоченности льдов в Татарском проливе / Г.А. Столярова // Тр. ДВНИГМИ. – 1975. – Вып. 50. – С. 33–37.
16. Столярова, Г.А. О влиянии адвекции водных масс на ледовитость Татарского пролива / Г.А. Столярова // Тр. ДВНИГМИ. – 1974. – Вып. 55. – С. 45–50.
17. Столярова, Г.А. Прогноз ледовитости Татарского пролива / Г.А. Столярова // Тр. ДВНИГМИ. – 1976. – Вып. 62. – С. 154–166.
18. Четырбоцкий, А.Н. Ледяной покров Японского моря. Анализ данных и моделирование / А.Н. Четырбоцкий, В.В. Плотников. – Владивосток: Дальнаука, 2005. – 208 с.
19. Якунин, Л.П. К вопросу о колебаниях ледовитости дальневосточных морей в зависимости от цикличности солнечной активности / Л.П. Якунин. – Владивосток: Записки ПФГО СССР, 1966. – Т. 25. – С. 88–93.
20. Якунин, Л.П. Ледовые исследования на дальневосточных морях / Л.П. Якунин // Тр. ДВНИГМИ. – 1979. – Вып. 77. – С. 102–107.
21. Якунин, Л.П. Атлас ледовитости дальневосточных морей СССР / Л.П. Якунин. – Владивосток: ПУГКС, 1987. – 80 с.
22. Якунин, Л.П. Атлас границ распространения и крупных форм льда дальневосточных морей России: препринт / Л.П. Якунин. – Владивосток: ТОИ ДВО РАН, 1995. – 58 с.
23. Якунин Л.П. Атлас границ преобладающего однолетнего льда дальневосточных морей России: препринт / Л.П. Якунин. – Владивосток: ТОИ ДВО РАН, 1997. – 32 с.

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

Круглик Ирина Алексеевна, кандидат биологических наук, и.о. зав. кафедрой «Экология и природопользование», e-mail: irina-kruglik@mail.ru;

Руденко Ольга Николаевна, ассистент кафедры «Экология и природопользование», e-mail: airo2@mail.ru.

УДК 57.042

В.В. Плотников^{1,2}, В.А. Дубина²¹Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б²Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН,
690041, Владивосток, ул. Балтийская, д. 43**ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ РИСК ПРИ ПЛАНТАЦИОННОМ КУЛЬТИВИРОВАНИИ
ГРАЦИЛЯРИИ В ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЗАЛИВА ПЕТРА ВЕЛИКОГО**

На основе собранного архива гидрометеорологических и гидрохимических данных оценены вероятности выхода основных лимитирующих факторов существования и развития грацилярии за пределы толерантности, на основании которых проведены расчеты экологических рисков при возможных реализациях задач плантационного культивирования грацилярии на акватории зал. Петра Великого.

Ключевые слова: залив Петра Великого, *Gracilaria verrucosa*, оценка экологических рисков, плантационное культивирование.

V.V. Plotnikov, V.A. Dubina**AN ENVIRONMENTAL RISK FOR GRACILARIA VERRUCOSA PLANTATION
CULTIVATION IN SOUTHWEST PART OF PETER THE GREAT BAY**

*On the basis of the object habitat analysis, on the created data archives of the hydrometeorological and hydrochemical limiting external environment parameters, by means of the reliability theory methodology and the probabilistic analysis, as well as the multidimensional statistics, the algorithm of the ecological substantiation of bio-productivity formation is formulated. On the basis of the above the algorithm of the spatial areas of *Gracilaria verrucosa* possible cultivation in Peter the Great Bay is estimated.*

Key words: Peter the Great Bay, *Gracilaria verrucosa*, admissible environmental risk, plantation cultivation.

Введение

В настоящее время перед человечеством стоит весьма важная задача – разработка и совершенствование научных подходов к рациональному использованию и культивированию морских биоресурсов. Водоросли являются основой биологической продуктивности, источником питания и укрытием для многочисленных видов беспозвоночных и рыб. Из водорослей получают такие ценные, а в ряде случаев и незаменимые вещества, как альгиновая кислота и её соли альгинаты, манит, фукоидан, агар, каррагинан, зостерин и др.

Однако ряд естественных популяций водорослей был подорван за длительный период их эксплуатации. В связи с этим вырос интерес к морским водорослям как объекту культивирования. К таким объектам, прежде всего, относятся агароносные водоросли, к которым относится неприкрепленная форма грацилярии бородавчатой (*Gracilaria verrucosa*).

Известно, что биопродуктивность морских акваторий сильно зависит от океанологических условий, в частности от пространственно-временной изменчивости лимитирующих факторов среды.

Целью работы явилась разработка алгоритмов и реализация задачи оценки экологических рисков для обоснования возможности культивирования грацилярии на южных акваториях зал. Петра Великого.

Объекты и методы исследований

Факторы среды обитания. Считается, что грацилярия бородавчатая – наиболее адаптоспособный вид рода грацилярия, что определяет ее как объект пристального изучения в целях культивирования. Действительно, наблюдения показали, что грацилярия в процессе роста может переносить весьма широкие пределы солености (3–33 ‰), температуры (8–32 °С), освещенности (0–400 Вт·м⁻²), концентрации ионов аммония (0,2–6·10⁴ мкг·л⁻¹) и водорода (рН 6–9). Этим, в частности, и объясняется ее весьма широкое распространение в Мировом океане [3–4].

Важнейшими факторами роста водорослей являются концентрация элементов азотного, фосфорного и углеродного питания, освещенность и температура среды [1-2, 4].

Освещенность и температура тесно связаны с поглощением водорослью азота и одновременно с содержанием биогенов в воде.

Основными элементами азотного питания грацилярии служат минеральные формы азота: ионы аммония (NH₄⁺) и нитрат-ионы (NO₃⁻). Скорость роста водорослей грацилярии в большинстве случаев достигает максимальных значений при относительно низких концентрациях азота в проточной культуре – около 20 мкг·л⁻¹ [4].

Фосфорное питание в среде в основном рассматривается как энергетический фактор роста водорослей, так как фосфор находится в постоянном обороте, участвуя в энергетических циклах организма. В норме водоросли удовлетворяют свои потребности в этом элементе, непосредственно ассимилируя растворенные неорганические соединения фосфора (ионы ортофосфатов). Соотношение азота и фосфора в культурах грацилярии, по экспериментальным данным, близко к соотношению 10 : 1.

В качестве источников углерода грацилярия может использовать углекислый газ и бикарбонат-ионы. В природной воде двуокись углерода находится в четырех формах: СО₂, Н₂СО₃, НСО₃⁻ и СО₃²⁻, – равновесная концентрация которых существенно зависит от рН. При активном вегетативном росте грацилярии концентрация усвояемых водорослями форм двуокиси углерода может заметно уменьшиться из-за подщелачивания среды самим растением. При рН, равном 8, в среде практически отсутствует СО₂, при дальнейшем повышении рН – до 9 единиц – уменьшается концентрация НСО₃⁻. В этих условиях неорганический углерод в воде в основном представлен неусвояемыми водорослями карбонат-ионами. По этой причине одним из основных требований для успешного ведения культуры грацилярии в контролируемых условиях является стабилизация рН.

В настоящее время используются четыре измеряемых параметра при изучении карбонатной системы, к ним относятся: *pH*, *pCO₂* – парциальное давление углекислого газа, *TA* – общая щелочность, которая определяется уравнением (1) [11] и *DIC* – растворенный неорганический углерод (иногда называется общий неорганический углерод), который определяется соотношением

$$DIC = [CO_2^*] + [HCO_3^-] + [CO_3^{2-}]. \quad (1)$$

Детальный расчет карбонатной системы морской воды изложен в малодоступной зарубежной литературе [12]. Однако в последнее время разработаны новые подходы изучения карбонатной системы эстуариев [7–9].

Насыщение скорости роста фрагментов грацилярии бородавчатой достигается при весьма высоких значениях уровня освещенности – выше 40 Вт·м⁻² ФАР, что близко к среднему уровню освещенности поверхности воды на широте Южного Приморья в мае-июне.

Зависимость роста фрагментов водоросли от температуры в условиях, не лимитирующих рост значений уровня освещенности, длительности фотопериода и уровней концентра-

ции азотного и фосфорного питания, может принимать максимальные значения в пределах 20–27 °С. Грацилярия способна существовать кратковременно при экстремальных условиях, в частности при различной солености. Так, соленость воды ниже 10 ‰ или выше 40 ‰ в течение двух недель замедляет рост водоросли, но не ведет к деградации вида. Но оптимальной соленостью считают 20–25 ‰ [4].

Экологическое обоснование формирования биологической продуктивности. На основе анализа среды обитания объекта, сформированных баз данных о гидрометеорологических и гидрохимических лимитирующих параметрах внешней среды, применяя методы теории надежности, вероятностного анализа и многомерной статистики, формулируется алгоритм экологического обоснования формирования биологической продуктивности (грацилярии), на основе которого оцениваются пространственные ареалы ее возможного культивирования на акватории южно-западной части зал. Петра Великого.

Оценка возможности культивирования водорослей агарофитов на акваториях южной части зал. Петра Великого базируется на концепции допустимого риска, суть которой в стремлении к такой эффективности планирования, которая приемлема в данный период времени. Как показала практика, традиционная техника эффективного планирования, основанная на нулевом риске, неадекватна законам биосферы и в реальных системах невозможна.

В настоящем исследовании при разработке алгоритма экологического обоснования формирования биологической продуктивности оценивались лишь экологические риски.

Максимально приемлемым риском для экосистем считается тот, при котором может пострадать не более 5 % видов биогеоценоза.

Объектом анализа является система внешних факторов, определяющих возможность формирования биологической продуктивности, в частности, возможности культивирования водорослей агарофитов на южных акваториях зал. Петра Великого.

Анализ системы возможных рисков базируется на знании алгебры логики событий, теории вероятностей, статистическом анализе, требует инженерных знаний и системного подхода (*система* – это совокупность взаимосвязанных компонент, взаимодействующих между собой). Под компонентами экологической системы понимаются не только материальные объекты, но и их отношения и связи.

При анализе опасностей для таких пространственно крупных систем, как юго-западная часть зал. Петра Великого, в большинстве случаев выявленные источники опасностей (выход значений лимитирующих параметров за пределы толерантности) могут рассматриваться как точечные. Их местоположение можно задать с помощью системы координат. Предполагается, что опасность достаточно полно характеризуется значениями вероятностей рисков. Эти вероятности можно условно называть «зарядами» опасностей и считать, что они создают вокруг себя поле опасности, напряженность которого характеризуется вероятностью наступления чрезвычайной ситуации (ЧС). Это позволит не только установить границы опасной зоны, но и произвести ее разметку в зависимости от степени опасности.

Систему, состоящую из компонентов Q_1, Q_2, \dots, Q_n , обозначают в виде вектора системы $Q = (Q_1, Q_2, \dots, Q_n)$. Отклонение компонента Q_i от нормального функционирования есть ЧС E_i . ЧС E_i ($i = 1, n$) ведут к ненормальному функционированию системы Q , составляющему суть ЧС (E).

Логический анализ внутренней структуры системы ЧС и определение вероятности ЧС (E) как функции отдельных ЧС (E_i), являются одной из задач анализа опасностей.

Применяя правила теории вероятностей, находим вероятность ЧС в виде так называемой функции опасности $p = F_p(p_1, p_2, p_3, p_4, p_5, \dots, p_n)$.

В случае анализа опасностей экосистемы юго-западной части зал. Петра Великого выявленные источники опасностей (выход значений лимитирующих параметров за пределы толерантности) могут рассматриваться как соединенные последовательно. То есть к отказу данной системы приводит отказ любого компонента (ЧС *ИЛИ*) [10].

Будем обозначать отказы теми же буквами, что и компоненты. Если E_j , – отказ j -го компонента (компонента E_j), то ЧС *ИЛИ* есть событие: $E = E_1 + E_2 + E_3 + E_4 + \dots + E_n = \sum E_j$, при $j=1, m$, где m – число компонентов системы. В силу логических законов двойственности *отсутствия* ЧС *ИЛИ* есть событие $\bar{E} = (\bar{E}_1 \cdot \bar{E}_2 \cdot \bar{E}_3 \cdot \bar{E}_4 \cdot \dots \cdot \bar{E}_n)$.

Если отказы компонентов системы рассматривать как взаимно независимыми, то вероятность ЧС *ИЛИ* равна:

$$P \{ \sum E_j \} = 1 - P \left\{ \sum_{j=1, m} \bar{E}_j \right\} = 1 - P \left\{ \prod_{j=1, m} \bar{E}_j \right\} = 1 - \prod_{j=1, m} (1 - P \{ E_j \}) = \\ = 1 - [(1 - P \{ E_1 \}) \cdot (1 - P \{ E_2 \}) \cdot (1 - P \{ E_3 \}) \cdot \dots \cdot (1 - P \{ E_m \})], \quad (2)$$

при $j=1, 2, \dots, m$, где m – число компонентов системы.

Последнее выражение свидетельствует о высокой вероятности ЧС в случае многокомпонентных систем. В более сложных случаях, чтобы воспользоваться формулами суммы и произведения вероятностей, логическую функцию необходимо определенным образом преобразовать – привести ее к нормальной, а затем к совершенной нормальной форме. Тогда она будет включать несовместимые события [10].

Результаты и их обсуждение

Гидрологические и гидрохимические условия зал. Петра Великого, а также межгодовая изменчивость являются следствием географического положения и рельефа дна, обмена с северными шельфовыми районами Японского моря, вариаций поступления солнечной радиации, циркуляции и изменчивости параметров атмосферы, системы течений моря, характера ледовых условий и речного стока [2, 5].

Температура. Наиболее низкая температура воды в зал. Петра Великого отмечается в январе–феврале. В прибрежных районах она опускается до $-1,85$ °С, а в мористой части залива составляет $2-4$ °С. К концу марта – началу апреля температура повсеместно переходит через 0 °С, и в дальнейшем идет интенсивный прогрев водных масс. В июне температура воды повышается от 8 до 15 °С, в августе достигает максимальных значений ($23-24$ °С). С конца августа начинается процесс охлаждения. Следует отметить, что в отдельные годы максимальная температура наблюдается в сентябре, реже в июле. В такие годы средняя температура августа обычно меньше среднего многолетнего значения. Летом от месяца к месяцу температура воды повышается медленнее, чем весной, что объясняется усилением циклонической деятельности, частыми дождями, туманами. В декабре температура воды в прибрежной части переходит через 0 °С. Сезонные изменения температуры воды в зал. Петра Великого преимущественно захватывают поверхностный слой воды до горизонта $30-35$ м. Ниже сезонные колебания температур уже не велики, а глубже $50-55$ м они вообще почти не ощущаются. Оптимальной для роста грацилярии температурой воды является интервал $25-30$ °С [1–5]. Соответственно, на юге залива такая температура наблюдается в июле–августе.

Соленость. В прибрежных водах, в частности в заливах, величина солености определяется в основном материковым стоком, ледообразованием, интенсивностью атмосферных осадков и испарения. Характерной особенностью распределения солености является ее повышение с севера на юг. Зимой распределение солености как по вертикали, так и на всем пространстве зал. Петра Великого довольно однородно и ее значения близки к 34 ‰. На мелководных участках залива за счет образования льда соленость воды в январе–феврале может возрастать до $35-35,6$ ‰ [2, 5].

Летом термическое расслаивание вод залива сопровождается распреснением поверхностного слоя и соленость на поверхности уменьшается до 33 ‰ и менее. В заливах и бухтах под влиянием речного стока она может еще больше уменьшаться (до 27–29 ‰), а в период ливневых дождей – еще до меньших значений. С глубиной соленость повсеместно возрастает.

Растворенный кислород. На содержание растворенного кислорода влияют две группы противоположных процессов:

- обогащение воды кислородом происходит как из атмосферы (вглубь растворенный кислород переносится в результате перемешивания воды волнением, конвекцией и течением), так и за счет выделения кислорода водной растительностью при фотосинтезе;
- уменьшение содержания растворенного кислорода обусловлено процессами, связанными с потреблением кислорода на окисление органических веществ, дыхание организмов, брожение, гниение органических остатков.

Соотношение интенсивности процессов указанных двух групп и определяет содержание растворенного кислорода.

Химические условия обитания бентонического населения в южной части зал. Петра Великого благоприятны, так как дефицита кислорода в глубинных слоях не наблюдается. Природные условия прибрежной части зал. Петра Великого (небольшие глубины, интенсивная гидродинамика, активный фотосинтез) способствуют обильному насыщению вод кислородом. По многолетним данным, с апреля по декабрь в водах зал. Петра Великого среднемесячная концентрация кислорода изменяется в поверхностном слое воды в пределах от 3,72 до 9,20 мл/л (73–129 % насыщения), в придонном – от 4,22 до 8,46 мл/л (70–127 %). В распределении кислорода наблюдаются два максимума: в апреле и ноябре–декабре, что связано с активизацией в эти периоды фотосинтеза. Минимальное содержание кислорода отмечается в период наибольшего прогрева вод, т.е. в летний период. Для юго-западного района зал. Петра Великого характерен благоприятный кислородный режим. В этот же период концентрации растворенного кислорода во всей толще воды были выше критической величины этого показателя (2,8 мл/л) и составили в среднем 3,5–5,7 мл/л.

Несмотря на гидрологические особенности, способствующие обильному насыщению водной массы кислородом, в прибрежной зоне зал. Петра Великого вследствие химического загрязнения случается и нарушение кислородного режима вод. Наличие области с максимальными значениями в центральной части ЗПВ находится в хорошем соответствии с пространственным распределением температуры воды. Содержание растворенного кислорода в водах ЗПВ как в «холодные», так и в «теплые» годы всегда выше, чем его растворимость. Это свидетельствует о существенном вкладе фотосинтеза (наряду с изменениями температуры воды и биохимического потребления кислорода) в особенности пространственного распределения кислорода [6].

Биогенные вещества. Распределение биогенных веществ (нитратов, фосфатов, силикатов) в водах зал. Петра Великого неоднородно. Материковый сток (источник солей фосфора и кремния) оказывает влияние на изменение запаса питательных солей в морской воде. В целом водная масса зал. Петра Великого насыщена органическим веществом. Благодаря воздействию материкового стока в заливе наблюдается характерное распределение биогенных веществ по вертикали: поверхностные слои обогащены питательными веществами, с глубиной их количество уменьшается, а с горизонта 50 м вновь увеличивается за счет погружения органических остатков и их разложения в условиях высокой концентрации растворенного кислорода.

Для анализа закономерностей распределения и пространственно-временной изменчивости биогенных элементов использовались данные наблюдений с 1990 по 2009 гг. на стандартной сети ОГСН ежемесячно в период с апреля по октябрь [6].

Нитраты. Основным источником нитратов является нитрификация органического вещества при распаде остатков организмов, сток рек, сброс промышленных и хозяйственно-бытовых сточных вод. Значительное количество биогенных веществ поступает в залив в результате водообмена с Японским морем. Часть азота поступает с атмосферными осадками.

Расходуются нитраты в процессе фотосинтеза (будучи одним из главных компонентов питания водных растений), денитрификации, при водообмене с открытым морем, при переходе органического азота с детритом в донные отложения.

В апреле воды южной части залива, полностью освободившиеся ото льда, характеризуются максимальными концентрациями нитратов на поверхности (до 18 мкг/л.). В июле–августе, по мере развития верхнего квазиоднородного слоя и потребления нитратов в процессе фотосинтеза, происходит постепенное снижение концентраций. Основным источником пополнения нитратов в июне и августе являются атмосферные осадки. В сентябре наблюдается плавное увеличение содержания нитратов от поверхности до дна.

В прибрежных районах залива максимальные значения содержания нитратов (8–18 мкг/л) характерны для периода с апреля по август, что вызвано материковым стоком. Только в июне, за счет увеличения разнообразия фитопланктона, их содержание уменьшается и не превышает 4–6 мкг/л на всей акватории залива.

В сентябре–октябре, с началом осеннего «цветения» фитопланктона, содержание нитратов в прибрежных районах снижается до 3–6 мкг/л.

Фосфаты. Содержание фосфатов в зал. Петра Великого во много раз превышает их содержание в открытых водах Японского моря. Летом в связи с развитием фитопланктона и большим потреблением фосфора воды залива обеднены содержанием этого элемента. Осенью фосфатов больше, а весной наблюдается максимальное их содержание. В придонном слое характер годового хода такой же, как на поверхности, но амплитуды колебаний меньше.

Основной закономерностью вертикального распределения фосфатов в зал. Петра Великого, как и в большинстве других регионов Мирового океана, является наличие минимальных концентраций в поверхностном слое. Следует отметить, что особенно низкие концентрации фосфатов наблюдаются в слое фотосинтеза, где происходит интенсивное потребление фосфора в результате жизнедеятельности фитопланктона.

Минимальные вертикальные градиенты фосфатов характерны для осенне-зимнего периода. В этот период за счет конвекции и большой повторяемости штормовых ветров над морем, а также замедленного потребления фосфатов при образовании органического вещества (как следствия недостатка света в результате значительного заглубления сезонного скачка плотности) происходит обогащение поверхностного слоя вод не только фосфатами, но и всеми питательными элементами. Поэтому изменения концентраций фосфатов по вертикали зимой незначительны.

На пространственное распределение фосфатов в поверхностных водах зал. Петра Великого зимой основное влияние оказывают конвективные процессы, в результате которых происходит перемещение фосфатов от придонных горизонтов на поверхность, а также сток рек. В пространственном распределении как на поверхности, так и у дна в течение года наблюдается увеличение количества биогенных веществ по направлению к берегу. Содержание биогенных веществ (особенно солей азота и фосфора) превышает в 3–5 раз их содержание по сравнению с открытыми водами моря.

В прибрежных районах максимальные содержания (20–25 мкг/л) характерны для периода с октября по февраль, а в теплый период года они снижаются до 10–15 мкг/л. Только в августе за счет увеличения речного стока содержание фосфатов может достигать 20 мкг/л. Осенью на поверхности залива содержание фосфатов начинает увеличиваться, что связано со снижением интенсивности жизнедеятельности фитопланктона и начавшимися процессами осенней конвекции [2, 6].

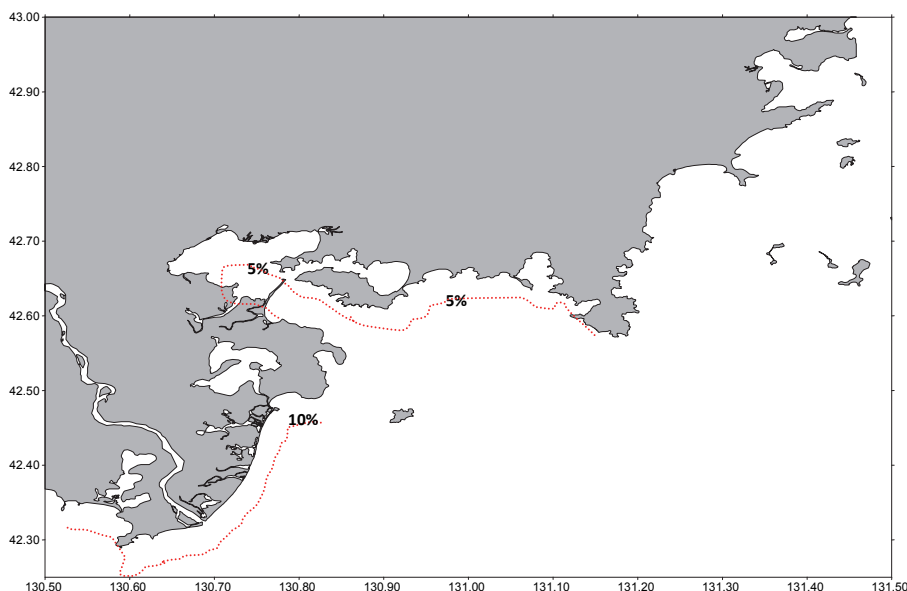
Карбонатная система южной части залива. Из общего взгляда на распределение параметров карбонатной системы (рН, рСО₂, ТА, DIC) южной части залива можно сделать вывод, что прибрежные воды южной части залива чрезвычайно однородны по гидрохимическим свойствам. Концентрации углекислого газа близки к равновесию с атмосферой (поверхностные воды немного пересыщены по отношению к углекислому газу). В частности, концентрации DIC и ТА находятся в интервалах 1,97–2,09 и 2,20–2,24 (ммоль/кг), немного увеличиваясь в направлении открытой части залива.

Освещенность. Грацилярия в Приморском крае обитает на глубине до 2 м. Наибольшая освещенность в этом регионе отмечена в июле-августе. В течение весенне-летнего периода освещенность сильно колеблется от 600 до 1200 мкЕ/м²с в апреле и до 1800–2100 мкЕ/м²с в июле-августе. В период тайфунов, несмотря на высокую освещенность летом, прозрачность воды уменьшается практически до 0,5 м по диску Секки. В это время освещенность на дне, где обитает грацилярия, составляет меньше 0,1 % от поверхностной. Но такие условия сохраняются несколько дней, затем по мере ослабления стока и увеличения прозрачности освещенность доходит до 20 % от поверхностной. Максимальная прозрачность отмечена в августе вместе с максимумом прогрева. В течение года солнечная радиация возрастает от 65 кВт·ч/м² в январе до 167 кВт·ч/м² в мае. Летом она находится на уровне 130–140 кВт·ч/м².

Алгоритм экологического обоснования при выборе оптимального размещения для плантационного культивирования гляцилярии. Согласно проведенному анализу факторов среды обитания объекта и положениям теории надежности можно сформулировать алгоритм оценки возможных рисков при культивировании грацилярии на юго-западе зал. Петра Великого. При этом акваторию для плантационного культивирования гляцилярии следует выбирать как зону минимального допустимого риска, т. е. зону, где все компоненты среды обитания объекта с высокой вероятностью находятся в оптимальных интервалах. Верхней границей суммарного допустимого экологического риска следует считать величину, не превышающую 5 %.

На основании списка факторов, определяющих продуктивность плантационного культивирования грацилярии, на базе собранного архива данных, по разработанному алгоритму (2) были проведены расчеты экологических рисков при возможных реализациях задач плантационного культивирования грацилярии на акватории юго-западной части зал. Петра Великого.

По результатам расчетов даны рекомендации по выбору акваторий для плантационного культивирования грацилярии. Показано, что зона минимальных экологических рисков (менее 5 %) локализуется вблизи береговой линии, захватывая бухты и лагуны. Области с меньшими рисками включают только самые южные лагуны и бухты, которые и являются оптимальными с точки зрения плантационного культивирования грацилярии в юго-западной части зал. Петра Великого (рисунок).



Пространственное распределение акваторий, потенциально пригодных для плантационного культивирования грацилярии. (Точечной линией выделены зоны 5%-го экологического риска при плантационном культивировании грацилярии)

Spatial distribution of water areas potentially suitable for *Gracilaria* plantation cultivation. (Dot line shows zones of 5% environmental risks)

Выводы

На основе сформированного архива гидрометеорологических и гидрохимических данных выполнен анализ лимитирующих параметров среды обитания грацилярии бородавчатой (*Gracilaria verrucosa*). Применяя методы теории надежности, вероятностного анализа и многомерной статистики, разработан алгоритм экологического обоснования формирования биологической продуктивности (грацилярии), на основе которого оценены пространственные ареалы ее возможного культивирования на акватории южно-западной части зал. Петра Великого.

Перспективность плантационного культивирования и эффективность полученных результатов позволяют рекомендовать данный подход для практического использования, а также в обучающем процессе в виде некоторого тренажера для магистров и специалистов-экологов.

Список литературы

1. Гайко, Л.А. Марикультура: прогноз урожайности с учетом воздействия абиотических факторов / Л.А. Гайко. – Владивосток: Дальнаука, 2006. – 203 с.
2. Гидрометеорология и гидрохимия морей. Т. VIII. Японское море. Вып.2. Гидрохимические условия и океанологические основы формирования биологической продуктивности. – СПб., 2004. – 268 с.
3. Животные и растения залива Петра Великого. – Л.: Наука, 1976. – 361 с.
4. Козьменко, В.Б. Рост неприкрепленной формы *Gracilaria verrucosa* в лагунах Южного Приморья / В.Б. Козьменко, Э.А. Титлянов, А.М. Макарычева // Биология моря. – 1994. – Т. 20, № 1. – С. 42–48.
5. Лучин, В.А. Типовые распределения океанографических параметров в заливе Петра Великого (Японское море) / В.А. Лучин, Е.А. Тихомирова // Изв. ТИНРО. – 2012. – Т. 169. – С. 134–146.
6. Тихомирова, Е.А. Межгодовые изменения первичной продукции залива Петра Великого (Японское море) / Е.А. Тихомирова // Вестн. ДВО РАН. – 2012. – № 6. – С. 72–81.
7. Тищенко, П.Я. Вклад органического вещества в щелочной резерв природных вод / П.Я. Тищенко, К. Вальманн, Н.А. Василевская, Т.И. Волкова, В.И. Звалинский, Н.Д. Ходоренко, Е.М. Шкирникова // Океанология. – 2006. – Т. 46, № 2. – С. 211–219.
8. Тищенко, П.Я. Карбонатная система эстуария реки Раздольной (Амурский залив Японского моря) / П.Я. Тищенко, Ч.Ш. Вонг, Т.И. Волкова, Л.М. Грамм-Осипов, В.К. Джонсон, О.В. Дударев, В.И. Звалинский, А.П. Недашковский, Г.Ю. Павлова, Р.В. Чичкин, С.Г. Сагалаев, О.В. Шевцова, Е.М. Шкирникова // Биол. моря. – 2005а. – Т. 31, № 1. – С. 51–60.
9. Тищенко, П.Я. Измерение рН в эстуариях с помощью ячейки безжидкостного соединения / П.Я. Тищенко, Р.В. Чичкин, Е.М. Ильина, Ч.Ш. Вонг // Океанология. – 2002. – Т. 42, № 1. – С. 32–41.
10. Хенли, Д. Надежность технических систем и оценка риска / Д. Хенли, Х. Кумамото. – М.: Машиностроение, 1984. – 528 с.
11. Dickson A. G. An exact definition of total alkalinity and a procedure for the estimation of alkalinity and total CO₂ from titration data // Deep-Sea Res. – 1981. – Vol. 28. – P. 609–623.
12. DOE. Handbook of methods for the analysis of the various parameters of the carbon dioxide system in sea water; version 2. – A.G.Dickson and C.Goyet, eds. – 1994. – ORNL/CDIAC-74.

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

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

УДК 597.533.1

И.Г. Рыбникова, М.А. ШульгинаДальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
690087, Владивосток, ул. Луговая, 52б**О ЗАРАЖЕННОСТИ ТИХООКЕАНСКОЙ СЕЛЬДИ ЧЕТЫРЕХ ЗАЛИВОВ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ САХАЛИНА ЛИЧИНКАМИ АНИЗАКИД**

Исследовали зараженность нерестовой сельди личинками *Anisakis simplex*. Проанализировано 370 экземпляров сельди из заливов Набиль, Ныйский, Чайво, и Пильтун. Выявлена тенденция увеличения инвазии с увеличением длины рыб. Отмечено изменение зараженности сельди в заливах по возрастным группам. Самки и самцы инвазированы практически в равной степени.

Ключевые слова: сельдь, нематоды, анизакисы, экстенсивность инвазии, интенсивность инвазии.

I.G. Rybnikova, M.A. Shulgina**ABOUT INFECTION OF PACIFIC HERRING IN FOUR BAYS OF THE NORTHEASTERN COAST OF SAKHALIN WITH ANISAKID LARVAE**

We investigated the infestation of spawning herring with the larvae of *Anisakis simplex*. 370 specimens of herring from the bays Nabil, Nyisky, Chaivo, and Piltun were analyzed. The tendency of increasing invasion with the increase of fish length was identified. The change of infestation of herring in the bays by age groups was determined. In fact females and males were equally infested.

Key words: herring, nematodes, anisakis, extensiveness of invasion, intensity of invasion.

Введение

Тихоокеанская сельдь *Clupea pallasii* широко распространена в водах дальневосточных морей и служит одним из основных объектов прибрежного рыболовства, в том числе и у о. Сахалин.

Среди нематод, паразитирующих в морских рыбах, личинки рода *Anisakis* по своей встречаемости, распространению в Мировом океане и практической значимости занимают ведущее место [1, 2, 3, 4, 5]. В северо-западной части Тихого океана в разные годы были проведены паразитологические исследования рыб, в результате которых в литературе появилось много разрозненных фаунистических и систематических работ, включающих материалы по нематодам рыб исследуемого региона. По данным Г. Ф. Соловьевой [1], наиболее массовыми видами, зарегистрированными во всех дальневосточных морях, являются личинки нематод, относящиеся к *Anisakis simplex*. *A. simplex* была обнаружена у 42 видов рыб, в том числе и у тихоокеанской сельди с зараженностью 56,6 %.

Сведения о зараженности тихоокеанской сельди личинками анизакисов актуальны и представляют большой практический интерес. Являясь массовым видом паразитов, достаточно крупные и легко распознаваемые личинки анизакисов могут использоваться как паразиты-индикаторы популяций тихоокеанской сельди, эксплуатируемых промыслом. В последние десятилетия возникла проблема анизакидозов человека, т.е. заражения людей личинками *A. simplex*. Выяснилось, что человек заражается этими гельминтами, рода *Anisakis*, в основном при употреблении в пищу рыб или головоногих моллюсков, содержащих их личинки [6, 7].

Возможность расширить знания о зараженности тихоокеанской сельди *Clupea pallasii* личинками *A. simplex* в заливах Ныйский, Набиль, Пильтун и Чайво (северо-восточное побе-

режье Сахалина) и явилась целью настоящего исследования. В задачи данного исследования входило исследование заражённости сельди в зависимости от длины рыб, возраста и пола.

Объект и методы исследований

Материалом для нашей работы послужили выборки нерестовой сельди, собранные в заливах Ныйский, Набиль, Чайво и Пильтун (данных по трем последним заливам в литературе нет). При выполнении биологических анализов сельди личинок нематод выбирали из полости тела рыб и просчитывали их число в каждой особи. Всего с этой целью проанализировано 370 особей сельди. Интенсивность инвазии, экстенсивность инвазии и индекс обилия рассчитывали по общепринятой методике [8].

Результаты и их обсуждение

Исследование зараженности сельди личинками анизакисов в заливах северо-восточного Сахалина выявило достаточно высокий уровень инвазии. Изменение численности *A. simplex* в полости тела сельди происходило по мере роста рыб (табл. 1).

Таблица 1

Зараженность тихоокеанской сельди по размерным группам в заливах северо-восточного Сахалина личинками *Anisakis simplex*

Table 1

Infections of pacific herring on size groups in the bays North-East Sakhalin with larvae *Anisakis simplex*

Длина АС, см	Число рыб	Экстенсивность инвазии, %	Интенсивность инвазии, пределы, min-max	Индекс обилия
1	2	3	4	5
Зал. Ныйский				
21,5–22	2	100	5–8	6,5
24–24,7	4	50	5–8	3,25
25–25,5	4	25	1	0,25
26–26,5	7	71,4	3–11	5,1
27–27,5	10	80	1–20	8,8
28–28,5	14	64,3	2–15	5,9
29–29,8	16	75	2–20	7,3
30–31	13	77	3–15	5,5
Зал. Пильтун				
19–20,5	3	0	0	0
22–23,2	5	80	1–5	2,4
24–24,5	8	62,5	1–6	2,4
25–25,5	3	100	3–10	6
26–26,5	10	88,3	1–8	5,2
27–27,5	7	85,7	6–18	8,6
28–28,8	21	90,5	2–16	7,5
29–29,8	31	87	1–17	7,3
30–30,8	9	77,8	5–10	5,8
31–32	3	75	5–15	10
Зал. Набиль				
18,5–19,5	7	0	0	0
20–20,8	25	41,7	1–8	1,4
21–21,8	35	48,6	1–6	1,5

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5
22–22,5	20	80	1–9	2,7
23–23,5	10	90	1–10	3,3
24,5–25	3	100	4–10	6,2
Зал. Чайво				
15–18,8	2	0	0	0
19–19,8	10	20	2–3	0,5
20–20,9	11	33,3	3–4	2,6
21–21,8	29	38,7	2–7	1,2
22–22,5	22	68	3–10	3,7
23–23,5	9	77,8	2–6	3,6
24–25	4	75	2–5	2,5
26–27,5	7	83,3	10–25	14
28–29	5	75	8–23	10,8

Было установлено, что у рыб, готовящихся к нересту, наибольшее количество личинок *Anisakis simplex* встречалось, как правило, около созревающих гонад или на них. Такая избирательность связана с локализацией личинок на тех органах и тканях рыб, которые наиболее насыщены липидами. В период созревания половых продуктов происходит их насыщение депозитным жиром, туда и устремляются паразиты [9].

В зал. Пильтун экстенсивность инвазии достигала максимального значения 90,5 %, с амплитудой интенсивности 2–16 экз. и индексом обилия 7,5 при длине рыб в 28–28,8 см, тогда как при длине 19–20,5 см количество зараженных рыб к общему было равно 0 %. В зал. Набиль при длине рыб 24,5–25 см экстенсивность инвазии составила 100 % при амплитуде интенсивности 4–10 экз. и индексе обилия 6,2, в то время как в зал. Ныйский показатели зараженности сельди при этой длине были минимальными (25 %, 1 экз., 0,25 см., табл. 1). Зараженность рыб в этом заливе увеличивается при длине сельди 26 см и выше. В зал. Чайво амплитуда интенсивности заражения сельди составила 10–25 экз. и индексе обилия 14 при длине рыб 26–27,5 см.

Нами была проанализирована динамика изменения зараженности сельди по возрастным группам. Полученные данные свидетельствуют, что высокие показатели экстенсивности характерны для среднего возраста рыб в исследуемых заливах (табл. 2).

В зал. Ныйский самая высокая зараженность наблюдалась у рыб 6–7-летнего возраста с экстенсивностью 65 %, индексом обилия 6,8, амплитудой интенсивности 1–20 и 84 %, 5,7 экз./рыбу, 2–15 экз. соответственно. Для зал. Пильтун характерны высокие показатели инвазии у рыб 7–8 лет: экстенсивность инвазии составила от 86,5 %; 6,3 экз./рыбу, 1–16 экз. до 95,6 %, амплитуда интенсивности 3–17 экз., индекс обилия – 8,8. В зал. Набиль зараженность сельди у рыб 5-летнего возраста составляла 83 %, а в зал Чайво – 100 % (табл. 2).

Ранее анализ размерно-возрастной структуры сельди преднерестовых и нерестовых скоплений в заливах северо-восточного Сахалина показал, что в уловах встречались рыбы с разным темпом роста. Встречены особи с относительно низким темпом роста, которые были отнесены к местной популяции (заливов северо-восточного Сахалина), а также с высоким темпом роста, характерным для сахалино-хоккайдской сельди [10, 11, 12, 13]. По-видимому, полученные нами данные по зараженности сельди различных размерных групп в четырех заливах северо-восточного Сахалина связаны с нерестом здесь местных рыб и мигрантов с разной зараженностью личинками анизакисов. Было показано, что у наваги заливов Ныйский и Пильтун личинки *A. simplex* в полости тела отсутствуют при средней длине 22,3 см, а в последующих размерных группах зараженность этим паразитом возрастает с увеличением размера рыб [14].

Таблица 2

Зараженность тихоокеанской сельди по возрастным группам в заливах северо-восточного Сахалина личинками *Anisakis simplex*

Table 2

Infections of pacific herring on ages groups in the bays North-East Sakhalin with larvae *Anisakis simplex*

Возраст рыб, лет	Число рыб	Экстенсивность инвазии, %	Интенсивность инвазии, пределы min-max	Индекс обилия
1	2	3	4	5
Зал. Ныйский				
3	1	100	5	5
4	9	80	1–10	4,8
1	2	3	4	5
5	7	33,3	5–11	3,2
6	12	65	1–20	6,8
7	18	84	2–15	5,7
8	23	66,7	2–13	6,6
Зал. Пильтун				
5	20	33,3	1–10	2,4
6	21	80	2–18	5
7	16	86,5	1–16	6,3
8	30	95,6	3–17	8,8
9	11	83,3	5–20	7,7
Зал. Набиль				
3	36	32,3	1–10	1,05
4	52	61,8	1–10	2,1
5	12	83	1–10	3,9
Зал. Чайво				
2	1	0	0	0
3	16	23,5	2–5	1,3
4	67	51,5	2–8	2,2
5	5	100	3–20	7,6
6	5	80	10–25	13,2
7	5	75	8–23	10

Анализ размерно-возрастного состава и темпа роста сельди позволил оценить количественное соотношение местных сельдей и мигрантов. В зал. Ныйском северо-восточного Сахалина доля особей местной сельди (северо-восточносахалинской) и мигрантов составила 23 и 70,1% соответственно [15].

В табл. 3 приведены данные паразитарного заражения между полами. Значительных различий в зараженности самок и самцов по четырем заливам не обнаружено. Самки и самцы были заражены в равной степени, что говорит об отсутствии значительных половых различий инвазии сельди. Исключение составил зал. Ныйский, в котором количество зараженных самцов было больше, по сравнению с самками – 84 и 53 % соответственно (рисунк), что, по-видимому, связано с наличием нереста большого количества мигрантов (70,1 %) в этом заливе [15].

Таблица 3

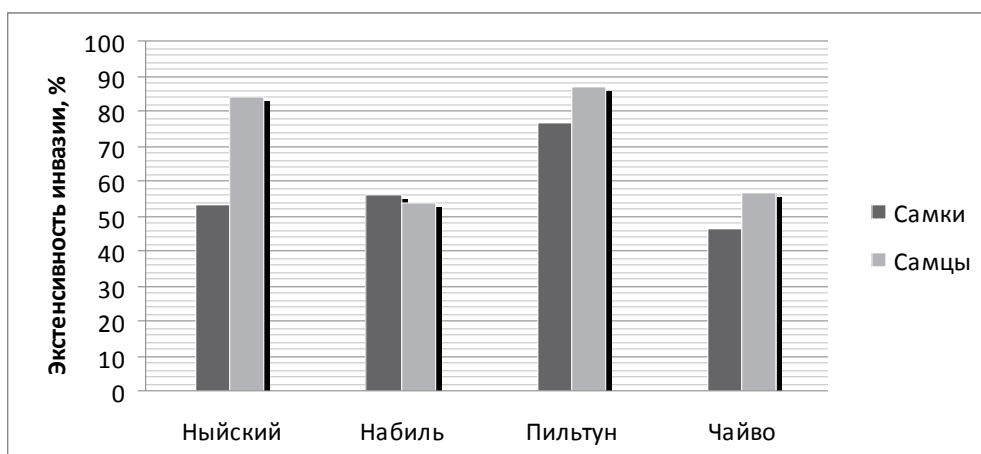
Зараженность самок и самцов сельди в заливах северо-восточного Сахалина

Table 3

Infections of female and male pacific herring in the bays North-East Sakhalin

Заливы	Пол	Экстенсивность инвазии, %	Интенсивность инвазии, экз. min-max	Индекс обилия
Ныйский	Самки	53	3–20	5,1
	Самцы	84	1–20	6,9
Пильтун	Самки	76,6	1–20	5,6
	Самцы	86,8	1–16	6,3
Набиль	Самки	56	1–10	2,2
	Самцы	54	1–10	1,8
Чайво	Самки	46,4	2–25	3,4
	Самцы	56,8	2–20	3

При сравнении зараженности анизакисными личинками сельди в исследуемых заливах северо-восточного побережья Сахалина отмечено, что значительно ниже она была в заливах Набиль и Чайво (табл. 4). Рассматривая зараженность сельди по районам промысла, можно отметить, что наиболее инвазирована личинками *Anisakis simplex* сельдь заливов Пильтун, Ныйский, Сахалинский и оз. Тунайча (табл. 4).



Зараженность самок и самцов сельди в четырех заливах северо-восточного Сахалина
Infections of female and male pacific herring of fourth bays North-East Sakhalin

Встречаемость личинок на разных акваториях морей зависит, прежде всего, от наличия их промежуточных и окончательных хозяев. В северной части Тихого океана дефинитивными хозяевами анизакисов являются морские млекопитающие – представители полосатых китов, кашалотовые, дельфиновые. Промежуточными хозяевами служат ракообразные: эвфаузииды и некоторые другие высшие ракообразные [1, 5]. По-видимому, высокая степень инвазии сельди восточного побережья Сахалина личинками анизакисов связана с большой плотностью в этих зонах морских млекопитающих. Так, у северо-восточного Сахалина уве-

личилась численность популяции китов [16, 17]. В юго-восточной части зал. Терпения находится лежбище котиков на о. Тюлений. Известно также, что во всех рассматриваемых районах наблюдаются межгодовые флуктуации состояния зоопланктона, включающего эвфаузиевых и других личинок ракообразных. Все это и обуславливает достаточно высокую зараженность сельди указанными гельминтами. Тем не менее, несмотря на некоторые различия в размерном составе рыб, можно отметить, что для каждого из исследованных районов в нерестовый период, когда популяции сельди должны быть изолированы, характерен свой уровень зараженности личинками анизакисов.

Таблица 4

Зараженность личинками *Anisakis simplex* тихоокеанской сельди в присахалинских водах

Table 4

Infections with larvae *Anisakis simplex* of pacific herring in the waters of Sakhalin

Показатель	Ныйский залив	Залив Набилъ	Залив Чайво	Залив Пильтун	Юго-западное побережье Сахалина	Северо-ападное побережье Сахалина	оз. Тунайча	Сахалинский залив
Количество экземпляров	70	100	100	100	100	100	100	100
Экстенсивность инвазии, %	70	35	51	82	23	14	65	68
Интенсивность инвазии, пределы min-max	1–20	1–10	1–25	1–18	1–12	1–10	1–12	1–17
Индекс обилия	6	2	3,22	6,3	1,02	0,45	2,81	3,05

Заключение

В заливах северо-восточного Сахалина выявлен высокий уровень инвазии сельди личинками нематод. Величина всех показателей инвазии возростала с увеличением длины тела. Высокие показатели инвазии характерны для рыб 5–8-летнего возраста. Значительных половых различий зараженности сельди личинками *A. simplex* не выявлено. Самки и самцы были инвазированы практически в равной степени. При анализе зараженности сельди в присахалинских водах было выявлено, что показатели экстенсивности, интенсивности и индекса обилия в разных районах различаются, что объясняется приуроченностью рыб к разным популяциям и к определенным акваториям. Особенности режима присахалинских вод обуславливают своеобразие сезонной динамики инвазии сельди.

Несомненно, опасность заражения человека личинками анизакисов существует. Очевидно, что исследования этого паразита необходимо осуществлять на уровне мониторинга.

Список литературы

1. Соловьева, Г.Ф. Нематоды промысловых рыб северо-западной части Тихого океана / Г. Ф. Соловьева // Изв. ТИНРО. – 1994. – Т. 117. – С. 65–73.

2. Кулачкова, В.Г. Зараженность мало позвоночной сельди Белого моря личинками *Anisakis sp.* (nematoda: askaridata) / В.Г. Кулачкова // Паразитол. сб. – Л.: Наука, 1980. – Т. 29. – С. 126–142.

3. Grabda, J. The dynamics of the nematode larvae, *Anisakis simplex* (Rud.) invasion in the south-western Baltic herring, (*Clupea harengus* L.) / J. Grabda // Acta Ichthyol. piscator. – 1974. – Vol. 4. – P. 3–21.

4. Буторина, Т.Е. Ихтиопатология. Определитель распространенных паразитов рыб дальневосточных морей / Т.Е. Буторина. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2006. – 127 с.

5. Багров, А.А. Встречаемость личинок рода *Anisakis* у тихоокеанских рыб и кальмаров в зависимости от их экологии / А.А. Багров // IV Всесоюз. симпоз. по паразитологии и патологии мор. организмов. – Л.: Наука, 1987. – С. 58–59.

6. Мозговой, А.А. Аскариды животных и человека и вызываемые ими заболевания. Основы нематодологии / А.А. Мозговой. – М.: АН СССР, 1953. – Т. 2. – 616 с.

7. Гаевская, А.В. Анизакидные нематоды и заболевания, вызываемые ими у животных и человека / А.В. Гаевская. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2005. – 223 с.

8. Быховская-Павловская, И.Е. Паразиты рыб. Руководство по изучению / И.Е. Быховская-Павловская. – Л.: Наука, 1985. – 121 с.

9. Поздняков, С.Е. О распределении личинок нематод *Anisakis simplex* в рыбах с различным типом накопления депозитного жира / С.Е. Поздняков, Г.В. Швыдкий, С.В. Михайлов // Паразитология. – 1998. – Вып. 4. – С. 368–371.

10. Фролов, А.И. Морфологическая характеристика сельдей вод Сахалина / А.И. Фролов // Изв. ТИНРО. – 1964. – Т. 55. – С. 39–53

11. Андреев, В.Л. Результаты мечения сельди в заливе Ныйво (Северо-Восточный Сахалин) в 1963 г. / В.Л. Андреев // Изв. ТИНРО. – 1968. – Т. 65. – С. 257–258.

12. Рыбникова, И.Г. Взаимодействие сахалино-хоккайдской сельди *Clupea pallasii* с другими популяциями этого вида в водах Сахалина / И.Г. Рыбникова, Г.М. Пушникова, Л.Н. Беседнов // Биол. моря. – 1998. – Т. 24, № 4. – С. 218–227.

13. Пушникова, Г.М. Сезонная изменчивость зараженности тихоокеанской сельди личинками нематод в присахалинских водах / Г.М. Пушникова, И.Г. Рыбникова // Науч. тр. Дальрыбвтуза. – Владивосток, 2010. – Ч. 1. – С. 82–86.

14. Вялова, Г.П. Фауна паразитов и динамика их численности у наваги *Eleginus gracilis* Tilesius (Gadidae) в промысловых районах Сахалина / Г.П. Вялова, С.А. Виноградов // Тр. СахНИРО. – 2003. – Т. 5. – С. 243–250.

15. Пушникова, Г.М. О зараженности тихоокеанской сельди заливов Северо-Восточного Сахалина личинками нематод / Г.М. Пушникова, И.Г. Рыбникова // Науч. тр. Дальрыбвтуза. – Владивосток, 2012. – Т. 25. – С. 19–22.

16. Асеева, Н.Л. Паразитофауна тихоокеанской сельди северной части Охотского моря / Н.Л. Асеева, З.И. Мотора, С.В. Лобода // Вопр. рыболовства. – 2013. – Т. 14, № 1(53). – С. 130–136.

17. Владимиров, А.В. Пространственно-временная характеристика распределения серых китов (*Eschrichtius robustus*) охотско-корейской популяции у побережья Северо-Восточного Сахалина: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – М., 2007. – 22 с.

Сведения об авторах: Шульгина Мария Александровна, магистрант, e-mail: annekee@mail.ru;

Рыбникова Ирина Григорьевна, доцент, кандидат биологических наук, e-mail: berehzok@mail.ru.

ПРОМЫШЛЕННОЕ РЫБОЛОВСТВО. АКУСТИКА

УДК 539.3

С.М. Балабаев, Н.Ф. Ивина

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

ГИДРОАКУСТИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ НЕТРАДИЦИОННЫХ ТИПОВ И ИХ МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ

Получено векторное дифференциальное уравнение, описывающее собственные колебания пьезопреобразователей в произвольной системе ортогональных криволинейных координат. Оно применимо для анализа преобразователей нетрадиционных типов: в виде эллипсоида вращения, эллиптического цилиндра, однополостного гиперboloида вращения и некоторых других. Для решения поставленной задачи применена теория электромагнитного поля, теория упругости и электроупругости, уравнения математической физики, элементы тензорного анализа и ортогональные криволинейные координаты.

Ключевые слова: пьезопреобразователь, ортогональные криволинейные координаты, собственные колебания.

S.M. Balabaev, N.F. Ivina

HYDROACOUSTIC TRANSDUCERS UNCONVENTIONAL TYPES AND THEIR MATHEMATICAL MODELS

The vector differential equation describing the natural oscillations of the piezoelectric transducers in the system of arbitrary orthogonal curvilinear coordinates is obtained. It is applicable for the analysis of unconventional types of transducers: in the form of a rotational ellipsoid, an elliptic cylinder, a one-sheet hyperboloid of rotation and some other. Electromagnetic field theory, theory of elasticity and electroelasticity, equations of mathematical physics, elements of tensor analysis and orthogonal curvilinear coordinates applied to the solution of this problem.

Key words: piezoelectric transducer, orthogonal curvilinear coordinates, natural oscillations.

Введение

Одним из основных типов гидроакустических преобразователей являются пьезоэлектрические преобразователи (пьезопреобразователи), изготавливаемые в настоящее время из пьезокерамики. Пьезокерамика обладает высоким пьезомодулем, относительно большой механической и электрической прочностью, значительной диэлектрической проницаемостью. Исходное сырье для ее получения дешево, технология изготовления сравнительно проста. Входное сопротивление пьезокерамики невелико, поэтому для ее возбуждения требуется небольшое электрическое напряжение. Достоинством пьезокерамики является также возможность изготовления преобразователей различных геометрических форм.

Для анализа математических моделей пьезопреобразователей традиционных типов применяются самые простые системы координат: прямоугольная, цилиндрическая и сферическая. Это связано с тем, что их одномерные математические модели описываются обыкновенными дифференциальными уравнениями, которые в этих системах имеют наиболее

простой вид. Кроме того, в применяемом математическом аппарате необходимо, чтобы пьезопреобразователь был ограничен координатными поверхностями соответствующей системы координат, на которых задаются необходимые краевые условия. Для анализа этих моделей используются следующие функции: в прямоугольной системе – тригонометрические функции и экспонента; в цилиндрической системе – цилиндрические функции Бесселя, Неймана, Ганкеля; в сферической системе – соответствующие сферические функции.

Разработана в основном одномерная аналитическая теория расчета пьезопреобразователей типа тонких пластин, длинных стержней, коротких и длинных полых цилиндров, сфер. Эта теория не обеспечивает необходимую точность при расчете преобразователей произвольных размеров. Кроме того, она не охватывает другие типы преобразователей, представляющих практический интерес с точки зрения получения широкой полосы излучения и фокусировки акустической энергии.

Применение других известных систем ортогональных координат позволит разработать математические модели пьезопреобразователей нетрадиционных форм, например, в виде эллиптического цилиндра, эллипсоида вращения, пьезоклина, однополостного гиперболоида вращения и некоторых других. Первые два типа преобразователей могут обладать и определенными преимуществами при использовании их в качестве гидроакустических излучателей с точки зрения расположения в корпусе обтекателя подводного аппарата и формирования определенной характеристики направленности.

Целью настоящей работы является разработка математической модели преобразователя в произвольной системе ортогональных криволинейных координат.

Объекты и методы исследований

Объектом исследования являются гидроакустические преобразователи неклассических форм, например, в виде оболочек вращения, ограниченные координатными поверхностями различных систем криволинейных ортогональных координат. Для решения поставленной задачи применена теория электромагнитного поля, теория упругости и электроупругости, уравнения математической физики, элементы тензорного анализа и ортогональные криволинейные координаты.

Результаты и их обсуждение

Предварительно рассмотрим необходимые сведения из теории ортогональных криволинейных координат [1–3].

Рассмотрим трехмерное пространство, в котором введена прямоугольная система координат x, y, z . Можно связать это пространство с системой криволинейных координат. Пусть между прямоугольными координатами x, y, z и криволинейными координатами $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ устанавливается взаимно однозначное соответствие (это может быть достигнуто как путем выбора вида функций f_i , так и путем надлежащего ограничения области изменения криволинейных координат), описываемое формулами

$$\begin{cases} x = f_1(\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3), \\ y = f_2(\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3), \\ z = f_3(\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3). \end{cases} \quad \begin{cases} \alpha_1 = g_1(x, y, z), \\ \alpha_2 = g_2(x, y, z), \\ \alpha_3 = g_3(x, y, z). \end{cases} \quad (1)$$

Уравнения $\alpha_1 = const$, $\alpha_2 = const$, $\alpha_3 = const$ представляют собой уравнения координатных поверхностей криволинейной системы в прямоугольной системе координат. Каж-

дая пара координатных поверхностей, проходящих через фиксированную точку, образует в пересечении координатную линию. Параметрические уравнения координатных линий получаются из уравнений (1), если в них поочередно изменять только одну из переменных $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$, оставляя при этом неизменными остальные две.

Обозначим единичные векторы, касательные к координатным линиям $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ и направленные в сторону возрастания этих параметров, через $\bar{e}_1, \bar{e}_2, \bar{e}_3$. Эти три вектора образуют в каждой точке триэдр локальных координатных осей. Метод криволинейных координат состоит в том, что при рассмотрении поля векторов (например, поля перемещений или скоростей точек сплошной среды) каждый вектор проецируется на оси локального триэдра, построенного именно в той точке, где данный вектор приложен. Ввиду того, что направления вышеуказанных координатных осей $\bar{e}_1, \bar{e}_2, \bar{e}_3$ изменяются при переходе от одной точки к другой, проекции на эти оси не будут подчиняться известному из теории декартовых координат правилу, согласно которому проекция производной вектора равна производной от его проекции (речь идет о дифференцировании по α_j) [1].

В дальнейшем ограничимся рассмотрением только ортогональных криволинейных координат, т. е. таких, у которых координатные линии $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ пересекаются под прямыми углами. Условиями этого являются векторные равенства $\bar{e}_1\bar{e}_2 = \bar{e}_2\bar{e}_3 = \bar{e}_1\bar{e}_3 = 0$.

Квадрат элемента длины ds в прямоугольных координатах дается формулой

$$ds^2 = dx^2 + dy^2 + dz^2.$$

В случае ортогональных криволинейных координат эта формула приобретает следующий вид:

$$ds^2 = h_1^2 d\alpha_1^2 + h_2^2 d\alpha_2^2 + h_3^2 d\alpha_3^2,$$

где h_1^2, h_2^2, h_3^2 обозначают величины

$$h_j^2 = \left(\frac{\partial x}{\partial \alpha_j} \right)^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial \alpha_j} \right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial \alpha_j} \right)^2.$$

Величины h_1, h_2, h_3 называются коэффициентами Ламе. Эти три коэффициента равны отношениям приращений дуг координатных линий к соответствующим приращениям криволинейных координат. Так как величины h_1, h_2, h_3 являются функциями координат точки, их называют также единицами локальной длины.

Не трудно показать, что необходимым и достаточным условием ортогональности системы криволинейных координат является условие, чтобы выражение ds^2 содержало только члены с квадратами дифференциалов.

Запишем выражения для дифференциальных операторов в ортогональных криволинейных координатах.

Градиент

$$\text{grad}\Phi = \frac{1}{h_1} \frac{\partial\Phi}{\partial\alpha_1} \bar{e}_1 + \frac{1}{h_2} \frac{\partial\Phi}{\partial\alpha_2} \bar{e}_2 + \frac{1}{h_3} \frac{\partial\Phi}{\partial\alpha_3} \bar{e}_3. \quad (2)$$

Дивергенция

$$\text{div}\bar{u} = \frac{1}{h_1 h_2 h_3} \left[\frac{\partial(h_2 h_3 u_1)}{\partial\alpha_1} + \frac{\partial(h_1 h_3 u_2)}{\partial\alpha_2} + \frac{\partial(h_1 h_2 u_3)}{\partial\alpha_3} \right]. \quad (3)$$

Ротор

$$\begin{aligned} \text{rot}\bar{u} = & \frac{1}{h_2 h_3} \left[\frac{\partial(u_3 h_3)}{\partial\alpha_2} - \frac{\partial(u_2 h_2)}{\partial\alpha_3} \right] \bar{e}_1 + \frac{1}{h_1 h_3} \left[\frac{\partial(u_1 h_1)}{\partial\alpha_3} - \frac{\partial(u_3 h_3)}{\partial\alpha_1} \right] \bar{e}_2 + \\ & + \frac{1}{h_1 h_2} \left[\frac{\partial(u_2 h_2)}{\partial\alpha_1} - \frac{\partial(u_1 h_1)}{\partial\alpha_2} \right] \bar{e}_3. \end{aligned} \quad (4)$$

Теперь можно приступить к разработке математической модели пьезопреобразователя в произвольной системе ортогональных криволинейных координат. Пьезопреобразователь выполнен из пьезокерамики и ограничен соответствующими координатными поверхностями. На некоторых из координатных поверхностей нанесены серебряные электроды. В режиме излучения на пьезопреобразователь подается электрическое напряжение $V \exp(-i\omega t)$ (V – амплитуда электрического напряжения; ω – круговая частота; t – время; i – мнимая единица). В режиме приема упругая волна, падающая на преобразователь, генерирует в нем электрическое напряжение, которое снимается с его электродов и подается на электронный блок.

В основу решения задачи о колебаниях пьезопреобразователя должны быть положены дифференциальные уравнения движения, уравнения Максвелла для электромагнитного поля, система электромеханических уравнений состояния и граничные условия для упругих и электрических полевых тензоров.

Поскольку в интересующем нас диапазоне частот размеры преобразователя значительно меньше длины электромагнитной волны, уравнения Максвелла можно заменить уравнениями электростатики, которые при отсутствии свободных зарядов имеют вид

$$\begin{aligned} \text{div}\bar{D} &= 0, \\ \text{rot}\bar{E} &= 0, \end{aligned} \quad (5)$$

где \bar{D} – вектор электрической индукции; \bar{E} – напряженность электрического поля.

Дифференциальные уравнения движения в тензорной записи имеют вид [4]

$$\rho \frac{\partial^2 u_k}{\partial t^2} = \frac{\partial \sigma_{kl}}{\partial \alpha_l}, \quad (6)$$

где ρ – плотность пьезокерамики, u_k – компонента смещения, σ_{kl} – тензор напряжений.

Распишем уравнения (6) для проекций вектора смещения:

$$\bar{u} = u_1 \bar{e}_1 + u_2 \bar{e}_2 + u_3 \bar{e}_3,$$

$$\begin{aligned} h_1 h_2 h_3 \rho \frac{\partial^2 u_1}{\partial t^2} &= \frac{\partial}{\partial \alpha_1} (h_2 h_3 \sigma_{11}) + \frac{\partial}{\partial \alpha_2} (h_1 h_3 \sigma_{12}) + \frac{\partial}{\partial \alpha_3} (h_1 h_2 \sigma_{13}) + \\ &+ h_3 \frac{\partial h_1}{\partial \alpha_2} \sigma_{12} + h_2 \frac{\partial h_1}{\partial \alpha_3} \sigma_{13} - h_3 \frac{\partial h_2}{\partial \alpha_1} \sigma_{22} - h_2 \frac{\partial h_3}{\partial \alpha_1} \sigma_{33}, \\ h_1 h_2 h_3 \rho \frac{\partial^2 u_2}{\partial t^2} &= \frac{\partial}{\partial \alpha_2} (h_1 h_3 \sigma_{22}) + \frac{\partial}{\partial \alpha_3} (h_1 h_2 \sigma_{23}) + \frac{\partial}{\partial \alpha_1} (h_2 h_3 \sigma_{12}) + \\ &+ h_1 \frac{\partial h_2}{\partial \alpha_3} \sigma_{23} + h_3 \frac{\partial h_2}{\partial \alpha_1} \sigma_{12} - h_1 \frac{\partial h_3}{\partial \alpha_2} \sigma_{33} - h_3 \frac{\partial h_1}{\partial \alpha_2} \sigma_{11}, \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} h_1 h_2 h_3 \rho \frac{\partial^2 u_3}{\partial t^2} &= \frac{\partial}{\partial \alpha_3} (h_1 h_2 \sigma_{33}) + \frac{\partial}{\partial \alpha_1} (h_2 h_3 \sigma_{13}) + \frac{\partial}{\partial \alpha_2} (h_1 h_3 \sigma_{23}) + \\ &+ h_2 \frac{\partial h_3}{\partial \alpha_1} \sigma_{13} + h_1 \frac{\partial h_3}{\partial \alpha_2} \sigma_{23} - h_2 \frac{\partial h_1}{\partial \alpha_3} \sigma_{11} - h_1 \frac{\partial h_2}{\partial \alpha_3} \sigma_{22}. \end{aligned}$$

Систему электромеханических уравнений состояния запишем в виде

$$\begin{cases} \sigma_{kl} = c_{klj}^E s_{ij} - e_{klm} E_m, \\ D_n = e_{nij} s_{ij} + \varepsilon_{nm}^S E_m, \end{cases} \quad (8)$$

где c_{klj}^E – тензор модулей упругости при постоянном электрическом поле; e_{klm} – тензор пьезоэлектрических постоянных; s_{ij} – тензор деформации; ε_{nm}^S – тензор диэлектрической проницаемости при постоянной деформации. Перепишем систему (8) в матричных обозначениях

$$\begin{cases} \sigma_i = c_{ij}^E s_j - e_{im} E_m, & (i, j = 1 \div 6), \end{cases} \quad (9)$$

$$\begin{cases} D_n = e_{nj} s_j + \varepsilon_{nm}^S E_m, & (m, n = 1 \div 3). \end{cases} \quad (10)$$

В дальнейшем анизотропией пьезокерамики и прямым пьезоэффектом будем пренебрегать, поскольку такое же допущение принимается и в большинстве работ, в которых рассматривается классическая одномерная теория. Также предполагаем, что у индукции и напряженности электрического поля отлична от нуля только одна компонента (D_3, E_3) , перпендикулярная координатным поверхностям, на которых нанесены электроды. Тогда закон Гука с учетом обратного пьезоэффекта (9) запишем в виде

$$\begin{aligned} \sigma_{11} &= 2\mu s_{11} + \lambda s - e_{31}E_3, & \sigma_{22} &= 2\mu s_{22} + \lambda s - e_{31}E_3, \\ \sigma_{33} &= 2\mu s_{33} + \lambda s - e_{33}E_3, & & \\ \sigma_{12} &= \mu s_{12}, & \sigma_{13} &= \mu s_{13}, & \sigma_{23} &= \mu s_{23}, \end{aligned} \quad (11)$$

а уравнение (10) в виде

$$D_3 = \varepsilon E_3, \quad (12)$$

где λ, μ – упругие постоянные Ламе; компоненты деформации равны:

$$\begin{aligned} s_{11} &= \frac{1}{h_1} \frac{\partial u_1}{\partial \alpha_1} + \frac{1}{h_1 h_2} \frac{\partial h_1}{\partial \alpha_2} u_2 + \frac{1}{h_1 h_3} \frac{\partial h_1}{\partial \alpha_3} u_3, \\ s_{22} &= \frac{1}{h_2} \frac{\partial u_2}{\partial \alpha_2} + \frac{1}{h_2 h_3} \frac{\partial h_2}{\partial \alpha_3} u_2 + \frac{1}{h_1 h_2} \frac{\partial h_2}{\partial \alpha_1} u_1, \\ s_{33} &= \frac{1}{h_3} \frac{\partial u_3}{\partial \alpha_3} + \frac{1}{h_1 h_3} \frac{\partial h_3}{\partial \alpha_1} u_1 + \frac{1}{h_2 h_3} \frac{\partial h_3}{\partial \alpha_2} u_2, \\ s_{12} &= \frac{h_2}{h_1} \frac{\partial}{\partial \alpha_1} \left(\frac{u_2}{h_2} \right) + \frac{h_1}{h_2} \frac{\partial}{\partial \alpha_2} \left(\frac{u_1}{h_1} \right), & s_{23} &= \frac{h_3}{h_2} \frac{\partial}{\partial \alpha_2} \left(\frac{u_3}{h_3} \right) + \frac{h_2}{h_3} \frac{\partial}{\partial \alpha_3} \left(\frac{u_2}{h_2} \right), \\ s_{13} &= \frac{h_3}{h_1} \frac{\partial}{\partial \alpha_1} \left(\frac{u_3}{h_3} \right) + \frac{h_1}{h_3} \frac{\partial}{\partial \alpha_3} \left(\frac{u_1}{h_1} \right), \\ s &= \operatorname{div} \bar{u} = s_{11} + s_{22} + s_{33} = \frac{1}{h_1 h_2 h_3} \left(\frac{\partial (h_2 h_3 u_1)}{\partial \alpha_1} + \frac{\partial (h_1 h_3 u_2)}{\partial \alpha_2} + \frac{\partial (h_1 h_2 u_3)}{\partial \alpha_3} \right). \end{aligned}$$

Ограничимся анализом работы пьезопреобразователя в режиме излучения при гармонической зависимости от времени $\exp(-i\omega t)$, временной множитель в дальнейших выкладках опускается.

Методика вывода уравнений колебания пьезопреобразователя следующая. Из уравнения (5) находим индукцию, а из (12) – напряженность электрического поля. Затем для конкретного типа пьезопреобразователя вычисляем компоненты тензора напряжений (11) и подставляем их в уравнения (7). Однако в общем случае при рассмотрении преобразователей нескольких типов рациональнее сначала выделить в уравнениях (7) компоненты возбуждающей силы, обусловленной электрическим полем. Тогда для описания колебаний пьезопреобразователя получаем неоднородное векторное дифференциальное уравнение

$$(\lambda + 2\mu) \text{grad}(\text{div}\bar{u}) - \mu \text{rot}(\text{rot}\bar{u}) + \rho\omega^2\bar{u} = -\bar{F}. \quad (13)$$

В этом случае при выводе уравнений для компонент вектора смещения можно воспользоваться выражениями для векторных дифференциальных операторов: градиента, дивергенции и ротора (2–4). Подставляя в уравнения (7) выражения для слагаемых компонент тензора деформации, обусловленных обратным пьезоэффектом, для компонент возбуждающей силы получим

$$F_1 = \frac{1}{h_1 h_2 h_3} \left(h_3 e_{31} E_3 \frac{\partial h_2}{\partial \alpha_1} + h_2 e_{33} E_3 \frac{\partial h_3}{\partial \alpha_1} - \frac{\partial}{\partial \alpha_1} (h_2 h_3 e_{31} E_3) \right),$$

$$F_2 = \frac{1}{h_1 h_2 h_3} \left(h_1 e_{33} E_3 \frac{\partial h_3}{\partial \alpha_2} + h_3 e_{31} E_3 \frac{\partial h_1}{\partial \alpha_2} - \frac{\partial}{\partial \alpha_2} (h_1 h_3 e_{31} E_3) \right),$$

$$F_3 = \frac{1}{h_1 h_2 h_3} \left(h_2 e_{31} E_3 \frac{\partial h_1}{\partial \alpha_3} + h_1 e_{33} E_3 \frac{\partial h_2}{\partial \alpha_3} - \frac{\partial}{\partial \alpha_3} (h_1 h_2 e_{33} E_3) \right).$$

Если пьезопреобразователь нагружен с акустической стороны, то уравнение движения пассивной среды получается из (13) при $F \equiv 0$. Также будем полагать, что пьезопостоянные не зависят от координат, такое допущение будет справедливо, если поляризация всех участков пьезокерамики достигла насыщения.

На свободных поверхностях пьезопреобразователя должны выполняться следующие граничные условия: отсутствие касательных и нормальных механических напряжений. На нагруженных на жидкость поверхностях преобразователя должны выполняться граничные условия: отсутствие касательных напряжений, непрерывность нормальных смещений и нормальных напряжений.

Выводы

На основе теории электромагнитного поля, теории упругости и электроупругости, уравнений математической физики и элементов тензорного анализа получено векторное дифференциальное уравнение, описывающее собственные колебания пьезопреобразователей в произвольной системе ортогональных криволинейных координат. Оно применимо для анализа преобразователей нетрадиционных типов: в виде эллипсоида вращения, эллиптического цилиндра, однополостного гиперболоида вращения и некоторых других. Решение полученного векторного уравнения (13) для конкретного типа пьезопреобразователя при соответствующих граничных условиях существующими аналитическими методами представляет значительные (и, вероятно, непреодолимые в настоящее время) математические трудности. Именно поэтому аналитическими методами решены только простейшие одномерные задачи для преобразователей классических типов. Более перспективными и реальными методами

анализа пьезопреобразователей нетрадиционных типов являются численные методы. Для анализа собственных колебаний преобразователей – метод конечных элементов. Для анализа акустического излучения – комбинированный метод конечных и граничных элементов и комбинированные численно-аналитические методы. Достаточно подробно все эти методы рассмотрены в монографиях авторов [5–7] для анализа неоднородных моделей преобразователей классических типов.

Список литературы

1. Анго, А. Математика для электро- и радиоинженеров / А. Анго. – М.: Наука, 1967. – 780 с.
2. Корн, Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн. – М.: Наука, 1973. – 832 с.
3. Маделунг, Э. Математический аппарат физики / Э. Маделунг. – М.: Наука, 1968. – 620 с.
4. Ландау, Л.Д. Теоретическая физика. Т. 7. Теория упругости / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. – М.: Наука, 1987. – 248 с.
5. Балабаев, С.М. Компьютерное моделирование колебаний и излучения тел конечных размеров (методы конечных и граничных элементов) / С.М. Балабаев, Н.Ф. Ивина. – Владивосток: Дальнаука, 1996. – 213 с.
6. Балабаев, С.М. Компьютерное моделирование и анализ собственных колебаний пьезопреобразователей методом конечных элементов / С.М. Балабаев, Н.Ф. Ивина. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2007. – 242 с.
7. Балабаев, С.М. Компьютерное моделирование и анализ излучения гидроакустических пьезопреобразователей и антенн / С.М. Балабаев, Н.Ф. Ивина. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2013. – 196 с.

Сведения об авторах: Балабаев Сергей Михайлович, доктор физико-математических наук, профессор, e-mail: ivinanata@yandex.ru;

Ивина Наталья Федоровна, доктор технических наук, доцент, e-mail: ivinanata@yandex.ru.

УДК 551.465

С.В. Шостак¹, П.А. Стародубцев², Е.Н. Бакланов², К.А. Пичугин³

¹Дальневосточный федеральный университет,

690600, г. Владивосток, о. Русский, кампус ДВФУ, корпус А

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

ВЛИЯНИЕ КОРРЕЛИРОВАННЫХ ПОМЕХ С НЕИЗВЕСТНОЙ ФУНКЦИЕЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НА СПОСОБ ОЦЕНКИ НАПРАВЛЕНИЯ НА ОБЪЕКТ В ГИДРОЛОКАЦИИ

Рассматривается модель пространственно-временного сигнала, формируемого линейной антенной решеткой, в виде линейного векторно-матричного уравнения с использованием в качестве оценок линейных комбинаций наблюдаемых сигналов. Приводится способ оптимальной оценки направления на источник сигнала при воздействии на антенную решетку коррелированных помех с неизвестной функцией распределения.

Ключевые слова: гидролокация, диаграмма направленности, антенная решетка, обнаружение сигнала, пространственно-временной сигнал.

S.V. Shostak, P.A. Starodubtcev, E.N. Baklanov, K.A. Pechugin THE EFFECT OF CORRELATED NOISE WITH UNKNOWN DISTRIBUTION FUNCTION ON THE METHOD OF VALUATION OF DIRECTIONS TO OBJECT IN SONAR

The model of spatiotemporal signal, produced by the linear antenna array, in the form of a linear matrix-vector equations using linear combinations as estimates of the observed signals is discussed. The article provides a way to estimate the optimum direction of the source signal when exposed to an antenna array correlated noise with an unknown distribution function.

Key words: sonar, radiation pattern, antenna array, signal detection, spatial-temporal signal.

Введение

Приемная антенна (ПА) в задачах гидролокации используется в основном для пространственной фильтрации или угловой селекции, поэтому многие работы по этим вопросам в современной гидроакустике посвящены в основном способам получения требуемых диаграмм направленности (ДН) с помощью весового суммирования сигналов отдельных элементов антенной решетки в целом.

В основе такого подхода всегда лежит предположение, что наилучшим способом, обеспечивающим повышение эффективности обнаружения сигнала, является формирование некоторой ДН ПА.

Так как волна, по определению, есть функция пространства и времени или имеется функциональная зависимость между пространственной и временной переменными, то при более общем подходе к проблеме обнаружения сигнала и определения угловых характеристик источника на форму ДН не накладывается каких-либо ограничений.

Обработка пространственно-временного сигнала обычно проводится в условиях присутствия в гидроакустическом канале шумов и помех среды. Поэтому для таких условий надо говорить только об оценке направления, и задача определения направления на источник относится к области статистической обработки.

В традиционных методах оценки направления, как правило, предполагается, что функция распределения шума известна, шумы на гидрофонах не коррелированы и имеют одинаковую дисперсию. В реальной обстановке такие предположения выполняются достаточно редко. Например, помеха от точечного отражателя/излучателя формирует на решетке коррелированную помеху, в результате чего в гидрофонах помехи становятся не только коррелированными, но и имеют различную дисперсию [1].

Целью данной работы является разработка метода несмещенной оценки направления на источник излучения (находящееся на больших дистанциях объемное возмущение водной среды масштабным рыбным косяком) с минимальной дисперсией в условиях воздействия на линейную антенную решетку корреляционных помех с неизвестной функцией распределения.

Основная часть

В данной научной работе будем считать, что на интервале наблюдения шум (сюда входят и помехи) является стационарным процессом с нулевым средним, неизвестной функцией распределения, не обязательно белый. В качестве критерия оптимальности примем, что оценка должна быть несмещенной и с минимальной дисперсией. Это позволяет в дальнейшем рассмотреть модель пространственно-временного сигнала, формируемого линейной антенной решеткой.

Пусть в предположении плоского волнового фронта поле акустического давления формирует пространственно-временной сигнал, как показано на рис. 1.

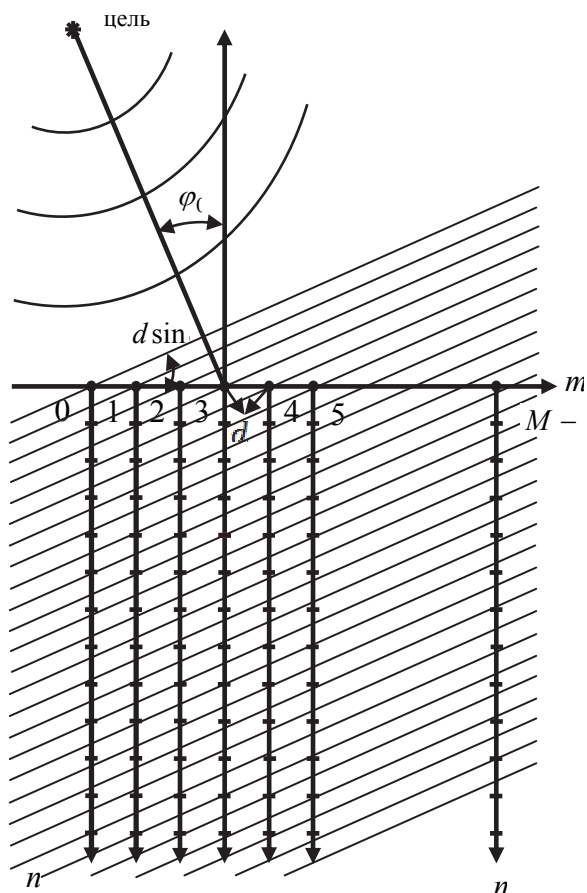


Рис. 1. Модель формирования пространственно-временного сигнала
 Fig. 1. The model of formation of the space-time signal

Полагаем, что цель излучает/отражает гармонический сигнал вида

$$s(t) = a \cdot \cos(2\pi f_0' t - \Psi), \quad (1)$$

где a – амплитуда сигнала; f_0' – несущая частота; Ψ – начальная фаза.

Считаем, что антенная решетка расположена в дальней зоне, когда волновой фронт сигнала является плоским, как представлено на рис. 1. В таком случае сигнал на m -м гидрофоне запаздывает относительно $(m-1)$ -го на величину $\frac{d}{c} \sin \varphi_0$, где d – расстояние между гидрофонами, c – скорость звука в воде. Тогда на отдельном гидрофоне формируется информационный сигнал

$$\begin{aligned} s(m, t) &= a \cdot \cos\left(2\pi f_0' \left(t - \frac{d}{c} \sin \varphi_0 \cdot m\right) - \Psi\right) = \\ &= a \cdot \cos\left(2\pi f_0' t - 2\pi \left(\frac{d}{\lambda_0} \sin \varphi_0\right) m - \Psi\right), \end{aligned} \quad (2)$$

где λ_0 – длина волны.

После аналого-цифрового преобразования сигналов в каждом канале выражение (2) приобретает вид

$$s(m, n) = a \cdot \cos\left(2\pi f_0 n - 2\pi \left(\frac{d}{\lambda_0} \sin \varphi_0\right) m - \Psi\right), \quad (3)$$

где $n = 0 \div N - 1$ – номер отсчета в области времени;

$$f_0 = \frac{f_0'}{f_D}; \quad f_D \text{ – частота дискретизации.}$$

В реальной обстановке информационный сигнал (3) приходит на антенную решетку в аддитивной смеси с шумом гидроакустического канала $\omega(m, n)$. В результате на выходе гидрофона формируется сигнал

$$x(m, n) = s(m, n) + \omega(m, n), \quad (4)$$

где $\omega(m, n)$ – шумовая составляющая, которая включает и помехи.

Перепишем выражение (4) в развернутом виде:

$$\begin{aligned} x(m, n) &= a \cdot \cos\left(2\pi f_0 n - 2\pi \left(\frac{d}{\lambda_0} \sin \varphi_0\right) m - \Psi\right) + \omega(m, n) = \\ &= a \cdot \cos(2\pi f_0 n) \cdot \cos(2\pi \vartheta_0 m - \Psi) + a \cdot \sin(2\pi f_0 n) \cdot \sin(2\pi \vartheta_0 m - \Psi) + \omega(m, n), \end{aligned} \quad (5)$$

где $\vartheta_0 = \frac{d}{\lambda_0} \sin \varphi_0$.

$$H = \begin{bmatrix} 1 & 0 & & & \vdots \\ \vdots & \vdots & & & \vdots \\ \cos(2\pi f_0(N-1)) & \sin(2\pi f_0(N-1)) & & & \vdots \\ \dots & \dots & 1 & 0 & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \dots & \vdots \\ 0 & 0 & \cos(2\pi f_0(N-1)) & \sin(2\pi f_0(N-1)) & \vdots & 1 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \vdots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & \dots & \dots & \vdots & \cos(2\pi f_0(N-1)) & \sin(2\pi f_0(N-1)) \end{bmatrix} \quad (9)$$

$MN \times 2M$

$$\theta = \begin{bmatrix} \theta'_0 \\ \vdots \\ \theta'_{M-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(2\pi \vartheta_0 \cdot 0 - \Psi) \\ \sin(2\pi \vartheta_0 \cdot 0 - \Psi) \\ \vdots \\ \cos(2\pi \vartheta_0 \cdot (M-1) - \Psi) \\ \sin(2\pi \vartheta_0 \cdot (M-1) - \Psi) \end{bmatrix}; \quad (10)$$

$2M \times 1$

$$W = \begin{bmatrix} W_0 \\ \vdots \\ W_{M-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \omega(0,0) \\ \dots \\ \omega(0,N-1) \\ \dots \\ \omega(M-1,0) \\ \dots \\ \omega(M-1,N-1) \end{bmatrix}. \quad (11)$$

$MN \times 1$

Окончательно в компактном виде модель пространственно-временного сигнала решетки можно записать

$$X = H \cdot \theta + W, \quad (12)$$

где X – вектор измерений размерностью $(MN \times 1)$; H – матрица связи размерностью $(MN \times 2M)$; θ – вектор параметров размерностью $(2M \times 1)$; W – вектор шума размерностью $(MN \times 1)$.

В выражении (12) вектор X является вектором сигналов, измеренных на гидрофонах, H – известная матрица.

Из выражения (12) видно, что модель формирования сигнала в антенной решетке представляется в виде линейного векторно-матричного уравнения, где искомой величиной является вектор θ . Для оценки θ в подобного рода моделях применимы методы линейного оценивания, когда оценки вычисляются как линейные комбинации взвешенных с определенными весами, которые необходимо определить, наблюдаемых сигналов [2, 3]. К достоинствам таких оценок относится возможность получать несмещенные оценки, а также то, что они не требуют точного знания статистик шума, а только моменты до второго порядка включительно.

Обобщенный метод линейного оценивания основан на выражении

$$\hat{\theta} = A \cdot X, \quad (13)$$

где A – неизвестная матрица весов, которую требуется определить.

Как известно, основным требованием к методам оценивания является требование выделения некоторых величин из зашумленных данных насколько можно точнее [2, 3, 4]. К такому требованию относится требование несмещенности оценки

$$E[\hat{\theta}] = \theta, \quad (14)$$

где E – оператор математического ожидания.

Из-за наличия шума при оценке $\hat{\theta}$ снова формируется случайный процесс, и тогда метод линейного оценивания дает

$$E[\hat{\theta}] = E[AX] = E[A(H\theta + W)] = E[AN\theta \cdot AW] = ANE[\theta] + AE[W] = AN\theta + AE[W]. \quad (15)$$

Так как ранее было положено, что среднее значение шума равно нулю, т.е. $E[W] = 0$, то матрица A должна удовлетворять условию

$$A \cdot H = I, \quad (16)$$

где I – единичная матрица.

Получим теперь выражение для дисперсии вектора оценки $\hat{\theta}$ через ковариационную матрицу

$$E[(\hat{\theta} - \theta)(\hat{\theta} - \theta)^T] = E[(AX - \theta)(AX - \theta)^T] = E[(AN\theta + AW - \theta)(AN\theta - AW - \theta)^T],$$

где T – операция транспонирования.

С учетом условий (16) получим

$$E[(\hat{\theta} - \theta)(\hat{\theta} - \theta)^T] = E[(AW)(AW)^T] = E[AWW^T A^T] = AE[WW^T] A^T = AC_w A^T, \quad (17)$$

где C_w – ковариационная матрица шума.

Кроме требования несмещенности другим требованием к оценке является оценивание с минимальной дисперсией. Для этого необходимо найти матрицу весовых коэффициентов A , которая давала бы минимальное значение (17) с учетом условий (16). Эта задача на поиск условного минимума, и решение ее получено в [2–5] на основе теоремы Гаусса-Маркова, из которой следует, что если данные измерений есть общая линейная модель вида

$$X = H \cdot \theta + W, \quad (18)$$

где H – известная $(MN \times 2M)$ матрица, θ есть $(2M \times 1)$ вектор параметров для оценивания, W есть $(MN \times 1)$ произвольно распределенный шумовой вектор с нулевым средним и известной $(MN \times MN)$ ковариационной матрицей C_w , то наилучшей линейной несмещенной оценкой для $\hat{\theta}$ является

$$\hat{\theta} = (H^T C_W H)^{-1} H^T C_W^{-1} X. \quad (19)$$

При этом дисперсия оценки $\hat{\theta}$ определяется выражением

$$\text{var}(\hat{\theta}) = (H^T C_W^{-1} H)^{-1}, \quad (20)$$

а минимальная дисперсия оценки отдельного параметра $\hat{\theta}_m$

$$\text{var}(\hat{\theta}_m) = \left[(H^T C^{-1} H)^{-1} \right]_{mm}. \quad (21)$$

Для нашего случая получили, что

$$A = (H^T C_W^{-1} H)^{-1} H^T C_W^{-1}. \quad (22)$$

В частном случае, если W – белый шум с ковариационной матрицей

$$C_W = \sigma_W^2 \cdot I, \quad (23)$$

где σ_W^2 – дисперсия шума,

$$\text{то } C_W^{-1} = \frac{1}{\sigma_W^2} \cdot I,$$

и тогда выражение оценки (19) приобретает вид

$$\hat{\theta} = (H^T C^{-1} H)^{-1} \cdot H^T C^{-1} X = \left(H^T \frac{1}{\sigma_W^2} I \cdot H \right)^{-1} \cdot H^T \left(\frac{1}{\sigma_W^2} I \right)^{-1} \cdot X = (H^T H)^{-1} \cdot H^T X, \quad (24)$$

т.е. сводится к стандартной процедуре наименьших квадратов.

Множитель C_W^{-1} в (19) проводит предварительное предобеливание данных до усреднения, т. е. выравнивает шумовой вклад каждого гидрофона. Тогда, если W имеет гауссовское распределение, то в результате вектор $\hat{\theta}$ так же будет распределен по нормальному закону с ковариационной матрицей вида (22).

Как показывает (10), вектор $\hat{\theta}$ состоит из ряда косинусов и синусов, искаженных шумом, который приведен к белому. Последовательности косинусов и синусов в $\hat{\theta}$ являются функциями, где в качестве аргумента выступает номер гидрофона, а постоянная величина $\vartheta_0 = \frac{d}{\lambda_0} \cdot \sin \varphi_0$ имеет смысл пространственной частоты, т.е.

$$\begin{aligned} \cos(2\pi \vartheta_0 m - \Psi) &= \cos \left(2\pi \left(\frac{d}{\lambda_0} \sin \varphi_0 \right) m - \Psi \right) \\ \sin(2\pi \vartheta_0 m - \Psi) &= \sin \left(2\pi \left(\frac{d}{\lambda_0} \sin \varphi_0 \right) m - \Psi \right). \end{aligned} \quad (25)$$

В результате задача оценки направления на источник сводится к оценке пространственной частоты ϑ_0 гармонического колебания на фоне белого шума с минимальной дисперсией.

Вектор оценок параметров (19) с помощью $(M \times 2M)$ матрицы

$$D = \underbrace{\begin{bmatrix} 1 & j & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & j & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & \dots & \dots & \dots & 1 & j \end{bmatrix}}_{M \times 2M}, \quad (26)$$

где $j = \sqrt{-1}$ – мнимая единица,

несложно преобразовать в комплексный вид

$$Z = D \cdot \hat{\theta}. \quad (27)$$

Далее вектор Z легко представляется в виде комплексного сигнала переменной m

$$z(m) = a \cdot \exp \left[j \left(2\pi \left(\frac{d}{\lambda_0} \sin \varphi_0 \right) m - \Psi \right) \right] + \varepsilon(m) = a \cdot \exp [j(2\pi \vartheta_0 m - \Psi)] + \varepsilon(m), \quad (28)$$

где $\varepsilon(m)$ – шумовая составляющая с дисперсией σ_ε^2 и ковариационной матрицей $\sigma_\varepsilon^2 \cdot I$.

В работе [6] проведено решение задачи оценки амплитуды, частоты и начальной фазы гармонического сигнала вида (28) на фоне белого гауссовского шума методом максимального правдоподобия. Представленные результаты показывают, что наилучшим методом оценки частоты является метод периодограммы [5,6], который для нашего случая имеет вид

$$\frac{1}{M} \left| \sum_{m=0}^{M-1} z(m) \cdot \exp(-j2\pi \vartheta \cdot m) \right|^2, \quad (29)$$

где $| \quad |$ – абсолютное значение (модуль) выражения.

Подставим в (29) информационную часть (28):

$$\begin{aligned} & \frac{1}{M} \left| \sum_{m=0}^{M-1} a \cdot \exp [j(2\pi \vartheta_0 m - \Psi)] \cdot \exp(-j2\pi \vartheta m) \right|^2 = \\ & = \frac{1}{M} \left| a \sum_{m=0}^{M-1} \exp[-j2\pi(\vartheta - \vartheta_0) \cdot m] \cdot \exp(-j\Psi) \right|^2 = \\ & = \frac{a^2}{M} \left| \sum_{m=0}^{M-1} \exp \left[-j2\pi \left(\vartheta - \frac{d}{\lambda_0} \sin \varphi_0 \right) \cdot m \right] \right|^2. \end{aligned} \quad (30)$$

Несложно заметить, что в случае $\vartheta = \vartheta_0 = \frac{d}{\lambda_0} \cdot \sin \varphi_0$ (30) имеет максимальное значение.

И, следовательно, оценка пространственной частоты $\hat{\vartheta}_0$, соответственно и угла φ_0 , опреде-

ляется выбором частоты ϑ , для которой периодограмма достигает максимального значения. При этом неравенство Рао-Крамера дисперсии оценки $\hat{\vartheta}_0$ имеет вид [2, 6, 7]

$$\text{var}(\hat{\vartheta}_0) \geq \frac{6\sigma_\varepsilon^2}{a^2 \cdot M(M^2 - 1)(2\pi)^2} = \frac{6}{\left(\frac{a^2}{\sigma_\varepsilon^2}\right)M(M^2 - 1)} = \frac{6}{qM(M^2 - 1)}, \quad (31)$$

где $q = \frac{a^2}{\sigma_\varepsilon^2}$ – отношение сигнал/шум.

Выражение (31) показывает, что граница Рао-Крамера оценки пространственной частоты обратно пропорциональна отношению сигнал/шум и уменьшается обратно пропорционально третьей степени числа гидрофонов в линейной антенной решетке, что делает рассмотренный способ достаточно помехоустойчивым [8].

Заключение

Таким образом, в настоящей работе получен способ оптимальной оценки направления на источник сигнала для линейной антенной решетки при воздействии на нее коррелированных помех с неизвестной функцией распределения. При этом в отношении шума предполагается, что его плотность вероятности неизвестна, но он может быть описан первым и вторым моментами [9–10]. Сформированный антенной решеткой пространственно-временной сигнал в работе описан в виде линейной модели (7), которая включает и шумовую составляющую. В рамках данной модели (10) представляет вектор параметров, который несет информацию о направлении и который требуется предварительно оценить. Требования несмещенности и минимума дисперсии оценки реализованы на основе теоремы Гаусса-Маркова в виде матрицы весовых коэффициентов, которыми взвешиваются сигналы на выходе отдельных гидрофонов, в результате чего «отбеливается» шумовая составляющая пространственно-временного сигнала и минимизируется ее дисперсия.

Список литературы

1. Монзинго, Р.А. Адаптивные антенные решетки / Р.А. Монзинго, Р.А. Миллер. – М.: Радио и связь, 1986.
2. Манелис, В.Б. Адаптация защитного интервала OFDM-сигнала к изменяющимся канальным условиям / В.Б. Манелис, И.В. Каюков // Радиолокация. Навигация. Связь: материалы Междунар. науч.-техн. конф., 2008.
3. Зелкин, Е.Г. Синтез антенн на основе атомарных функций / Е.Г. Зелкин, В.Ф. Кравченко. – М.: Радиотехника, 2003.
4. Kay S. Fundamentals of Statistical Signal Processing: Estimation Theory. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J. – 1993.
5. Haykin S. Adaptive Filter Theory. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J. – 1986.
6. Hayes M.H. Statistical DIGITAL SIGNAL PROCESSING AND MODELING. JOHN WILEY & SONS, INC., New York. – 1996.
7. Марпл – мл., С.Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения / С.Л. Марпл – мл. – М.: Мир, 1996.
8. Рабинер, Л. Теория и применение цифровой обработки сигналов / Л. Рабинер, Б. Голд. – М.: Мир, 1978. – 848 с.

9. Кривошеев В.И. Современные методы цифровой обработки сигналов (цифровой спектральный анализ). Учебно-методический материал по программе повышения квалификации «Современные системы мобильной цифровой связи, проблемы помехозащищенности и защиты информации». – Нижний Новгород, 2006. – 117 с.

10. Kay S. Modern Spectral Estimation. Theory and Application. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J. – 1988.

Сведения об авторах:

Шостак Сергей Васильевич, кандидат технических наук, доцент, e-mail: servash@mail.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 621.182.3:629.2-843.9

Л.К. Капран, В.В. Маницын, З.П. Старовойтова

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

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГЛАВНОГО ДИЗЕЛЯ 5ДКРН50/110-2 ТАНКЕРА ТИПА «КАЛИНИНГРАДНЕФТЬ» С ТРЕМЯ ВАРИАНТАМИ ГРЕБНЫХ ВИНТОВ

Приводятся уравнения винтовой и топливных характеристик, полигоны распределений мощности главного дизеля на режимах «переход» и «работа на промысле». Даются рекомендации по оптимизации мощности и расходу топлива главным дизелем в эксплуатации с гидравлически облегченным винтом.

***Ключевые слова:** главный дизель, полигоны распределения мощности на режимах «переход» и «работа на промысле», топливные характеристики.*

L.K. Kapran, V.V. Manyisyn, Z.P. Starovoytova

STUDY OF OPERATING MODE MAIN DIESEL 5DKRN50 / 110-2 TANKERS "KALININGRADNEFT " WITH THREE OPTIONS PROPELLER

The equations screw and fuel characteristics , the main power distribution ranges on diesel mode "transition" and "work in the fishery ." Are the recommendations of the optimization of power and fuel consumption, the main engine operation for hydraulic lightweight rotor.

***Key words:** Main diesel engine, screw, fuel characteristics, specific fuel consumption.*

Введение

Исследования режимов эксплуатации главных дизелей (ГД) морских судов различного назначения проводились рядом авторов [2, 3, 4, 5, 6, 7, 8], однако вопросы нагрузок ГД танкеров типа «Калининграднефть» до конца не были ими изучены.

Проблема повышения эффективности технической эксплуатации главного дизеля на судах морского и промыслового флотов до настоящего времени является предметом исследований научно-исследовательских и проектных организаций и относится к весьма актуальным. Решение этой проблемы предусматривает исследования режимов эксплуатации главного дизеля 5ДКРН 50/110-2 танкера типа «Калининграднефть» с тремя вариантами обрезки гребных винтов, направленные на сокращение затрат на горюче-смазочные материалы.

Цель исследования технической эксплуатации ГЭУ с главным дизелем 5ДКРН 50/110-2 – оптимизировать расход топлива для повышения эффективности его эксплуатации.

Общие сведения

Танкер «Калининграднефть» является головным судном, построенным в Финляндии, который предназначен для перевозки топлива и смазочного масла в районы промысла и снабжения им добывающих и обрабатывающих судов. Основные характеристики танкера типа «Калининграднефть» [1] приведены в табл. 1.

Таблица 1

Основные характеристики танкера «Калининграднефть»

Table 1

Main characteristics of the " Kaliningradneft " tanker

Длина наибольшая, м	115,5
Между перпендикулярами, м	105
Ширина по миделю, м	17
Высота борта на миделе, м	8,5
Средняя осадка в грузу, м	6,4
Водоизмещение полное, т	8913
Дедвейт судна, т	5873
Скорость судна, уз	14
Район плавания:	Неограниченный
Экипаж, чел.	32

На танкере типа «Калининграднефть» в качестве главного дизеля (ГД) установлен малооборотный дизель типа 5ДКРН 50/110-2, двухтактный, крейцкопфный, реверсивный с прямоточно-клапанной продувкой с прямой передачей крутящего момента на ВФШ. Основные характеристики ГД [1] приведены в табл. 2.

Таблица 2

Основные характеристики главного дизеля

Table 2

Main characteristics of the main diesel

Марка дизеля:	5ДКРН 50/110-2
Номинальная мощность, кВт	2574
Номинальная частота вращения, мин ⁻¹	170
Давление сгорания, МПа	6,4
Среднее эффективное давление, МПа	0,9
Температура выпускных газов в коллекторе, °С	380-480
Удельный расход топлива, кг/(кВт·ч)	0,210+5%
Марка топлива	Флотский мазут Ф-5

На Дальневосточный бассейн поступило 11 танкеров типа «Калининграднефть», каждый танкер совершает 9–11 рейсов в год. Рейс состоит из 4 режимов эксплуатации танкера: стоянка в порту; переход в район промысла и из района промысла в порт; работа на промысле; стоянка в море. Основными традиционными районами работы танкеров являются: Берингоморская, Охотоморская и Южно-Курильская экспедиции.

На танкере типа «Калининграднефть» был установлен 3-лопастной гребной винт фиксированного шага с номинальным диаметром $D = 3,7$ м и шагом $S = 2,94$ м, который оказался «тяжёлым» в эксплуатации, ГД не развивал номинальную мощность 2574 кВт.

В связи с этим в 1983 г. ДВ ЦКБ ММФ была разработана документация по подрезке лопастей гребного винта в нескольких вариантах. Рассмотрим работу танкеров с тремя вариантами гребного винта с разными характеристиками.

На танкерах «Усть-Кут», «Усть-Карск», «Гальве», «Усть-Илимск», «Усть-Лабинск» выполнена подрезка лопастей гребных винтов по первому варианту (D= 3,58 м, S=2,94 м.).

На танкерах «Оханефть», «Мыс-Кодош», «Усть-Кан» и «Делегат» – по третьему варианту (D=3,54 м, S=2,94 м).

На танкерах последней постройки «Лукоморье», «Усть-Ижма» финская фирма «Раума-Репола» установила гребные винты гидравлически облегченные за счёт уменьшения шага винта на 0,11 м (D=3,7 м, S=2,83 м). (Шаг винта – это расстояние, на которое переместится винт за один оборот). В данной статье приведены исследования режимов эксплуатации ГД танкеров с тремя вариантами обрезки гребных винтов.

Для исследования режимов эксплуатации ГД применялся статистический метод. Этот метод имеет преимущества по сравнению с методом теплотехнических испытаний, так как в эксплуатации мощность ГД носит случайный характер, а для получения достоверных данных требуется располагать большим количеством исходной информации. Кратковременность проведения теплотехнических испытаний не позволяет получить фактическую мощность ГД с разными характеристиками винта и в различных условиях эксплуатации танкера.

Определение текущей мощности ГД

На ГД 5КРН50/110-2 отсутствуют приборы контроля и регистрации эффективной мощности. Поэтому в качестве косвенного параметра определения текущей мощности ГД принята частота вращения коленчатого вала, которая регистрируется в вахтенном машинном журнале. Для перехода от частоты вращения коленчатого вала ГД к его мощности используется их зависимость [5]. Такая зависимость называется винтовой характеристикой дизеля. Винтовая характеристика дизеля в аналитической форме с достаточной точностью рассчитывается в виде кубической параболы:

$$\overline{N_e} = c \cdot n^3, \quad \overline{N_e} = \frac{N_e}{N_{ном.}}$$

где $\overline{N_e}$ – относительная мощность дизеля (отношение текущей мощности к номинальной); n – частота вращения коленчатого вала дизеля; c – коэффициент пропорциональности, который определяется по результатам стендовых испытаний ГД на тяжёлом топливе (флотский мазут Ф-5), приведенных в табл. 3.

Таблица 3

Результаты стендовых испытаний ГД 5ДКРН 50/110-2

Table 3

Results of bench tests of the ME 5 ДКРН 50/110–2

Эффективная мощность, кВт	257,4	514,8	772,2	1030	1287	1544,4	1802	2059	2317	2574
Относительная мощность $\overline{N_e}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Частота вращения коленчатого вала n, мин ⁻¹	80	100	115	126	135	143	150	158	165	170

Используя данные стендовых испытаний (табл. 3) и метод наименьших квадратов [9], получен коэффициент $c = 2,032 \cdot 10^{-7}$.

Уравнение винтовой характеристики будет иметь вид:

$$\overline{N_e} = 2,032 \cdot 10^{-7} n^3.$$

Средняя ошибка аппроксимации при этом составляет 1,34 %.

График зависимости относительной мощности $\overline{N_e}$ ГД от частоты вращения коленчатого вала n представлен на рис. 1.

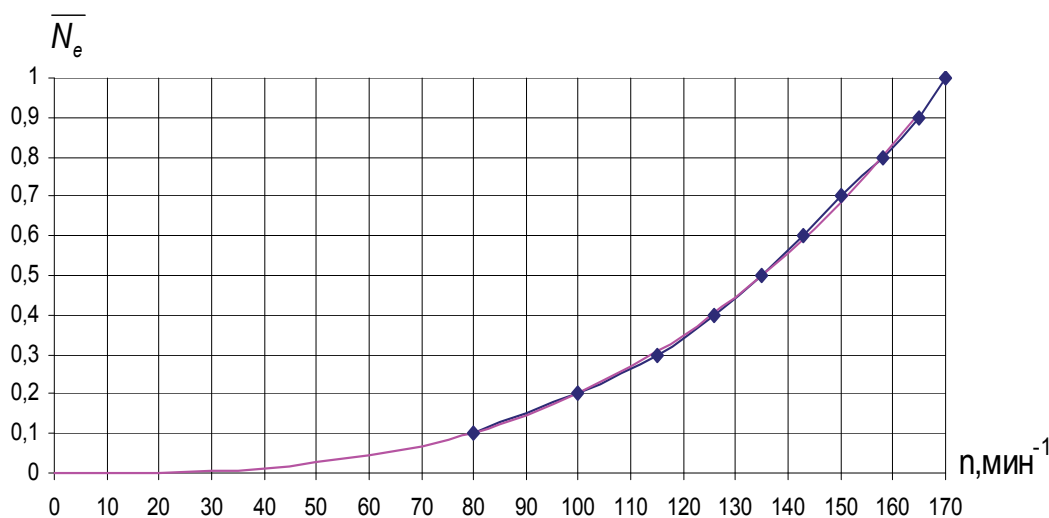


Рис. 1. Винтовая характеристика ГД 5ДКРН 50/110-2
Fig. 1. Propeller characteristics of main engine 5DKRN 50/110-2

По графику на оси абсцисс откладываем текущее значение частоты вращения коленчатого вала, а на кривой находим соответствующую точку, ордината которой равна значению относительной текущей мощности ГД.

Исследование распределения мощности ГД на основных режимах его эксплуатации

Характерными режимами эксплуатации ГД являются «переход в район промысла», «работа на промысле», «переход в порт». Режим эксплуатации ГД «переход» объединяет переход на промысел и переход в порт, так как мощность на этих режимах незначительно отличается друг от друга. Расчёт параметров распределения мощности ГД для указанных режимов эксплуатации получен для танкеров, имеющих подрезку гребного винта по первому варианту ($D=3,58$ м, $S=2,94$ м), по третьему варианту ($D=3,54$ м, $S=2,94$ м) и с гидравлически облегченным винтом ($D=3,7$ м, $S=2,83$ м) [7, 8].

Статистические данные по распределению мощности ГД 5ДКРН 50/110-2 на режиме «переход» для танкера с тремя вариантами обрезки гребных винтов [3,4] приведены в табл. 4.

По данным табл. 4 построены полигоны распределения [10] мощности ГД на режиме «переход» для первого варианта обрезки винта (рис. 2); для третьего варианта обрезки винта (рис. 3), с гидравлически облегченным винтом (рис. 4) и на рис. 5 – полигон распределения мощности ГД на режиме «работа на промысле».

Таблица 4

Параметры распределения мощности ГД с тремя вариантами обрезки гребных винтов
Table 4
Parametry power distribution DG tankers with three options propellers

Данные по распределению мощности ГД танкера типа «Калининграднефть» на режиме «переход»								Режим «работа на про- мысле»	
Интервалы мощности в относительных единицах	Середина интервала	1-й вариант обрезки винта		3-й вариант обрезки винта		Гидравлически облегченный винт		Для всех вари- антов гребного винта	
		t, ч	\bar{t}	t, ч	\bar{t}	t, ч	\bar{t}	t, ч	\bar{t}
0,00–0,10	0,05	58	0,0133	10	0,0090	6	0,0008	1339	0,387
0,10–0,20	0,15	35	0,008	54	0,0484	42	0,0058	667	0,193
0,20–0,30	0,25	28	0,0064	0	0,0000	0	0,0000	91	0,026
0,30–0,40	0,35	54	0,0124	36	0,0323	60	0,0083	144	0,042
0,40–0,50	0,45	172	0,0394	9	0,0081	96	0,0133	236	0,068
0,50–0,60	0,55	140	0,0321	25	0,0224	2080	0,2878	398	0,115
0,60–0,70	0,65	1123	0,2574	62	0,0556	3570	0,4939	417	0,121
0,70–0,80	0,75	2295	0,5260	197	0,1767	1374	0,1901	168	0,049
0,80–0,90	0,85	458	0,105	434	0,3892	0	0	-	
0,90–1,00	0,95	-	-	288	0,2583	0	0	-	
Итого		4363	1,000	1115	1,000	7228	1,000	3460	1,000
		$\bar{N}_c = 0,69$		$\bar{N}_c = 0,78$		$\bar{N}_c = 0,63$		$\bar{N}_c = 0,28$	
		$\sigma = 0,14$		$\sigma = 0,21$		$\sigma = 0,086$		$\sigma = 0,25$	

Где t – продолжительность работы ГД, ч; \bar{t} – относительная продолжительность работы ГД;
 \bar{N}_c – средняя относительная мощность; σ – среднее квадратическое отклонение.

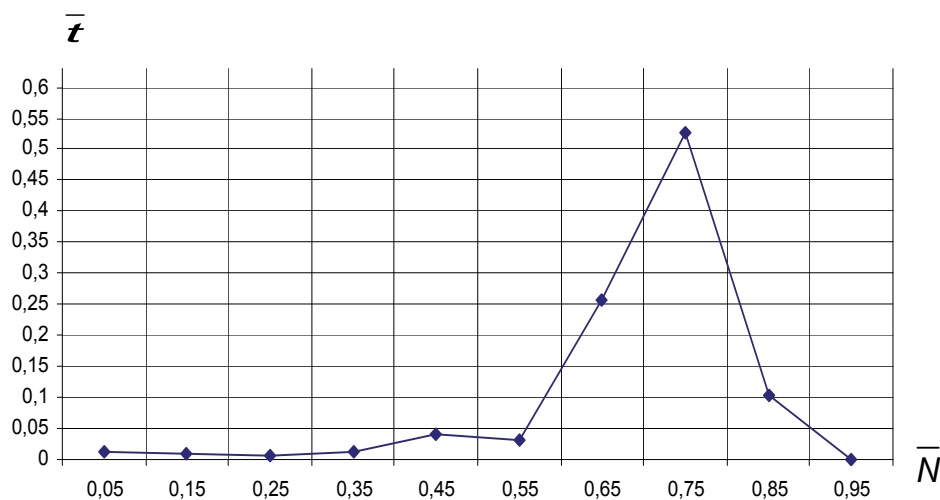


Рис. 2. Полигон распределения мощности ГД на режиме «переход»
для первого варианта обрезки винта (D=3,58 м, S=2,94 м)

Fig. 2. Power distribution range of the main engine on regime “at sea” for trimming the first embodiment of the screw (D = 3,58 m , S = 2,94 m)

На режиме «переход» для танкеров «Усть-Кут», «Усть-Карск», «Гальве», Усть-Илимск», «Усть-Лабинск» с первым вариантом обрезки лопастей гребных винтов [2] (рис. 2) ГД 78 % времени работает в интервале нагрузок (0,55 до 0,85) от номинальной мощности при среднем значении относительной мощности $\bar{N}_c = 0,69$ и среднеквадратическом отклонении $\bar{\sigma} = 0,14$. Интервал отклонения мощности ГД от среднего значения на режиме «переход» составляет от $(N_c - \sigma) \cdot N_{ном} = 1415,7$ до $(N_c + \sigma) \cdot N_{ном} = 2136,42$ кВт.

На режиме «переход» для танкеров «Оханефть», «Мыс-Кодаш», «Усть-Кан» и «Делегат», имеющих подрезку лопастей гребных винтов по третьему варианту [3] (рис. 3), нагрузка ГД возрастает. ГД 83 % времени работает в интервале нагрузок (от 0,70 до 0,90) от номинальной мощности при среднем значении относительной мощности $\bar{N}_c = 0,78$ и среднем квадратическом отклонении $\sigma = 0,21$. Интервал отклонения мощности ГД от среднего значения на режиме «переход» составляет от $(N_c - \sigma) \cdot N_{ном} = 1467,2$ кВт до $(N_c + \sigma) \cdot N_{ном} = 2548,3$ кВт.

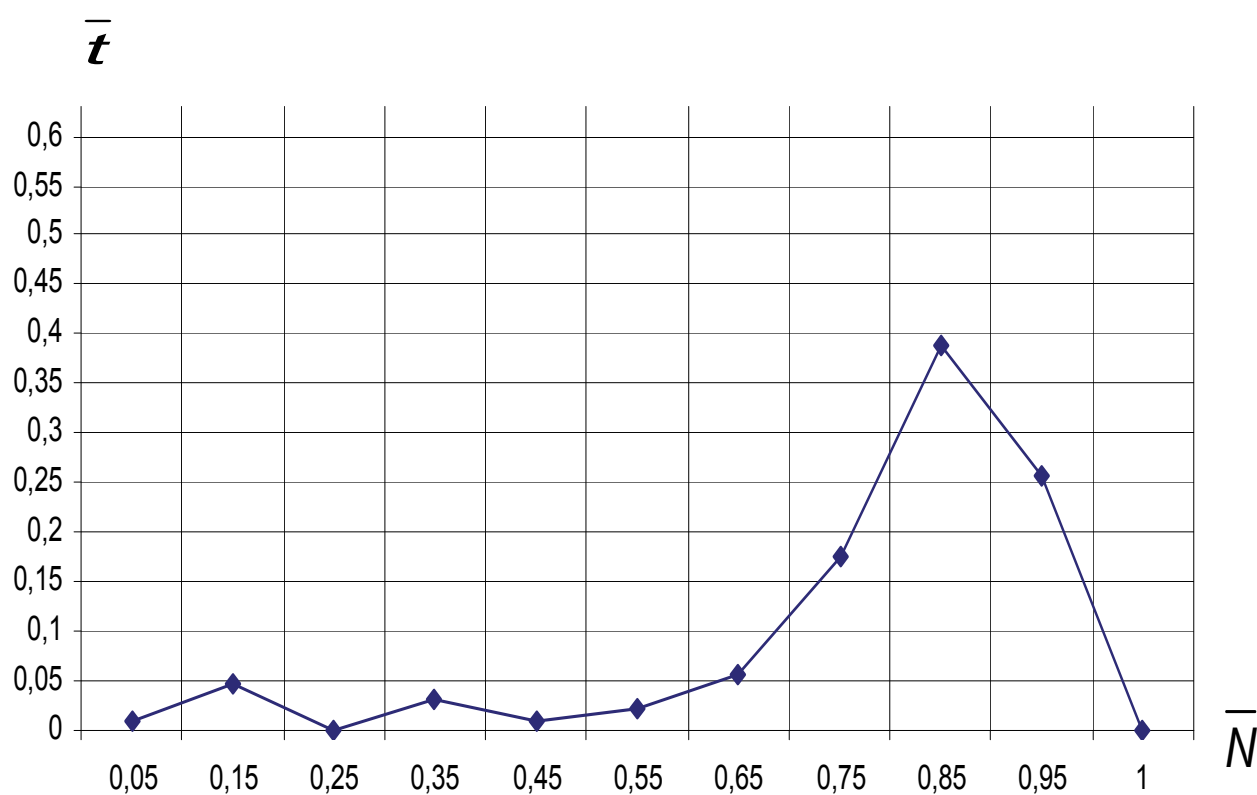


Рис. 3. Полигон распределения мощности ГД на режиме «переход» для третьего варианта обрезки винта (D=3,54 м, S=2,94 м)

Fig. 3. Power distribution range of the main engine on regime “at sea” trimming the third embodiment of the screw (D = 3,54 m , S = 2,94 m)

На режиме «переход» для танкеров «Лукоморье», «Усть-Ижма» с гидравлически облегченным винтом [4] (рис. 4) ГД 99 % времени работает с относительной мощностью, изменяющейся от 0,45 до 0,85 номинальной мощности при среднем значении относительной мощности $\bar{N}_c = 0,63$ и среднем квадратическом отклонении $\sigma = 0,086$.

Интервал отклонения мощности ГД от среднего значения на режиме «переход» составляет от $(N_c - \sigma) \cdot N_{ном} = 1400,3$ кВт до $(N_c + \sigma) \cdot N_{ном} = 1842,98$ кВт.

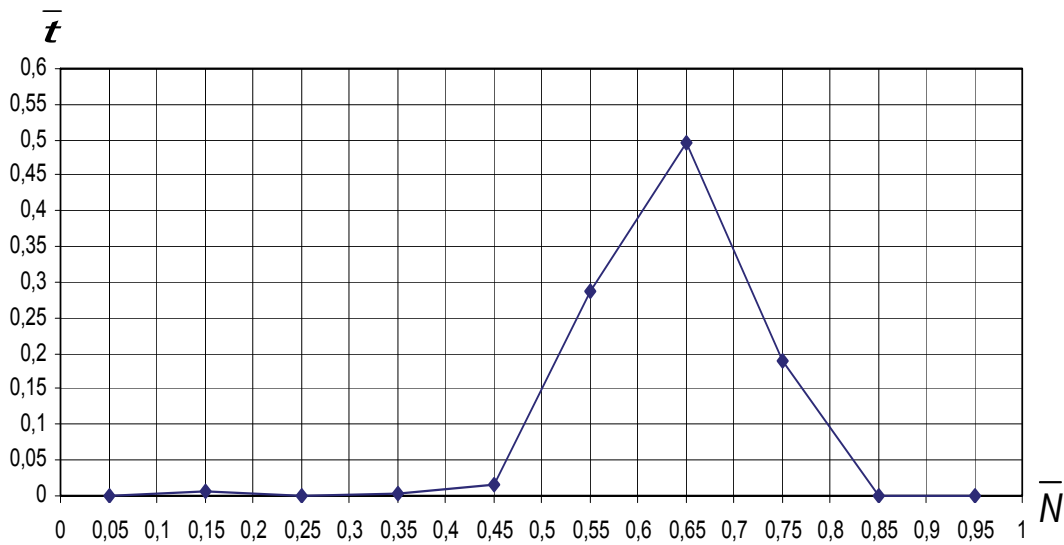


Рис. 4. Полигон распределения мощности ГД танкера с гидравлически облегченным гребным винтом (D=3,7 м, S=2,83 м) на режиме «переход»
Fig. 4. Polygon distribution DG tanker capacity with hydraulically lightweight propeller (D = 3.7m, S = 2,83 m) in the "transition" mode

Анализ полигонов распределения мощности ГД на режиме «переход» показал, что характер распределения мощности одномодальный, а параметры гребных винтов первого варианта обрезки лопастей и гидравлически облегченных не позволяют использовать полностью эксплуатационную мощность ГД, т.е. гребной винт первой обрезки и гидравлически облегченный не соответствуют корпусу танкера.

По данным табл. 4 построен полигон распределения мощности ГД 5ДКРН50/110-2 на режиме эксплуатации танкера «работа на промысле» для трёх вариантов гребных винтов (рис. 5).

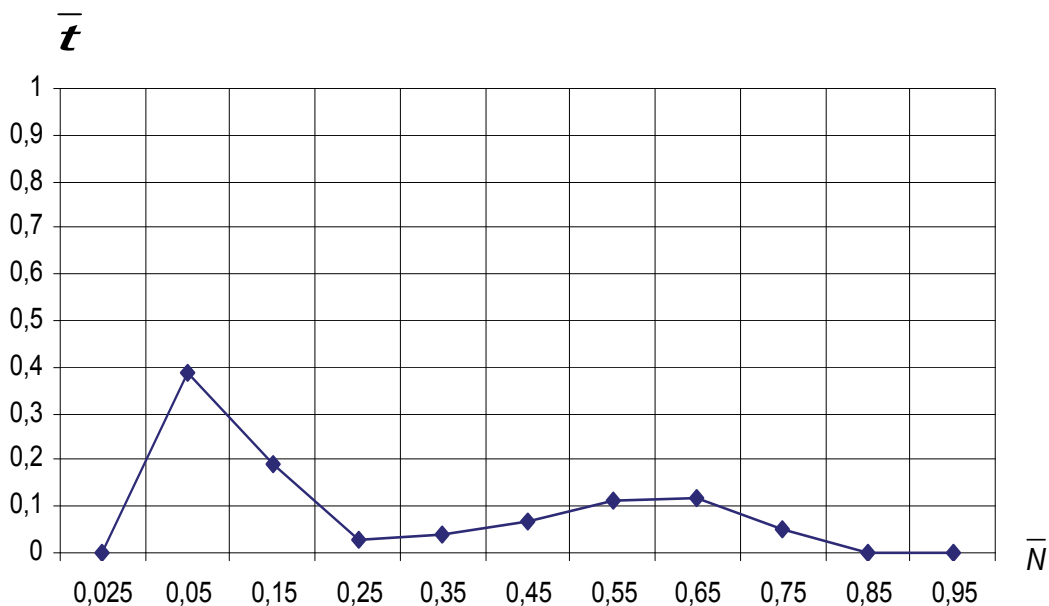


Рис. 5. Полигон распределения мощности ГД на режиме «работа на промысле»
Fig. 5. The range of distribution of capacity of GD on a mode «work on trade»

Режим эксплуатации «работа на промысле» для танкеров с тремя вариантами гребных винтов характеризуется малой мощностью ГД и имеет двухмодальное распределение.

ГД 58 % времени работает в интервале от 0,05 до 0,20 от номинальной мощности и 24 % времени в интервале (0,45 ; 0,75) номинальной мощности при среднем значении относительной мощности $N_c = 0,28$ и среднем квадратическом отклонении $\sigma = 0,25$.

Интервал отклонения мощности на режиме «работа на промысле» от среднего значения мощности составляет от $(N_c - \sigma) \cdot N_{ном} = 77,22$ кВт до $(N_c + \sigma) \cdot N_{ном} = 1364,22$ кВт.

Такое отклонение мощности объясняется спецификой работы танкера с добывающими судами, он не только производит выгрузку топлива на ходу в штормовую погоду, но и совершает переходы в районе промысла на малом ходу.

Расчёт расхода топлива ГД 5ДКРН 50/110-2

В эксплуатации текущая эффективная мощность ГД носит случайный характер. Она изменяется во времени в зависимости от режима эксплуатации, от условий внешних факторов и от состояния пропульсивного комплекса. Поэтому в основу расчёта расхода топлива положен вероятностно-статистический метод обработки фактической мощности ГД. Этот метод наиболее полно учитывает многообразие внешних факторов, влияющих на элементы судового комплекса.

Для расчёта расхода топлива необходима топливная характеристика ГД 5ДКРН 50/110-2. Топливная характеристика дизеля – это зависимость часового расхода топлива от его мощности, определяется по результатам стендовых испытаний [5].

Для расчета коэффициентов топливной характеристики ГД 5ДКРН 50/110-2 использовались результаты стендовых испытаний, которые приведены в табл. 5.

Таблица 5

Результаты стендовых испытаний ГД 5ДКРН 50/110-2

Table 5

Results of bench tests of the ME 5ДКРН 50/110–2

Эффективная мощность N_e , кВт	Относительная мощность N	Часовой расход топлива G_T кг/ч	Относительный часовой расход топлива G	Удельный расход топлива g_e кг/ (кВт·ч)
334,62	0,13	119,6	0,207	0,357
1055,34	0,41	272,7	0,472	0,259
1673,1	0,65	387,3	0,670	0,232
2213,64	0,86	478,4	0,828	0,216
2496,78	0,97	551,4	0,955	0,221
2574	1,00	577,5	1,00	0,224

Где $N_n = 2574$ кВт – номинальная мощность ГД; $G_n = 577,5$ кг/ч – номинальный часовой расход топлива ГД; $\bar{G} = \frac{G_T}{G_n}$ – относительный часовой расход топлива; $\bar{N} = \frac{N_e}{N_n}$ – относительная мощность ГД; $g_e = \frac{G}{N_e}$ – удельный расход топлива ГД.

Зависимость относительного часового расхода топлива от относительной мощности можно представить графически (рис. 6) или в аналитической форме в виде полинома второй степени, параметры которого определены по методу наименьших квадратов [9], используя данные табл. 5, $\bar{G} = 0,02\bar{N}^2 + 0,86\bar{N} + 0,1$.

Средняя ошибка аппроксимации при этом составляет 1,97 %, что говорит о хорошем приближении эмпирических данных к теоретическим. На рис. 6 изображены эмпирическая и теоретическая линии топливной характеристики, и они практически совпали.

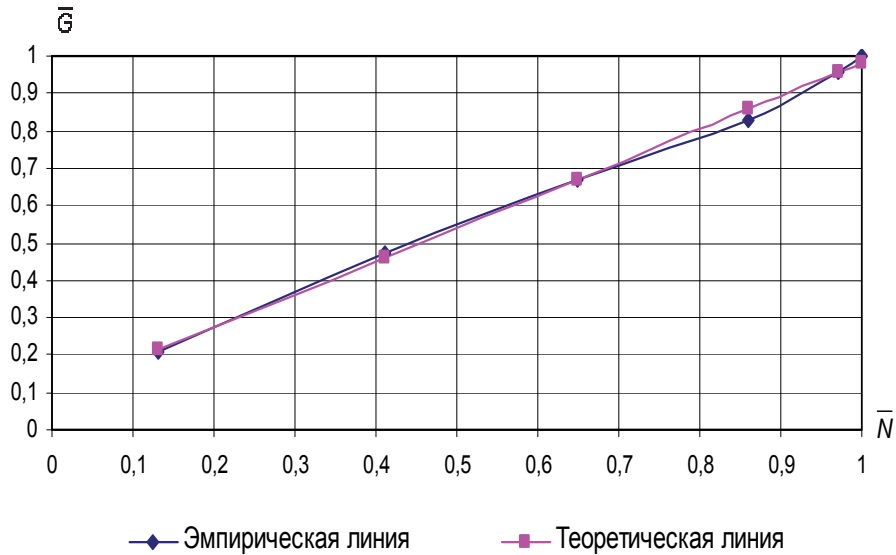


Рис. 6. Топливная характеристики ГД 5ДКРН 50/110-2
Fig. 6. Main engine fuel oil characteristics ME 5DKPH 50/110-2

На основании топливной характеристики ГД и параметров распределения мощности на основных режимах эксплуатации танкера типа «Калининграднефть» определен расход топлива для трёх вариантов обрезки лопастей винта.

Результаты расчета параметров мощности и расхода топлива для ГД 5ДКРН 50/110-2 танкера типа «Калининграднефть» на режимах «переход» и «работа на промысле» приведены в табл. 6.

Таблица 6

**Параметры мощности и расхода топлива ГД 5ДКРН 50/110-2 танкеров
с тремя вариантами гребных винтов**

Table 6

**Power rating and fuel oil consumption of the ME 5 ДКРН 50/110–2 tankers with three
options propellers**

Наименование	1-й вариант об- резки Д=3,58 м; S=2,94 м	3-й вариант об- резки Д=3,54 м; S=2,94 м	Гидравлически об- легченный вариант Д=3,7 м; S=2,83 м	Все три варианта обрезки лопостей гребного винта
	Режим «переход»			
1	2	3	4	5
Число наблюдений, ч	4363	1115	7228	3460
Средняя относительная мощность	0,69	0,78	0,63	0,28

Окончание табл. 6

1	2	3	4	5
Среднеквадратическое отклонение	0,135	0,206	0,087	0,25
Средний часовой расход топлива, кг/ч	409,34	453,85	376,93	178,57
Средний суточный расход топлива, кг/сут	9824	10892	9046	429

Экономия топлива в сравнении с плановым расходом достигается за счет фактической мощности ГД.

Определение предпочтительной мощности ГД 5ДКРН 50/110-2 по минимальному удельному расходу топлива

Одним из путей повышения эффективности технической эксплуатации ГД танкера является оптимизация эксплуатационной мощности и расхода топлива, что приведёт к снижению затрат на топливо, а следовательно, и к сокращению часового расхода топлива, зависящего от его удельного расхода и мощности, развиваемой ГД [5].

Зависимость удельного расхода топлива от относительной мощности ГД найдена по данным стендовых испытаний (табл. 5), построив график эмпирической кривой (рис. 7), теоретическую зависимость находим в виде полинома второй степени, параметры которого определены по методу наименьших квадратов.

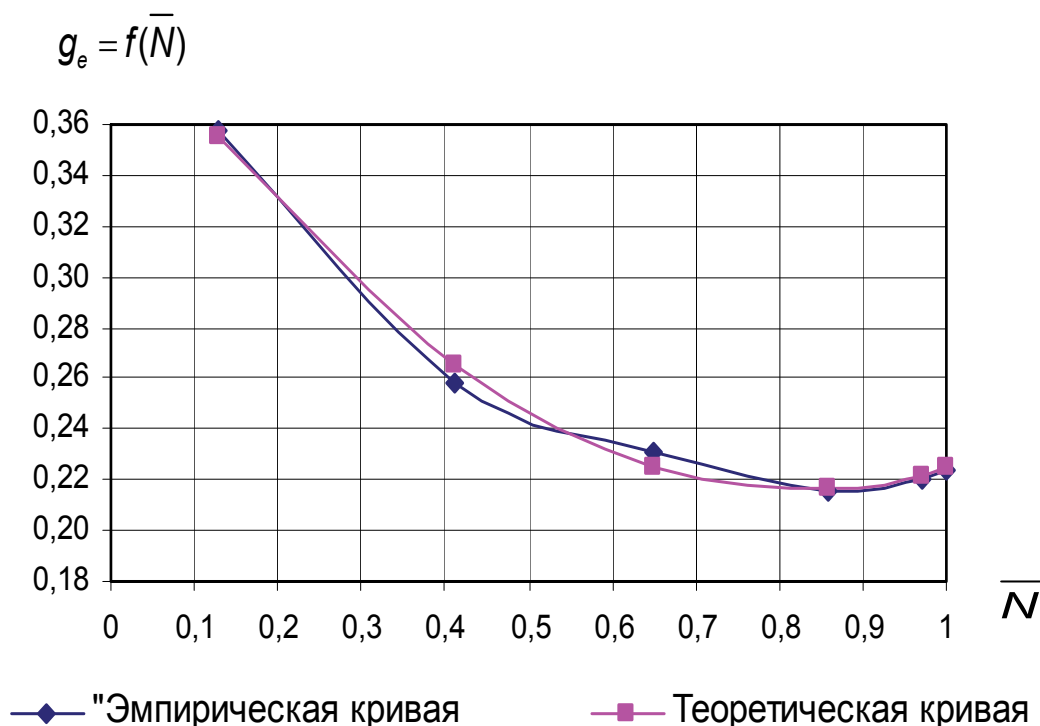


Рис. 7. Графики зависимости удельного расхода топлива от относительной мощности
 Fig. 7. Curve of relative power dependence on specific fuel oil consumption for main engine

$$g_e(\bar{N}) = 0,29\bar{N}^2 - 0,48\bar{N} + 0,4.$$

Средняя ошибка аппроксимации при этом составляет 1,19 %, что говорит о хорошем приближении.

Условием минимума функции $g_e(\bar{N})$ является равенство нулю ее производной. Решением уравнения $g'_e(\bar{N}) = 0,58\bar{N} - 0,48 = 0$ является $\bar{N} = 0,83$, а удельный расход топлива при этом 0,216 кг/(кВт·ч) – это минимальное значение функции.

Если принять значение функции, описывающей удельный расход топлива, равное 0,22 кг/(кВт·ч), т.е. $g_e(\bar{N}) = 0,22$, то область изменения предпочтительной относительной мощности \bar{N} ГД будет находиться в пределах от 0,7 до 0,9 номинальной мощности. Эффективная мощность при этих значениях будет изменяться от 1478 кВт до 2574 кВт при соответствующих параметрах гребного винта, а минимальные значения удельного расхода топлива будут составлять от 0,2014 до 0,22 кг/(кВт·ч). Эффективная мощность при этом изменяется от 1802 кВт до 2316,6 кВт.

Следовательно, для ГД 5ДКРН 50/110-2 предпочтительная относительная мощность в указанной области характеризуется минимальными значениями удельного расхода топлива от 0,216 до 0,22 кг/(кВт·ч).

Список литературы

1. Наливные суда флота рыбной промышленности. – Клайпеда: Клайпедское отделение Гипрорыб флота, 1987. – 281с.
2. Капран, Л.К. Оптимизация мощности и расхода топлива главного дизеля 5ДКРН 50/110-2 танкера типа «Оханефть» с уменьшением номинального диаметра винта 3,7 м до 5,58 м / Л.К. Капран, В.В. Маницын, З.П. Старовойтова // Науч. тр. Дальрыбвтуза. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2013. – Вып. 28. – С. 16.
3. Капран, Л.К. Повышение эффективности эксплуатации главного дизеля 5ДКРН 50/110-2 танкера типа «Оханефть» с уменьшением номинального диаметра винта 3,7 м до 5,54 м / Л.К. Капран, В.В. Маницын, З.П. Старовойтова // Науч. тр. Дальрыбвтуза. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2013. – Вып. 30. – С. 16.
4. Капран, Л.К. Оптимизация мощности и расхода топлива главного дизеля 5ДКРН 50/110-2 танкера типа «Калининграднефть» с гидравлически облегченным гребным винтом / Л.К. Капран, В.В. Маницын, З.П. Старовойтова // Науч. тр. Дальрыбвтуза. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2016. – С. 8.
5. Маницын, В.В. Энергетические установки приемно-транспортных рефрижераторов / В.В. Маницын. – М.: Легк. и пищ. пром-сть, 1984. – 120 с.
6. Соболенко, А.Н. Определение технически обоснованных норм расхода горючесмазочных материалов СДУ / А.Н. Соболенко, В.В. Маницын // Проблемы транспорта Дальнего Востока: материалы 11-й Междунар. науч.-практ. конф. – Владивосток, 2015. – С. 2.
7. Соболенко, А.Н. Обобщение зависимости параметров законов распределения нагрузок главных двигателей рыболовных траулеров / А.Н. Соболенко // Судостроение. – 2001. – № 6. – С. 7.

8. Соболенко, А.Н. Обобщение зависимости параметров законов распределения нагрузок главных двигателей транспортных судов флота рыбной промышленности / А.Н. Соболенко // Науч. тр. Дальрыбвтуза. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2013. – Вып. 30. – С. 5.

9. Письменный, Д.Т. Конспект лекций по высшей математике. Полный курс / Д.Т. Письменный. – М.: Айрис пресс, 2006.

10. Кремер, Н.Ш. Теория вероятностей и математическая статистика / Н.Ш. Кремер. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2003. – 543 с.

Сведения об авторах: Маницын Владимир Викторович, профессор;

Капран Людмила Кузьминична, доцент;

Старовойтова Зоя Павловна, доцент.

ТЕХНОЛОГИЯ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

А. С. Петрик

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

ТЕХНОЛОГИЯ ПРЕСЕРВОВ ИЗ ИКРЫ СЕЛЬДИ ТИХООКЕАНСКОЙ В СОУСАХ И ЗАЛИВКАХ

Разработаны рецептуры соусов и заливок для пресервов из икры сельди тихоокеанской. Проведена органолептическая оценка разработанных соусов и заливок. Исследованы изменения во времени микробиологических показателей пресервов из икры сельди тихоокеанской, рекомендованы сроки их хранения, а также дана микробиологическая оценка качества готовой продукции. Дана оценка биологической безопасности и относительной биологической ценности новых видов пресервов.

Ключевые слова: пресервы, сельдь тихоокеанская, икра сельди, соус, заливки, показатели качества.

A. S. Petrik

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY OF PRESERVES FROM HERRING ROE PACIFIC

Developed recipes of sauces and fillings for preserves of caviar of Pacific herring. Carried out organoleptic evaluation of the quality of these sauces and fillings, as well as carried out the microbiological evaluation of the quality of the finished product.

Key words: preserves, Pacific herring, ROE herring, sauce, fill performance.

Введение

Сельдь тихоокеанская является ценным промышленным объектом и относится к семейству сельдевых. Она относится к массовым объектам промысла, пользуется высоким спросом у населения, так как продукты из нее, прежде всего соленые, обладают высокими органолептическими свойствами и имеют высокую биологическую ценность. Половина и более выловленной сельди – это сельдь с икрой, из которой выпускают ограниченный ассортимент продукции. Поэтому возникает необходимость разработки новых технологий и нового ассортимента продуктов из этого уникального сырья, внедрение которых актуально для рыбоперерабатывающих предприятий рыбной отрасли.

Целью научной работы являлось совершенствование технологии пресервов из сельди тихоокеанской.

Для достижения поставленной цели было необходимо решить ряд следующих задач.

1. Разработать рецептуры заливок и соусов для пресервов из икры сельди тихоокеанской.
2. Установить сроки годности пресервов из икры сельди тихоокеанской в различных соусах и заливках.
3. Провести оценку качества и безопасности пресервов из икры сельди тихоокеанской по микробиологическим показателям.

Объекты и методы исследования

В качестве основного исследуемого сырья использовали икру сельди тихоокеанской ястычную, которую извлекали из мороженой рыбы ГОСТ 32910–2014, после ее размораживания до температуры 0 °С – минус 1 °С. В качестве вспомогательных материалов использовали масло подсолнечное рафинированное дезодорированное ГОСТ 1129-2013, воду питьевую ГОСТ 51232-98, соль поваренную пищевую ГОСТ Р 51574-2000, сахар-песок ГОСТ 21-94, уксус ГОСТ Р 55982-2014, горчицу СТО 00435716-01-2013, томатную пасту ГОСТ Р 54678-2011, горчичное масло ГОСТ 8807-94, перец душистый ГОСТ 29045-91, перец черный молотый ГОСТ 29050-91, яблоки ГОСТ Р 54697-2011, лук репчатый ГОСТ Р 51783-2001, майонез ГОСТ 31761-2012, лимон ГОСТ 4429-1982, морковь ГОСТ Р 51782-2001, укроп сушеный ГОСТ Р 52622-2006, свеклу ГОСТ Р 51811-2001, чеснок ГОСТ Р 55909-2013, бензоат натрия ГОСТ 32777-2014.

Органолептическую оценку качества заливок и пресервов определяли по ГОСТ 7631-2008 [1] в соответствии с терминологией описания признаков, получившей наибольшее распространение в практике и результатах дегустационных совещаний.

Определение общего азота, жира и минеральных веществ, а также соли осуществляли по ГОСТ 7636-85 [2].

Энергетическую ценность продукции рассчитывали по методике А. А. Покровского (1977) [3].

Определение количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ) проводили по ГОСТ 10444.15-94 [4].

Определение бактерий группы кишечных палочек (БГКП) проводят согласно ГОСТ 30518-97 [5].

Результаты и их обсуждение

Качество рыбных пресервов зависит от вида используемого сырья, способа посола, условий созревания, состава пищевых компонентов, а также от условий и сроков хранения готовой продукции.

Сельдь тихоокеанскую размораживали, разделявали и вынимали из нее ястыки икры. Для посола икры сельди выбраны два способа: тузлучный прерванный посол, в сменяемых тузлуках; тузлучный способ, с добавлением в солевой раствор коптильного препарата [6].

Окончание посола определяли по органолептическим и химическим показателям, по достижении массовой доли соли в икре 3–5 %.

Икру сельди после просаливания тщательно ополаскивали в чистом 3%-м солевом растворе температурой 5–10 °С до полного удаления кристаллов соли и оставляли на стекание.

Установлено, что введение не менее 70 % икры и не менее 25–30 % заливки позволило получить пресервы с приятным, гармоничным запахом и вкусом.

При разработке рецептур соусов и заливок, предназначенных для производства пресервов, оптимальное количество вводимых компонентов подбирали экспериментально, учитывая консистенцию, внешний вид, вкус и запах готового продукта.

Жидкой основой для приготовления заливок являлись растительное масло и вода. Для производства соусов и заливок использовали смесь подсолнечного и горчичного масел в соотношении 1 : 1 [7].

В качестве вспомогательных компонентов помимо растительных масел использовали: перец душистый, перец молотый черный, сахар, соль, уксус яблочный, уксусную кислоту пищевую, горчицу, яблоки, лук, майонез, лимонный сок, морковь, укроп, свеклу, чеснок, воду, томатную пасту.

Рецептуры соусов и заливок, используемых для производства пресервов из икры сельди тихоокеанской ястычной, определены опытным путем и представлены в табл. 1.

Таблица 1

Рецептуры соусов и заливок для пресервов из икры сельди тихоокеанской ястычной, г на 100 г готового продукта

Table 1

Recipes of sauces and fillings for preserves from herring ROE yastik Pacific, g per 100 g of finished product

Компоненты	Наименование соусов и заливок				
	Горчичная	Томатная	Яблочный	Свекольная	Морковный
Масло горчичное	32	3	8	6	10
Масло подсолнечное	32	3	8	6	10
Перец душистый	0,2	0,3	-	-	0,4
Перец молотый черный	-	0,5	-	0,4	0,4
Сахар	2	1	-	2	1
Соль	2	1	0,6	1	1
Уксусная кислота пищевая 70 %	-	1	-	1	-
Уксус яблочный 6 %	10,8	-	-	-	-
Горчица	21	-	-	-	-
Яблоко	-	-	20	-	-
Лук	-	15	18	-	-
Майонез	-	-	39	-	51
Лимонный сок	-	-	6,3	-	-
Морковь	-	10	-	-	26
Укроп	-	0,1	-	-	0,1
Свекла	-	-	-	26	-
Чеснок	-	-	-	1,5	-
Вода	-	62	-	56	-
Томатная паста	-	3	-	-	-
Бензоат натрия E211	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

Горчичное и подсолнечное масло смешивали и прогревали до температуры 60–70 °С. После тепловой обработки масло охлаждали при температуре 2–4 °С до температуры не выше 8 °С. Далее все компоненты согласно рецептуре смешивали и вносили масло. В полученный соус вносили 0,1 % консерванта – бензоата натрия.

Органолептические показатели заливок для производства пресервов из икры сельди тихоокеанской представлены в табл. 2.

Таблица 2

Органолептические показатели соусов и заливок для производства пресервов из икры сельди тихоокеанской

Table 2

Organoleptic characteristics of sauces and fillings for the production of preserves from herring ROE Pacific

Наименование заливки	Цвет	Вкус	Запах	Консистенция
Горчичная	Светло-бежевый	Приятный, с оттенком горчицы	Острый, горчичный	Однородная, густая
Томатная	Темно-оранжевый	Приятный, с оттенком овощей и томата	Овощей и томата	Однородная, менее густая
Морковный	Ярко-желтый	Приятный, с оттенком майонеза и пряностей	Приятный, с оттенком майонеза и пряностей	Однородная, густая
Свекольная	Бордовый	Приятный, с оттенком свеклы	Приятный, свекольный	Однородная, менее густая
Яблочный	Кремовый	Приятный с оттенком яблока и лука	Запах свежести, с оттенком яблока и лука	Однородная, густая, пористая

Заливки и соусы имели однородную консистенцию, приятный вкус и запах с оттенком вносимых компонентов.

В процессе хранения у пресервов из икры сельди тихоокеанской определяли изменение микробиологических показателей. Результаты микробиологических испытаний представлены в табл 3.

Таблица 3

Изменение КМАФАнМ в зависимости от продолжительности хранения пресервов из икры сельди тихоокеанской

Table 3

Change QMAFAnM depending on the duration of storage of preserves from herring ROE Pacific

Наименование заливки пресервов	Время хранения, сут					
	0	7	14	21	28	35
№ 1 Горчичная	$0,1 \times 10^1$	$6,0 \times 10^2$	$2,0 \times 10^2$	$5,0 \times 10^3$	$1,0 \times 10^4$	$2,3,0 \times 10^4$
№ 2 Морковная	$0,1 \times 10^1$	$2,0 \times 10^2$	$6,0 \times 10^2$	$6,0 \times 10^3$	$4,0 \times 10^4$	$4,2,0 \times 10^4$
№ 3 Томатная	$4,0 \times 10^2$	$9,0 \times 10^2$	$7,0 \times 10^2$	$7,0 \times 10^3$	$6,0 \times 10^4$	$5,0 \times 10^4$
№ 4 Яблочная	$0,1 \times 10^1$	$0,2 \times 10^2$	$0,5 \times 10^2$	$3,0 \times 10^3$	$4,0 \times 10^4$	$4,0 \times 10^4$
№ 5 Свекольная	$0,1 \times 10^1$	$0,3 \times 10^2$	$0,6 \times 10^2$	$0,6 \times 10^3$	$7,0 \times 10^4$	$6,0 \times 10^4$

Из полученных данных, представленных в табл. 3, видно, что за период всего срока хранения все исследуемые образцы имели контаминацию ниже нормативной, самой низкой контаминацией обладали пресервы из икры сельди тихоокеанской в горчичной заливке, поскольку в ее рецептуре присутствует горчица и уксусная кислота, которые являются консервантами с выраженным бактериостатическим эффектом.

Таким образом, по микробиологическим исследованиям экспериментальных образцов пресервов из икры сельди тихоокеанской установлено, что все исследуемые образцы удовлетворяют требованиям по КМАФАнМ, КОЕ/г продукта, в течение заявленного срока годности 35 сут.

При исследовании изменения органолептических показателей пресервов в зависимости от продолжительности хранения установлено, что при хранении пресервов из икры сельди тихоокеанской при температуре 0–5 °С до одного месяца, структура заливок существенно не изменяется, не происходит отделения водной и жировой фаз.

Однако при хранении пресервов более 30 сут наблюдается ухудшение органолептических показателей, связанное с размягчением консистенции, что, вероятно, связано с перезреванием икры.

Таким образом, по результатам проведенных исследований установлено, что срок хранения пресервов независимо от вида составляет 30 сут.

Следует отметить, что в исследуемых образцах БГКП (колиформы), палочка из рода *Salmonella*, золотистый стафилококк (*Staphylococcus aureus*), сульфитредуцирующие кластридии, бактерии рода протеев в объемах, требуемых нормативной документацией, обнаружены не были. Данный факт свидетельствует о гарантированной безопасности готовой продукции.

Пресервы из икры сельди тихоокеанской исследовали на биологическую безопасность. Контроль проводили по казеину. Пробы продукта и казеина разводили до концентрации протеина 0,2 %, затем вносили в пробирки с двумя миллилитрами стерильной воды, содержимое закрывали стерильными пробками.

Культуру инфузории предварительно синхронизировали двое суток теплом и холодом и разводили в десять раз, а затем вносили по 0,05 мл в пробирки с пробами. Наличие роста и развития инфузории в исследуемых образцах контролировали каждые сутки методом микроскопии. Культивирование *Tetrahymena pyriformis* в исследуемых пробах проводили в течение четырех суток.

В пресервах из икры сельди тихоокеанской инфузория была активна, подвижна, замедление роста, мутаций и гибели единичных клеток не наблюдалось, т. е. исследуемые пресервы биологически безопасны для здоровья человека.

Согласно стандартной методике на четвертые сутки экспозиции рассчитывали ОБЦ, которое представляет собой процентное отношение количества выросших инфузорий в исследуемых пробах и казеине. Данные проведенных исследований показывают, что пресервы из икры сельди тихоокеанской с точки зрения биологической ценности обладают выраженными положительными характеристиками, приближенными к эталонному белку – казеину (табл. 4) [8].

Таблица 4

Относительная биологическая ценность пресервов из икры сельди тихоокеанской, %

Table 4

Relative bioavailability of preserves from herring ROE Pacific, %

Исследуемый продукт	Время генерации инфузории, сут					ОБЦ на 4-е сутки
	0	1	2	3	4	
№ 1 Пресервы в горчичной заливке	5	15	50	77	86	95,4
№ 2 Пресервы в морковном соусе	5	18	45	70	81	90,2
№ 3 Пресервы в томатной заливке	5	20	42	73	80	88,9
№ 4 Пресервы в свекольной заливке	5	13	37	65	75	83,3
№ 5 Пресервы в яблочном соусе	5	10	33	60	70	77,8
№ 6 Казеин	5	23	52	80	90	100,0

Таким образом, применение разработанных соусов и заливок позволяет производить новые виды пресервов из икры сельди тихоокеанской, что способствует вовлечению в производство пищевых продуктов дополнительно ранее мало используемых сырьевых ресурсов.

В целом можно с уверенностью утверждать, что разработанные рецептуры и технология производства пресервов из икры сельди тихоокеанской являются рациональными, поскольку позволяют получать продукты с высокой относительной биологической ценностью и являются безопасными по микробиологическим показателям для здоровья человека.

Список литературы

1. ГОСТ 7631-08 Рыба, нерыбные объекты и продукция из них. Методы определения органолептических и физических показателей. – М.: Межгосударственный стандарт, 2008. – 15 с.
2. ГОСТ 7636-85 Рыба, морские млекопитающие, морские беспозвоночные и продукты их переработки. Методы анализа. – М.: Межгосударственный стандарт, 1985. – 88 с.
3. Покровский, А.А. Химический состав пищевых продуктов / А.А. Покровский. – М.: Пищ. пром-сть, 1976. – 70 с.
4. ГОСТ 10444.15-94 Продукты пищевые. Методы определения количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов. – М.: Межгосударственный стандарт, 1994. – 7 с.
5. ГОСТ 30518-97 Продукты пищевые. Методы определения количества бактерий группы кишечных палочек (колиформных бактерий). – М.: Межгосударственный стандарт, 1997. – 7 с.
6. Петрик А.С. Взаимодействие науки и образования – развитию пищевых производств: материалы науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2016. – С. 32–38.
7. ГОСТ 32910-2014 Сельдь мороженая. Технические условия. – М.: Межгосударственный стандарт, 2014. – 15 с.
8. Игнатъев, А.Д. Использование инфузории тетрахимены пириформис как объекта при биологических исследованиях в сельском хозяйстве: метод. пособие / А.Д. Игнатъев, В.Я. Шаблий. – М.: ВНИИТЭИСХ, 1978. – 52 с.

Сведения об авторе: Петрик Анастасия Сергеевна, аспирант,
e-mail: anastacia-08@mail.ru.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ И ТРАНСПОРТНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ РЫБОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ОТРАСЛИ

УДК 621. 56/59

И.А. Кагановский

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

СКОРОМОРОЗИЛЬНЫЕ ГИДРОФЛЮИДИЗАЦИОННЫЕ АППАРАТЫ

Разработаны конструкции скороморозильных гидрофлюидизационных аппаратов. Разъяснена сущность эффекта гидрофлюидизации. В результате экспериментов установлено многократное увеличение скорости замораживания по сравнению с воздушным способом. Приведены варианты схем аппаратов. В качестве хладоносителей предлагаются биоразлагающиеся растворы. Аппараты могут применяться в стационарных условиях и на судах.

Ключевые слова: замораживание, гидрофлюидизация, циркуляционная система, морозильная ванна, хладоносители, конвейеры, скорость замораживания, преимущества.

I.A. Kaganovskij

FAST-FREEZING HYDRO FLUIDISING APPARATUS

Designs of freezers with a hydro fluidising apparatus. Explained is the essence of the effect of hydro fluidization. The results of the experiments set multiple increases in freezing rates as compared with the air ways. Variants include devices circuits. The refrigerants are available in biodegradable fluids. The devices can be used in stationary conditions and on ships.

Key words: freezing, hydro fluidization, circulation system, freezing bath, coolants, belts, freezing speed advantages.

По рекомендации Европейского союза INCO–COPERNICUS (журнал «Холодильная техника». 2003. № 1. С. 22–25), в статье К. и А. Фикиных «Быстрое замораживание пищевых продуктов посредством гидрофлюидизации и перекачиваемых ледяных суспензий» приведены преимущества этого метода и принципиальная схема гидрофлюидизационной системы замораживания. Сущность предлагаемого метода состоит в использовании циркуляционной системы, перекачивающей жидкий хладоноситель, омывающий замораживаемый продукт быстродвижущимися струями, препятствующими образованию промежуточного слоя на его поверхности, при этом коэффициент теплоотдачи по сравнению с охлаждением воздухом увеличивается в десятки раз.

Описанная в статье схема не может быть применена в представленном виде, так как имеет ряд недостатков. Основные из них: невозможность замораживания продуктов большого размера, загрязнение хладоносителя обломками продукта при перемещении его сетчатым шнеком, большая площадь контакта хладоносителя с атмосферой, приводящая к обводнению его конденсатом. Проведённые на экспериментальной установке исследования показали, что применение этого метода повышает скорость замораживания, сохраняя при этом качество продукта за счёт короткого криоскопического периода.

В экспериментах в качестве хладоносителя использовался хладон R114b с температурой минус 30–35 °С. Объектами заморозки были рыбы разных размеров. Время замораживания

кеты массой 3,3 кг длиной 700 мм с шириной спинки 60 мм от температуры 15 °С до минус 18 °С составило 40 мин, в то время как при воздушном замораживании оно занимает от 180 и более, криоскопический период понижения температуры от 0 до минус 5 °С составил 5 мин, скорость замораживания – 4,47 см/ч.

Замораживание краснопёрки, камбалы, корюшки показали аналогичные результаты. В настоящее время нами разработано несколько схем гидрофлюидизационных морозильных аппаратов, в том числе непрерывного действия.

На рис. 1 представлен морозильный аппарат прерывистого действия, циркуляционная система которого включает морозильную ванну с двойным дном 1, имеющем отверстия на верхнем дне, создающие восходящие струи хладоносителя (далее струйный аппарат), на одном из бортов ванны выполнен сливной карман 2, верхняя кромка перегородки которого задаёт уровень хладоносителя. Сливной карман соединён с циркуляционным насосом 3, прокачивающим хладоноситель через холодильную машину 4 в полость двойного дна. Внутри морозильной ванны погружается решётчатая корзина 5, заполненная замораживаемым продуктом. Отогнутые края каркаса корзины опираются на края ванны, выступая за её габариты. Сверху ванна накрывается крышкой 6, служащей для ограничения контакта хладоносителя с атмосферой.

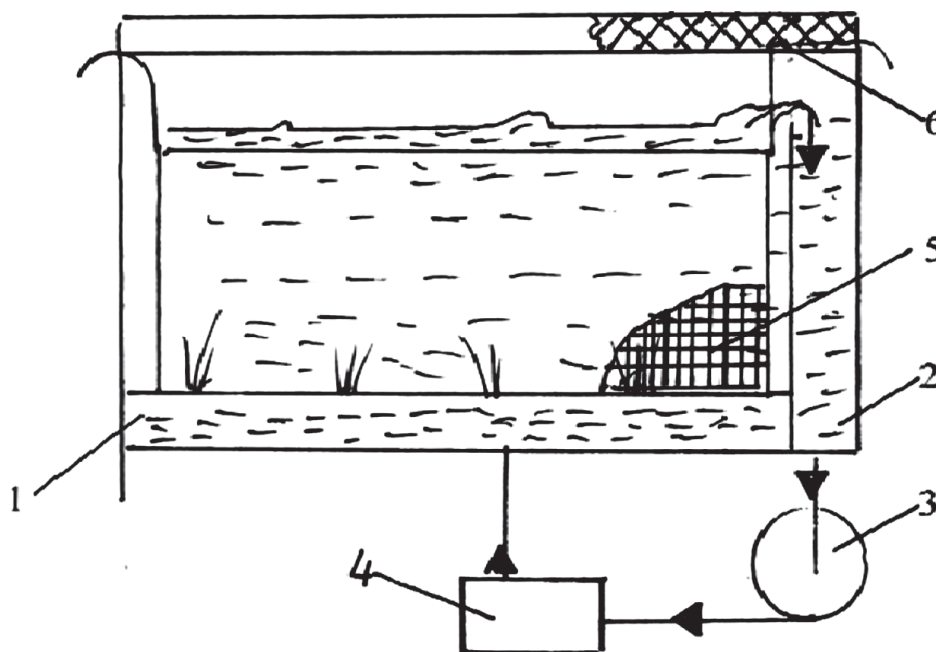


Рис. 1. Морозильный аппарат прерывистого действия
Fig. 1. Freezing apparatus for intermittent use

На рис. 2 показан морозильный комплекс, использующий этот аппарат. В данном случае он предназначен для заморозки рыбы и включает морозильный аппарат 1, сортировочный стол 2, вакуум-упаковочный аппарат 3, загрузочно-разгрузочный стол с корзинами 4 и электротельфер 5. Работает комплекс следующим образом. На сортировочном столе рыба закладывается в пакеты и передаётся в вакуум-упаковочный аппарат, затем укладывается в корзину, которую за отогнутые края каркаса электротельфером погружают в ванну и накрывают крышкой 6. В процессе охлаждения рыба находится во взвешенном состоянии за счёт разности её плотности с хладоносителем и воздействия восходящих струй. При достижении за-

данной температуры действия производят в обратном порядке, и корзина перемещается на место разгрузки. За время замораживания одной корзины другая загружается. Для замораживания 5 т в сутки при цикле замораживания 1 ч загрузка корзины должна составлять 210 кг. В этом случае в 1 мин в корзину должны загрузить 3,5 кг. С этой работой смогут справиться 2–3 человека.

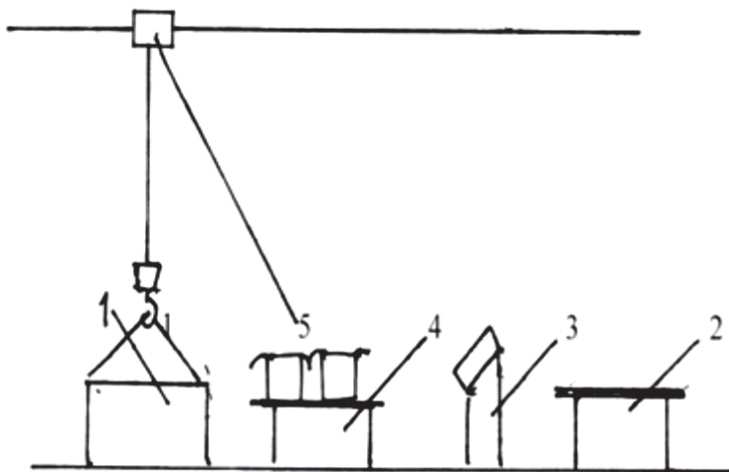


Рис. 2. Морозильный комплекс для штучных продуктов
Fig. 2. Freezer complex for piece products

На рис. 3 показана схема морозильного аппарата непрерывного действия с люлочным конвейером.

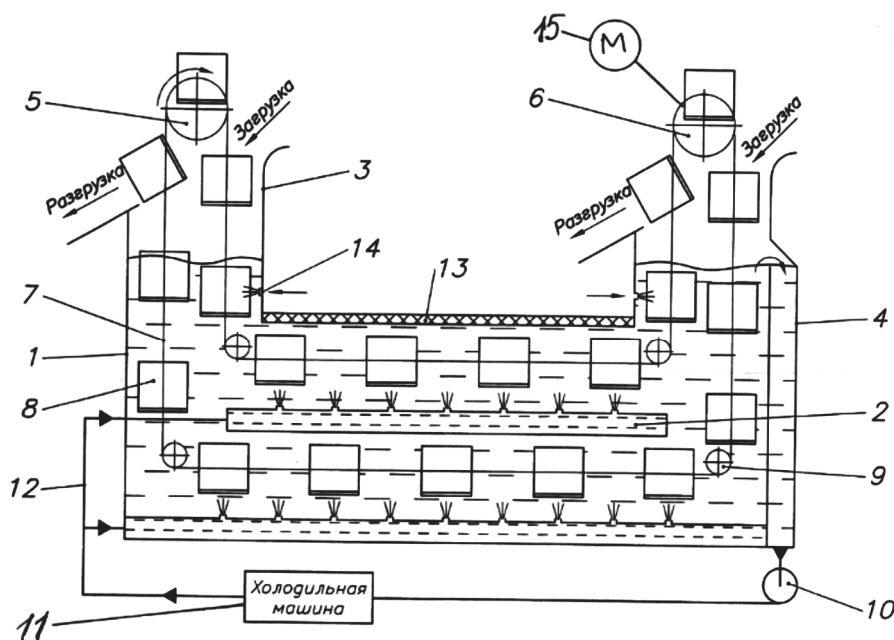


Рис. 3. Морозильный аппарат непрерывного действия с люлочным конвейером
Fig. 3. Freezer apparatus with a continuous conveyor of cradles

Аппарат состоит из морозильной ванны 1 с двойным дном с отверстиями, расположенными поперёк длины, являющимся струйным аппаратом. В центральной, по высоте, части ванны расположен второй струйный аппарат 2, имеющий вид плоского ящика с отверстиями на верхней стороне. На торцах морозильной ванны имеются горловины 3, а к одному из бортов примыкает сливной карман 4. Над верхним срезом горловин возвышаются приводная и натяжная звёздочки 5 и 6 люлечного конвейера. Параллельные цепи конвейера 7 соединены перемычками, на которые подвешены корзины 8 для замораживаемых продуктов. Внутри морозильной ванны располагаются направляющие и поддерживающие цепи-ролики 9. Сливной карман соединён с циркуляционным насосом 10, перекачивающим хладоноситель через холодильную машину 11, соединяющуюся со струйными аппаратами напорными трубопроводами 12. На горловинах над герметичной крышкой 13 установлены два малых дополнительных струйных аппарата 14. Приводные звёздочки соединены с приводом 15.

Аппарат работает следующим образом. Корзины, находящиеся над горловиной, заполняются продуктом, включается привод и корзина опускается в горловину, заполненную хладоносителем, при дальнейшем перемещении, благодаря направляющим роликам корзины перемещаются горизонтально в морозильной ванне. На этом этапе корзины останавливаются над отверстиями струйных аппаратов. Затем попадают в другую горловину. Подъём продолжается до тех пор, пока корзины с замороженным продуктом не окажутся над горловиной. В этом положении производится их разгрузка. Привод конвейера включается периодически на время, необходимое для перемещения на один шаг корзин. Время замораживания определяется режимом работы привода. При замораживании продуктов, требующих малого времени, конвейер может работать непрерывно. Загрузка и разгрузка корзин предлагаемого аппарата может быть механизирована.

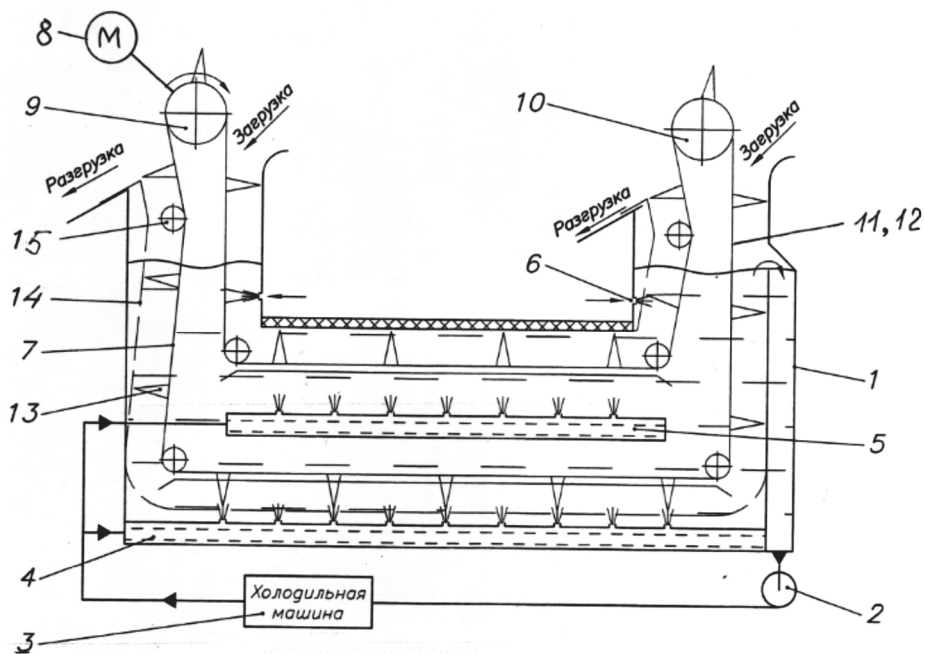


Рис. 4. Морозильный аппарат непрерывного действия с сетчатым конвейером
 Fig. 4. Freezer apparatus with continuous a mesh belt

Аппарат, представленный на рис. 4, имеет морозильную ванну 1 аналогично предыдущему аппарату, циркуляционный насос 2, холодильную машину 3, нижний 4 и верхний 5 струйные аппараты, вспомогательные морозильные аппараты 6. От предыдущего он отличается ти-

пом конвейера. В этом аппарате используется сетчатый конвейер 7, он состоит из привода 8, приводного 9 и натяжного 10 барабанов, двух параллельных стандартных тяговых пластинчатых цепей 11, соединённых перемычками, к которым крепится сетчатое полотно 12 и поперечные полки 13, цепи движутся по направляющим. Эквидистантно направляющим установлена ограничительная решётка 14 со стержнями, расположенными вдоль направления перемещения конвейера. Данная решётка установлена таким образом, чтобы между вершинами полок и решёткой сохранялся гарантированный зазор. Перед выходом из горловины установлены отклоняющие ролики 15. Полки представляют собой пластины, согнутые под острым углом, прикрепленные к пластинам цепи. Длина полок, их высота и ширина зависят от замораживаемого продукта. При движении конвейера ролики цепи катятся по направляющим.

Работа аппарата начинается с загрузки. С помощью дозатора продукт загружается в бункер, образованный ограничительной решёткой с одной стороны и полотном конвейера – с другой. При включении конвейера продукт погружается в хладоноситель и при движении по горизонтальной части омывается струями. Движение конвейера прекращается при выходе полки из противоположной горловины. В этом положении продукт соскальзывает с полки. Для увеличения угла наклона полки используются отклоняющие ролики. Таким образом, осуществляется автоматическая разгрузка. Уровень хладоносителя в горловине должен быть таким, чтобы к моменту разгрузки следующая полка оставалась в активной зоне воздействия струй дополнительного струйного аппарата. Он задаётся положением окна сливного кармана.

Морозильные аппараты рекомендуется оснащать настроечными морозильными ваннами, подключёнными к их циркуляционной системе, выполненными по схеме, представленной на рис. 1. Такая ванна, содержащая датчики температуры, служит для определения времени замораживания продукта, ожидающего заморозки.

По сравнению с воздушными морозильными аппаратами гидрофлюидизационные отличаются меньшей стоимостью, высокой производительностью и качеством замороженной продукции за счёт высокой скорости замораживания. Аппараты непрерывного действия с одновременным использованием обеих ветвей конвейера имеют в полтора раза меньшие затраты энергии на единицу продукции, а благодаря высокому коэффициенту теплоотдачи – меньшие габариты и материалоемкость. Предлагаемые аппараты могут работать в стационарных условиях, а при соответствующей доработке – и на судах. Возможно также размещение аппаратов в контейнерах.

Основными требованиями к хладоносителям являются нетоксичность, объёмная теплоёмкость, теплопроводность, малая вязкость при рабочей температуре, коррозионная пассивность, экологичность. Эти требования удовлетворяются водными растворами этаноловыми, формиата калия (Е 238), Corn-Glykol (теплоносителя, применяемого в солнечных водонагревателях) и др. Два последних, выбранных нами, наиболее полно соответствуют этим требованиям, так как являются биоразлагающимися.

Изготовление предложенных аппаратов упрощается наличием комплектующих: холодильных машин-чиллеров с циркуляционной системой, насосов переменной производительности марки ОНЦ для перекачки вязких жидкостей, стандартных цепей и сетчатого полотна, элементов конвейеров, запорной арматуры и др.

Список литературы

1. Фикин, К.А. Быстрое замораживание пищевых продуктов посредством гидрофлюидизации и перекачиванием ледяных суспензий / К.А. Фикин, А.Г. Фикин // Холодильная техника. – 2003. – № 1. – С. 22–25.
2. Кагановский, И.А. Применение в холодильной технологии гидрофлюидизационных методов замораживания и термоэлектрических охлаждающих устройств / И.А. Кагановский // Современные тенденции развития перерабатывающих комплексов пищевого оборудования и технологии пищевых производств: материалы науч.-техн. конф. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2011. – С. 125–129.

3. Кагановский, И.А. Схема морозильного аппарата нового поколения / И.А. Кагановский // Современные тенденции развития перерабатывающих комплексов пищевого оборудования и технологии пищевых производств: материалы науч.-техн. конф. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2011. – С. 138–140.

4. Пат. 73458 Российская Федерация, МПК F25B 05/02. Морозильный аппарат/ Кагановский И.А.; заявитель и патентообладатель Дальрыбвтуз. – № 2007137409/22; заявл. 09.10.2007; опубл. 20.05.2008. Бюл. № 14.

5. Пат. 113342 Российская Федерация, МПК F25B 5/02. Морозильный аппарат / Кагановский И.А.; заявитель и патентообладатель Дальрыбвтуз. – № 2011124821/06; заявл. 17.06.2011; опубл. 10.02.2012. Бюл. № 4.

6. Колодяжная, В.С. Продовольственная безопасность и холодильная технология / В.С. Колодяжная, Е.И. Кипрушкина // Вестн. МАХ. – 2013. № 1. – С. 24–28.

7. Цветков, О.Б. Лучшая статья выпуска / О.Б. Цветков // Интернет-газета Холодильщик. – 2010. – № 4. – С. 29.

Сведения об авторе: Кагановский Игорь Александрович, кандидат технических наук, доцент, e-mail: 261416@mail.ru.

СОДЕРЖАНИЕ

ИХТИОЛОГИЯ. ЭКОЛОГИЯ	3
<i>Булыгин В.В., Рыбникова И.Г.</i> Распределение и уловы тихоокеанского кальмара в заливе Петра Великого (Японское море) в летне-осенний период.....	3
<i>Казаченко В.Н.</i> Новые находки <i>Acanthocanthopsis quadrata</i> (Crustacea: copepoda: chondracanthidae) в Большом Австалийском заливе и у Новой Зеландии.....	9
<i>Казаченко В.Н.</i> Новые находки паразитических копепод (Crustacea: copepoda) рыб в Тихом и Индийском океанах.....	15
<i>Лебедева К.О., Дячук Т.А., Дубина В.А.</i> Поверхностная циркуляция вод Татарского пролива по данным спутников серии Landsat.....	29
<i>Матросова И.В., Лескова С.Е.</i> Некоторые черты репродуктивной биологии асцидии пурпурной <i>Halocynthia aurantium</i> Pallas.....	34
<i>Мирабдуллаев И.М., Гинатуллина Е.Н., Кузметов А.Р., Мусаев А.К., Сапаров К.А., Мустафаева З.А.</i> Планктонные сообщества гидроэкосистем ветланда Судочье (Приаралье, Узбекистан).....	38
<i>Наумов В.А.</i> Математическое моделирование диффузного загрязнения водотоков.....	49
<i>Плотников В.В., Круглик И.А., Руденко О.Н.</i> Пространственно-временная изменчивость ледяного покрова Японского моря.....	55
<i>Плотников В.В., Дубина В.А.</i> Экологический риск при плантационном культивировании грацилярии в юго-западной части залива Петра Великого.....	66
<i>Рыбникова И.Г., Шульгина М.А.</i> О зараженности тихоокеанской сельди четырех заливов северо-восточного побережья Сахалина личинками анизакид.....	74
ПРОМЫШЛЕННОЕ РЫБОЛОВСТВО. АКУСТИКА	81
<i>Балабаев С.М., Ивина Н.Ф.</i> Гидроакустические преобразователи нетрадиционных типов и их математические модели.....	81
<i>Шостак С.В., Стародубцев П.А., Бакланов Е.Н., Пичугин К.А.</i> Влияние коррелированных помех с неизвестной функцией распределения на способ оценки направления на объект в гидролокации.....	89
СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ, УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ, ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА СУДОВОЖДЕНИЯ, ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ СУДОВ	99
<i>Капран Л.К., Маницын В.В., Старовойтова З.П.</i> Исследование режимов эксплуатации главного дизеля 5дкрн50/110-2 танкера типа «Калининграднефть» с тремя вариантами гребных винтов.....	99
ТЕХНОЛОГИЯ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ	111
<i>Петрик А.С.</i> Технология пресервов из икры сельди тихоокеанской в соусах и заливках.....	111
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ И ТРАНСПОРТНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ РЫБОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ОТРАСЛИ	117
<i>Кагановский И.А.</i> Скороморозильные гидрофлюидизационные аппараты.....	117

CONTENTS

ICHTHYOLOGY. ECOLOGY	3
<i>Bulygin V.V., Rybnikova I.G.</i> Distribution and catches of pacific flying squid in Peter the Great bay (sea of Japan) during the summer-autumn period	3
<i>Kazachenko V.N.</i> New findings acanthocanthopsis quadrata (Crustacea: copepoda: chondracanthidae) in the Great Australian Bight and New Zealand	9
<i>Kazachenko V.N.</i> New data of parasitic copepods (Crustacea: copepoda) of fish in the Pacific and Indian oceans.....	15
<i>Lebedeva K.O., Dyachuk T.A., Dubina V.A.</i> Surface circulation of the Tatar strait according to data of Landsat satellites observations	29
<i>Matrosova I.V., Leskova S.E.</i> Some features of the ascidian purple <i>Halocynthia aurantium</i> Pallas reproduction biology	34
<i>Mirabdullayev I.M., Ginatullina E.N., Kuzmetov A.R., Musaev A.K., Saparov K.A., Mustafaeva Z.A.</i> Plancton communities of hydroecosystems of wetland Sudochye (Aral sea region, Uzbekistan).....	38
<i>Naumov V.A.</i> Mathematical modeling of diffuse pollution in watercourses.....	49
<i>Plotnikov V.V., Kruglik I.A., Rudenko O.N.</i> Spatial temporal variability of the ice cover of the Japan/east sea.....	55
<i>Plotnikov V.V., Dubina V.A.</i> An environmental risk for gracilaria verrucosa plantation cultivation in southwest part of peter the great bay	66
<i>Rybnikova I.G., Shulgina M.A.</i> About infection of pacific herring in four bays of the north-eastern coast of Sakhalin with anisakid larvae.....	74
INDUSTRIAL FISHERIES. ACOUSTICS	81
<i>Balabaev S.M., Ivina N.F.</i> Hydroacoustic transducers unconventional types and their mathematical modeli	81
<i>Shostak S.V., Starodubtcev P.A., Baklanov E.N., Pechugin K.A.</i> The effect of correlated noise with unknown distribution function on the method of valuation of directions to object in sonar	89
SHIP POWER PLANTS, EQUIPMENT AND SYSTEMS, SHIP NAVIGATION FACILITIES, SHIP ELECTRICAL FACILITIES	99
<i>Kapran L. K., Manyisyn V. V., Starovoytova Z. P.</i> Study of operating mode main diesel 5dkrn50 / 110-2 tankers "Kaliningradneft " with three options propeller	99
TECHNOLOGY AND QUALITY CONTROL OF FOOD PRODUCTS	111
<i>Petrik A. S.</i> Development of technology of preserves from herring roe pacific	111
TECHNOLOGICAL AND TRANSPORTATION EQUIPMENT OF FISHERIES	117
<i>Kaganovskij I.A.</i> Fast-freezing hydro fluidising apparatus	117

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 39

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 26.12.2016. Формат 60x84/8.
Усл. печ. л. 14,88. Уч.-изд. л. 11,00. Заказ 0625. Тираж 400 экз.
Отпечатано: Издательско-полиграфический комплекс Дальневосточного
государственного технического рыбохозяйственного университета
690091, г. Владивосток, ул. Светланская, 27