УДК 597.562 DOI: 10.15853/2072-8212.2020.56.5-34

ВЛИЯНИЕ КЛИМАТО-ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ДИНАМИКУ ЧИСЛЕННОСТИ НЕКОТОРЫХ ПРОМЫСЛОВЫХ ВИДОВ ПЕЛАГИЧЕСКОГО И ДОННОГО РЫБНЫХ СООБЩЕСТВ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ОХОТСКОГО МОРЯ

О.В. Новикова, Т.Н. Наумова, Р.Н. Новиков, Ю.П. Дьяков, В.В. Коломейцев, А.А. Матвеев



Вед. н. с., к. б. н.; н. с.; ст. н. с.; вед. н. с., д. б. н.; н. с., н. с.; Камчатский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии («КамчатНИРО») 683600 Петропавловск-Камчатский, Набережная, 18 Тел./факс: 8 (4152) 41-27-01, 42-19-88. E-mail: Novikova.o.v@kamniro.ru

ЗАПАДНОКАМЧАТСКИЙ ШЕЛЬФ, СЕЛЬДЬ, НАВАГА, ТРЕСКА, МНОГОИГЛЫЙ КЕРЧАК, ЖЕЛТОПЕРАЯ КАМБАЛА, БЕЛОКОРЫЙ ПАЛТУС, ЧЕРНЫЙ ПАЛТУС, КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИНДЕКСЫ, ДИНАМИКА ЧИСЛЕННОСТИ

На основе многолетних данных (1971–2018 гг.), включающих биологическую статистику и ряды наблюдений 10 климатических индексов, был проведен пошаговый многомерный регрессионный анализ, позволивший выделить наиболее значимые климатические факторы, воздействующие на численность некоторых видов рыб восточной части Охотского моря на разных стадиях онтогенеза. Все полученные результаты показали наличие значимых связей с численностью поколений рыб на втором году жизни и с численностью поколений рыб, достигших возраста массового полового созревания. На основе полученных уравнений множественной регрессии взаимосвязи численности рыб с отобранными наиболее активными климатическими индексами, были построены трехмерные регрессионные модели, удовлетворительно описывающие динамику исходных численностей некоторых видов рыб. Наибольшее влияние на сельдь оказали индексы SST, NPGO, SanSpot; на навагу — PNA; на треску — PDO; на многоиглого керчака — PNA, SanSpot; на желтоперую камбалу — SanSpot, PNA, AO; на белокорого палтуса — PDO, SSTa; на черного палтуса — SanSpot, NPGO. На пелагические, придонные и донные виды оказывали комплексное влияние как океанологические и метеорологические, так и планетарнокосмические индексы.

THE INFLUENCE OF THE CLIMATIC AND OCEANOLOGICAL CONDITIONS ON THE STOCK DYNAMICS OF SOME COMMERCIAL SPECIES OF PELAGIC AND BOTTOM FISH COMMUNITIES OF THE EASTERN PART OF THE SEA OF OKHOTSK

Olga V. Novikova, Tatyana A. Naumova, Roman N. Novikov, Yuri P. Diakov, Vladimir V. Kolomeytsev, Andrei A. Matveev

Leading Scientist, Ph. D. (Biology); Researcher; Senior Scientist; Leading Scientist, D. Sc. (Biology); Researcher; Researcher; Kamchatka Branch of Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography ("KamchatNIRO") 683000 Petropavlovsk-Kamchatsky, Naberezhnaya, 18
Tel./fax: +7 (4152) 41-27-01, 42-19-88. E-mail: Novikova.o.v@kamniro.ru

WEST KAMCHATKAN SHELF, HERRING, SAFFRON COD, PACIFIC COD, GREAT SCULPIN, YELLOWFIN SOLE, PACIFIC HALIBUT, GREENLAND TURBOT, CLIMATE INDICES, STOCK ABUNDANCE DYNAMICS

Stepwise multidimensional regressive analysis was carried out based on the long-term data (1971–2018), including biological statistics and series of observations on 10 climate indices, allowing to identify the most meaningful climatic factors affecting the numbers of some fish species at different stages of the ontogenesis in the Eastern part of the Sea of Okhotsk. All the results obtained indicate of existing true correlations with the number of the two-years-old individuals and the number of the fish reached the age of the mass (>50%) maturation. Three-dimension regression models, describing the dynamics of the initial number of some fish satisfactorily. were made, based on the obtained equations of multiple regression of the relationship between the number of the fish and the most effective climatic indices selected. The major indices affecting the abundance of different fish species are: SST, NPGO, SanSpot – Pacific herring; NPA – saffron cod; PDO – Pacific cod; NPA, SanSpot – great sculpin; SanSpot, PNA, AO – yellowfin sole; PDO, SSTa – Pacific halibut; Ice SanSpot, NPGO – Greenland turbot. Pelagic, demersal and bottom species are under the complex influence of the oceanographic, meteorological and planetary-space indices.

По абсолютному и относительному обилию ресурсов рыб и беспозвоночных западнокамчатский шельф, территориально относящийся к восточной части Охотского моря, является не только наибо-

лее богатым рыбопромысловым районом морской экономической зоны России (Борец, 1997; Шунтов, 1985, 1998; и др.), но и одним из наиболее продуктивных и важных в промысловом отношении рай-

онов Мирового океана. Список рыб в рассматриваемом районе насчитывает более 150 видов и подвидов, входящих в состав 32 семейств (Токранов и др., 1996; Борец, 1997; Шейко, Федоров, 2000; Черешнев и др., 2001), но основу ихтиомассы (более 93%) в диапазоне глубин 15–300 м в современный период составляют представители лишь четырех семейств: тресковых Gadidae, камбаловых Pleuronectidae, рогатковых Cottidae и сельдевых Сlupeidae. В настоящее время промысел у западного побережья Камчатки обеспечивает более 20% общего вылова рыб России в Тихом океане (Терентьев и др., 2005).

Ранее утверждалось, что структура донных сообществ по сравнению с пелагическими более стабильна (Шунтов, Дулепова, 1996), а экосистемные перестройки охватывают главным образом динамические пелагические сообщества. В качестве исключения из донных видов отмечалась только треска, подверженная воздействию аналогичных естественных факторов (Шунтов и др., 1997). Но в последние годы в результате анализа учетных донных работ было сделано предположение, что в донных сообществах, как и в пелагических, идут сходные процессы, только у дна они более замедленные, чем в пелагиали, что, вероятно, связано с большей стабильностью придонных биотопов и с тем, что в них меньше представлены «коротковолновые» сильно флуктуирующие виды (Савин и др., 2011; Асеева, 2012). Так, если динамика запасов тресковых (без минтая) ранее определялась только состоянием запаса трески (Винников, 2008), то в последнее десятилетие впервые можем наблюдать замену доминант. Последнее десятилетие характеризуется постепенным сокращением запасов трески до низкого уровня и резким увеличением биомассы наваги (Новикова, 2017). В связи со снижением доли наиболее значимых семейств, таких как рогатковые и тресковые, в общей биомассе донных рыб исследуемого района возрастает значимость показателей биомассы второстепенных компонентов донных ихтиоценов — бельдюговых, морских лисичек и стихеевых (Винников, 2008).

Существуют различные точки зрения на причины флуктуаций численности биологических объектов. Согласно мнению одних исследователей (Ижевский, 1961), флуктуации численности вызывает комплекс взаимосвязанных изменений, происходящих в атмосфере, гидросфере и био-

сфере, регулируемых, в свою очередь, космогеофизическими факторами. Основополагающее значение в динамике стада придается количеству и качеству производителей, саморегулирующим свойствам популяции (Козлов, 1959; Никольский, 1974). Большинство исследователей связывают урожайность поколений рыб с количеством и качеством родителей, а также с изменением климатических условий (Моисеев, 1956; Юрьев, Старушенко, 1972; Семененко, 1973; Давыдов, 1975; Дементьева, 1976; Колесова, 1975, 1976; Гаврилов, Шарапова, 1982; Толстяк, 1990; Бондаренко и др., 2001; Дьяков, 2002; Терентьев и др., 2002; Глебова, 2003; Новикова, 2004; Кулик, 2009; Зуенко и др., 2010 Зуенко, 2011; Бугаев, Тепнин, 2011, 2015; Асеева, 2012; Горбатенко, Савин, 2012; Котенев и др., 2015; Фельдман, Шевляков, 2015; Бугаев и др., 2018).

Принято считать, что «изменчивость климата означает колебание среднего состояния статистических параметров, описывающих климат, для определенных временных и пространственных масштабов. Климатическая изменчивость описывается с помощью анализа комплекса статистических параметров, оказывающих влияние в целом на климатическую систему Земли или ее отдельные компоненты. Результаты таких измерений часто выражают через определенные индексы. Основной метод анализа с использованием климатических индексов — выявление скрытой или явной периодичности, позволяющий проводить прогностические действия с используемыми предикторами» (Бугаев и др., 2018).

В настоящее время не вызывает сомнений необходимость комплексного подхода в рыбохозяйственных исследованиях независимо от их направленности — биология видов, физико-географические условия, промысел (антропогенное влияние), управление запасами гидробионтов и т. д. Соответственно, и работ, посвященных решению этого вопроса, как указано выше, опубликовано довольно много. Обычно в них рассматривается влияние группы факторов, чаще какой-либо одной (например, метеорологических на значимый в промысловом отношении вид (минтай) или родственную группу видов (лососи)), либо в целом на сообщества гидробионтов (зоопланктон) в определенном районе.

Цель работы состоит в оценке комплексного влияния климатических факторов на численность

некоторых промысловых видов пелагического и донного рыбных сообществ восточной части Охотского моря. Для ее достижения были поставлены следующие задачи: оценить корреляционные связи динамики численности исследуемых видов рыб и климатических индексов между собой; проанализировать прямое и комплексное влияние климатических факторов на численность рыб на разных стадиях онтогенеза; отобрать наиболее значимые климатические факторы, влияющие на динамику численности изучаемых видов, построить на их основе регрессионные модели численности рыб.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

В качестве исходного статистического материала в работе использованы оценки численности наваги (1987–2018 гг.), трески (1971–2018 гг.) и черного палтуса (2001–2018 гг.), выполненные методом когортной модели «Синтез» (Ильин и др., 2014). Для оценки численности многоиглого керчака (1986–2018 гг.), желтоперой камбалы (1971– 2018 гг.) и белокорого палтуса (2000–2017 гг.) был применен метод прямого учета (донные траловые съемки) (Волвенко, 1998; Шунтов и др., 1998). Численность нерестовой охотоморской сельди (1978–2017 гг.) была взята из работы А.А. Смирнова (2014) и источника «Состояние ресурсов...» за 2013-2017 гг.

В работе использованы океанологические (Ісе OkhS, NPGO, SST, SSTa, PDO), метеорологические (AO, PNA, WP, ALPI) и планетарно-космические (SanSpot) индексы, имеющиеся в свободном доступе на сайтах: www.esrl.noaa.gov/psd/data/ climateindices/list/, www.pac.dfo-mpo.gc.ca и www.03d.org/npgo/npgo.php. (табл. 1).

Для определения простых (одномерных) связей между переменными («численность рыб – численность рыб», «индекс-индекс» и «индекс - численность рыб») в качестве меры зависимости между переменными использовали коэффициент корреляции Пирсона (г). Анализ взаимосвязи и выявление степени воздействия комплекса климатических факторов на численность рыб выполнен при помощи многомерного регрессионного моделирования методом пошагового отбора (forward stepwise). Для характеристики взаимосвязи численности исследуемых рыб с наиболее активными климатическими индексами были построены трехмерные регрессионные модели (quadratic). Оценку значимости выявленных взаимосвязей основывали на стандартной градации, принятой в статистике: $r \le 0.25$ — слабая; $0.25 < r \le 0.75$ — умеренная; r > 0.75 — сильная (Халафян, 2007).

Таблица 1. Основные климатические и океанологические индексы, используемые в работе Table 1. Basis climate and oceanology indices used in the analysis

		7	
No	Индексы	Описание	Период, г
	Indices	Description Площадь льда в восточной части Охотского моря (%) в зимний период года (январь—апрель). Характеризует суровость зимнего сезона в северной части Тихого океана	Period, years
1	Ice OkhS	(Коломейцев, 2016). The square of the ice in the eastern part of the Sea of Okhotsk (%) in winter (January–April) characterizes severity of winter season in the northern part of Pacific Ocean (Коломейцев, 2016).	1995–2018
2	NPGO	Осцилляция северотихоокеанских круговоротов. Представляет собой модель климатической изменчивости высоты поверхности моря (2-EOF SSH) в северо-восточной части Тихого океана. NPGO связано с тем, что его колебания отражают изменения в интенсивности центральной и восточной ветвей круговорота северной части Тихого океана. Колебания в NPGO отражаются в изменениях в региональных и бассейновых масштабах, в частности в интенсивности ветрового апвеллинга и горизонтальной адвекции. Колебания содержания питательных веществ приводят к сопутствующим изменениям в концентрациях фитопланктона, что может привести к изменчивости высших трофических уровней. Таким образом, NPGO может являться сильным индикатором колебаний механизмов динамики планктонных экосистем (Di Lorenzo et al., 2008). The North Pacific gyre oscillation. Represents model of the climate dynamics of the sea surface heighth (2-EOF SSH) in the northeastern part of Pacific Ocean. NPGO fluctuations reflect changes in the intensity of the central and eastern branches of the North Pacific Ocean gear. NPGO fluctuations are reflected in the changes of regional and basin scale, including in the windy apvelling intensity and horizontal advection. The fluctuations in the content of biogenes cause following changes in the densities of phytoplankton and can cause transformations in the higher trophic levels. In this way NPGO can be a strong indicator of the changes of the plankton ecosystem dynamics mechanisms (Di Lorenzo et al., 2008).	1971–2017

Таблица 1. Продолжение. Начало на с. 7 / Table 1. Continuation. Beginning on page 7

№	Индексы Indices	Описание Description	Период, г Period, years
3	SST	Температура поверхности восточной части Охотского моря (январь—апрель). Для анализа температурных условий на поверхности в работе использованы данные дистанционного зондирования Земли. Для Мирового океана продукт OSTIA (Operational Sea Surface Temperature and Sea Ice Analysis) обеспечивает ежедневные карты температуры поверхности при горизонтальном разрешении 0,05° × 0,05° с использованием данных in-situ и спутников, как с инфракрасных датчиков, так и с микроволновых радиометров. На основе этого продукта были проведены выборка и анализданных с 1985 по 2018 гг. для района Охотского моря у западного побережья Камчатки. Район ограничен параллелями 51 и 58° с. ш., меридианом 153° в. д. на западе и береговой линией на востоке. На основе этой информации были рассчитаны средние для каждого месяца значения ТПМ. Также для оценки внутригодовой и межгодовой изменчивости температурных условий рассчитывали средние по выбранной акватории значения (Коломейцев, 2016). The Sea Surface Temperature in the eastern part of the Sea of Okhotsk (January—April). Earth remote sensing data were used in this work for analysis of the temperature conditions on the surface. The product OSTIA (Operational Sea Surface Temperature and Sea Ice Analysis) provides daily maps of the surface temperature of the World Ocean at the horizontal resolution 0.05° × 0.05° using the in-situ and satellite data and info of the infrared sensors and microwave radiometers. Sampling in the Sea of Okhotsk on the west coast of Kamchatka and analysis of the data from 1985 to 2018 was carried out based on this product. The sampling area was limited by the latitudes 51 и 58° N and the longitude 153° E and coastal line. Monthly average meanings of the SST were calculated based on the data. Average meaning for selected squares were calculated to estimate intra- and interannual variations of the temperature conditions (Коломейцев, 2016).	1985–2018
4	SSTa	Аномалии температуры поверхности восточной части Охотского моря (январь—апрель). Аномалия температуры поверхности моря взята из климатологии Pathfinder при горизонтальном разрешении 0,25° × 0,25°. На основе этого продукта была проведена выборка и анализ данных с 1985 по 2018 гг. для района Охотского моря у западного побережья Камчатки. Район ограничен параллелями 51 и 58° с. ш., меридианом 153° в. д. на западе и береговой линией на востоке. На основе этой информации были рассчитаны средние для каждого месяца значения ТПМ и ее аномалии (Коломейцев, 2016). The Sea Surface Temperature abnormality in the eastern part of the Sea of Okhotsk (January—April). This index is taken from Pathfinder's climatology at the horizontal resolkution 0.25° × 0.25°. Based on the product was created for the data from the Sea of Okhotsk on the west coast of Kamchatka and analyzed for the period from 1985 to 2018. The district analyzed was limited by the latitudes 51 and 58° N and the longiture 153° E and coastal line. Average monthly meaning of the SST and the SSTa were calculated based on the data (Коломейцев, 2016).	1985–2018
5	PDO	Тихоокеанская декадная осцилляция. Индекс характеризует среднемесячную аномалию температуры поверхности воды северной части Тихого океана (до 20° с. ш.). Характеристика климатического явления, наблюдаемого преимущественно в северной части Тихого океана, в противоположность Эль-Ниньо/Южной осцилляции (ENSO). Когда в северной части Тихого океана наблюдается отрицательная аномалия температуры поверхности и приземного атмосферного давления на уровне моря, принято считать, что этот индекс имеет положительное значение — «теплая» фаза. Если же ситуация складывается по обратному сценарию, т. е. аномалии ТПО и ПАД положительные — «холодная» фаза (Hare, Francis, 1995). The Pacific Decade Oscillation. The index characterizes average monthly surface water temperature abnormality in the northern part of the Sea of Okhotsk (up to 20° N). The characteristics of the climate event, observed mainly in North Pacific, it is opposite to El Nino/Southern Oscillation (ENSO). It is considered when observing negative water surface temperature abnormality and surface air pressure at sea level in North Pacific, that the index is positive, and it is the "warm" phase. In case when situation is opposite, in the other words the SSTa and PDO are positive the phase is "cold" (Hare, Francis, 1995).	1971–2018
6	АО	Индекс Арктической осцилляции. Характеризует степень проникновения арктических воздушных масс в субарктический регион. Рассчитывается посредством разложения среднемесячной аномалии поля давления на уровне 1000 гПа над Арктикой с использованием естественных ортогональных функций (ЕОФ, первая компонента). Имеет большую изменчивость в зимний период года (Thompson, Wallace, 1998). The Arctic Oscillation index characterizes the extent of the Arctic air masses invasion into the subarctic region. It is calculated by expanding the monthly average anomaly of the pressure field at the level of 1000 hPa over the Arctic using natural orthogonal functions (EOF, first component, 1-EOF). It is highly variable in winter season (Thompson, Wallace, 1998).	1971–2018

Таблица 1. Окончание. Начало на с. 7 / Table 1. The end. Beginning on page 7

№	Индексы Indices	Описание Description	Период, г Period, years
7	PNA	Тихоокеанско-Североамериканское колебание дальней связи. Главный компонент внетропической низкочастотной изменчивости над Северным полушарием. Положительная фаза — усиление воздушного переноса в восточном направлении, отрицательная — усиление воздушного переноса над центральной частью Тихого океана со смещением на запад (Barnston, Livezey, 1987). The Pacific North American Long-Range Swing is the main component of the extratropical low-frequency variability over the Northern Hemisphere. The positive phase — growing the air flow in the east direction, the negative phase — growing the air flow over the central part of the Pacific Ocean with a displacement westward (Barnston, Livezey, 1987).	1971–2018
8	WP	Индекс дальних связей Северного полушария. Отражает низкочастотную изменчивость над северо-западной частью Тихого океана. Положительные и отрицательные фазы этой модели отражают перераспределение температуры и влажности (осадков) в меридиональном и широтном направлениях (на Чукотке, в Магаданской области и на Камчатке) (Wallace, Gutzler, 1981; Barnston, Livezey, 1987). The Northern Hemisphere Long-Range Relations Index (West Pacific index) reflects low frequency variability over the morth-west part of the Pacific Ocean. The positive and negativephases of the model reflect temperature and humidity (precipitations) redistribution in the longitude and latitude directions (in Chukotka, Magadan Region and Kamchatka) (Wallace, Gutzler, 1981; Barnston, Livezey, 1987).	1971–2018
9	ALPI	Индекс измерения относительной интенсивности Алеутской депрессии (АД) в системе Северной Пацифики (декабрь—март). Рассчитывается как средняя площадь (км²) области с приземным давлением ниже или равным 100,5 кПа (декабрь—февраль) с вычислением отклонения от средних показателей. Положительное значение индекса говорит об усилении АД. Он определяет относительную силу области Алеутского минимума в северной части Тихого океана (от декабря к марту). Положительное значение индекса отражает относительно сильный или интенсивный Алеутский минимум, при котором усиливаются южные и восточные ветры на перифериях циклона, что способствует поступлению в северные районы более теплой воды от Куросио и субтропиков (Beamish et al., 1997). The Aleutian Low Pressure (Aleutian Depression, AD) Index in the North Pacific system (December—March) is evaluated as average square (km²) of the area with surface pressure lower or equal to 100,5 kPa (December—February) with assessments of the deviations from the mean values. The positive meaning of the index indicates strengthening the AD. The index determins relative strength of the area of the Aleutian minimum in the northern part of the Pacific Ocean (from December to March). The positive meaning reflects relatively sdtrong or intense Aleutian minimum, when the winds from the South and East raise in the cyclonic peryphery, what contributes coming more warm waters from Kurisio and subtropics into the northern districts (Beamish et al., 1997).	1971–2015
10	Sun Spot	Характеризуют солнечную активность, интенсивность электромагнитного излучения и «солнечного ветра». Оценивают визуальным определением количества пятен (зон высокой температуры) на Солнце (Витинский и др., 1976). The index characterizes solar activity, intensity of electromagnetic radiation and "solar wind". It is a visual estimation of the number of spots (zones of higher temperature) on the Sun (Витинский и др., 1976).	1971–2016

При сравнении изменений в биологических и абиотических индексах были учтены временные лаги до 8 лет. Это допущение необходимо, так как рассмотреть динамику отдельных возрастных групп гидробионтов из выделенных «биологических индексов» не представляется возможным. В этой связи учитывали опосредованное влияние условий среды на выживание рыб во время самых уязвимых (ранних) стадий онтогенеза (с временным лагом 1 год) и через вклад поколений в общую численность через несколько лет, когда выжившая молодь вырастет и достигнет возраста, при котором более 50% особей становятся половозрелыми. Так, для рассматриваемых видов применили временные лаги: сельдь и навага —

3 года, треска — 4 года, желтоперая камбала и черный палтус — 7 лет, многоиглый керчак и белокорый палтус — 8 лет.

Обработку данных осуществляли в пакетах программного обеспечения Microsoft Excel 2007 и STATISTICA 6.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для сравнения отличающихся экологических комплексов — типично пелагического (сельдь), придонного (навага, треска) и типично донного (многоиглый керчак, желтоперая камбала, белокорый и черный палтусы) — и опосредованного влияния на них различных климатических индексов, характеризующих те или иные изменения, приведем краткую экологическую характеристику исследуемых видов. В эту группу рыб мы не включили минтай, по которому проводится большое количество самостоятельных исследований.

Тихоокеанская сельдь *Clupea pallasii* (Val.) широко распространенный вид в северной части Тихого океана, и по промысловой значимости занимает одно их первых мест в пелагическом ихтиоцене (Науменко, 2001). В Охотском море сельдь обитает в основном в восточной его части, включая зал. Шелихова и западнокамчатский шельф. В годы высокой численности на откорм она мигрирует до северных островов Курильской гряды и далее на восток, вдоль берегов Камчатки. Обитает сельдь в основном в горизонте 0-200 м (рис. 1). Весной откладывает икру на мелководье. Чаще зона размножения ограничивается 6-метровой изобатой (Науменко, 2001; Овчинников и др., 2018). Район обитания характеризуется большими колебаниями уровня воды, вследствие приливно-отливных течений. Было установлено, что урожайные поколения сельди возникают, как правило, от производителей высокой численности и при раннем очищении ото льда прибрежных вод (Завернин, 1972; Тюрнин, 1980; Смирнов, 2003; Муктепавел, Шатилина, 2012). Сельдь относится к многочисленным флуктуирующим видам рыб (рис. 2).

Навага *Eleginus gracilis* (Til.) — представитель семейства тресковых (Gadidae), относится к числу важных промысловых рыб прибрежного комплекса дальневосточных морей. В Охотском море наиболее крупные концентрации наваги наблюдаются на западнокамчатском шельфе (Дубровская, 1953; Покровская, 1960; Семененко, 1971; Сафронов, 1986; Новикова, 2002, 2007, 2009). Ее распределение обусловлено особенностями гидрологического режима, прежде всего температурными условиями, наличием кормовой базы, конфигурацией берегов. Навага распространена повсеместно: от береговой черты до 450 м с преобладанием в диапазоне глубин 50-100 м (рис. 1). Зимой концентрируется в диапазоне глубин 100-150 м, а в летний период образует наиболее плотные скопления на глубинах от 10 до 80 м (Новикова, 2002, 2007). Динамика чис-

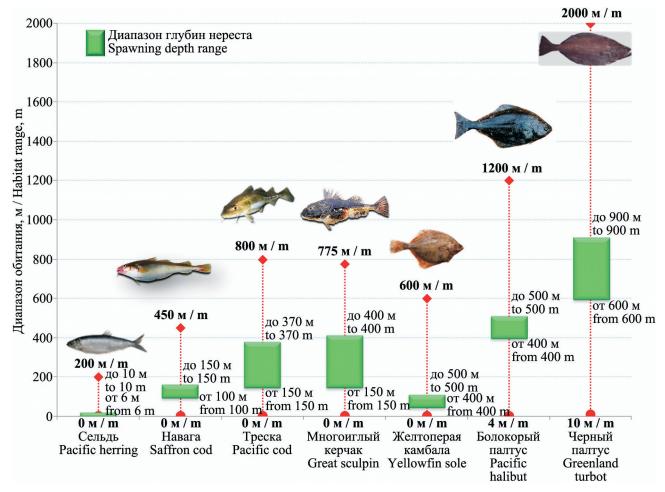


Рис. 1. Диапазон обитания и нереста некоторых видов рыб восточной части Охотского моря Fig. 1. The habitats and the spawn ranges of some fish species in the eastern part of the Sea of Okhotsk

ленности наваги обусловлена в основном урожайностью поколений, и запасы ее, при наличии благоприятных условий среды, могут быстро восстанавливаться (Семененко, 1973; Давыдов, 1975; Васильков и др., 1980; Толстяк, 1990). На современном этапе численность наваги достигла аномально высокого значения (Новикова, 2017) (рис. 2).

Треска Gadus macrocephalus в исследуемом районе характеризуется как широкобореальный тихоокеанский, элиторальный вид высокой численности, обитающий во всех морских районах, прилегающих к полуострову (Шейко, Федоров, 2000). Ведет придонно-пелагический образ жизни в широком батиметрическом диапазоне от 0 до 800 м и совершает сезонные миграции (Борец, 1997; Каика, Юсупов, 2009) (рис. 1). Западнокамчатской треске свойственны две сезонные миграции, связанные с гидрологическим и температур-

ным режимом шельфовых вод, протяженность которых незначительна. Готовые к нересту и нерестующие особи встречаются зимой на глубинах 130-370 м при температуре воды в придонном слое от минус 0,5 до +2,3 °C. В летний период треска встречается практически повсеместно на всей акватории шельфа в диапазоне глубин от 15-20 до 300 м. Летом происходит развитие миграций трески вдоль западного побережья (июль-август). Большая часть северных скоплений смещается к югу, а южных — к северу. Эти миграции имеют преимущественно кормовой характер (Винников, 2008). Тихоокеанская треска — рыба с относительно коротким жизненным циклом и хорошо выраженными флуктуациями численности. В последнее десятилетие численность и биомасса трески данного района стабилизировались на низком уровне (Новикова, 2017) (рис. 2).

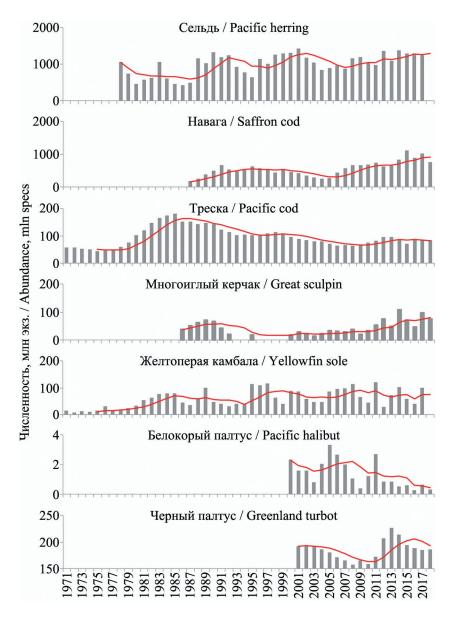


Рис. 2. Динамика численности некоторых видов рыб восточной части Охотского моря в 1971—2018 гг. (прямая линия — линейная фильтрация с шагом 5)

Fig. 2. The stock abundance dynamics of several fish species in the eastern part of the Sea of Okhotsk in 1971–2018 (the straight line is the linear filtering with the step 5)

Многоиглый керчак Myoxocephalus polyacan*thocephalus* — один из самых крупных видов рогатковых. Широко распространен в северной части Тихого океана от зал. Петра Великого и о-ва Хоккайдо до Берингова пролива (отдельные экземпляры проникают на север до выхода в Чукотское море) и далее на юг до о-ва Ванкувер. В некоторых районах своего обширного географического ареала (например, на западнокамчатском шельфе) достигает сравнительно высокой численности и образует достаточно плотные скопления. Обитает в широком диапазоне глубин: от береговой черты до 775 м (рис. 1). Многоиглый керчак — типично донная, относительно малоподвижная рыба, которая, тем не менее, в течение года совершает сезонные миграции: летом на нагул в сравнительно хорошо прогретую прибрежную зону, а в зимние месяцы — на зимовку и нерест на глубины 150-400 м, где сказывается влияние теплых океанических вод (Токранов, 1981, 1985; Линдберг, Красюкова, 1987; Борец, 1997; Тупоногов, Кодолов, 2014; Матвеев, Терентьев, 2016). В последнее десятилетие (2009–2018 гг.), по сравнению с предшествующим (2000-2008 гг.), численность многоиглого керчака увеличилась более чем в два раза (рис. 2).

Желтоперая камбала *Limanda aspera* является наиболее широко распространенным и одним из самых многочисленных видов камбал в Северной Пацифике. Арктическо-бореальный элиторальный вид (0-600 м) (рис. 1). Наиболее многочисленна в Японском и Охотском морях (Новиков и др., 2002). В Охотском море составляет основу промысла камбал. Совершает хорошо выраженные сезонные миграции и является прибрежным видом. В теплый период года обитает в основном на изобатах менее 100 м, зимовальные скопления образует на глубинах 150-300 м. Молодь в течение всего года предпочитает меньшие глубины, чем половозрелые рыбы. Нерест происходит летом на глубинах от 50 до 100 м. Желтоперая камбала относится к быстро созревающим и относительно короткоцикловым видам, для которых характерны довольно резкие с высокой амплитудой колебания численности. Например, в период наблюдений, который мы используем для анализа, Ю.П. Дьяков (2011) выделяет рост численности с 1979 по 1985 гг., с последующими колебаниями на относительно высоком среднем уровне по настоящее время (рис. 2).

Белокорый палтус *Hippoglossus stenolepis* относится к донно-придонным видам. Одна из наи-

более крупных рыб Северной Пацифики. Обычный вид в тихоокеанских водах Курильских островов, Восточной Камчатки и западной части Берингова моря. Наибольшей численности достигает в американской части ареала (зал. Аляска). В Охотском море встречается повсеместно, но в целом немногочислен, с максимальной частотой встречаемости в его восточной части. Обитает в широком диапазоне глубин — от самых минимальных 8-10 (4) м до 600-890 (1200) м, совершая сезонные вертикальные миграции. Летом молодь и часть взрослых рыб выходят на минимальные глубины, а осенью и зимой смещаются к нижней кромке шельфа на свал. Нерест белокорого палтуса происходит в осенне-зимний период на глубинах 400-500 м (рис. 1). По образу жизни белокорый палтус является активным хищником, с длительным циклом воспроизводства. Численность белокорого палтуса в исследуемом районе, по результатам донных учетных съемок и модельных расчетов, с 2002 по 2011 гг. довольно интенсивно возрастала, затем следовало ее снижение, с последующей стабилизацией на уровне несколько ниже среднемноголетнего, длящейся до настоящего времени (рис. 2).

Тихоокеанский черный палтус Reinhardtius hippoglossoides matsuurae является широкобореальным, тяготеющим к нижней батиали видом. Самый глубоководный из палтусов и в целом среди рассматриваемых нами видов. Отмечается на глубинах от 10 до 2000 м, нерест происходит в октябре-ноябре в диапазоне от 600 до 900 м (рис. 1). Многочислен в западной и восточной частях Берингова моря и северо-восточной части Охотского. В остальных районах обычный или немногочисленный вид (Дьяков, 2011; Тупоногов, Кодолов, 2014). Черный палтус относится к длинноцикловым видам. Коротко характеризуя динамику его численности по результатам модельных оценок, отметим, что в исследуемом районе запасы черного палтуса 2012-2014 гг. находились на уровне выше среднемноголетнего значения с сохранением устойчивого тренда прироста численности. С 2015 г. наблюдается отрицательная тенденция, хотя в последнее время (2017–2018 гг.) численность стабилизировалась на среднемноголетнем значении (рис. 2).

Таким образом, в нашей работе мы рассматриваем влияние различных групп факторов на различающиеся по экологии, биологии и промысловому значению группы морских рыб в Охотском море.

О существовании взаимосвязей между численностью промысловых рыб хорошо известно. Одним из таких примеров является обратная связь между сельдью и минтаем, подробно исследованная для западной части Берингова моря (Науменко, 2001). Главной причиной противонаправленности изменения запасов этих рыб считаются климатические условия: в «теплые» периоды возрастает численность минтая, а в «умеренно холодные» — сельди, что связано с улучшением условий воспроизводства и выживания на ранних стадиях. Отмечается также, что происходят изменения и в донном ихтиоцене западной части Берингова моря. Так, в конце 1980-х и 1990-х параллельно с сокращением численности минтая уменьшилась и численность трески (Науменко, 2002).

Для восточной части Охотского моря выполнен корреляционный анализ численности массовых промысловых рыб (табл. 2). Статистически значимые положительные связи обнаружились между треской и черным палтусом (r = 0.7881), навагой и многоиглым керчаком (r = 0.4881), навагой и сельдью (r = 0.4132). Как видно из рисунка 2, пики и провалы в динамике численности этих видов рыб в большинстве случаев совпадали. В противофазе изменялась численность сельди и трески (r = -0.4085), сельди и белокорого палтуса (r = -0.6016), наваги и трески (r = -0.3811), наваги и белокорого палтуса (r = -0.6016). О разнонаправленности динамики численности наваги и трески мы упоминали ранее (Новикова, 2017).

Принимая во внимание, что каждый из используемых в работе климатических индексов — океанологических, метеорологических и планетарно-космических — имеет собственную временную динамику изменчивости, необходимо оценить уровень стохастической сопряженности полученных рядов наблюдений. В качестве меры зависимости между переменными мы использовали коэффициент корреляции Пирсо-

Между индексами, характеризующими состояние как термического, так и барического полей, имеются прямые и обратные взаимосвязи, о чем свидетельствуют рассчитанные коэффициенты корреляции. Всего из 45 определенных значений коэффициентов корреляций 8 являются достоверными. Поскольку индекс Ice OkhS находится в физической обратной зависимости от температуры, а индекс SSTa является расчетом из SST, были отмечены высокие коэффициенты корреляций (p < 0.001) в сопряженных парах: Ісе OkhS-SST (r = -0.63), Ice OkhS-SSTa (r = -0.63) и SST– SSTa (r = -0.54). Осцилляция северо-тихоокеанских круговоротов (NPGO) показала положительную связь с Ice OkhS (r = 0.53) и отрицательную с PDO (r = -0.60) и SSTa (r = -0.52). Индекс Арктической осцилляции (АО) зависит от солнечной и геомагнитной активности (Ісе OkhS) (r = 0.51) (Мордвинов и др., 2009). Индекс дальних связей Северного полушария (WP) для районов Камчатки имеет отрицательную корреляцию с температурой (SST) (r = -0.45) (Панин и др., 2010) (табл. 3).

Рассмотрим далее как взаимодействуют показатели численности рыб с климатическими ин-

Таблица 2. Коэффициенты корреляции между численностью некоторых видов рыб восточной части Охотского

моря в 1971–2018 гг.

Table 2. The correlation coefficients between the abundance of some fish species in the eastern part of the Sea of Okhotsk in 1971–2018

Вид Species	Сельдь Pacific herring	Навага Saffron cod	Треска Pacific cod	Много- иглый керчак Great sculpin	Желтоперая камбала Yellowfin sole	Белокорый Палтус Pacific halibut	Черный палтус Greenland turbot
Сельдь Pacific herring	1,000			-			
Навага Saffron cod	0,4132 p = 0,021	1,000					
Треска Pacific cod	-0,4085 p = 0,009	-0.3811 p = 0.031	1,000				
Многоиглый керчак Great sculpin	0.3166 p = 0.115	0,4881 p = 0,011	0.1915 p = 0.339	1,000			
Желтоперая камбала Yellowfin sole	0.0972 p = 0.551	0.1810 p = 0.330	0,2553 p=0.083	0.1236 p = 0.548	1,000		
Белокорый палтус Pacific halibut	-0,6016 p = 0,008	-0,6016 p = 0,006	-0.2315 p = 0.340	-0.4457 p = 0.056	0.3957 p = 0.104	1,000	
Черный палтус Greenland turbot	0.4385 p = 0.078	0.0825 p = 0.753	0.7881 p = 0.000	0.4479 p = 0.071	-0.2624 p = 0.309	-0.3249 p = 0.203	1,000

Примечание. Здесь и далее в таблицах красным цветом выделена достоверная связь Note. Authentic correlation marked in red hereinafter in tables

дексами. Для определения был проведен прямой корреляционный анализ (табл. 4).

Полученные результаты позволили выявить наиболее значимые климатические факторы, которые статистически достоверно влияли на динамику численности некоторых промысловых видов рыб восточной части Охотского моря в 1971-2018 гг.

Так, у сельди урожайные поколения (лаг 1 год) появлялись при повышении ледовитости Охотско-

Таблица 3. Корреляционная матрица взаимосвязи использованных в работе климатических индексов по данным 1971-2018 гг.

Table 2 The semulation of	matuir fautlas	alimata indiana man	d, on the data for 1971–2018
rable 5. The correlation i	naurix for the	cilinate maices use	a, on the data for 19/1–2018

Индексы Indices	San Spot	Ice OkhS	NPGO	SST	SSTa	PDO	AO	PNA	ALPI	WP
San Spot	1,000									
Ice OkhS	0.2428 p = 0.181	1,000								
NPGO	0.1580 p = 0.388	0,5285 p = 0,002	1,000							
SST	-0,1276	-0.6304 p = 0.000		1,000						
SSTa	-0,1268	-0.6389 p = 0.000	-0,5254		1,000					
PDO	-0,1686	-0,0210	-0,6000		0.1379 p = 0.452	1,000				
AO	0,5148	-0,1724	-0,1434	0.1785 p = 0.328	0,0977	-0.1227 p = 0.504	1,000			
PNA	-0,1351	0,0782	0,1407	-0.1215 p = 0.508	-0,2883	0,1149		1,000		
ALPI	-0,1064	0,1743	0,0721	-0.3266 p = 0.068	-0,1117	0,0679	-0,048	0,2035 p = 0,264	1,000	
WP	0,0631	0,1942	0,0353	-0.4517 p = 0.009	-0,2572	0,0349	0,1820	-0,050	0.3083 p = 0.08	1,000

Таблица 4. Значения коэффициентов корреляции Пирсона (г) и доверительная вероятность (р), характеризующие взаимосвязь численности рыб со среднегодовыми показателями стандартных климатических индексов по данным 1971–2018 гг.

Table 4. The Pearson's correlation coefficients (r) and the confidence probability (p), characterizing the correlation between the fish abundance and the average annual values of the standard climate indices on the data for 1971–2018

Вид Species	Лаг Lag		NPGO	SST	SSTa	San Spot	PDO	AO	PNA	ALPI	WP
	1	0,5411	0,1922	0,0522	0,0696	-0,0529	0,4037	0,0669	-0,1847	-0,2890	-0,0311
Сельдь	1	p = 0.037	p = 0.493	p = 0.854	p = 0.805	p = 0.852	p = 0.136	p = 0.813	p = 0.510	p = 0.296	p = 0.912
Pacific herring	2	0,4321	-0,3005	-0,5788	0,3207	0,0859	0,3364	0,6650	-0,3839	0,3437	0,1732
		p = 0.245	p = 0.432	p = 0.102	p = 0.400	p = 0.826	p = 0.376	p = 0.051	p = 0.308	p = 0.365	p = 0.656
	1	-0,0365	-0,1719	0,0297	0,5977	0,2388	0,1324	0,0280	-0,2715	-0,3515	-0,1144
Навага	1	p = 0.897	p = 0.540	p = 0.916	p = 0.022	p = 0.391	p = 0.638	p = 0.921	p = 0.328	p = 0.199	p = 0.685
Saffron cod	2	-0,6651	0,1586	-0,4370	0,0880	-0,2489	0,4478	0,0782	-0,5027	0,1354	-0,3351
		p = 0.024	p = 0.684	p = 0.239	p = 0.822	p = 0.518	p = 0.227	p = 0.842	p = 0.168	p = 0,728	p = 0.378
	1	0,841	0,1562	-0,1879	0,2102	-0,0829	0,3247	0,1897	-0,3334	0,1289	-0,5048
Треска	1	p = 0.000	p = 0.578	p = 0.502	p = 0.452	p = 0.769	p = 0.238	p = 0.498	p = 0.225	p = 0.647	p = 0.055
Pacific cod	2	0,0192	-0,0937	-0,5825	-0,1034	-0,3573	0,6955	0,3394	0,3353	0,1617	0,4986
		p = 0.961	p = 0.810	p = 0.100	p = 0.791	p = 0.345	p = 0.038	p = 0.372	p = 0.378	p = 0.678	p = 0.172
Многоиглый	1	0,3130	-0,3146	-0,2322	0,2491	0,1422	0,1059	0,5268	-0,4822	-0,2662	-0,0830
	1	p = 0.136	p = 0.117	p = 0.264	p = 0.220	p = 0.488	p = 0.607	p = 0.006	p = 0.013	p = 0.209	p = 0.687
керчак Great sculpin	2	-0,2861	-0,1156	-0,6499	0,2150	0,6515	0,3978	-0,0291	-0,5136	0,0159	-0,1408
Great sculpin		p = 0.250	p = 0.648	p = 0.004	p = 0.392	p = 0.003	p = 0.102	p = 0.909	p = 0.029	p = 0.950	p = 0.577
W анданарад	1	-0,1892	-0,2023	0,2041	0,3990	0,2272	-0,1623	0,1062	-0,2345	-0,3941	-0,1907
Желтоперая камбала	1	p = 0.500	p = 0,470	p = 0.466	p = 0.141	p = 0.416	p = 0.563	p = 0,706	p = 0.400	p = 0.146	p = 0.496
	2	0,5747	-0,2992	-0,5670	0,5719	-0,0209	0,3957	0,4904	-0,4473	-0,0045	-0,2297
Yellowfin sole		p = 0.106	p = 0,434	p = 0.111	p = 0.108	p = 0.958	p = 0.292	p = 0.180	p = 0.227	p = 0,991	p = 0.552
Банакаргий	1	-0,1973	0,0659	0,0753	-0,1326	-0,2858	-0,3469	0,2115	-0,1585	0,2268	-0,0871
Белокорый	1	p = 0.481	p = 0.816	p = 0.790	p = 0.638	p = 0.302	p = 0.205	p = 0,449	p = 0.573	p = 0.416	p = 0.757
Палтус Pacific halibut	2	0,4347	0,0066	-0,0944	0,4564	-0,0708	-0,0116	0,0138	-0,5429	-0,2040	-0,4604
racilic lialibut		p = 0.242	p = 0.987	p = 0.809	p = 0.217	p = 0.856	p = 0.976	p = 0.972	p = 0.131	p = 0,599	p = 0.212
Черный	1	0,6546	-0,0016	-0,5321	0,1035	-0,1677		0,2204		0,0118	-0,1616
палтус	1	p = 0.008	p = 0.996	p = 0.041	p = 0.713	p = 0.550	p = 0.001	p = 0.430	p = 0.478	p = 0.967	p = 0.565
Greenland	2	-0.8652	-0.0997	0,6860	-0,2088			-0,2443			0,1929
turbot				p = 0.041						p = 0.758	p = 0.619
Примечани	e: 1 _			агом, соотв							

Примечание: 1 — с лагом 1 год, 2 — с лагом, соответствующему возрасту массового (более 50%) полового созревания рыб. Note: 1 — with the lag of 1 year, 2 — with the lag of the age of mass maturation (> 50%) of the fish.

го моря (Ice OkhS) (r = 0.5411), то есть в более холодные периоды, что согласуется с предыдущими исследованиями (Науменко, 2001; Смирнов, 2003). С многолетним лагом (3 года) достоверных связей с климатическими факторами обнаружено не было (табл. 4).

У наваги урожайные поколения появлялись при повышении аномалии температуры поверхности Охотского моря у западного побережья Камчатки (SSTa) (r = 0.5977). Высокодостоверная отрицательная связь была получена между численностью поколения рыб, достигших массового полового созревания, и ледовитостью Охотского моря (Ice OkhS) (r = -0.6651) (табл. 4).

У трески с лагом в 1 год, также как и у сельди, была отмечена высокая достоверная связь с ледовитостью Охотского моря (Ice OkhS) (r = 0.841). С многолетним лагом (4 года) наиболее сильная зависимость была получена со сменой фаз Тихоокеанской декадной осцилляции (PDO) (r = 0.6955), рассчитываемой по аномалиям температуры поверхности океана (табл. 4).

На урожайность поколений многоиглого керчака на втором году жизни (с лагом 1 год вперед) оказали влияние индекс Арктической осцилляции (AO) (r = 0.5268) и Тихоокеанско-Североамериканское колебание дальней связи (PNA) (r = -0.4822), воздействующие на характер океанологических процессов (течения, высоту волн, температуру, соленость, ледовый покров) и циркуляцию вод (Дж. Кинг и др., 2006; Мордвинов и др., 2009; Гечайте и др., 2016). Установлена положительная достоверная связь численности поколений многоиглого керчака, у которых более 50% рыб достигли полового созревания, с солнечной активностью (SanSpot) (r = 0.6515) и обратная зависимость с температурой поверхности восточной части Охотского моря (SST) (r = -0.6499) и также с (PNA) (r = -0.5136) (табл. 4).

У желтоперой камбалы и белокорого палтуса не выявлено наличия значимых статистических связей с климатическими индексами ни с численностью на ранних стадиях онтогенеза, ни с численностью поколений рыб, достигших массового полового созревания (табл. 4).

У черного палтуса было отмечено максимальное количество прямых связей между осредненными показателями климатических индексов и численностью, как с лагом в 1 год, так и с многолетним лагом. Однако если для первого случая благоприятными явились положительные связи с Ice OkhS (r = 0.6546), PDO (r = 0.7499) и отрицательная связь с (SST) (r = -0.5321), то через 7 лет изменения численности черного палтуса получили отклик на аналогичные индексы, но с противоположными знаками — Ice OkhS (r = -0.8652), PDO (r = -0.7264) и (SST) (r = 0.6860) (табл. 4).

Проведенный прямой корреляционный анализ показал, что взаимосвязи «индекс-численность» отмечены в большинстве случаев как с однолетним временным лагом, так и с многолетним. Из рассматриваемых видов рыб наибольший отклик на климатические факторы получили численности только двух видов рыб — многоиглого керчака и черного палтуса. Кроме того, исходя из полученных результатов сопряженности связей «индексчисленность», на урожайность поколений исследуемых рыб, независимо от сроков и глубины нереста, наиболее заметно влияние океанологических факторов (Ice OkhS, SST, SSTa и PDO), и только на многоиглого керчака, самого малоподвижного из исследуемых рыб, наибольшее влияние оказали метеорологические факторы (АО и PNA). Следует отметить, что на полученные сопряженные пары «численность рыб – численность рыб» (см. табл. 2) как с прямой, так и с обратной связью, влияние оказывали разные климатических индексы. Исключение составила только пара «треска – черный палтус». Урожайные поколения этих рыб появлялись при повышении ледовитости Охотского моря (Ice OkhS), а численность поколений рыб, достигших массового полового созревания, увеличивалась при отрицательной фазе Тихоокеанской декадной осцилляции (РОО) (табл. 4). Это может свидетельствовать о том, что в регуляции численности этих рыб преобладает влияние не биотических (пищевых, конкурентных), а абиотических факторов.

Далее оценим комплексное влияние климатических факторов на численность сельди, наваги, трески, многоиглого керчака, желтоперой камбалы, белокорого и черного палтусов в разные стадии онтогенеза. В связи с этим было проведено моделирование множественных взаимосвязей при помощи регрессионного анализа. Поскольку индексы Ice OkhS, SST и SSTa физически связаны между собой, при моделировании взаимосвязей в совокупность факторов для каждого вида рыбы был включен только один из этих индексов, с которым была получена наиболее сильная связь, как с однолетним временным лагом, так и с многолетним (табл. 4). Результаты регрессионного анализа представлены в таблицах 5 и 6.

У сельди полученные коэффициенты множественной регрессии методом пошагового отбора (forward stepwise) с лагом 1 год показали один достоверно влияющий индекс (beta-коэффициент) b_1 (SanSpot) = 0,52. Уровень взаимосвязи составил R = 0.64 (табл. 5). Уровень взаимосвязи климатических индексов с численностью поколений, в которых более 50% рыб достигли полового созревания, оказался ниже и составил R = 0.58. Достоверными индексами определены b_3 (SST) = -0.49и b_{\star} (NPGO) = -0,63 (табл. 6). Регрессионная модель «индексы – численность сельди» показала, что распределение остатков близко к ожидаемому нормальному распределению (рис. 3 и 4). Отдельные точки выброса на графике указывают на то, что часть значений модели может относиться к статистически незначимым beta-коэффициентам.

У наваги с лагом 1 год уровень взаимосвязи составил R = 0.48. В данном случае все индексы, определяющие сопряженность многомерного взаимодействия, оказались недостоверны (табл. 5). С многолетним лагом (3 года) уровень взаимосвязи значительно возрос и составил R = 0.58. Однако полученные результаты многомерного моделирования показали наличие только одного достоверного индекса: b_{i} (PNA) = -0.52 (табл. 6). В целом, как показывает анализ остатков регрессионной модели, распределение их значений было очень близко к ожидаемому нормальному. На графике

Таблица 5. Результаты многомерного регрессионного моделирования взаимосвязей численности рыб (млн рыб) восточной части Охотского моря со среднемноголетними годовыми показателями стандартных климатических индексов по данным 1971–2018 гг. с лагом 1 год

Table 5. The results of the multidimention regression simulation of the correlations between the fish abundance (mln fish) in the eastern part of the Sea of Okhotsk and the average long-term annual values of the standard climate indices on the data for 1971–2018 with the lag of 1 year

Вид			льтаті sults c								іх перемо ident vari		
Species	R	R ²	SE	F	df	p	Предиктор	Beta	SE (Beta)	В	SE (B)	t	p
Сельдь Pacific herring	0,64	0,41	228,4	4,6	4,27	<0,01	b_1 (SanSpot) b_2 (ALPI) B_3 (PNA) B_4 (PDO)	0,52 -0,24 0,23 -0,18	0,15 0,15 0,15 0,15	2,2 -33,5 14,9 -53,6	0,6 21,0 9,9 45,9	3,41 -1,59 1,49 -1,16	<0,01 0,12 0,15 0,25
Навага Saffron cod	0,48	0,23	207,1	1,2	4,24	0,15	b ₁ (ALPI) b ₂ (WP) b ₃ (PNA) b ₄ (PDO)	-0.27 -0.20 -0.26 0.23	0,18 0,18 0,18 0,18	-24,5 -116,0 -11,7 55,9	16,4 104,2 8,3 44,2	-1,49 $-1,11$ $-1,39$ $1,26$	0,14 0,27 0,17 0,21
Треска Pacific cod	0,58	0,34	31,4	5,4	4,0	<0,01	b_1 (PDO) b_2 (SanSpot) b_3 (ALPI) b_4 (AO) b_4 (WP)	0,42 0,20 0,26 0,17 -0,16	0,13 0,13 0,13 0,13 0,13	17,0 0,11 3,9 15,8 -15,2	5,3 0,1 2,0 12,3 12,6	3,18 1,52 1,98 1,28 -1,20	<0,01 0,13 0,05 0,21 0,24
Многоиглый керчак Great sculpin	0,85	0,71	15,8	7,1	6,2	<0,001	$b_1(AO)$ $b_2(PNA)$ $b_3(PDOI)$ $b_4(ALPI)$ $b_5(SanSpot)$ $B_2(IceOkhS)$	0,28 -0,46 0,27 -0,28 0,39 -0,37	0,14 0,13 0,14 0,13 0,15 0,15	18,1 -2,4 7,3 -2,9 0,1 -0,9	9,2 0,7 3,7 1,3 0,1 0,4	1,94 -3,34 1,94 -2,17 2,59 -2,43	0,07 <0,01 0,07 <0,05 <0,05 <0,05
Желтоперая камбала Yelliwfin sole						0,071	b_1^6 (ALPI) b_2 (SunSpot) b_3 (NPGO) b_4 (PNA)	-0.32 -0.37 0.25 -0.19	0,16 0,16 0,16 0,17	-46,3 -1,6 67,1 -13,1	24,4 0,7 44,8 11,6	-1,9 -2,2 1,5 -1,1	0,1 <0,05 0,14 0,27
Белокорый палтус Pacific halibut	0,67	0,45	0,7	3,3	3,12	<0,05	$b_1(PDO)$ $b_2(SSTa)$ $b_2(NPGO)$	-0.84 -0.67 -0.62	0,31 0,25 0,33	-0.8 -1.7 -0.5	0,3 0,6 0,2	-2,65 $-2,57$ $-1,83$	<0,05 <0,05 0,09
Черный палтус Greenland turbot	0,91	0,84	9,8	12,8		<0,001	$b_1^{3}(PDO)$ $b_2^{3}(SunSpot)$ $b_3^{3}(NPGO)$ $b_4^{4}(ALPI)$	0,16 0,69 -0,56 -0,24	0,23 0,17 0,22 0,16	2,5 0,3 -11,9 -2,6	5,0 0,1 4,7 1,7	0,50 4,05 -2,56 -1,51	0,62 <0,01 <0,05 0,16

Примечания. Статистические параметры: R — коэффициент множественной регрессии, R^2 — коэффициент детерминации, SE — стандартная ошибка, F — значения F-критерия, t — значения критерия Стьюдента, df — число степеней свободы, p — доверительная вероятность, b_p , b_s , ... b_s — коэффициенты уравнения регрессии, Beta и B — стандартизированные коэффициенты регрессии. Notes. The statistical parameters: R — the coefficients in multiple regression, R^2 — the coefficient of determination, SE — the standard error, F — the F criterion values, t — the values of Student's t-criterion, t — the degrees of freedom, t — the confidence probability, t — t — the coefficients of regression, t — the coefficients of regression, t — the coefficients of regression, t —

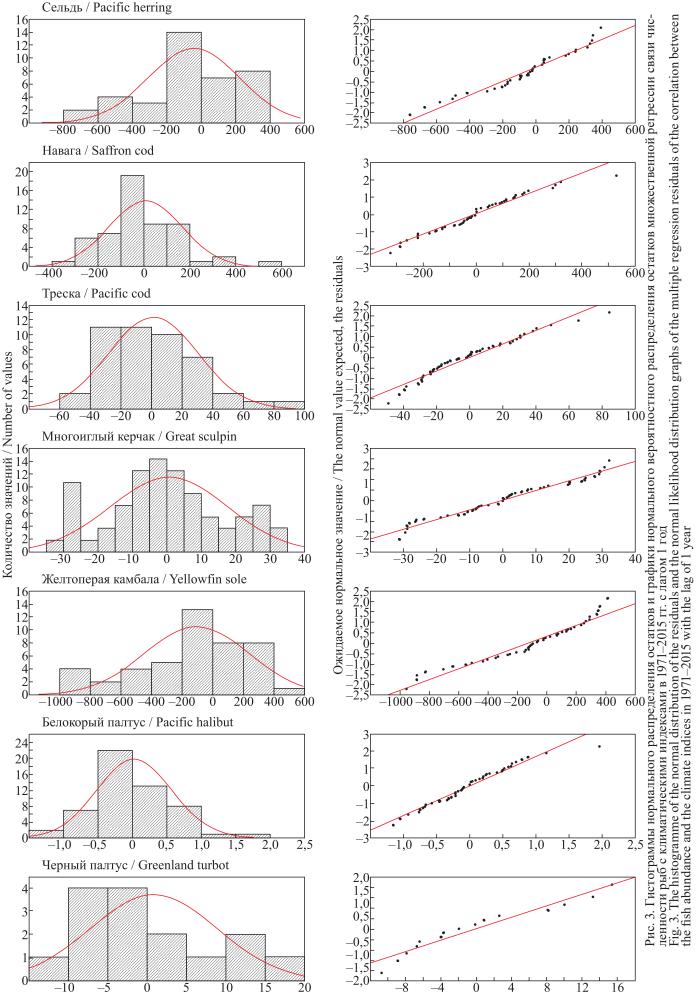
имеются выбросы остатков модели, которыми являются статистически незначимые betaкоэффициенты WP, PDO и NPGO (рис. 4).

У трески результаты многомерного моделирования показали значительный общий набор индексов, которые определяют взаимосвязь многомерного взаимодействия как с однолетним временным лагом, так и с многолетним. Наиболее значимым для трески с лагом 1 год был один индекс: b_{i} (PDO) = 0,42. Полученные результаты многомерного моделирования показали коэффициент множественной регрессии R = 0.58 (табл. 5). Уровень взаимосвязи климатических индексов с численностью поколений, в которых более 50% рыб достигли полового созревания (лаг 4 года), оказался выше и составил R = 0.70. Статистически значимым индексом также являлся $b_1(PDO) = 0.40$ (табл. 6). Гистограммы нормального распределения остатков и графики нормального вероятностного распределения остатков множественной регрессии в обоих случаях показывают, что основные их значения были близки к ожидаемому нормальному распределению (рис. 3 и 4).

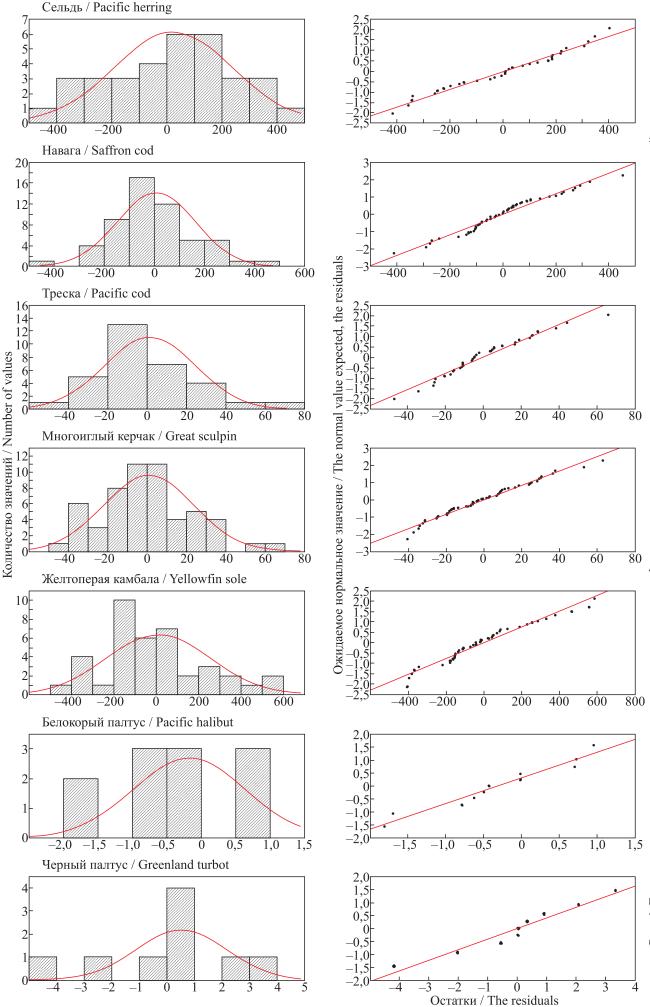
У многоиглого керчака, как и у трески, в результате многомерного моделирования получен большой набор определяющих взаимосвязанных индексов. У данного вида численности поколений рыб в возрасте 1 года и в возрасте, при котором более 50% особей достигли полового созревания, получили наибольшее количество достоверных откликов климатических индексов. Так, с лагом 1 год уровень сопряженности определили четыре высокодостоверных индекса: b_2 (PNA) = -0.46; b_4 $(ALPI) = -0.28; b_4 (SanSpot) = 0.39; b_5 (Ice$ OkhS) = -0.37. С многолетним лагом (8 лет) статистически значимыми оказались все определяющие сопряженность индексы: b_{i} (NPGO) = -0.45; b_{i} (PNA) = -0.63; b_3 (SanSpot) = -0.34; b_4 (PDO) = 0.33. Уровень взаимосвязи климатических индексов с численностью поколений в возрасте 1 года и в

Таблица 6. Результаты многомерного регрессионного моделирования взаимосвязей численности рыб (млн рыб) восточной части Охотского моря со среднемноголетними годовыми показателями стандартных климатических индексов по данным 1971–2018 гг. с многолетним лагом (пояснения в тексте) Table 6. The results of the multidimention regression simulation of the carrelations between the fish abundance (mln fish) in the eastern part of the Sea of Okhotsk and the average annual indices of standard climate indices on the data for 1971–2018 with a long-term lag (explanations in the text)

Сельдь b_2^1 (WP) -0.33 0.16 -245.9 123.5 -1.99 0.0 0.00 Pacific herring b_3^1 (SST) -0.49 0.20 -311.7 131.4 -2.37 <0.4	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$
$\frac{1}{1}$ 1	0,26 0,17 16,9 11,0 1,53 0,13 -0,33 0,16 -245,9 123,5 -1,99 0,05 -0,49 0,20 -311,7 131,4 -2,37 <0,05 0,24 -158,0 61,2 -2,58 <0,05 -0,31 0,21 -95,3 63,2 -1,50 0,14
Сельдь $b_2^{'}(WP) = -0.33 = 0.16 = -245.9 = 123.5 = -1.99 = 0.0$ Pacific herring $b_3^{'}(SST) = -0.49 = 0.20 = -311.7 = 131.4 = -2.37 < 0.6$	$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$
Сельдь $b_2^{'}(WP) = -0.33 = 0.16 = -245.9 = 123.5 = -1.99 = 0.0$ Pacific herring $b_3^{'}(SST) = -0.49 = 0.20 = -311.7 = 131.4 = -2.37 < 0.6$	$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$
$b_3^2 (SST) = -0.49 = 0.20 = -311.7 = 131.4 = -2.37 < 0.00$	$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$
	$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$
b_4^{\prime} (NPGO) -0.63 0,24 -158.0 61,2 $-2.58 < 0.0$	-0.31 0.21 -95.3 63.2 -1.50 0.14
$b_{\varepsilon}^{3}(AO)$ 0,22 0,19 17,3 14,9 1,16 0,2	
b ₄ (PDO) 0,33 0,12 9,1 3,4 2,62 <0,6	0,33 0,12 9,1 3,4 2,62 <0,05
	0,30 0,15 233,8 114,2 2,04 <0,05
	-0.14 0.16 -122.1 133.2 -0.91 0.36
) 0,17 0,14 56,8 45,9 1,23 0,22
b _c (ALPI) -0,15 0,14 -21,1 20,3 -1,04 0,3	-0.15 0.14 -21.1 20.3 -1.04 0.30
Балоком и по нтур	
	-0.25 0.31 -3.6 4.59 -0.77 0.49
$h^{1}(SanSnot) = 0.93 + 0.22 = 0.3 + 0.07 = 4.21 < 0.00$	
h^2 (WP) h^2 = 0.63 0.24 = 34.9 13.15 = 2.65 0.0	



Остатки / The residuals



лености рыб с климатическими индексами в 1971–2015 гг. с многолетним лагом (пояснения в тексте)
Fig. 4. The histograms of the normal distribution of residuals and the normal likelihood distribution graphs of the multiple regression residuals of the correlation between the fish abundance and the climate indices in 1971–2015 with a long-term lag (explanations in the text) остатков и графики нормального вероятностного распределения остатков множественной регрессии связи чис-Рис. 4. Гистограммы нормального распределения

возрасте рыб, достигших более 50%-го созревания, оказался высоким и составил R=0.85 и R=0.93 соответственно (табл. 5 и 6). Анализ остатков регрессионной модели для многоиглого керчака показал, что основная часть их значений была близка к нормальному распределению (рис. 3 и 4).

Уровень сопряженности численности желтоперой камбалы с климатическими индексами с лагом 1 год определил один предиктор: b_i (SanSpot) = -0.37. Коэффициент множественной регрессии составил R = 0.52 и оказался недостоверным. Связь климатических индексов и численности желтоперой камбалы с семилетним сдвигом показала повышение коэффициента множественной регрессии до R = 0.64. В этом случае связь высокодостоверная, и статистически значимыми определены два активных индекса: b_{2} (PNA) = 0,29 и b_3 (AO) = 0,35 (табл. 5 и 6). В большей степени графики остатков регрессионной модели показали распределение близкое к нормальному в случае связи численности с климатическими индексами с семилетним лагом (см. рис. 3 и 4).

Связь численности белокорого палтуса на ранней стадии онтогенеза с климатическими индексами определили два предиктора: $b_{_{I}}(\mathrm{PDO}) = -0.84$ и $b_{_{2}}(\mathrm{SSTa}) = -0.67$. Полученные результаты многомерного моделирования показали коэффициент множественной регрессии равным R=0.67 (табл. 5). Распределение значений остатков регрессионной модели было близко к ожидаемому нормальному (см. рис. 3). Взаимосвязь климатических индексов с численностью поколений рыб, достигших массового полового созревания (лаг 8 лет), не показала наличия значимых статистических связей (см. табл. 6 и рис. 4).

У черного палтуса уровень сопряженности численности с климатическими индексами с лагом 1 год определили два предиктора: b_2 (SanSpot) = 0.69 и b_3 (NPGO) = -0.56. Коэффициент множественной регрессии оказался высок и составил R=0.91. Как следует из рисунка 3, количество наблюдений остатков близко к нормальному закону распределения. Однако гистограмма распределения остатков не показала ожидаемого нормального распределения (см. табл. 5 и рис. 3). Взаимосвязь климатических индексов с численностью поколений рыб, достигших массового полового созревания (лаг 7 лет) показала, что статистически значимым определен только один активный индекс — b_2 (SanSpot) = -0.93. Полученные резуль-

таты многомерного моделирования показали очень высокий коэффициент множественной регрессии: R=0,98. Анализ остатков регрессионной модели также не показал нормального распределения, указывающего на то, что большая часть используемых индексов в регрессионной модели «индексы — численность черного палтуса» неустойчива и модель не адекватна.

Следует отметить, что белокорый и черный палтусы относятся к длинноцикловым, долгоживущим и поздносозревающим видам, и мы, к сожалению, располагаем непродолжительными временными рядами их численности. Вероятно, по этой причине результаты многомерного моделирования не показали значимых статистических связей климатических индексов с численностью белокорого палтуса и нормального распределения у черного палтуса с многолетними временными лагами.

Исходя из имеющихся данных, можно отметить, что все полученные регрессионные модели включали достаточно большой набор определенных индексов-индикаторов. Это свидетельствует о высоком уровне реагирования численности исследуемых рыб на комплексное воздействие климатических факторов. Почти во всех случаях полученные многомерные взаимосвязи были высокодостоверными. Так, полученные результаты показали наличие достоверных взаимосвязей с численностью поколений рыб на втором году жизни со значениями коэффициентов множественной регрессии от R = 0,48 до R = 0,91 и численностью поколений рыб, достигших возраста массового полового созревания от R = 0,58 до R = 0,98.

Следует отметить, что у некоторых исследуемых рыб существует определенная стабильность наличия влияющих климатических факторов как на численность с однолетним, так и с многолетним лагом. Так, у трески — Тихоокеанская декадная осцилляция (PDO), у многоиглого керчака — индексы дальних связей Северного полушария (PNA) и солнечной активности (SanSpot), и у черного палтуса — индекс солнечной активности (SanSpot) (см. табл. 5 и 6).

Перечисленные факторы, связанные с изменениями климата, влияют на разные виды рыб неодинаково: они неблагоприятны для одних видов, но благоприятны для других. Например, в паре рыб треска — белокорый палтус связь с РДО носит разнонаправленный характер. Связь численности сельди, многоиглого керчака и черного палтуса с

лагом 1 год с SanSpot — положительна, а с численностью желтоперой камбалы — отрицательна (см. табл. 5). У численностей поколений наваги и многоиглого керчака, достигших более 50%-го созревания, связь с PNA приобретает отрицательное значение, а с численностью поколений желтоперой камбалы — положительное (см. табл. 6).

Результаты регрессионного анализа показали относительно низкую сопряженность взаимодействия количества климатических факторов с численностью белокорого палтуса. Как показывают результаты исследований, наибольшее влияние климатические факторы оказали на урожайность его поколений на втором году жизни. Треска, многоиглый керчак и желтоперая камбала, наоборот, отличались высокой степенью многофакторной взаимосвязи «индексы-численность». Промежуточное положение занимали сельдь и черный палтус.

В целом, полученные результаты пошагового многомерного регрессионного анализа показали, что на численности рыб, относящихся к разным экологическим комплексам, оказывали влияние как океанологические и метеорологические, так и планетарно-космические индексы.

Для характеристики взаимосвязи численности исследуемых рыб с наиболее активными климатическими индексами, отобранными по результатам многомерного моделирования, были построены трехмерные регрессионные модели (quadratic). Отбор этих предикторов и является нашей основной целью изучения воздействия климатических факторов на рассматриваемые виды биоресурсов (табл. 7, рис. 5, 6).

Габлица 7. Связь численности рыб с факторами среды Fable 7. The correlation between the fish abundance and the environmental factors

	Ваграсопопиза монант с враманити погом				Инперсы
	Regression model with 1 year time lag	8	\mathbb{R}^2	р	Indices
= 770,9026 + (6,715) (7,4313*ALPI*ALPI)	= 770,9026 + (6,7154*SanSpot) - (20,6495*ALPI) - (0,0276*SanSpot*SanSpot) + (0,1061*SanSpot*ALPI) - 0,28 - 0,08 - 0,23 + 0,23 + 0,23 + 0,24	3,28	0,08	3,23	NPGO, AO
= 548,524	$= 548,524 - (27,6877*ALPI) - (109,4662*WP) - (3,8562*ALPI*ALPI) + (54,5675*ALPI*WP) - (28,3991*WP*WP) \ 0,38 0,14 0,13 + (28,2891*WP) - (28,3991*WP) + (28,3991*WP) - (28,3991*WP) + (28,3991*WP) +$	38,	0,14 (0,13	ALPI, WP
= 78,3453 + (0,098) (4,1401*PDO*PDO)	31*SanSpot) + (2	0,50	0,24 <		SanSpot, PDO
= 37,342 $(0,0628*]$	= 37,3422 + (0,1914*SanSpot) - (1,0232*PNA) - (0,0004*SanSpot*SanSpot) - (0,0044*SanSpot*PNA) - 0,56 - 0,31 - <0,0628*PNA*PNA) - (0,0628*PNA*PNA)	95,0	0,31 <	5	SanSpot, PNA
= 739,9 (2,6299*)	= 739,9185 - (2,3902*SanSpot) + (28,9862*PNA) + (0,0077*SanSpot*SanSpot) - (0,1808*SanSpot*PNA) - 0,27 - 0,07 - 0,21 + (2,6299*PNA*PNA)),27	0,07),21	SanSpot, PNA
= 1,356	= 1,356 - (1,2754*SSTa) - (0,4078*PDO) - (0,3007*SSTa*SSTa) + (0,3157*SSTa*PDO) - (0,0299*PDO*PDO) - (0,0299*PDO) - (0,0299*PDO) - (0,0299*PDO*PDO) - (0,0299*PDO*PDO) - (0,0299*PDO*PDO) - (0,0299*PDO) - (0,0299	09'(0,36 <	<0,05	0,60 0,36 <0,05 SSTa, PDO
= 164,0 $(2,4108*)$	= 164,0618 + (0,4374*SanSpot) + (0,085*NPGO) + (0,0003*SanSpot*SanSpot) - (0,1997*SanSpot*NPGO) - 0,87 - 0,76 - (0,001 - 0,87 - 0,001 - 0,87 - 0,001 - 0,87 - 0,001 - 0,87 - 0,001 - 0,000 -	784	0,76 <	<0,001	SanSpot, NPGO
	Регрессионная модель с многолетним временным лагом Regression model with a long-term lag				
= 911,03 $(54,9311)$	=911,0846-(116,0761*NPGO)-(159,2025*SSTa)+(64,2906*NPGO*NPGO)-(148,6504*NPGO*SSTa)-0,35-0,13-0,14-NPGO,SSTa)+(64,2911*SSTa*SSTa*SSTa*SSTa)	3,35	0,13 (),14	NPGO, SST
=531,89	= 531,8941 - (20,5329*PNA) + (36,553*PDO) + (0,2793*PNA*PNA) - (1,6664*PNA*PDO) + (41,3915*PDO*PDO) 0,49 0,24 < 0,05 PNA, PDO	0,49	0,24 <	<0,0>	PNA, PDO
= 87,91 (1,7074*)	= 87,9104 + (0,1659*SanSpot) + (26,3234*PDO) - (0,0005*SanSpot*SanSpot) - (0,2058*SanSpot*PDO) - 0,31 - 0,15 - 0,05 - PDO + PDO*PDO) + (1,7074*PDO*PDO) + (1,7074*PDO*PDO*PDO) + (1,7074*PDO*PDO*PDO*PDO*PDO*PDO*PDO*PDO*PDO*PDO),31	0,15 <	<0,05	SanSpot, PDO
= 42917	= 429177 - (0,2889*PNA) + (12,2271*PDO) - (0,2316*PNA*PNA) - (1,2673*PNA*PDO) - (3,1408*PDO*PDO) - (3,1408*PDO*PDO) - (3,1408*PDO*PDO) - (3,1408*PDO*PDO) - (3,1408*PDO*PDO) - (3,1408*PDO*PDO*PDO) - (3,1408*PDO*PDO*PDO) - (3,1408*PDO*PDO*PDO*PDO*PDO*PDO*PDO*PDO*PDO*PDO	3,55	0,30 <	<0,05	0,55 0,30 <0,05 PNA, PDO
= 476,6	=476,6819+(262,2994*AO)+(10,4511*PNA)-(33,1329*AO*AO)-(4,609*AO*PNA)+(3,5026*PNA*PNA)),41	0,23 <	<0,05	0,41 0,23 <0,05 AO, PNA
= 194, (1,443*	= 194,1909 - (0,4543*SanSpot) - (4,3138*PDO) + (0,0024*SanSpot*SanSpot) - (0,038*SanSpot*PDO) - 0,93 0,87 < 0,01 SanSpot, (1,443*PDO*PDO)	3,93	0,87 <	<0,01	SanSpot, PDO

1.

Исходя из представленных графиков, видно, что сокращение числа предикторов, определенных методом пошагового отбора при построении регрессии, сильно отразилось на уровне взаимосвязи. Полученные коэффициенты регрессий оказались значительно ниже, а у желтоперой камбалы с однолетним лагом и у сельди, как с однолетним, так и с

многолетним временными лагами, связи оказались недостоверными (табл. 7). В остальных случаях результаты множественной регрессии показали наличие достоверных взаимосвязей. Однако взаимосвязи климатических индексов с численностью рыб, поколения которых достигли массового полового созревания, оказались выше (табл. 7).

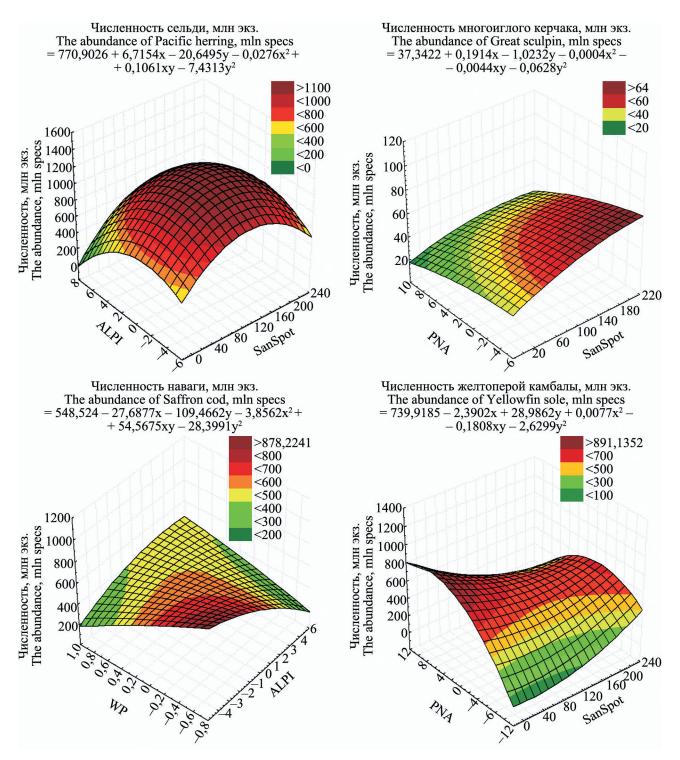
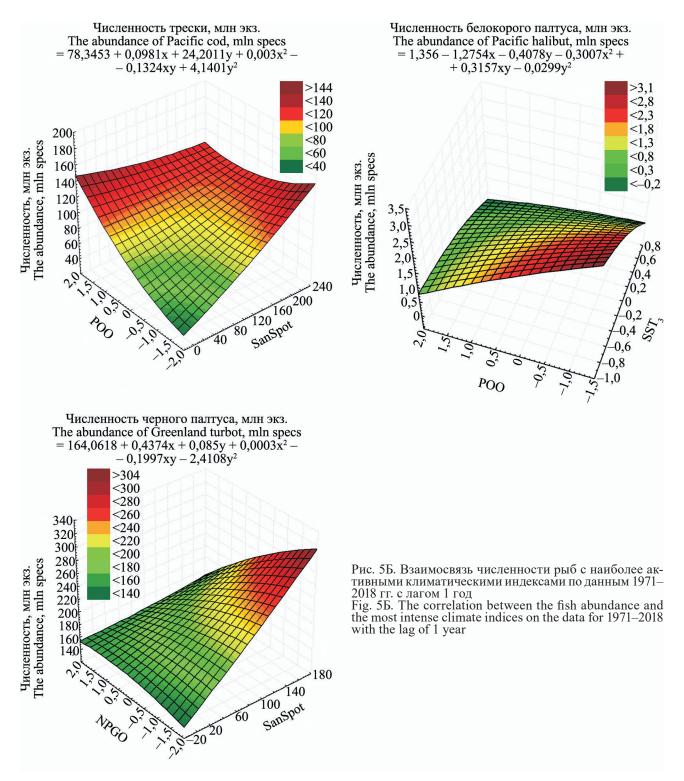
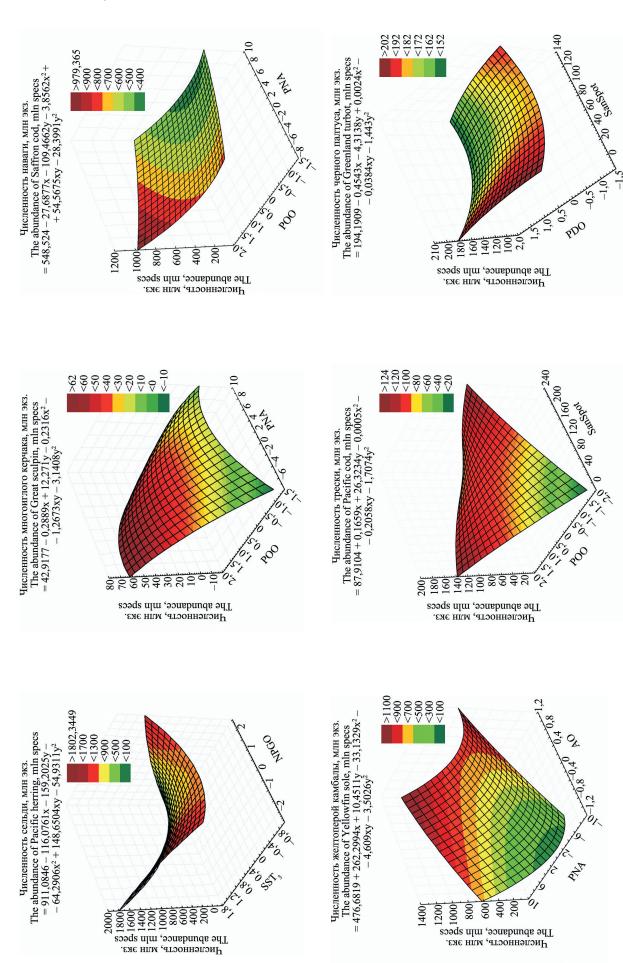


Рис. 5А. Взаимосвязь численности рыб с наиболее активными климатическими индексами по данным 1971-2018 гг. с лагом 1 год Fig. 5A. The correlation between the fish abundance and the most intense climate indices on the data for 1971–2018 with the lag of 1 year



На основе полученных уравнений множественной регрессии (табл. 7) были построены регрессионные модели численности рыб (рис. 7 и 8). Как видно из графиков, модели численностей наваги, трески, черного палтуса и, в некоторой степени, многоиглого керчака, как с однолетними, так и с многолетними временными лагами, удовлетворительно описывают динамику исходных численностей рыб. Однако существуют временные отрезки со значительным разбросом модельных и фактических значений. Это говорит о том, что у исследуемых рыб высокий коэффициент множественной регрессии определяет весь набор предикторов многомерного взаимодействия, и, возможно, в эти годы на численность рыб оказывали влияние другие климатические факторы. Тем не менее полагаем, что найденные зависимости численности исследуемых рыб с некоторыми клима-



Puc. 6. Взаимосвязь численности рыб с наиболее активными климатическими индексами по данным 1971–2018 гг. с многолетним лагом (пояснения в тексте) Fig. 6. The corelation between the fish abundance and the most intense climate indices on the data for 1971–2018 with a long-term lag (explanations in the text)

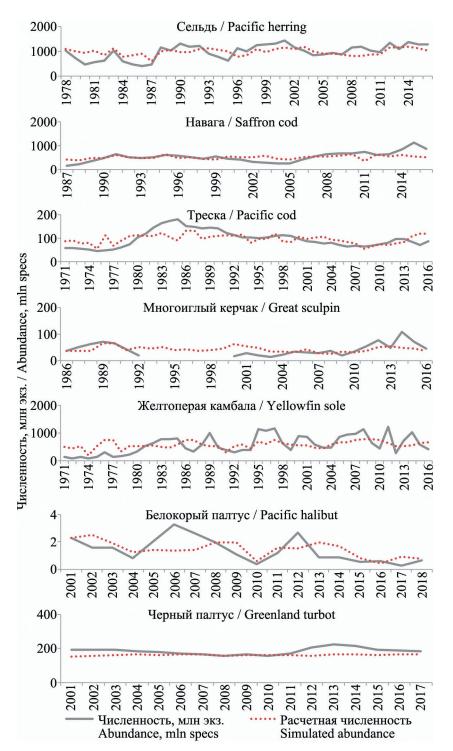


Рис. 7. Исходные и модельные численности рыб с временным лагом 1 год Fig. 7. The initial and simulated

(model) fish abundances with the time lag of 1 year

тическими предикторами могут быть использованы в качестве дополнительных индикаторов при построении прогностических моделей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При выполнении прямого корреляционного анализа взаимосвязи «численность рыб – численность рыб» обнаружились наиболее статистически значимые положительные связи между треской и черным палтусом (r = 0.7881), навагой и многоиглым керчаком (r = 0.4881), навагой и сельдью

(r = 0.4132). В противофазе изменялись численности сельди и трески (r = -0.4085), сельди и белокорого палтуса (r = -0.6016), наваги и трески (r = -0.3811), наваги и белокорого палтуса (r = -0.6016).

Проведенный прямой корреляционный анализ показал, что взаимосвязи «индекс-численность» отмечены в большинстве случаев, как с однолетним временным лагом, так и с многолетним. Из массовых видов рыб наибольший отклик на климатические факторы получили численности толь-

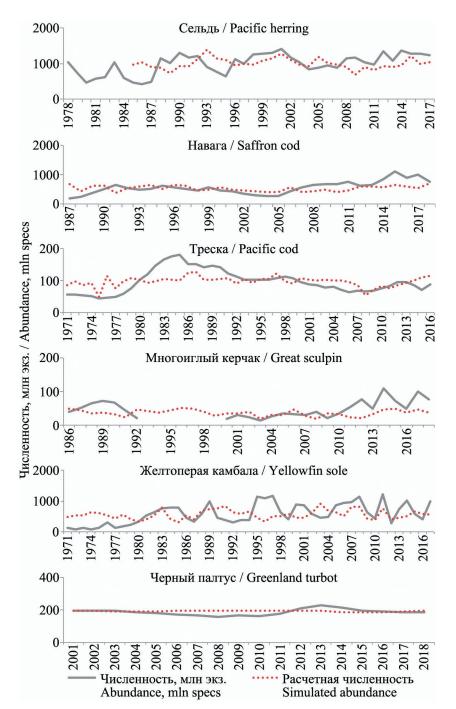


Рис. 8. Исходные и модельные численности рыб с многолетним временным лагом (пояснения в тексте) Fig. 8. The initial and simulated (model) fish abundances with a long-term lag (explanations in the text)

ко двух видов рыб — многоиглого керчака и черного палтуса. У желтоперой камбалы и белокорого палтуса не выявлено наличия значимых статистических связей. На урожайность поколений исследуемых рыб наиболее заметным оказалось влияние индексов Ice OkhS, SST, SSTa и PDO.

Полученные результаты пошагового многомерного регрессионного анализа включали широкий набор определенных индексов-индикаторов и показали наличие достоверных взаимосвязей с численностью поколений рыб на втором году жизни со значениями коэффициентов множественной регрессии от R=0.48 до R=0.91 и численностью

поколений рыб, достигших возраста массового полового созревания от R = 0.58 до R = 0.98.

Проведенный пошаговый многомерный регрессионный анализ позволил выделить наиболее значимые климатические факторы, воздействующие на численность некоторых промысловых видов пелагического и донного рыбных сообществ восточной части Охотского моря. Наибольшее влияние на сельдь оказали индексы SST, NPGO, SanSpot; на навагу — PNA; на треску — PDO; на многоиглого керчака — PNA, SanSpot; на желтоперую камбалу — SanSpot, PNA, AO; на белокорого палтуса — PDO, SSTa; на черного палтуса — SanSpot, NPGO.

На основе полученных уравнений множественной регрессии взаимосвязи численности рыб с отобранными наиболее активными климатическими индексами были построены трехмерные регрессионные модели. Почти все полученные результаты показали наличие достоверных взаимосвязей со значениями коэффициентов множественной регрессии от умеренных (R = 0.31) до сильных (R = 0.93). Найденные зависимости численности исследуемых рыб с некоторыми климатическими предикторами могут быть использованы в качестве дополнительных индикаторов при построении прогностических моделей.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Авторы приносят искреннюю благодарность д. б. н. А.В. Бугаеву за профессиональные консультации и ценные советы при написании статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Асеева Н.Л. 2012. Перестройка структуры донного ихтиоцена западнокамчатского шельфа в связи с изменениями температуры воды // Вопросы промысловой океанологии. Вып. 9. № 1. С. 77–88. Бондаренко М.В., Борисов В.М., Кровнин А.С., Кловач Н.В., Мудрый Г.П. 2001. Крупномасштабные флуктуации запасов морских промысловых организмов // Мировой океан: Использование биологических ресурсов. Информ.-аналитич. сб. М.: Вып. 2. С. 87-94.

Борец Л.А. 1997. Донные ихтиоцены российского шельфа дальневосточных морей: состав, структура, элементы функционирования и промысловое значение. Владивосток: ТИНРО-Центр. 216 с.

Бугаев А.В., Тепнин О.Б. 2011. Оценка влияния некоторых климатических факторов на численность азиатских стад горбуши и кеты // Изв. ТИНРО. T. 166. C. 67-87.

Бугаев А.В., Тепнин О.Б. 2015. Продуктивность тихоокеанских лососей: влияние термических условий вод в период первой зимы в бассейне Северной Пацифики // Тр. ВНИРО. Т. 158. С. 89–111.

Бугаев А.В., Тепнин О.Б., Радченко В.И. 2018. Климатическая изменчивость и продуктивность тихоокеанских лососей Дальнего Востока России // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. Вып. 49. С. 5-50.

Васильков В.П., Чупышева Н.Г., Колесова Н.Г. 1980. О возможности долгосрочного прогнозирования уловов дальневосточной наваги в Японском море по циклам солнечной активности // Вопр. ихтиологии. Т. 20. Вып. 4. С. 606-614.

Винников А.В. 2008. Тихоокеанская треска Западной Камчатки: биология, динамика численности, промысел. Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Петропавловск-Камчатский. 24 с.

Витинский Ю.И., Оль А.И., Сазонов Б.И. 1976. Солнце и атмосфера Земли. Л.: Гидрометеоиздат. 351 с. Волвенко И.В. 1998. Проблемы количественной оценки обилия рыб по данным траловых съемок // Изв. ТИНРО. Т. 124. С. 473-500.

Гаврилов Г.М., Шарапова Т.Н. 1982. Динамика численности наваги залива Петра Великого // Рыбное хозяйство. № 3. С. 26–27.

Гечайте И., Погорельцев А.И., Угрюмова А.И. 2016. Влияние Арктического колебания на температурный режим восточной части Балтийского региона // Солнечно-земная физика. Т. 2. № 1. С. 64–70.

Глебова С.Ю. 2003. Типы атмосферных процессов над дальневосточными морями, межгодовая изменчивость их повторяемости и сопряженность // Изв. ТИНРО. Т. 134. С. 209-257.

Горбатенко К.М., Савин А.Б. 2012. Состав, биомасса и трофические характеристики рыб на западнокамчатском шельфе // Изв. ТИНРО. Т. 171. C. 40–61.

Давыдов И.В. 1975. Режим вод западнокамчатского шельфа и некоторые особенности поведения и воспроизводства промысловых рыб // Изв. ТИНРО. T. 97. C. 63–81.

Дементьева $T.\Phi$. 1976. Биологическое обоснование промысловых прогнозов. М.: Пищ. пром-сть. 236 с. Дубровская Н.В. 1953. Биология и промысел дальневосточной наваги. Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М. 14 с.

Дьяков Ю.П. 2002. Западнокамчатские камбалы (распределение, биология и динамика популяций) // Изв. ТИНРО. Т. 130. Ч. 3. С. 954–1000.

Дьяков Ю.П. 2011. Камбалообразные (Pleuronectiformes) дальневосточных морей России (пространственная организация фауны, сезоны и продолжительность нереста, популяционная структура вида, динамика популяций): Монография. Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО. 428 с.

Завернин Ю.П. 1972. Влияние гидрометеорологических условий на сроки подхода охотской сельди на нерест и урожайность ее поколений // Изв. ТИНРО. Т. 81. С. 47–51.

Зуенко Ю.И. 2011. Современные изменения зимнего дальневосточного муссона и их влияние на воспроизводство зимненерестующих рыб на примере сардины и наваги Японского моря / Матер. XV конф. по промысловой океанологии, посвящ. 150-летию со дня рожд. акад. Н.М. Книповича (Светлогорск, Калининградская обл., 12–17 сентября 2011 г.). Калининград: АтлантНИРО. С. 127–131. Зуенко Ю.И., Черноиванова Л.А., Вдовин А.Н., Устинова Е.И. 2010. Влияние изменений климата на воспроизводство наваги Eleginus gracilis в заливе Петра Великого (Японское море) // Вопросы промысловой океанологии. Вып. 7. № 1. С. 132–144. Ижевский Г.К. 1961. Океанологические основы формирования промысловой продуктивности морей. М.: Пищепромиздат. 216 с.

Ильин О.И., Сергеева Н.П., Варкентин А.И. 2014. Оценка запасов и прогнозирование ОДУ восточнокамчатского минтая (*Theragra chalcogramma*) на основе предосторожного подхода // Сб. науч. тр. ВНИРО. Т. 151. С. 62–74.

Каика А.И., Юсупов Р.Р. 2009. Особенности распределения, промышленное освоение и биологическая характеристика трески *Gadus macrocephalus* в северной части Охотского моря // Сб. науч. тр. МагаданНИРО. Вып. 3. С. 147–157.

Кинг Дж., Иванов В.В., Курашов В., Бимиш Р.Дж., МакФарлан Г.А. 2006. Индекс общей циркуляции атмосферы над северной частью Тихого океана // Изв. ТИНРО. Т. 145. С. 220–227.

Козлов Б.М. 1959. Биология и промысел наваги в северной части Татарского пролива // Изв. ТИНРО. Т. 47. С. 118–144.

Колесова Н.Г. 1975. Биология и состояние запасов наваги залива Петра Великого // Биологические ресурсы морей Дальнего Востока: Тез. докл. Всесоюзн. совещ. Владивосток. С. 35–36.

Колесова Н.Г. 1976. Состояние запасов наваги *Eleginus navaga gracilis* (Til.) залива Петра Великого // Исслед. по биологии рыб и промысловой океанографии. Вып. 7. С. 144–149.

Коломейцев В.В. 2016. Типизация зимних гидрологических условий для всего Охотского моря и для района у Западной Камчатки по данным спутникового мониторинга // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. Вып. 41. С. 81–88.

Котенев Б.Н., Кровнин А.С., Кловач Н.В., Мордасова Н.В., Мурый Г.П. 2015. Влияние климато-океанологических факторов на состояние основных запасов горбуши в 1950-2015 гг. // Тр. ВНИРО. Т. 158. С. 143-161.

Кулик В.В. 2009. Динамика обилия рыб и беспозвоночных в пелагиали Охотского моря в связи с гелиофизическими и климато-океанологическими факторами. Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Владивосток. 24 с.

Линдберг Г.У., Красюкова З.В. 1987. Рыбы Японского моря и сопредельных частей Охотского и Желтого морей. Ч. 5. Л.: Наука. 526 с.

Матвеев А.А., Терентьев Д.А. 2016. Промысел, многолетняя динамика биомассы, распределение и размерный состав массовых видов рогатковых Соttidae у западного побережья Камчатки // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. Вып. 41. С. 17–42.

Mouceeв П.А. 1956. Дальневосточная навага, вахня (*Eleginus gracilis* [Tilesius]). Морские ерши, морские окуни (Sebastodes) // Тр. ИО АН СССР. Т. 14. С. 48–52.

Мордвинов В.И., Иванов А.С., Девятова Е.В. 2009. Возбуждение арктической и антарктической осцилляций крутильными колебаниями // Солнечноземная физика. Вып. 13. С. 55–65.

Муктепавел Л.С., Шатилина Е.А. 2012. Основные причины формирования аномально тяжелых ледовых условий в районе северо-западной части Охотского моря с учетом распределения основных нерестилищ охотской сельди // Вопр. промысловой океанологии. Вып. 9. № 1. С. 89–103.

Науменко Н.И. 2001. Биология и промысел морских сельдей Дальнего Востока. Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО. 334 с.

Науменко Н.И. 2002. Многолетние изменения в ихтиоцене юго-западной части Берингова моря // Тр. II Междунар. науч. конф. «Рыбохозяйственные исследования Мирового океана». Владивосток: Дальрыбвтуз. Т. 1. С. 139–141.

Никольский Г.В. 1974. Теория динамики стада. М.: Пищ. пром-сть. 446 с.

Новиков Н.П., Соколовский А.С., Соколовская Т.Г., Яковлев Ю.М. 2002. Рыбы Приморья. Владивосток: Дальневост. гос. техн. рыбохоз. ун-т; Ин-т биологии моря ДВО РАН. 550 с.

Новикова О.В. 2002. Промысел, распределение и некоторые особенности биологии наваги прикамчатских вод // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. Вып. 6. С. 120–130.

Новикова О.В. 2004. Динамика численности западно-камчатской наваги и естественные причины, ее вызывающие / Экономические, социальные,

правовые и экологические проблемы Охотского моря и пути их решения. Матер. рег. науч.-практ. конф. (23-25 ноября 2004 г.). Петропавловск-Камчатский. С. 93-96.

Новикова О.В. 2007. Дальневосточная навага (Eleginus gracilis (Til.)) прикамчатских вод. Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Петропавловск-Камчатский. 24 c.

Новикова О.В. 2009. Особенности распределения и промысла наваги в восточной части Охотского моря // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. Вып. 13. С. 42-50. Новикова О.В. 2017. Современное состояние запасов трески Gadus macrocephalus (Til.) и наваги (Eleginus gracilis (Til.)) в восточной части Охотского моря / Матер. II Всерос. конф. с междунар. участием «Дальневосточные моря и их бассейны: биоразнообразие, ресурсы, экологические проблемы» (3-4 октября 2017 г.). Владивосток. С. 44-45. Овчинников В.В., Волобуев В.В., Голованов И.С, Коршукова А.М., Панфилов А.М., Прикоки О.В., Смирнов А.А. 2018. Динамика запасов и вылова основных промысловых рыб Магаданской области // Вопр. рыболовства. Т. 19. № 1. С. 5–19.

Панин Г.Н., Выручалкина Т.Ю., Соломонова И.В. 2010. Особенности климатических изменений в средних и высоких широтах Северного полушария // Георесурсы. Геоэнергетика, геополитика. Вып. 2 (2). С. 1–13.

Покровская Т.Н. 1960. Географическая изменчивость биологии наваги (рода *Eleginus*) // Тр. ИО AH CCCP. T. 31. C. 19-110.

Савин А.Б., Ильинский Е.И., Асеева Н.Л. 2011. Многолетняя динамика в составе донных и придонных рыб на западнокамчатском шельфе в 1982-2010 гг. // Изв. ТИНРО. Т. 166. С. 149–165.

Сафронов С.Н. 1986. Тихоокеанская навага / Биологические ресурсы Тихого океана. М.: Наука. C. 201–212.

Семененко Л.И. 1971. К вопросу о локальных группировках тихоокеанской наваги // Изв. ТИНРО. T. 75. C. 37-46.

Семененко Л.И. 1973. Некоторые вопросы динамики численности и естественного воспроизводства ямской популяции наваги *Eleginus gracilis* (Tilesius) Охотского моря // Вопр. ихтиологии. Т. 13. № 6. C. 1046–1055.

Смирнов А.А. 2003. Оценка влияния различных факторов на состояние популяции гижигинскокамчатской сельди // Рациональное природопользование и управление морскими биоресурсами: Экосистемный подход. Тез. докл. междунар. конф. 23-26 сентября 2003 г. С. 175-179.

Смирнов А.А. 2014. Биология распределение и соотношение запасов гижигинско-камчатской сельди: Монография. Магадан: СВГУ. 170 с.

Терентьев Д.А., Балыкин П.А., Винников А.В. 2005. Промысел морских рыб в восточной части Охотского моря // Рыбное хозяйство. № 6. С. 49–52.

Терентьев Д.А., Тепнин О.Б., Четвергов А.В. 2002. Влияние абиотических факторов на динамику запаса западнокамчатской наваги Eleginus gracilis Tilesius (Gadidae) // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. Вып. 6. C. 116-119.

Токранов А.М. 1981. Распределение керчаковых (Cottidae, Pisces) на западнокамчатском шельфе в летний период // Зоологич. журнал. Т. 60. Вып. 2. C. 229-237.

Токранов А.М. 1985. Биология массовых видов рогатковых (семейство Cottidae) прикамчатских вод. Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Владивосток. 22 с.

Токранов А.М., Винников А.В., Федоров В.В., Шейко Б.А. 1996. Рыбы прибрежных вод Северо-Западной Камчатки // Ресурсы традиционного природопользования народов Севера и Дальнего Востока России. Петропавловск-Камчатский: Камшат. C. 81–82.

Толстяк А.Ф. 1990. Влияние некоторых факторов среды на численность поколений камчатской наваги // Биологические ресурсы шельфовых и окраинных морей Советского Союза. М.: Наука. C. 148–155.

Тупоногов В.Н., Кодолов Л.С. 2014. Полевой определитель промысловых и массовых видов рыб дальневосточных морей России. Владивосток: Русский Остров. 336 с.

Тюрнин Б.В. 1980. О причинах снижения запасов охотской сельди и мерах по их восстановлению // Биология моря. Т. 2. С. 69–74.

Фельдман М.Г., Шевляков Е.А. 2015. Выживаемость камчатской горбуши как результат совокупного воздействия плотностной регуляции и внешних факторов среды // Изв. ТИНРО. Т. 182. C. 88–114.

Халафян А.А. 2007. STATISTICA 6. Статистический анализ данных. М.: ООО «Бином-Пресс». 512 с. Черешнев И.А., Волобуев В.В., Хованский И.Е., Шестаков А.В. 2001. Прибрежные рыбы северной части Охотского моря. Владивосток: Дальнаука. 197 с.

Шейко Б.А., Федоров В.В. 2000. Глава 1. Рыбообразные и рыбы / Каталог позвоночных Камчатки и сопредельных морских акваторий. Петропавловск-Камчатский: Камчатский печатный двор. С. 7–69. Шунтов В.П. 1985. Биологические ресурсы Охотского моря. М.: Агропромиздат. 224 с.

Шунтов В.П. 1998. Современный статус биологических ресурсов Охотского моря // Рыбное хозяйство. № 4. С. 40–42.

Шунтов В.П., Волвенко И.В., Волков А.Ф., Горбатенко К.М., Шершенков С.Ю., Старовойтов А.Н. 1998. Новые данные о состоянии пелагических экосистем Охотского и Японского морей // Изв. ТИНРО. Т. 124 (1). С. 139–177.

Шунтов В.П., Дулепова Е.П. 1996. Современный статус и межгодовая динамика донных и пелагических сообществ экосистемы Охотского моря // Изв. ТИНРО. Т. 119. С. 3–32.

Шунтов В.П., Радченко В.И., Дулепова Е.П., Темных О.С. 1997. Биологические ресурсы дальневосточной российской экономической зоны: структура пелагических и донных сообществ, тенденции многолетней динамики // Изв. ТИНРО. Т. 122. С. 3–15.

Юрьев С.Г., Старушенко Л.И. 1972. Динамика численности черноморского шпрота и методика прогнозирования его возможного вылова // Тр. ВНИРО. Т. 83. С. 212–220.

Barnston A.G., Livezey R.E. 1987. Classification, seasonality and persistence of low-frequency atmospheric circulation patterns // Mon. Wea. Rev. Vol. 115. P. 1083–1126.

Beamish R.J., Neville C.E., Cass A.J. 1997. Production of Fraser river sockeye salmon Oncorhynchus nerka in relation to decadal-scale changes in the climate and the ocean // Can. J. Fish. Aquat. Sci. Vol. 54. P. 543–554. Di Lorenzo E., Schneider N., Cobb K.M., Franks J.S., Chhak K., Miller A.J., McWilliams J., Bograd S.J., Arango H., Curchitser E., Powell T.M., Riviere P. 2008. North Pacific Gyre Oscillation links ocean climateand ecosystem change // Geophys. Res. Lett. Vol. 35:122. doi:https://doi.org/10.1029/2007GL032838.

Hare S.R., Francis R.C. 1995. Climate change and salmon production in the Northeast Pacific Ocean // Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci. № 121. P. 357–372. Thompson D.W.J., Wallace J.M. 1998. The Arctic Oscillation signature in the wintertime geopotential

height and temperature fields. Geophys. Res. Lett. Vol. 25. P. 1297–1300.

Wallace J.M., Gutzler D.S. 1981. Teleconnections in the Geopotential height field during the northern hemisphere winter // Monthly weather review. Vol. 109 (4). P. 784–812.

REFERENCES

Aseyeva N.L. The restructuring of the structure of the bottom ichthyocene of the Western Kamchatka shelf due to changes in water temperature. *Voprosy promyslovoy okeanologii*, 2012, issue 9, no. 1, pp. 77–88. (In Russian)

Bondarenko M.V., Borisov V.M., Krovnin A.S., Klovach N.V., Mudryi G.P. Large-scale fluctuations of stocks of marine commercial organisms. *World Ocean: Use of biological resources. Information and analytical collection*, 2001, vol. 2, pp. 87–94. (In Russian) Borets L.A. *Donnye ikhtiotseny rossiyskogo shel'fa dal'nevostochnykh morey: sostav, struktura, elementy funktsionirovaniya i promyslovoe znachenie* [Bottom ichthyocenes of the Russian Far East seas shelf: composition, structure, functioning elements and commercial importance]. Vladivostok: TINRO-Center, 1997, 217 p.

Bugaev A.V., Tepnin O.B. Productivity of Pacific salmon: influence of water thermal conditions during the period of first winter in the basin of North Pacific. *Trudy VNIRO*, 2011, vol. 166, pp. 67–87. (In Russian) Bugaev A.V., Tepnin O.B., Radchenko V.I. 2018. Climate variability and pacific salmon productivity in Russian Far East. *The researches of the aquatic biological resources of Kamchatka and the north-west part of the Pacific Ocean*, 2018, vol. 49, pp. 5–50. (In Russian with English abstracts)

Vasilkov V.P., Chupysheva N.G., Kolesova N.G. 1980. About possibility of long-term forecasting of catches of the Far East navaga in the Sea of Japan on cycles of solar activity. *Journal of Ichthyology*, 1980, vol. 20, issue 4, pp. 606–614. (In Russian)

Vinnikov A.V. *Tikhookeanskaya treska Zapadno·y Kamchatki: biologiya, dinamika chislennosti, promysel. Avtoref. Dis. kand. biol. nauk* [Pacific cod in Western Kamchatka: biology, population dynamics, fishing. Abstract of Cand. Sci. (Biol.) Dissertation]. Petropavlovsk-Kamchatsky, 2008, 24 p.

Vitinskiy Y.I., Ol A.I., Sazonov B.I. *Solntse i atmosfera Zemli* [The Sun and the Earth's atmosphere]. Moscow: Gidrometeoizdat, 1976, 351 p.

Volvenko I.V. Problems of quantitative assessment of fish abundance according to trawl surveys. Izvestiya TINRO, 1998, vol. 124, pp. 473-500. (In Russian)

Gavrilov G.M., Sharapova T.N. Dynamics of navaga population in the Peter the Great Bay. Rybnoe hozya*jstvo*, 1982, no. 3, pp. 26–27. (In Russian)

Gečaite I., Pogoreltsev A.I., Ugryumov A.I. Arctic oscillation impact on thermal regime in the eastern part of the Baltic Region. Solar-Terrestrial Physics, 2016, vol. 2, no. 1, pp. 89–96.

Glebova S.Yu. Types of the atmospheric processes over Far-Eastern Seas, interannual variability of their repeatability and mutual coordination. Izvestiya TINRO, 2003, vol. 134, pp. 209–257. (In Russian)

Gorbatenko K.M., Savin A.B. Composition, biomass and trophic characteristics of fish on the western Kamchatka shelf. Izvestiya TINRO, 2012, vol. 171, pp. 40-61. (In Russian)

Davydov I.V. Water regime of the West Kamchatka shelf and some features of the behavior and reproduction of commercial fish. Izvestiya TINRO, 1975, vol. 97, pp. 63-81. (In Russian)

Dementieva T.F. Biologicheskoye obosnovaniye promyslovykh prognozov [Biological substantiation of fishery forecasts]. Moscow: Pishchevaya promyshlennost, 1976, 236 p.

Dubrovskaya N.V. Biologiya i promysel dalnevostochnoy navagi. Avtoref. Dis. kand. biol. nauk [The biology of the navaga and the navaga fishery in the northern Far Eastern Seas. Abstract of Cand. Sci. (Biol.) Dissertation]. Moscow, 1953, 14 p.

Diakov Y.P. West Kamchatkan flounders (distribution, biology and population dynamics). Izvestiva TINRO, 2002, vol. 130, pp. 954–1000. (In Russian)

Diakov Y.P. Kambaloobraznyye (Pleuronectiformes) dalnevostochnykh morey Rossii (prostranstvennaya organizatsiya fauny, sezony i prodolzhitelnost neresta, populyatsionnaya struktura vida, dinamika populyatsiy) [Flatfish (Pleuronectiformes) of the Far Eastern Seas of Russia (spatial organization of fauna, seasons and duration of spawning, population structure of the species, population dynamics)]. Petropavlovsk-Kamchatsky: KamchatNIRO, 2011, 428 p.

Zavernin Y.P. The influence of hydrometeorological conditions on the timing of the approach of the Okhotsk herring to spawn and the productivity of its generations. Izvestiya TINRO, 1972, vol. 81, pp. 47–51. (In Russian)

Zuyenko Y.I. Modern changes in the winter Far Eastern monsoon and their influence on the reproduction of winter spawning fish using the example of the sardine and navaga of the Sea of Japan. Materialy XV konferencii po promyslovoy okeanologii, posvyashchynoi 150-letiyu so dnya rozhdeniya akademika N.M. Knipovicha [Materials of XV scientific conference in commercial oceanology dedicated to the 150th anniversary of the birth. N.M. Knipovich]. Kaliningrad: AtlantNIRO, 2011, pp. 127–131.

Zuenko Y.I., Chernoivanova L.A., Vdovin A.N., Ustinova E.I. Influence of climate change on reproduction of navaga Eleginus gracilis in Peter the Great Bay (Sea of Japan). Voprosy promyslovoy okeanologii, 2010, issue 7, no. 1, pp. 132–144. (In Russian)

Izhevskiy G.K. Okeanologicheskiye osnovy formirovaniya promyslovoy produktivnosti morey [Oceanological basis for the formation of commercial productivity of the seas]. Moscow: Pishchepromizdat, 1961, 216 p. Ilin O.I., Sergeeva N.P., Varkentin A.I. East-Kamchatka Walleye Pollock (Theragra chalcogramma) stock and tac assessment based on the precautionary approach. Trudy VNIRO, 2014, vol. 151, pp. 62–74. (In Russian)

Kaika A.I., Yusupov R.R. Distribution features, industrial development and biological characteristics of cod Gadus macrocephalus in the northern part of the Sea of Okhotsk. Trudy MagadanNIRO, 2009, issue 3, pp. 147–157. (In Russian)

King J.R., Ivanov V.V., Kurashov V., Beamish R.J., McFarlane G.A. An index of general circulation of the atmosphere over the North Pacific. Izvestiya TINRO, 2006, vol. 145, pp. 220–227. (In Russian)

Kozlov B.M. Biology and fishery of Navaga in the northern part of the Tatar Strait. Izvestiya TINRO, 1959, vol. 47, pp. 118–144. (In Russian)

Kolesova N.G. Biology and status of navaga stocks of Peter the Great Bay. Biologicheskiye resursy morey Dalnego Vostoka [Biological resources of the seas of the Far East: Abstracts. doc. All-Union conference]. Vladivostok, 1975, pp. 35–36.

Kolesova N.G. Stock status of navagas Eleginus navaga gracilis (Til.) of Peter the Great Bay. Issledovaniya po biologii ryb i promyslovoy okeanografii, 1976, vol. 7, pp. 144–149.

Kolomeytsev V.V. Classification of winter hydrological conditions in the Okhotsk Sea and the Western Kamchatka Region of the Okhotsk Sea according to satellite monitoring. The researches of the aquatic biological resources of Kamchatka and the north-west part of the Pacific Ocean, 2016, vol. 41, pp. 81-88. (In Russian with English abstracts)

Kotenev B.N., Krovnin A.S., Klovach N.V., Mordasova N.V., Muriy G.P. Impact of climatic and ocean-ographic factors on the state of main pink salmon stocks, 1950–2015. *Trudy VNIRO*, 2015, vol. 158, pp. 143–161. (In Russian)

Kulik V.V. *Dinamika obiliya ryb i bespozvonochnykh v pelagiali Okhotskogo morya v svyazi s geliofizicheskimi i klimato-okeanologicheskimi faktorami. Avtoref. dis. kand. biol. nauk* [Dynamics of fish and invertebrate abundance in the pelagial of the sea of Okhotsk due to Heliophysical and climatic-Oceanological factors. Abstract of Cand. Sci. (Biol.) Dissertation]. Vladivostok, 2009, 24 p.

Lindberg G.U., Krasyukova Z.V. *Ryby Yaponskogo morya i sopredelnykh chastey Okhotskogo i Zheltogo morey* [Fishes of the Sea of Japan and the adjacent areas of the Sea of Okhotsk and the Yelow Sea]. Part V. Leningrad: Nauka, 1987, 526 p.

Matveev A.A., Terentiev D.A. Fishery, longterm dynamics of biomass, distribution and length composition of mass species of cottidae on the West Coast of Kamchatka. *The researches of the aquatic biological resources of Kamchatka and the north-west part of the Pacific Ocean*, 2016, vol. 41, pp. 17–42. (In Russian with English abstracts)

Moiseyev P.A. Far Eastern Navaga, Wakhna (*Eleginus gracilis* [Tilesius]). Sea ruffles, sea bass (Sebastodes). *Trudy IO AN SSSR*, 1956, vol. 14, pp. 48–52. (In Russian)

Mordvinov V.I., Ivanov A.S., Devyatova E.V. Excitation of arctic and antarctic oscillations by torsional oscillations. *Solar-Terrestrial Physics*, 2009, vol. 13, pp. 55–65. (In Russian)

Muktepavel L.S., Shatilina E.A. The main reasons for the formation of abnormally severe ice conditions in the northwestern part of the Sea of Okhotsk, taking into account the distribution of the main spawning grounds of the Okhotsk herring. *Voprosy promyslovoy okeanologii*, 2012, issue 9, no. 1, pp. 89–103. (In Russian)

Naumenko N.I. *Biologiya i promysel morskikh seldey Dalnego Vostoka* [Biology and fisheries on marine herring of the Far-Eastern Seas]. Petropavlovsk-Kamchatsky: Kamchatsky Pechatnyi Dvor, 2001, 330 p. Naumenko N.I. Long-term changes in the ichthyocene of the southwestern part of the Bering Sea. *Tr. II Mezhdunar. nauch. konf. "Rybokhozyaystvennyye issledovaniya Mirovogo okeana"* [Tr. II International scientific conf. "Fisheries research of the oceans"]. Vladivostok: Dalrybvtuz, 2002, vol. 1, pp. 139–141.

Nikolsky G.V. *Teoriya dinamiki stada ryb* [Theoryof fish stock dynamics]. Moscow: Pishchevaya promyshlennost, 1974, 448 p.

Novikov N.P., Sokolovskiy A.S., Sokolovskaya T.G., Yakovlev Y.M. *Ryby Primoriya* [Fish of Primorye]. Vladivostok: Far East state tech. fish farm. un-t; Inst Biol. Sea FEB RAS, 2002, 550 p.

Novikova O.V. Catches, distribution and some peculiarities of biology of saffron cod *Eleginus gracilis* (Tilesius) in the waters adjacent to Kamchatka. *The researches of the aquatic biological resources of Kamchatka and the north-west part of the Pacific Ocean*, 2002, vol. 6, pp. 120–130. (In Russian with English abstracts)

Novikova O.V The dynamics of the number of Western Kamchatka navaga and the natural causes that cause it. *Ekonomicheskiye, sotsial'nyye, pravovyye i ekologicheskiye problemy Okhotskogo morya i puti ikh resheniya. Mater. reg. nauch.-prakt. konf.* [Economic, social, legal and environmental problems of the Sea of Okhotsk and ways to solve them. Absracts regional scientific-practical conference]. Petropavlovsk-Kamchatsky, 2004, pp. 93–96.

Novikova O.V. *Dalnevostochnaya navaga (Eleginus gracilis (Til.)) prikamchatskikh vod* [Far Eastern saffron cod (*Eleginus gracilis* (Til.)) of the waters adjacent Kamchatka. Extended Abstract of Cand. Sci. (Biol.) Dissertation]. Petropavlovsk-Kamchatsky, 2007, 24 p.

Novikova O.V. Peculiarity of distribution and industrial fishing of the saffron cod in East Part of the Okhotskoe. *The researches of the aquatic biological resources of Kamchatka and the north-west part of the Pacific Ocean*, 2009, vol. 13, pp. 42–50. (In Russian with English abstracts)

Novikova O.V. The modern stock status of pacific *Gadus macrocephalus* (Til.) and saffron cod (*Eleginus gracilis* (Til.)) in the eastern part of the Sea Of Okhotsk. *The Second All-Russian Conference with International Participation, Dedicated to the Ecology Year in Russia.* Vladivostok, 2017, pp. 44–45.

Ovchinnikov V.V., Volobuev V.V., Golovanov I.S., Korsukova A.M., Panfilov A.M., Prikoki O.V., Smirnov A.A. Dynamics of stocks and catches of commercial fish species of the Magadan Region. *Problems of fisheries*, 2018, vol. 19, no. 1, pp. 5–19. (In Russian) Panin G.N., Vyruchalkina T.Y., Solomonova I.V. Specifics of climatic changes in Northern hemisphere. *Georesursy. Geoenergetika, Geopolitika*, 2010, issue 2 (2), pp. 5–6. (In Russian)

Pokrovskaya T.N. Geographic variability of navagi biology (genus Eleginus). Trudy IO AN SSSR, 1960, vol. 31, pp. 19-110. (In Russian)

Savin A.B., Ilynskiy E.N., Aseeva N.L. Dynamics of demersal fish community structure on the shelf of West Kamchatka in 1982–2010. Izvestiya TINRO, 2011, vol. 166, pp. 149–165. (In Russian)

Safronov S.N. Pacific saffron cod. Biologicheskiye resursy Tikhogo okeana [The biological resources of the Pacific Ocean]. Moscow: Nauka, 1986, pp. 201-212. Semenenko L.I. On the issue of local Pacific Navaga factions. Izvestiya TINRO, 1971, vol. 75, pp. 37-46. (In Russian)

Semenenko L.I. Some questions of the dynamics of the abundance and natural reproduction of the Yamskoy Navaga population *Eleginus gracilis* (Tilesius) of the Sea of Okhotsk. Journal of Ichthyology, 1973, vol. 13, no. 6, pp. 1046–1055. (In Russian)

Smirnov A.A. Evaluation of the influence of various factors on the state of the Gizhiginsky-Kamchatka herring population. Ratsionalnoye prirodopolzovaniye i upravleniye morskimi bioresursami: Ekosistemnyy podkhod. Tez. dokl. v mezhdunar. konf. [Environmental management and management of marine bioresources: Ecosystem approach. Theshis in international conference]. Vladivostok, 2003, pp. 175–179.

Smirnov A.A. Biologiya raspredeleniye i sootnosheniye zapasov gizhiginsko-kamchatskoy seldi [Biology distribution and stock ratio of Gizhiginsky-Kamchatka herring]. Magadan: SVGU, 2014, 170 p.

Terentev D.A., Balykin P.A., Vinnikov A.V. Fishing for marine fish in the eastern part of the Sea of Okhotsk. Rybnoe hozyajstvo, 2005, no. 6, pp. 49-52. (In Russian)

Terentev D.A., Tepnin O.B., Chetvergov A.V. Influence of abiotic factors on dynamics of the Western Kamchatka saffron cod *Elenius gracilisstocks*. The researches of the aquatic biological resources of Kamchatka and the north-west part of the Pacific Ocean, 2002, vol. 6, pp. 116-119. (In Russian with English abstracts)

Tokranov A.M. Distribution of Kerchak (Cottidae, Pisces) on the Western Kamchatka shelf in the summer. Zoologicheskyi Zhurnal, 1981, vol. 60, issue 2, pp. 229-237. (In Russian)

Tokranov A.M. Biologiya massovykh vidov rogatkovykh (semeystvo Cottidae) prikamchatskikh vod. Avtoref. dis.kand. biol. nauk [Biology of mass species of slingshot (Cottidae family) Kamchatka waters. Abstract of Cand. Sci. (Biol.) Dissertation]. Vladivostok, 1985, 22 p.

Tokranov A.M., Vinnikov A.V., Fedorov V.V., Sheyko B.A. Fishes of coastal waters of North-West Kamchatka. Resursy traditsionnogo prirodopol'zovaniya narodov Severa i Dalnego Vostoka Rossii [Traditional natural resources of the peoples of the North and the Far East of Russia]. Petropavlovsk-Kamchatsky: Kamshat, 1996, pp. 81-82.

Tolstyak A.F. The influence of some environmental factors on the number of generations of Kamchatka navaga. Biologicheskiye resursy shel'fovykh i okrainnykh morey Sovetskogo Soyuza [Biological resources of the shelf and marginal seas of the Soviet Union]. Moscow: Nauka, 1990, pp. 148–155.

Tuponogov V.N., Kodolov L.S. Polevoy opredelitel promyslovykh i massovykh vidov ryb dalnevostochnykh morey Rossii [Field guide to commercial and mass fish species of the Far Eastern Seas of Russia]. Vladivostok, 2014, 336 p.

Turnin B.V. About the reasons for the decrease in stocks of Okhotsk herring and measures for their restoration. Russian Journal of Marine Biology, 1980, vol. 2, pp. 69–74. (In Russian)

Feldman M.G., Shevlyakov E.A. Survival of Kamchatka pink salmon as result of combined influence of density regulation and environmental factors. Izvestiya TINRO, 2015, vol. 182, pp. 88–114. (In Russian)

Khalafyan A.A. STATISTICA 6. Statisticheskiy analiz dannykh [STATISTICA 6. Statistical analysis of data]. 3rd ed. Moscow, 2007, 512 p.

Chereshnev I.A., Volobuev V.V., Khovanskiy I.E., Shestakov A.V. Pribrezhnyye ryby severnoy chasti Okhotskogo mory [Coastal fish of the northern part of the Sea of Okhotsk]. Vladivostok: Dalnauka, 2001, 196 p. Sheyko B.A., Fedorov V.V. Glava 1. Ryboobraznyye i ryby. Katalog pozvonochnykh Kamchatki i sopredel'nykh morskikh akvatoriy [Chapter I. Fish-like and fish. Catalog of vertebrates of Kamchatka and adjacent marine areas]. Petropavlovsk-Kamchatsky: Kamchatskiy pechatnyy dvor, 2000, pp. 7–69.

Shuntov V.P. Biologicheskiye resursy Okhotskogo morya [Biological resources of the Sea of Okhotsk]. Moscow: Agropromizdat. 1985, 224 p.

Shuntov V.P. The current status of the biological resources of the Sea of Okhotsk. Rybnoe hozyajstvo, 1998, no. 4, pp. 40–42. (In Russian)

Shuntov V.P., Volvenko I.V., Volkov A.F., Gorbatenko K.M., Shershenkov S.Y., Starovoytov A.N. New data on the status of pelagic ecosystems of the Sea of Okhotsk and the Sea of Japan. Izvestiya TINRO, 1998, vol. 124, no. 1, pp. 139–177. (In Russian)

Shuntov V.P., Dulepova E.P. Current status and interannual dynamics of bottom and pelagic communities of the Sea of Okhotsk ecosystem. *Izvestiya TINRO*, 1996, vol. 119, pp. 3–32. (In Russian)

Shuntov V.P., Radchenko V.I., Dulepova E.P., Temnykh O.S. Biological resources of the Far Eastern Russian economic zone: structure of pelagic and benthic communities, tendencies of long-term dynamics. *Izvestiya TINRO*, 1997, vol. 122, pp. 3–15. (In Russian) Yuriev S.G., Starushenko L.I. The dynamics of the number of Black Sea sprats and methods for predicting its possible catch. *Trudy VNIRO*, 1972, vol. 83, pp. 212–220. (In Russian)

Barnston A.G., Livezey R.E. Classification, seasonality and persistence of low-frequency atmospheric circulation patterns. *Mon. Wea. Rev.*, 1987, vol. 115, pp. 1083–1126.

Beamish R.J., Neville C.E., Cass A.J. Production of Fraser river sockeye salmon *Oncorhynchus nerka* in relation to decadal-scale changes in the climate and the ocean. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 1997, vol. 54, pp. 543–554.

Di Lorenzo E., Schneider N., Cobb K.M., Franks J.S., Chhak K., Miller A.J., McWilliams J., Bograd S.J., Arango H., Curchitser E., Powell T.M., Riviere P. North Pacific Gyre Oscillation links ocean climateand ecosystem change. *Geophys. Res. Lett.*, 2008, vol. 35:122. doi:https://doi.org/10.1029/2007GL032838.

Hare S.R., Francis R.C. Climate change and salmon production in the Northeast Pacific Ocean. *Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.*, 1995, no. 121, pp. 357–372. Thompson D.W.J., Wallace J.M. The Arctic Oscillation signature in the wintertime geopotential height and temperature fields. *Geophys. Res. Lett.*, 1998, vol. 25, pp. 1297–1300.

Wallace J.M., Gutzler D.S. Teleconnections in the Geopotential height field during the northern hemisphere winter. *Monthly weather review*, 1981, vol. 109 (4), pp. 784–812.

Статья поступила в редакцию: 04.04.2019 Статья принята после рецензии: 04.12.2019