УДК 597.552.511-551.5 (265.2) DOI: 10.15853/2072-8212.2018.49.5-50

КЛИМАТИЧЕСКАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ И ПРОДУКТИВНОСТЬ ТИХООКЕАНСКИХ ЛОСОСЕЙ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА РОССИИ

А.В. Бугаев, О.Б. Тепнин, В.И. Радченко*

Зам. дир., д. б. н.; зав. лаб.; Камчатский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии
683000 Петропавловск-Камчатский, Набережная, 18
Тел./факс: (4152) 41-27-01
E-mail: bugaev.a.v@kamniro.ru; tepnin.o.b@kamniro.ru
**Исполн. дир., к. б. н.; Комиссия по анадромным рыбам северной части Тихого океана*
Suite 502, 889 West Pender Street, Vancouver, BC V6C 3B2, Canada. E-mail: vlrad@mail.ru

ТИХООКЕАНСКИЕ ЛОСОСИ, КЛИМАТИЧЕСКАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ, КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИНДЕКСЫ, АНОМАЛИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ ОКЕАНА, ПРОДУКТИВНОСТЬ СТАД

На основе многолетних данных (1971–2015 гг.), включающих промысловую статистику и ряды наблюдений 17 климатических индексов, проведена оценка влияния климатической изменчивости на продуктивность тихоокеанских лососей Дальнего Востока России. Исследования проводили по трем массовым видам лососей — горбуше, кете и нерке. Оценки были получены для трех бассейновых группировок стад: ТБГ — Тихоокеанско-Беринговоморской (Восточная Камчатка и Чукотка); ЮОГ — Южноохотоморской (Сахалин, Курильские о-ва, бассейн р. Амур, Приморье); СОГ — Североохотоморской группировки (Западная Камчатка, материковое побережье Охотского моря).

Оценка взаимосвязи и отбор климатических индексов осуществляли с помощью корреляционного анализа и методом главных компонент. Полученные результаты исследований позволили отобрать 10 индексов с максимальной продолжительностью временных рядов (45 лет) — ALPI, PNA, WP, PDO, NP, AO, N.HEMI+dSST, Ap, Sun Spot, LOD.

На основе выделенных индексов-индикаторов был проведен пошаговый многомерный регрессионный анализ, позволивший выделить наиболее значимые климатические факторы, воздействующие на продуктивность бассейновых группировок тихоокеанских лососей Дальнего Востока России. Все полученные результаты показали наличие достоверных взаимосвязей ($p < 0{,}05–0{,}001$) со значениями коэффициентов множественной регрессии от умеренных ($R = 0{,}36–0{,}74$) до сильных ($R = 0{,}75–0{,}93$).

Наиболее высокий уровень взаимосвязи «продуктивность тихоокеанских лососей – климатические индексы» отмечен для видов с продолжительным морским/океаническим периодом нагула — у кеты и нерки. У горбуши данные показатели были заметно ниже для ТБГ и СОГ. Для ЮОГ коэффициент множественной корреляции был высок. Результаты исследований позволили выделить следующие наиболее активные климатические компоненты: N.HEMI+dSST (индекс глобальной температурной аномалии в Северном полушарии Земли), PDO (тихоокеанская декадная осцилляция), Ap (индекс геомагнитной активности).

Анализ зонального влияния аномалий температуры воды (аТПО) в районах осеннего и зимнего нагула тихоокеанских лососей на первом году морского/океанического периода жизни в дальневосточных морях и субарктической зоне Тихого океана показал, что для охотоморских группировок стад (ЮОГ и СОГ) наибольшая взаимосвязь «аТПО–уловы» была отмечена в осенний период в центральной и южной частях Охотского моря, а также в прилегающих прикурильских водах Тихого океана: $r = 0{,}4–0{,}7$. Соответственно, у лососей ТБГ наиболее значимые связи были получены в западной части Берингова моря: $r = 0{,}3–0{,}5$. В период зимнего нагула влияние температурного фактора на продуктивность лососей было заметно ниже.

CLIMATE VARIABILITY AND PACIFIC SALMON PRODUCTIVITY IN RUSSIAN FAR EAST

Alexander V. Bugaev, Oleg B. Tepnin, Vladimir I. Radchenko*

Deputy Director, Sc. Dr. (Biology); Head of Lab.; Kamchatka Research Institute of Fisheries and Oceanography
683000 Petropavlovsk-Kamchatsky, Naberezhnaya, 18
Tel./fax: (4152) 41-27-01
E-mail: bugaev.a.v@kamniro.ru, tepnin.o.b@kamniro.ru
**Executive Director, Ph. D. (Biology); North Pacific Anadromous Fish Commission (NPAFC)*
Suite 502, 889 West Pender Street, Vancouver, BC V6C 3B2, Canada. E-mail: vlrad@mail.ru

PACIFIC SALMON, CLIMATE VARIABILITY, THE INDICES OF TELECONNECTION PATTERNS, OCEAN SURFACE TEMPERATURE ANOMALY, STOCK PRODUCTIVITY

An assessment of the effects of climate changes on Pacific salmon productivity in Russian Far East was made based on longterm data (1971–2015), including commercial fishery statistics and monitoring rows on 17 indices of teleconnection patterns. The assessment was made for three mass species – pink, chum and sockeye salmon. The values were obtained for three basin groups of stocks: PBS – the Pacific-Bering Sea group (East Kamchatka and Chukotka; SOS – the Southern Okhotsk Sea group (Sakhalin, Kuriles, the Amur River basin, Primorye); NOS – the Northern Okhotsk Sea group (West Kamchatka, continental coast of the Sea of Okhotsk).

The assessment of the interrelation and the selection of the indices of teleconnection patterns were carried using correlation and the principal component analysis. The results obtained allowed to figure out 10 indexes with the maximal time series (45 years), including ALPI, PNA, WP, PDO, NP, AO, N.HEMI+dSST, Ap, Sun Spot, LOD.
Method of moving average was used in the calculations for making the rows of the average annual climate indexes. Averaging for particular species was carried out depending on duration of feeding at sea. In this connection the values of the moving average took into account the ranges of the variable values of indices from the year of juvenile migration to seawater and leaving the coast for the ocean waters (the age n.0) to the year of mass maturation (in the age 0.1 for pink salmon (averaging for two years – the ages 0.0 and 0.1), in the age n.3 for chum and sockeye salmon (averaging for 4 years – the ages n.0, n.1, n.2 and n.3)). In this way, the values obtained could demonstrate the effects of the climate factors on the Pacific salmon catches (production) taking into account the effects on salmon environment for the entire period at sea.
Step-by-step multivariate regression analysis was provided based on the indexes-indicators figured out and made figuring out the climate factors, which are the most affecting salmon prodiction in the basin groups of stocks of Pacific salmon in Russian Far East. All results obtained demonstrated authentic interrelations ($p < 0.05–0.001$) where the coefficients of the multiple regression from moderate ($R = 0.36–0.74$) to strong ($R = 0.75–0.93$).
The highest level of the correlation "Pacific salmon production – the indices of teleconnection patterns" was revealed for chum and sockeye salmon, the species with a long period of feeding at sea. The indexes for pink slmon were visibly lower in the PBS and NOS groups. For the SOS group the coefficient of the multiple correlation was high. The results of the analysis made it possible to figure out the major active climate components as the N.HEMI+dSST (the index of the global temperature anomaly in the Earth Northern hemosphere), the PDO (the Pacific Decade Oscillation), the Ap (the index of the geomagnetic activities).
The analysis of the zonal effects of the water temperature anomalies (aOST) in the areas of fall and winter feeding of Pacific salmon in the 1-st year of ocean life in the seas of Far East and Subarctic zone of Pacific Ocean has it indicated, that for the Okhotsk Sea groups (SOS and NOS) the maximal correlation the "aOST–catches" was in the fall in the central and southern Okhotsk Sea and also in the Pacific Ocean waters adjacent Kuriles: $r = 0.4–0.7$. The maximal correlations for the PBS group was in the west part of the Bering Sea: $r = 0.3–0.5$. The effects of the temperature factors on salmon productivity were visibly lower during winter feeding.

На рубеже XX и XXI вв. многочисленные исследователи отмечали возрастание роли влияния изменчивости климата на экологию Земли. Изменения затрагивают всю климатическую систему, состоящую из взаимодействующих компонентов: атмосферы, гидросферы, криосферы и биосферы. Общая динамика системы может зависеть от совокупного воздействия: как естественных причин, так и антропогенного влияния. При этом уже достаточно давно известно, что климат Земли за время существования претерпевал значительные изменения разной продолжительности и силы (Ле Руа Ладюри, 1971; Монин, Шишков, 1979; Будыко, 1980; Гумилев, 1989; Кривенко, 1992; Четвертый оценочный доклад МГЭИК, 2007; Логинов, 2008; и др.).

Принято считать, что изменчивость климата означает колебание среднего состояния статистических параметров, описывающих климат, для определенных временных и пространственных масштабов. Как правило, при изучении влияния климата на процессы, происходящие на Земле, исследователи, опираясь на этот принцип, подбирают определенный набор факторов, которые отражают динамику климатической изменчивости и доступны для математического моделирования искомых взаимосвязей.

По своей сути климатическая изменчивость описывается с помощью анализа комплекса статистических параметров, которые в основном определяются исходя из измерений, сделанных в ограниченных масштабах, но оказывающих влияние в целом на климатическую систему Земли или ее отдельные компоненты. Результаты таких измерений часто выражают через определенные индексы (климатические индексы или the indices of teleconnection patterns) и используют для того, чтобы охарактеризовать и понять различные механизмы изменений климатической системы Земли.

Таким образом, климатические индексы отражают изменение климата за длительное время на значительных участках поверхности Земли (полушарие, океан, географический регион). Расчет данных параметров обусловлен конкретными задачами исследований и наличием достаточно продолжительного (десятилетия, столетия) ряда наблюдений. Основной метод анализа с использованием климатических индексов — выявление скрытой или явной периодичности, позволяющий проводить прогностические действия с используемыми предикторами.

Большинство существующих климатических индексов можно подразделить по принципу принадлежности исходных данных и пространственных масштабов на несколько основных категорий:

1) метеорологические — характеризуют многомерную климатическую изменчивость атмосферных процессов в региональных и планетарном масштабах;

2) океанологические — характеризуют многомерную климатическую изменчивость гидрологических процессов в региональных и планетарном масштабах;

3) планетарно-космические — характеризуют многомерную климатическую изменчивость от воздействия внешних космических факторов в планетарном масштабе.

На современном этапе исследований накоплен определенный массив информации о сопряженности флюктуаций различных климатических факторов и состоянии запасов массовых промысловых рыб Тихого, Атлантического и Северного Ледовитого океанов (Горяинов, Шатилина, 2003; Кляшторин, Любушин, 2005; Горяинов и др., 2006; Радченко, 2008; Котенев и др., 2010, 2015; Кровнин и др., 2010; Бугаев, Тепнин, 2011, 2015; Ванюшин и др., 2015; Бугаев, 2017; Beamish, Bouillon, 1993; Beamish et al., 1997, 1999; Azumaya et al., 2007; Ryding, Skalski, 1999; Nagasawa, 2000a; Beamish, Mahnken, 2001; Azumaya, Ishida, 2004; Myers et al., 2007; Impacts of climate.., 2008; Zavolokin, Khen, 2012; Bugaev et al., 2016; и др.). Отметим, что в качестве основных предикторов среды большинство исследователей использовали именно показатели (индексы) климатической изменчивости.

В ряду исследуемых водных биоресурсов особое место занимают рыбы семейства лососевых — атлантические и тихоокеанские лососи. В настоящее время на базе Комиссии по анадромным рыбам северной части Тихого океана (North Pacific Anadromous Fish Commission (NPAFC), http://www.npafc.org), в сотрудничестве с Организацией по сохранению лосося в северной части Атлантического океана (North Atlantic Salmon Conservation Organisation (NASCO), http://www.nasco.int), в Тихоокеанском регионе запущена программа «Международный год лосося» (International Year of the Salmon (IYS)), в рамках которой научному сообществу был представлен новый термин — сэлмосфера (salmosphere), обобщающий все жизненное пространство рыб семейства лососевых в планетарном масштабе (Story of International Year of the Salmon, 2017). Основным трендом исследований программы IYS предполагается изучение влияния климатических изменений на продуктивность тихоокеанских лососей Азии и Северной Америки. Предлагаемая вашему вниманию работа является одним из промежуточных этапов данного направления исследований.

В статье особый акцент делается на изучение морского/океанического периода жизни массовых видов тихоокеанских лососей (горбуша, кета, нерка), поскольку именно на этом этапе онтогенеза формируется промысловый запас этой группы рыб (Бирман, 1985; Радченко, Рассадников, 1997; Карпенко, 1998; Шунтов, Темных, 2008, 2011; Pacific salmon life histories, 1991). Поэтому условия водной среды и факторы, их определяющие в бассейне Северной Пацифики, являются базовыми при закладке продукционных показателей производителей тихоокеанских лососей. Учитывая существующее взаимодействие планетарно-космических, метеорологических и океанологических факторов, понятно, что при определении влияния климатической изменчивости на численность возвратов зрелой части стад лососей можно использовать только комплексный подход, учитывающий многофакторность причинно-следственных связей формирования условий среды их обитания.

Кроме того, в работе проведена оценка влияния аномалий температуры поверхностного слоя воды (аТПО) на продуктивность возвратов тихоокеанских лососей с учетом зонального принципа миграционной активности в акваториях Охотского и Берингова морей, а также в субарктической зоне Тихого океана. В качестве критического периода для оценки выживаемости лососей выбраны временные этапы осенней откочевки (сентябрь–ноябрь) и зимнего нагула (декабрь–февраль) молоди на 1-м году морского/океанического периода жизни. Анализ пространственного взаимодействия аТПО с продуктивность возвратов тихоокеанских лососей к базовым центрам воспроизводства Дальнего Востока поможет более детально оценить нагульные зоны, в которых наиболее заметно влияние температурного фактора на выживаемость молоди российских стад.

Следует обратить внимание на то, что авторы настоящей работы не питают иллюзий об исключительных возможностях влияния климатических факторов на продуктивность тихоокеанских лососей. Мы принимаем во внимание вполне справедливые критические замечания специалистов об упрощенных трактовках лимитирующих факторов и динамики численности промысловых рыб

(Шунтов, 2017). Разумеется, процесс формирования численности любых видов гидробионтов в значительной мере определяется воздействием различных эндогенных факторов.

Тем не менее общеизвестно, что условия водной среды напрямую влияют на жизнедеятельность всех гидробионтов, включая все звенья их пищевых взаимоотношений. Изменчивость климатических факторов во много определяет гидрохимические и температурные характеристики данной среды. Поэтому нельзя не учитывать потенциальное воздействие этих факторов на потенциальную выживаемость рыб или других видов гидробионтов.

В работе не делается акцент на оценку влияния пищевой конкуренции во время морского/океанического нагула тихоокеанских лососей (плотностной фактор) на их продуктивность. Это объясняется двумя причинами:

1) По данным ведущих российских специалистов, курирующих многолетний мониторинг тихоокеанских лососей в рамках экосистемных работ ТИНРО-Центра в морских и океанических водах Дальнего Востока России (Шунтов, Темных, 2008, 2011; Шунтов и др., 2017), эта группа рыб имеет широкие пищевые спектры и, обитая в рассеянном состоянии во время морского и океанического нагула, успешно восполняет свой рацион на обширных акваториях. Причем, это актуально даже для периода зимнего нагула.

Авторами подчеркивается, что биомасса всех видов тихоокеанских лососей в Северной Пацифике не превышает 4,0–5,0 млн т (в российских водах не более 1,5–2,0 млн т). В то же время биомасса прочего нектона составляет несколько первых сотен миллионов тонн. На долю лососей от потребления пищи всем нектоном в разные годы приходится в эпипелагиали западной части Берингова моря 1–5%, в Охотском море — 0,5–1,0, в прикурильских океанических водах — менее 1,0, в восточнокамчатских океанических районах — 5–15%. Таким образом, тихоокеанские лососи в трофических сетях субарктических вод занимают относительно скромное место. Следовательно, наличие лимитирующего плотностного фактора из-за пищевой конкуренции на внутри- или межвидовом уровне представляется несостоятельным.

2) К сожалению, для модельной проверки теории влияния плотностного фактора во время морского/океанического нагула тихоокеанских лососей не хватает наличия главного предиктора — системных и продолжительных (не менее 40–50 лет) рядов наблюдений о сезонном состоянии кормовой базы в зоне нагульных миграций в бассейне Северной Пацифики. Все имеющиеся российские многолетние данные 1980–2000-х гг. о биомассе кормового зоопланктона и нектона весьма ограничены для анализа на уровне межгодовой изменчивости, так как сбор информации проводили на ограниченной акватории (практически все съемки в ИЭЗ России) и с временной дискретностью. Конечно, это позволило получить достоверные данные о многолетних закономерностях распределения зоопланктона и нектона в бассейнах дальневосточных морей и прилегающих тихоокеанских водах. Но для модельного математического анализа необходим четкий и единовременный сбор системной информации о кормовых ресурсах для значительных акваторий бассейна Северной Пацифики, который можно сопоставить с продукционными и климатическими временными рядами.

Поэтому принятый нами в работе оценочный принцип ориентирован на выявление многомерной реакции наиболее значимых климатических факторов, которые выступают в качестве индикаторов потенциальной изменчивости продукционных показателей тихоокеанских лососей. Полученная информация может помочь в поиске дополнительных предикторов при построении и интерпретации биологических прогностических моделей типа «родители–потомство». Особо подчеркнем, что в условиях многофакторного воздействия климата на водную среду, а также наличия разнообразных эндогенных факторов, влияющих на продуктивность отдельных популяций или видов, нельзя однозначно трактовать любой из выделенных климатических предикторов как единственно верный или наиболее показательный. При этом дополнительно отметим, что прогнозирование динамики численности любых видов животных, опираясь только на ограниченный набор факторов среды, представляется малоперспективным.

Основной целью работы является выявление климатических индексов-индикаторов и оценка их комплексного влияния на продуктивность возвратов тихоокеанских лососей Дальнего Востока России.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Промысловая статистика

В качестве исходного статистического материала были использованы данные уловов тихоокеанских лососей из различных регионов Дальнего Востока России в 1971–2015 гг. Продолжительность временных рядов составила 45 лет. Информация доступна в виде электронных таблиц на сайте международной Комиссии по анадромным рыбам северной части Тихого океана (NPAFC) (http://www.npafc.org). Кроме того, данные по вылову лососей опубликованы в документах NPAFC (Irvine et al., 2009; NPAFC, 2010–2016).

Ограниченность ряда наблюдений связана с тем, что в базах NPAFC до 1971 г. отсутствует корректная промысловая статистика для отдельных дальневосточных географических центров воспроизводства тихоокеанских лососей. В первую очередь, речь идет о следующих регионах: 1) Западная Камчатка, 2) Восточная Камчатка, 3) Сахалин, 4) Курильские о-ва, 5) бассейн р. Амур, 6) материковое побережье (МП) Охотского моря, 7) Чукотка, 8) Приморье. Поэтому, по решению рабочей группы NPAFC по оценке запасов, ряды наблюдений по добыче (вылову) лососей в дальневосточных регионах были начаты с 1971 г.

В качестве продукционных показателей использованы только данные промысловой статистики, а не оценки уровней подходов тихоокеанских лососей к побережью того или иного региона. Понятие «подход» включает суммарную оценку объемов добычи (вылова) и пропуска на нерест производителей. В принципе, использование данного показателя более корректно. Но, к сожалению, в истории изучения тихоокеанских лососей Дальнего Востока России в большинстве случаев отсутствует полноценная информация о заполнении нерестилищ.

Поэтому, говоря об уловах, мы условно отождествляем их с оценками численности или продуктивностью тихоокеанских лососей. Учитывая тот факт, что на долю промысла в среднем приходится около 70–80% от численности нерестовых подходов тихоокеанских лососей к побережью, это вполне аргументированно (Котенев и др., 2006; Шевляков, 2006; Радченко, 2015; Pacific salmon life histories, 1991; Clark et al., 2006). Подобная практика пропуска производителей на нерестилища достаточно распространена в мировой практике. Уровень нерестового фонда в 20–30% позволяет сохранять запасы тихоокеанских лососей в стабильном для полноценного воспроизводства состоянии. В отдельных случаях добыча (вылов) лососей может достигать 90% и более. Как правило, это относится к стадам с высокой численностью производителей, пропуск которых на нерестилища регламентируется с помощью расчетного оптимума (Селифонов, 1988; Шевляков, 2006; Фельдман и др., 2016; Burgner et al., 1969; Pacific salmon life histories, 1991).

Таким образом, принимая во внимание высокий уровень промыслового изъятия тихоокеанских лососей, можно констатировать, что колебания их общих уловов от среднемноголетних показателей будут вполне адекватным индикатором изменчивости численности производителей при анализе многолетних трендов. В большинстве случае отечественные и зарубежные специалисты в качестве демонстрации динамики запасов тихоокеанских лососей используют именно этот показатель.

Кроме того, уточним, что в работе для статистических расчетов и получения аналитической информации по оценке влияния климатических факторов на продуктивность и биологические показатели тихоокеанских лососей использовали именно оценки численности, а не биомассы. Это важный нюанс, поскольку продукционные показатели по биомассе в значительной степени зависят от размерно-массовых характеристик рыб. В свою очередь, последние зависят от целого комплекса факторов среды. В результате при относительно невысокой численности может наблюдаться завышенная биомасса и, соответственно, наоборот.

Климатические индексы

Из климатических предикторов в работе использовано 17 индексов: метеорологические — ALPI, AFI, PCI, PNA, NP, AO, WP; океанологические — PDO, GLB.Ts+dSST, N.HEMI+dSST, Nino 3.4, Ice BS; планетарно-космические — Solar Flux, Sun Spot, Ap, LWR, LOD. Их краткая характеристика, литературные и электронные источники доступа представлены в таблице 1.

Спутниковый мониторинг

Полигоном исследований были охотоморские, беринговоморские и тихоокеанские воды Северной Пацифики от 40° до 65° с. ш. и от 150° в. д. и до 160° з. д. Анализ временной изменчивости температурных условий на акватории проводили по

Таблица 1. Состав и краткая характеристика использованных в работе стандартных климатических индексов
Table 1. Composition and brief description of standard climate indices used in the work

№	Индекс Index	Описание Description	Источник (литературный/сайт) Source (reference/site)	Ряд наблюдений (годы) Observation period (years)
I. Метеорологические индексы / Meteo indices				
1	ALPI	Индекс измерения относительной интенсивности Алеутской депрессии (АД) в системе Северной Пацифики (декабрь–март). Рассчитывается как средняя площадь (км^2) области с приземным давлением ниже или равным 100,5 кРа (декабрь–февраль) с вычислением отклонения от средних показателей за период 1950–1997 гг. Положительное значение индекса говорит об усилении АД. Index to measure relative intensity of the Aleutian depression (AD) in the North Pacific system (December–March). It is calculated as the average square (km^2) of the area where the land surface pressure ≤100.5 kPa (December–February) at calculating the deviations from the average values for the period 1950–1997. Positive value of the ALPI indicates of growing AD.	Beamish et al., 1997 (Available at http://www.pac.dfo-mpo.gc.ca)	1971–2015
2	AFI	Индекс атмосферного воздействия. Рассчитывается при проведении анализа главных компонент по трем индексам: Алеутской депрессии (ALPI), Тихоокеанской декадной осцилляции (PDO) и аномалии северо-западной атмосферной циркуляции над северной частью Тихого океана (PCI) для периода декабрь–март. Положительные значения говорят об интенсификации АД, что сопровождается усилением западных и юго-западных ветров в восточной части Берингова моря и северо-восточной части Тихого океана. В результате наблюдается похолодание поверхностных вод у п-ова Камчатка (за счет повышения частоты затоков арктических воздушных масс). The atmospheric impact index, calculated when analyzing major components on three indices of the Aleutian depression (ALPI), Pacific decade occillation (PDO) and anomaly of the northwest atmospheric circulation over the north part of the Pacific Ocean (PCI) for the period December–March. Positive values indicate of intensifying AD with increasing western and southwestern winds in the east part of the Bering Sea and northeastern part of the Pacific Ocean. Cooling the surface waters near Kamchatka peninsula (at the expense of increasing frequency of flows of Arctic air masses) can be observed as a result.	McFarlane et al., 2000 (Available at http://www.pac.dfo-mpo.gc.ca)	1971–2004
3	PCI	Индекс Тихоокеанской циркуляции (зимний). Отражает характеристику атмосферной циркуляции над северной частью Тихого океана для периода с декабря по март. Рассчитывается как сумма отрицательных аномалий северо-западного переноса воздушных масс. Чем выше индекс, тем сильнее юго-западный приток к побережью Северной Америки (увеличение притока тепла). The Pacific Ocean (winter) circulation index. Illustrates the state of the atmosphere circulation over the northern Pacific Ocean for the period fron December to March, and is calculated as a sum of the negative anomalies of the northwestern transfer of the air masses. The higher tthe index, the stronger the southwestern flow to the coast of North America (increasing flow of warmth).	King et al., 1998 (Available at https://open.canada.ca/data/en/dataset/)	1971–2004
4	PNA	Один из индексов дальних связей Северного полушария. Отражает связь «Тихий океан – Северная Америка». Представляет собой одну из главных компонент внетропической низкочастотной изменчивости над Северным полушарием. Положительная фаза соответствует усилению воздушного переноса в восточном направлении, вплоть до Северной Америки, отрицательная — его разворот в результате блокировки над центральной частью Тихого океана со смещением на запад. В положительную фазу возникает повышение температуры воздуха и влажности (осадков) у западного побережья Северной Америки. Рассчитывается с использованием метода главных компонент. One of the teleconnection patterns in the Northern hemisphere. The index illustrates the correlation “Pacific Ocean – North America” and is one of major components of extratropical low-frequency variability over the Northern hemisphere. Positive phase indicates of increasing air flow in the East direction, up to North America, negative – of turning as a result of blocking over the central part of Pacific Ocean with displacement in the West direction. Air temperature and humidity (precipitations) increase appears near the west coast of North America during negative phase. Calculation based on the principal component analysis.	Barnston, Livezey, 1987 (Available at https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/climateindices/list/)	1971–2015

Таблица 1. Продолжение. Начало на с. 10
Table 1. Continuation. Beginning on p. 10

№	Индекс Index	Описание Description	Источник (литературный/сайт) Source (reference/site)	Ряд наблюдений (годы) Observation period (years)
5	NP	Месячный Северотихоокеанский индекс. Рассчитывается как средневзвешенное по площади приземное атмосферное давление в пределах 30–65° с. ш. и 160° в. д. – 140° з. д. Он характеризует уровень взаимодействия в системе «атмосфера–океан» для северной части Тихого океана. Отметим, что атмосферные изменения приводят к изменениям температуры поверхности моря с заблаговременностью в один–два месяца. The Monthly North Pacific index. Calculated as weighted average over the area of atmosphere pressure near the land surface between 30–65° N and 160° E – 140° W. The index characterizes the interaction level in the system "atmosphere–ocean" in the northern part of Pacific Ocean. Note: the atmosphere changes lead to changes of surface water temperature with a lead time of 1–2 months.	Miller et al., 1994 (Available at https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/climateindices/list/)	1971–2015
6	AO	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). Имеют большую изменчивость в зимний период года. The Index of Arctic Oscillation characterizes the extensity of the distribution of arctic air masses in the subarctic region. Calculation via decomposition of the mean monthly anomaly of the pressure field at the level of 1000 hPa over the Arctic using natural orthogonal functions (EOF, first component). It is highly variable in winter.	Thompson, Wallace, 1998 (Available at https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/climateindices/list/)	1971–2015
7	WP	Один из индексов 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. One of the indices of teleconnection patterns of the North hemisphere, describing low-frequency variations over the northwest part of Pacific Ocean. Positive and negative phases of the model illustrate temperature and humidity (precipitations) redistribution in the longitude and latitude directions	Wallace, Gutzler, 1981; Barnston, Livezey, 1987 (Available at https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/climateindices/list/)	1971–2015
II. Океанологические индексы / Oceanological indices				
8	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 отрицательные — «холодная» фаза. The Pacific decade oscillation characterizes average monthly temperature of surface water in the north par of Pacific Ocean (up to 20° N). It is description of of climate phenomen, observing mainly in the northern part of Pacific Ocean as opposed to El Niño/South oscillation (ENSO). When anomaly of the surface temperature and atmosphere pressure near the land surface in the northern part of Pacific Ocean at the sea level is negative, the index is considered as positive, and it is "warm" phase. When it is positive, i. e. the anomalies of the TPO and PAD are negative – it is "cold" phase.	Hare, Francis, 1995 (Available at https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/climateindices/list/)	1971–2015
9	Ice BS	Площадь льда в Беринговом море (тыс. км^2) в зимний период года. Характеризует суровость зимнего сезона в северной части Тихого океана. The square of the ice in the Bering Sea (thousand km^2) in winter. Characterizes winter severity in the northern part of Pacific Ocean.	Якунин, 1979 (Available at ftp://sidads.colorado.edu/DATASETS/NOAA/G02135/, http://www.natice.noaa.gov, https://nsidc.org)	1973–2015

Таблица 1. Продолжение. Начало на с. 10
Table 1. Continuation. Beginning on p. 10

№	Индекс Index	Описание Description	Источник (литературный/сайт) Source (reference/site)	Ряд наблюдений (годы) Observation period (years)
10	Nino 3.4	Индекс температуры поверхности океана в стандартных районах 3 и 4, ограниченных по долготе координатами 170–120° з. д., а по широте 5° ю. ш – 5° с. ш. Характеризует степень развития явления Эль-Ниньо. Это комплекс изменений химических и термобарических параметров атмосферы и океана в экваториальной зоне Тихого океана. В «нормальном» состоянии, когда в районе господствуют пассаты, у Перуанского побережья присутствует одноименное холодное вдольбереговое течение, которое поворачивает в открытый океан в районе экватора, что приводит к возникновению на материковом склоне интенсивного апвеллинга, продуцирующего подъем биогенов. Оказывает влияние на весь Тихоокеанский бассейн. Для расчета используются реконструированные данные о температуре поверхности моря *ERSST v4*. The index of the ocean surface water in the standard districts 3 and 4, limited by 170–120° W and 5° – 5°N. Characterizes the El Niño phenomen development. It is a complex of changes of chemical and thermobaric characteristics of the ocean and atmosphere in the equatorial zone of Pacific Ocean. In “normal” state, when dominating the passates, a cold, along the coast current of the same name occurs near the Peruvian coast, turning toward open sea near equator and causing intense upvelling on the continental slope, producing biogenic flow upward. It brings effects on the whole Pacific Ocean basin. Calculation uses reconstructed sea surface water temperatures *ERSST*.	Walker, 1923; Trenberth, 1997 (Available at http://www.esrl.noaa.gov)	1971–2015
11	GLB. Ts+dSST	Глобальная температурная аномалия. Рассчитывается по данным всех доступных метеорологических станций Земли (включая антарктические), с учетом данных реконструкции температуры поверхности моря (*ERSST v4*), как отклонение от среднего за период с 1951 по 1980 гг. Global temperature anomaly is calculated on the data of all available meteo stations on the Earth (including Antarctic) in a respect to the reconstructed sea surfate temperatures (*ERSST v4*) as deviation from the average value for the period from 1951 to 1980.	Hansen et al., 1981, 1996, 1998, 2010 (Available at https://data.giss.nasa.gov/gistemp/)	1971–2015
12	N.HEMI (NH) +dSST	См. № 11. Только для северного полушария Земли. See № 11. For the northern hemisphere of the Earth only.	См. № 11	1971–2015
III. Планетарно-космические индексы / Planetary-cosmic indices				
13	Solar Flux	Индекс солнечного потока на длине волны 10,5 см. Характеризует солнечную активность и степень удаления Земли от Солнца (изменение притока солнечной радиации к поверхности Земли), измеряется посредством солнечного радиотелескопа. В отличие от индекса Sun Spot, этот показатель полностью объективен. Другое название — медленно меняющееся солнечное радиоизлучение (S-компонента). The index of the solar flow at the wave length 10.5 cm. Characterizes solar activity and distance from the Earth to the Sun (the dynamics of the influx of solar radiation to the surface of the Earth) and can be measured by solar radio telescope. In the opposite to the index Sun Spot this index is completely objective. The other name is the slow transforming solar radio emission (S-component).	Harvey, 1992 (Available at http://www.spaceweather.ca)	1971–2015
14	Sun Spot	Характеризуют солнечную активность, интенсивность электромагнитного излучения и «солнечного ветра». Оценивают визуальным определением количества пятен (зон высокой температуры) на Солнце. Characterizes solar activity, electromagnetic radiation and “solar wind” intensity and can be estimated visually as the number of spots (zones of high temperature) on the Sun.	Витинский и др., 1976 (Available at http://www.sidc.oma.be)	1971–2015

Таблица 1. Окончание. Начало на с. 10
Table 1. Ending

№	Индекс Index	Описание Description	Источник (литературный/сайт) Source (reference/site)	Ряд наблюдений (годы) Observation period (years)
15	Ap	Индекс геомагнитной активности. Характеризует интенсивность геомагнитной активности на планетарной шкале по данным 11 станций в северном и 2 в южном полушарии в диапазоне широт от 44° до 60° (магнитная величина, измеряемая в нТл). Geomagnetic activity index characterizes intensity of the geomagnetic activity on the planetary scale on the data of 11 stations in the northern and 2 in the southern hemisphere between the latitudes 44° and 60° (magnetic value measured in nTl).	Bartels, 1938; Menvielle, Berthelier, 1991 (Available at http://www.gfz-potsdam.de, http://isgi.unistra.fr)	1971–2015
16	LWR (OLR)	Исходящая длинноволновая радиация (с длинами волн от 4 до 100–120 мкм) на экваторе в диапазоне долгот от 160° в. д. до 160° з. д. Характеризует прогрев вод поверхности и интенсивность испарения, а также вертикального подъема воздушных масс над акваторией Тихого океана в районе экватора. Outgoing long-wave radiation (with the wave length from 4 to 100–120 mkm) on equator between 160° E and 160° W. Characterizes warming of the surface waters and evaporation intensity and vertical flow of the air masses over the Pacific Ocean on the equator.	Petty, 2006 (Available at http://www.cpc.ncep.noaa.gov)	1975–2015
17	LOD	Индекс продолжительности дня. Характеризует изменение скорости вращения Земли. В настоящее время рассчитывается как разница между астрономической продолжительностью суток и показаниями атомных часов (TAI — атомная шкала времени, в миллисекундах). The day length index characterizes dynamics of the speed of rotation of the Earth. Currently calculating as the difference between the astronomic day length and the atomic clock readings (TAI – the atomic time scale, in milliseconds).	Stephenson, Morrison, 1984 (Available at http://www.pac.dfo-mpo.gc.ca)	1971–2015

среднемесячным показателям аномалий (отклонения от среднемноголетних) температуры поверхности океана (аТПО). Ряды наблюдений были ограничены периодом 1982–2015 гг. Данная периодика обусловлена сроками начала регулярного спутникового мониторинга водной поверхности Мирового океана (с 1982 г.). Соответствующая информация находится в свободном доступе на сайте Международного научного института климата и общества (International Research Institute for Climate and Society, IRI: http://iridl.ldeo.columbia.edu/).

Расчет аномалий проводили на основе показателей ежемесячных полей ТПО, полученных путем линейной интерполяции (оптимальная интерполяции версии 2, NOAA OI.v2 SST) ежедневного поля, с последующим осреднением суточных значений за месяц (Reynolds et al., 2002; Richard et al., 2007). Исходные ежедневные данные состоят из материалов спутникового мониторинга (спутники серии NOAA с приборами AVHHR) температурной обстановки на акваториях Мирового океана с корректировкой по всем доступным натурным наблюдениям (судовые датчики, буйковые датчики (ARGO), суда погоды и т. п.). База данных представлена в нескольких вариантах пространственного разрешения с шагом от 0,25 до 1° по широте и долготе. В нашем случае в качестве исходной информации были использованы наблюдения, полученные по регулярной координатной сетке с шагом 1° по широте и долготе.

Для анализа межгодовой изменчивости температурных условий в местах осеннего и зимнего нагула лососей было проведено условное деление бассейна Северной Пацифики на картографические трапеции с шагом по долготе в 10° и по широте в 5° (рис. 1). Всего получено 39 трапеций, охватывающих как акватории Охотского и Берингова морей, так и прилегающие воды Тихого океана. Данная акватория охватывает практически весь ареал морского/океанического нагула тихоокеанских лососей Северной Пацифики. Непосредственно для подготовки настоящей работы использованы данные только из тех районов, где осуществляются осенние и зимние миграции тихоокеанских лососей Даль-

него Востока России на 1-м году морского/океанического периода жизни.

Для стандартизации данных выполнили ежегодное линейное осреднение исходных полей аномалии ТПО на центры полученных трапеций. Ряды наблюдений были сформированы для осеннего (сентябрь–ноябрь) и зимнего (декабрь–февраль) периодов 1982–2015 гг. Наблюдения включали характеристику аномалий ТПО на первом году морского/океанического периода жизни тихоокеанских лососей.

Таким образом, для каждой трапеции были получены временные ряды, характеризующие изменчивость температурных условий в осенне-зимний период практически квазиоднородного верхнего (охваченного ветровым и конвективным перемешиванием) слоя вод для исследуемой акватории Северной Пацифики. Это позволило оценить воздействие аномалий ТПО на продуктивность тихоокеанских лососей с учетом миграций и локализации скоплений во время осеннего и зимнего нагула дальневосточных стад тихоокеанских лососей. Для построения схем распределения коэффициентов корреляций в бассейне Северной Пацифики использовали программное обеспечение SURFER.

Статистический анализ

В работе в качестве основного инструмента статистического анализа использовали пакет программного обеспечения STATISTICA 6 (Халафян, 2008). Обработку данных осуществляли следующими статистическими методами:

1) ***Скользящее среднее*** — важнейшим элементом подготовки рядов наблюдений было формирование переменных с использованием техники скользящего среднего. Это необходимо, чтобы учитывать периодику морского/океанического нагула тихоокеанских лососей для сопоставления данных по уловам с климатическими факторами, воздействующими на среду обитания рыб на определенном этапе их нагульных миграций. Принимая во внимание известные закономерности по формированию продуктивности лососей на раннем этапе морского периода жизни, мы использовали два подхода:

а) для расчета *множественной регрессии* данные по вылову оставляли фиксированными, а осреднение проводили для климатических индексов с учетом периодики морского/океанического нагула тихоокеанских лососей. В данном случае ориентировались на среднемноголетний возраст массового созревания рыб: горбуша и кижуч — возраст n.1 (двухлетнее осреднение климатических индексов с учетом продолжительности нагула — возраст n.0 и n.1), кета, нерка и чавыча — возраст n.3 (четырехлетнее осреднение климатических индексов с учетом продолжительности нагула — возраст n.0, n.1, n.2 и n.3). Подобный подход учитывал влияние климатических факторов на среду обитания основной части произво-

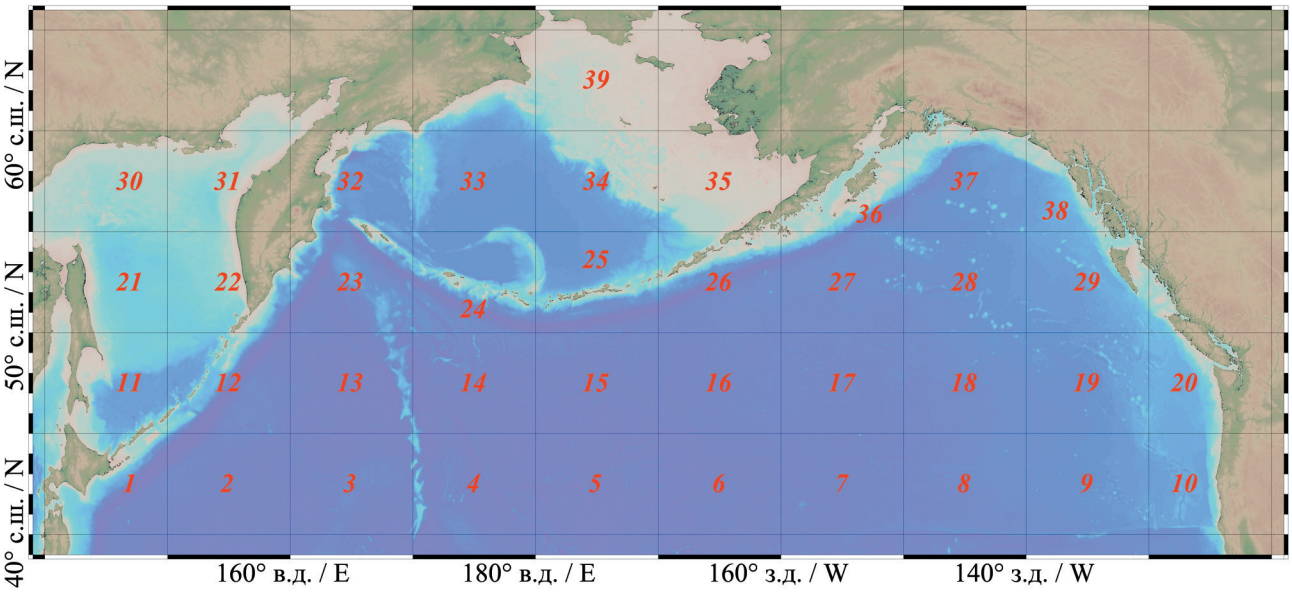


Рис. 1. Карта-схема бассейна Северной Пацифики и районов, для которых рассчитывались среднемесячные значения аномалий температуры поверхностного слоя вод. Цифрами обозначены картографические трапеции (5×10°), являющиеся зонами расчета параметра

Fig. 1. The schematic map of the North Pacific Ocean basin and of the districts where the monthly average values of the surface water temperature anomalies were calculated. The digits mark cartographic trapezoids (5×10°), which are the zones of calculation of the index

дителей тихоокеанских лососей в течение их онтогенеза в морской/океанический период жизни;

б) для расчета *влияния аномалий температуры поверхности океана (аТПО) на раннем этапе морского/океанического нагула тихоокеанских лососей на их продуктивность* значения температурных ежегодных показателей оставляли фиксированными для первого года осеннего и зимнего нагула, а данные по уловам усредняли с учетом массового возраста созревания производителей того или иного вида тихоокеанских лососей. У видов с продолжительным морским/океаническим периодом жизни осреднение численности уловов проводили по доминирующим возрастным группам: кета — 0.3 и 0.4 (лаг 4–5 лет от года ската), нерка — n.2 и n.3 (лаг 3–4 года от года ската), чавыча — n.2, n.3 и n.4 (лаг 3–5 лет от года ската). Это позволило учесть фактор численности поколений, которые в массе формировали объемы уловов тихоокеанских лососей с продолжительным периодом морского/океанического нагула. У горбуши и кижуча, как видов с единым возрастом морского/океанического нагула (возраст созревания 0.1 и n.1 соответственно), сопоставление переменных осуществляли без осреднения значений уловов. В данном случае расчеты осуществляли на основе использования фактических показателей уловов и аТПО в осенний и зимний период нагула для конкретных поколений возврата.

2) ***Корреляционный анализ*** — позволил выполнить первичное определение простых (одномерных) связей между переменными (матрицы: индекс–индекс и индекс–улов) с помощью коэффициента корреляции Пирсона (r). Принимая во внимание, что временные ряды наблюдений климатических индексов имеют различную продолжительность, корреляционный анализ выполняли двумя способами: с использованием метода исключения пропущенных значений (*Casewise*) и с использованием метода парного исключения пропущенных значений (*Pairwise*). Оценку значимости выявленных взаимосвязей основывали на стандартной градации, принятой в статистике: $r \leq 0{,}25$ — слабая; $0{,}25 < r \leq 0{,}75$ — умеренная; $r > 0{,}75$ — сильная. Для построения регрессионных моделей использовали только достоверные ($p < 0{,}05$; 0,01; 0,001) умеренные и сильные коэффициенты корреляций.

3) ***Анализ главных компонент*** — классификация структуры взаимосвязей между переменными (климатическими индексами) для оценки уровня факторных нагрузок в системе переменных.

4) ***Кластерный анализ*** использован для определения степени однородности исследуемых переменных (уловы) с целью выделения их групп (кластеров). На его основе была сопоставлена уровневая и динамичная структура рядов уловов тихоокеанских лососей в основных центрах их воспроизводства на Дальнем Востоке России. В качестве единиц измерений использовали два варианта расчета: а) с использованием Евклидовых дистанций (*Euclidean distances*), б) с использованием дистанций 1 минус коэффициент корреляции Пирсона (*1 – Pearson r*).

5) ***Многомерное регрессионное моделирование*** выполнено для анализа взаимосвязи и выявления степени воздействия различных факторов (климатические индексы) на зависимую переменную (улов). Полученные данные позволили построить математические модели и оценить комплексное влияние климатических факторов на продуктивность тихоокеанских лососей Дальнего Востока России.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Оценка взаимосвязи и отбор климатических индексов

Принимая во внимание, что каждый из используемых в работе климатических индексов имеет собственную временную динамику изменчивости, необходимо оценить уровень стохастической сопряженности полученных рядов наблюдений. В качестве меры зависимости между переменными мы использовали коэффициент корреляции Пирсона (r). Результаты корреляционного анализа взаимосвязи климатических индексов по данным 1971–2015 гг. представлены в таблице 2.

Всего из 136 определенных значений коэффициентов корреляций 38 (27,9%) являются достоверными. Наиболее высокие (сильные) коэффициенты корреляций ($r > 0{,}75$) были отмечены в следующих сопряженных парах: N.HEMI+dSST—GLB.Ts+dSST ($r = 0{,}983$); Sun Spot—Solar Flux ($r = 0{,}942$); LWR—Nino 3.4 ($r = -0{,}934$); ALPI—AFI ($r = 0{,}898$); GLB.Ts+dSST—LOD ($r = -0{,}823$); N.HEMI+dSST—PCI ($r = 0{,}808$); N. HEMI+dSST—LOD ($r = -0{,}804$); GLB.Ts+dSST—PCI ($r = 0{,}766$). В остальных случаях все достоверные коэффициенты корреляций можно определить как умерен-

Таблица 2. Корреляционная матрица взаимосвязи использованных в работе климатических индексов по данным 1971–2015 гг.
Table 2. The matrix used in the work for the correlations between the climate indices on the data for 1971–2015

Индексы Indices	ALPI	PNA	NP	AO	AFI	PCI	WP	PDO	N.HEMI+dSST	Nino 3.4	Ice BS	GLB.Ts+dSST	Solar Flux	Ap	Sun Spot	LWR	LOD
ALPI	1,000																
PNA	**0,566** N=45 p=0,000	**1,000**															
NP	–0,203 N=45 *p=0,181*	**–0,350** N=45 *p=0,019*	**1,000**														
AO	**–0,383** N=45 *p=0,009*	**–0,373** N=45 *p=0,012*	**0,376** N=45 *p=0,011*	**1,000**													
AFI	**0,898** N=34 *0,000*	**0,618** N=34 *0,000*	–0,192 N=34 *p=0,276*	**–0,351** N=34 *p=0,042*	**1,000**												
PCI	0,292 N=34 p=0,094	0,210 N=34 p=0,233	0,008 N=34 p=0,966	0,129 N=34 p=0,467	**0,395** N=34 p=0,021	**1,000**											
WP	–0,045 N=45 *p=0,769*	–0,023 N=45 *p=0,883*	0,168 N=45 *p=0,271*	0,097 N=45 *p=0,525*	–0,030 N=34 *p=0,868*	–0,075 N=34 *p=0,672*	**1,000**										
PDO	**0,530** N=45 *0,000*	**0,459** N=45 *p=0,002*	–0,144 N=45 *p=0,346*	–0,183 N=45 *p=0,228*	**0,659** N=34 *0,000*	**0,307** N=34 *p=0,077*	–0,048 N=45 *p=0,754*	**1,000**									
N.HEMI+dSST	0,172 N=45 p=0,260	**0,350** N=45 p=0,018	0,101 N=45 p=0,510	0,038 N=45 *p=0,803*	**0,420** N=34 *p=0,013*	**0,808** N=34 *p=0,000*	–0,228 N=45 *p=0,132*	0,051 N=45 *p=0,740*	**1,000**								
Nino 3.4	0,118 N=45 p=0,439	0,163 N=45 p=0,285	–0,047 N=45 p=0,762	0,026 N=45 p=0,866	0,183 N=34 p=0,301	0,284 N=34 p=0,103	0,137 N=45 p=0,370	**0,558** N=45 0,000	0,224 N=45 p=0,139	**1,000**							
Ice BS	**0,603** N=39 *0,000*	**0,470** N=39 *p=0,003*	0,071 N=39 *p=0,666*	–0,194 N=39 *p=0,238*	**0,678** N=28 *0,000*	0,343 N=28 *p=0,074*	0,092 N=39 *p=0,576*	**0,454** N=39 *p=0,004*	0,152 N=39 *p=0,357*	0,267 N=39 *p=0,100*	**1,000**						
GLB.Ts+dSST	0,160 N=45 p=0,295	**0,359** N=45 *p=0,015*	0,058 N=45 *p=0,706*	–0,033 N=45 *p=0,830*	**0,466** N=34 *p=0,005*	**0,766** N=34 *0,000*	–0,240 N=45 *p=0,112*	0,049 N=45 *p=0,748*	**0,983** N=45 *p=0,000*	0,260 N=45 *p=0,084*	0,135 N=39 *p=0,412*	**1,000**					

Таблица 2. Окончание. Начало на с. 16 / Table 2. Ending

Индексы Indices	ALPI	PNA	NP	AO	AFI	PCI	WP	PDO	N.HEMI+dSST	Nino 3.4	Ice BS	GLB.Ts+dSST	Solar Flux	Ap	Sun Spot	LWR	LOD
Solar Flux	–0,037 N=45 p=0,807	–0,114 N=45 p=0,457	–0,219 N=45 p=0,148	0,232 N=45 p=0,126	–0,098 N=34 p=0,583	0,211 N=34 p=0,231	0,129 N=45 p=0,399	–0,033 N=45 *p=0,831*	–0,001 N=45 *p=0,996*	0,041 N=45 *p=0,789*	–0,028 N=39 *p=0,864*	–0,017 N=45 *p=0,914*	**1,000**				
Ap	0,079 N=45 p=0,608	–0,212 N=45 p=0,162	0,032 N=45 p=0,833	**0,326** N=45 p=0,029	–0,058 N=34 p=0,745	–0,002 N=34 p=0,991	0,132 N=45 p=0,387	0,164 N=45 p=0,281	**–0,446** N=45 p=0,002	0,063 N=45 p=0,681	0,044 N=39 p=0,791	**–0,491** N=45 p=0,001	**0,450** N=45 p=0,002	**1,000**			
Sun Spot	–0,075 N=45 *p=0,623*	–0,157 N=45 *p=0,302*	–0,174 N=45 *p=0,254*	0,275 N=45 *p=0,067*	–0,159 N=34 *p=0,370*	0,186 N=34 *p=0,291*	0,073 N=45 *p=0,634*	0,022 N=45 *p=0,884*	–0,080 N=45 *p=0,600*	0,133 N=45 *p=0,384*	–0,063 N=39 *p=0,704*	–0,093 N=45 *p=0,542*	**0,942** N=45 *p=00,00*	**0,524** N=45 *p=0,000*	**1,000**		
LWR	–0,140 N=39 p=0,394	–0,190 N=39 p=0,247	0,027 N=39 p=0,871	–0,064 N=39 p=0,700	–0,145 N=29 p=0,454	–0,218 N=29 *p=0,257*	–0,213 N=39 *p=0,192*	**–0,643** N=39 *0,000*	–0,001 N=39 *p=0,998*	**–0,934** N=39 *0,000*	–0,280 N=35 *p=0,103*	–0,022 N=39 *p=0,895*	–0,119 N=39 *p=0,470*	–0,245 N=39 *p=0,133*	–0,247 N=39 *p=0,130*	**1,000**	
LOD	–0,173 N=44 p=0,261	–0,258 N=44 p=0,091	0,024 N=44 p=0,879	0,078 N=44 p=0,616	**–0,449** N=34 p=0,008	**–0,804** N=34 0,000	0,240 N=44 p=0,117	0,014 N=44 p=0,926	**–0,827** N=44 0,000	–0,029 N=44 p=0,854	–0,173 N=38 p=0,298	**–0,823** N=44 0,000	0,018 N=44 p=0,910	**0,360** N=44 p=0,016	0,119 N=44 p=0,442	–0,211 N=38 p=0,204	**1,000**

Примечание. Обозначение индексов представлено в таблице 1. Жирным шрифтом выделены достоверные коэффициенты корреляций ($p < 0,05–0,001$)
Note. The symbles of the indices are in Table 1. Authentic correlation coefficients are marked in bold ($p < 0.05–0.001$)

ные. Причем около 30% из них имели значения $r > 0,5$, что также говорит о достаточно высоком уровне сопряженности динамики рядов переменных некоторых климатических индексов.

Принимая во внимание достаточно большой набор климатических индексов, а также различия рядов наблюдений, понятно, что требуется анализ структуры взаимосвязей между переменными, то есть их классификация. В представленной работе данный анализ был выполнен методом главных компонент по данным наблюдений 1971–2015 гг. (рис. 2).

В верхней части рисунка 2 (А) показан график факторных координат переменных и наблюдений. Как видно из графика, все переменные изображены в виде точек (центроиды значений климатических индексов) на единичном круге, так как корреляции (координаты точек) наблюдений с факторными осями принимают значения в интервале 0–1. Система координат ограничена факторами 1 и 2, которые в сумме обеспечивают 50,09% объяснения варьирования факторных нагрузок.

Полученные результаты позволяют классифицировать три значимые группы переменных, в которых преобладают метеорологические, океанологические и планетарно-космические климатические индексы. При этом, как показал выполненный ранее корреляционный анализ (табл. 1), многие комбинации климатических индексов взаимосвязаны, что приводит к образованию неоднородных кластеров в системе факторных координат. Особенно это касается метеорологических и океанологических индексов.

Отметим, что точки, которые близки к единичному кругу, показывают наиболее сильное влияние на структуру взаимосвязей модели. Как видно из диаграммы, максимальная векторная нагрузка приходится на два индекса, характеризующих глобальную температурную аномалию — N.HEMI+dSST и CLB.Ts+dSST. Наименьшее влияние на модель в системе факторных координат оказывают индексы WP и NP, характеризующие метеорологические

условия в северной части Тихого океана. Но в данном случае необходимо учитывать, что график факторных нагрузок строится только на основании 1 и 2 факторов, то есть объясняет около 50% структуры взаимосвязей переменных в модели. При анализе вклада переменных по остальным активным факторам их воздействие на систему может возрасти.

В случае наличия связей с высоким уровнем корреляций и родственных по своим физическим параметрам, логично провести редукцию числа переменных, то есть выделить те климатические индексы, которые более актуально использовать в дальнейшей работе. В нашем случае на данном этапе работы можно выделить три пары подобных климатических индексов — N.HEMI+dSST—CLB.Ts+dSST, ALPI—AFI и Sun Spot—Solar Flux. Исходя из этого, редукцию данных логично проводить по следующей схеме:

1) N.HEMI+dSST—CLB.Ts+dSST. Учитывая, что район исследований охватывает бассейн Северной Пацифики, то есть ареал тихоокеанских

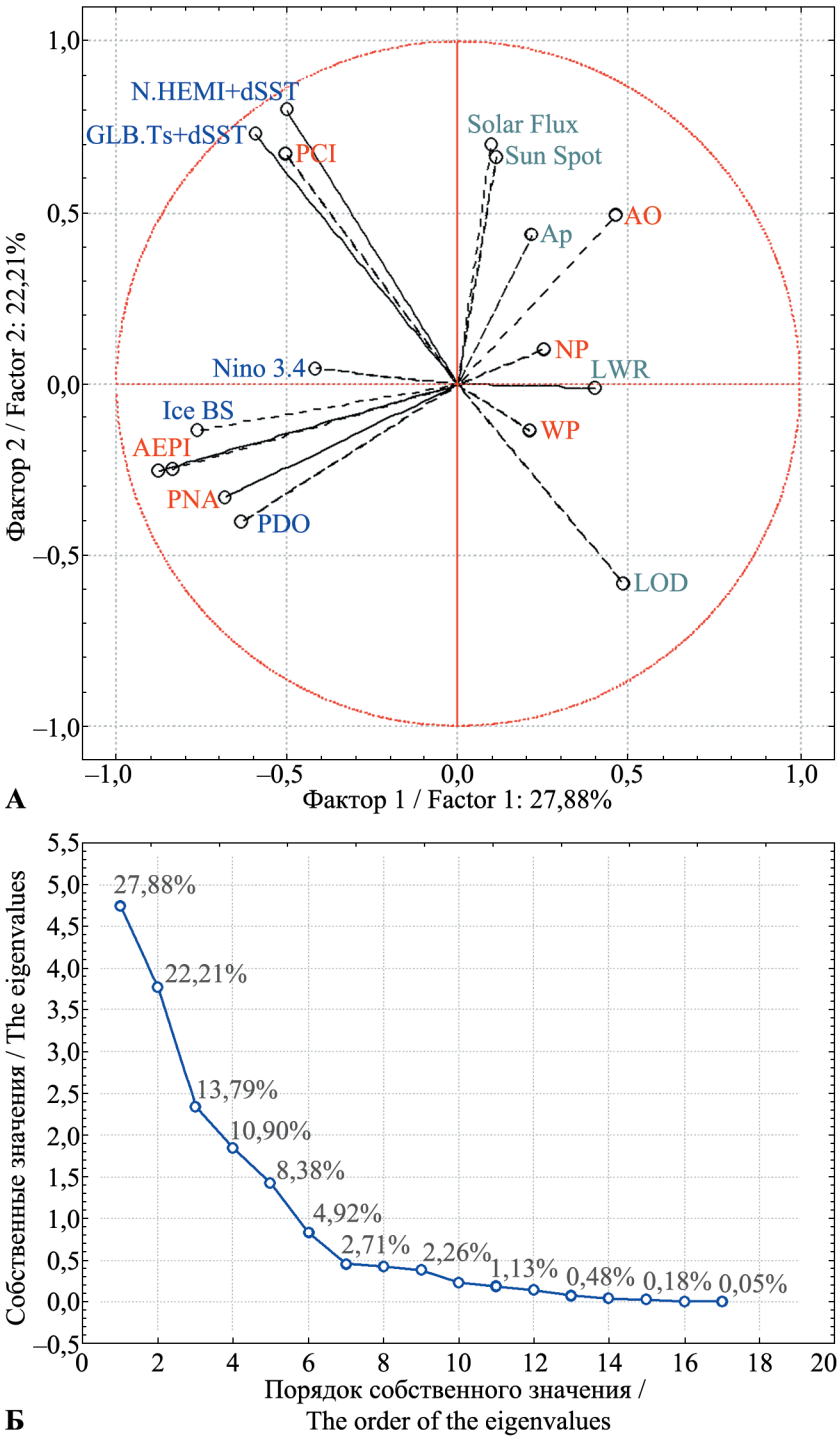


Рис. 2. Классификация климатических индексов с помощью метода главных компонент (красные — метеорологические индексы, синие — океанологические индексы, зеленые — планетарно-космические индексы): А — график факторных координат переменных и наблюдений; Б — график каменистой осыпи. Расшифровка аббревиатур индексов представлена в таблице 1

Fig. 2. The climate indices classified with the method of general components (red – meteo indices, blue – ocean indices, green – planet-cosmic space indices): А – the graph of the factor coordinates of variables and observations; Б – the graph of the rocky scree. Explanation of the abbreviations is in Table 1

лососей, то логичнее в дальнейшем применять индекс, характеризующий температурный баланс Северного полушария Земли — N.HEMI+dSST;

2) ALPI—AFI. В данном случае ряд наблюдений по индексу ALPI продолжительнее и включает полный 45-летний период, поэтому его использование более оправданно;

3) Sun Spot—Solar Flux. Оба индекса идентичны по продолжительности рядов наблюдений. Но индекс солнечной активности Sun Spot значительно чаще используется специалистами при оценке геомагнитного влияния Солнца на запасы водных биологических ресурсов, поэтому в дальнейшей работе использовали именно этот показатель.

Кроме классификации климатических индексов, методом главных компонент были определены их факторные нагрузки. Представленный на рисунке 2Б график каменистой осыпи показывает, что кусочно-линейные функции собственных значений нагрузок выравниваются после определения фактора 6. Суммарно главные компоненты (факторы 1–6) объясняют 88,08% изменчивости признака, что позволяет объективно выделить наиболее значимые векторы нагрузок в модели используемых климатических индексов. В таблице 3 более подробно показаны векторная нагрузка и вклад переменных климатических индексов, выделенных с помощью анализа главных компонент (факторы 1–6).

Из полученных данных следует, что наиболее значимый вклад по средневзвешенным значениям (средний уровень собственного значения > 0,05) определяющих факторов 1 и 2 (суммарно 50,09%) в модели имели следующие климатические индексы: N.HEMI+dSST — 0,1116; Ice BS — 0,1075; NP — 0,0895; AO — 0,0871; ALPI — 0,0824; LOD — 0,0697; Solar Flux — 0,0653; CLB.Ts+dSST — 0,0645; PDO — 0,0642; AFI — 0,0636; Sun Spot — 0,0593; PNA — 0,0547. По второй группе компонент (факторы 3–6 — суммарно 37,99%) также можно выделить ряд климатических индексов, имеющих средневзвешенные собственные значения выше среднего уровня: WP — 0,1438; PCI — 0,1385; LWR — 0,0921; Nino 3.4 — 0,0911; Ap — 0,0852; Solar Flux — 0,0734; Sun Spot — 0,0684; LOD — 0,0543; PNA — 0,0532; CLB.Ts+dSST — 0,0506.

Таким образом, исходя из результатов классификации и определения векторных нагрузок (факторы 1–6), был определен ряд климатических предикторов, наиболее подходящих для дальнейшего анализа. В данном случае мы учитывали и наличие полноценных рядов наблюдений с 1971 по 2015 гг. (45 лет). Всего в работу было включено 10 климатических индексов: ALPI, PNA, WP, PDO, NP, AO, N.HEMI+dSST, Ap, Sun Spot, LOD.

Структура и динамика уловов бассейновых группировок стад тихоокеанских лососей

В пределах Дальнего Востока России для каждого вида тихоокеанских лососей принято определять ряд базовых центров воспроизводства. У горбуши и кеты это следующие регионы: 1) Чукотка; 2) Восточная Камчатка; 3) Западная Камчатка; 4) материковое побережье (МП) Охотского моря; 5) Сахалин; 6) бассейн р. Амур; 7) Приморье; 8) Курильские о-ва. У нерки ареал заметно уже, поэтому выделяют только четыре центра воспро-

Таблица 3. Векторная нагрузка и вклад переменных климатических индексов, полученные с помощью анализа главных компонент по данным 1971–2015 гг. (1–6 факторы: 88,08%)
Table 3. The vector load and the contribution of the climate indices variables, obtained in the analysis of main components on the data for 1971–2015 (1–6 factors: 88.08%)

Индексы Indices	Фактор 1 Factor 1	Фактор 2 Factor 2	Фактор 3 Factor 3	Фактор 4 Factor 4	Фактор 5 Factor 5	Фактор 6 Factor 6
ALPI	0,1482	0,0166	0,0006	0,0105	0,0344	0,0723
AFI	0,0978	0,0295	0,0032	0,0622	0,0109	0,0649
PCI	0,0132	0,0026	0,0096	0,2835	0,0337	0,2272
PNA	0,0450	0,0644	0,0054	0,0621	0,0864	0,0586
NP	0,1618	0,0172	0,0058	0,0001	0,0435	0,0065
AO	0,0539	0,1204	0,0029	0,0539	0,0006	0,0337
WP	0,0091	0,0051	0,0187	0,1076	0,3890	0,0600
PDO	0,0848	0,0436	0,0720	0,0006	0,0533	0,0030
N.HEMI+dSST	0,0529	0,1703	0,0179	0,0063	0,0079	0,0034
Nino 3.4	0,0369	0,0006	0,2724	0,0501	0,0037	0,0381
GLB.Ts+dSST	0,1239	0,0050	0,0236	0,0113	0,0113	0,1562
Ice BS	0,0746	0,1403	0,0078	0,0006	0,0180	0,0011
Solar Flux	0,0020	0,1287	0,0273	0,1602	0,0285	0,0776
Ap	0,0096	0,0497	0,0718	0,0003	0,2622	0,0063
Sun Spot	0,0027	0,1159	0,0861	0,1291	0,0036	0,0548
LWR	0,0340	0,0000	0,2849	0,0524	0,0124	0,0186
LOD	0,0496	0,0899	0,0900	0,0090	0,0005	0,1176

изводства: 1) Чукотка; 2) Восточная Камчатка; 3) Западная Камчатка; 4) МП Охотского моря. Каждый регион отличается по уровню и динамике запасов тихоокеанских лососей.

Анализируя структуру количественного распределения промысловых уловов в пределах региональных центров воспроизводства с помощью значений Евклидовых дистанций, можно отметить определенные уровневые закономерности их кластерного формирования (рис. 3А). У горбуши образуются четыре группы уровней уловов: 1) Восточная Камчатка и Сахалин; 2) Западная Камчатка; 3) Курильские о-ва; 4) МП Охотского моря, Приморье, бассейн р. Амур и Чукотка. У кеты также образуются четыре кластера: 1) бассейн р. Амур; 2) МП Охотского моря, Курильские о-ва и Западная Камчатка; 3) Сахалин и Восточная Камчатка; 4) Приморье и Чукотка. У нерки можно выделить три уровневых компонента: 1) Западная Камчатка; 2) Восточная Камчатка; 3) МП Охотского моря и Чукотка.

Оценка сходства динамики временных рядов уловов с помощью дистанций 1 минус *r*-Пирсона

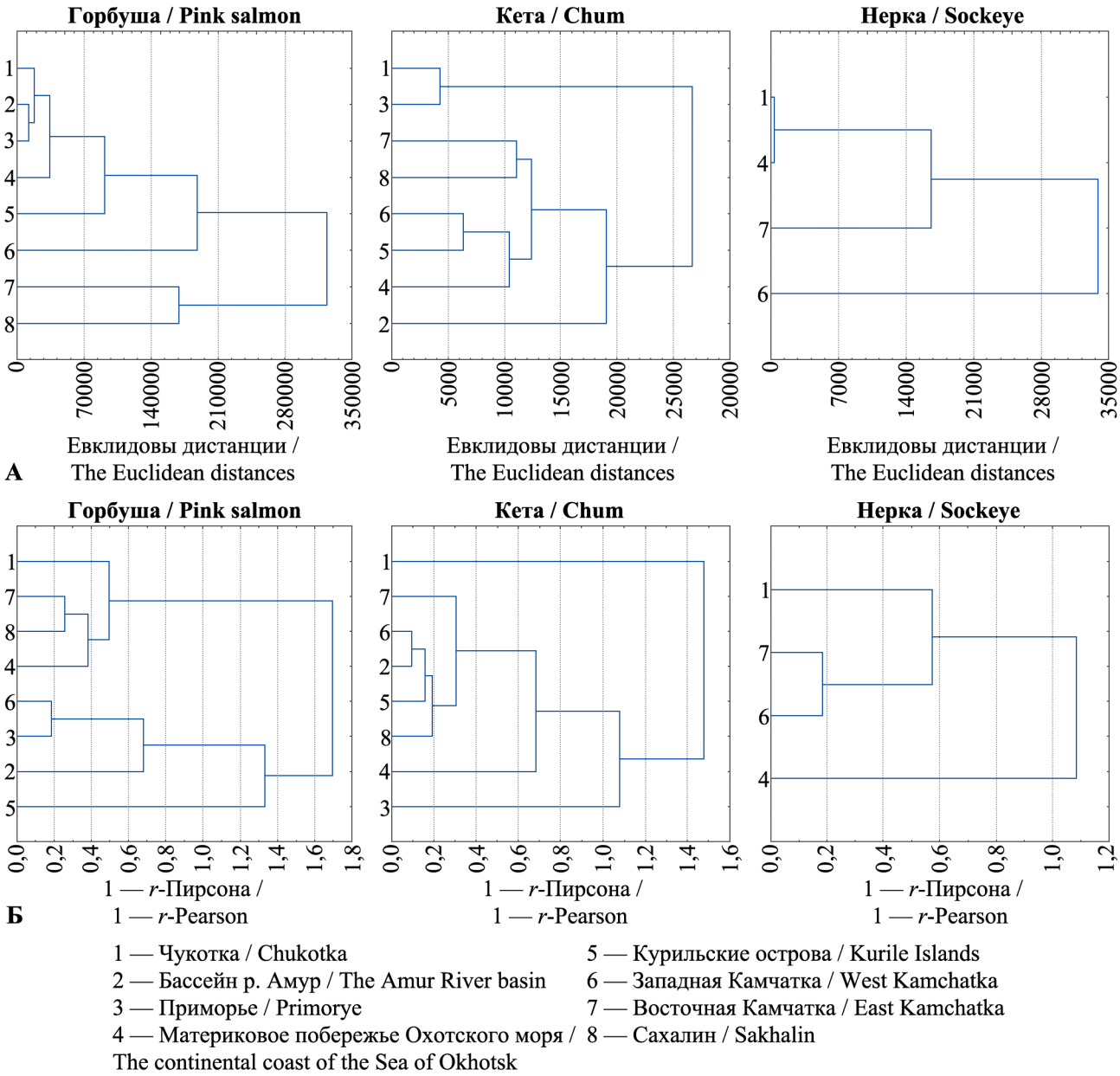


Рис. 3. Дендрограммы иерархического кластерного распределения рядов региональных уловов тихоокеанских лососей (тыс. экз.) Дальнего Востока России, полученные методом полных связей (*complete linkage*) по данным 1971–2015 гг.: А — с использованием Евклидовых дистанций, Б — с использованием дистанций 1 минус коэффициент корреляции Пирсона (*1 – Pearson r*)

Fig. 3. The tree of the hierarchical cluster distribution of the rows of Pacific salmon regional catches (thous. pcs) in Russian Far East, obtained with the method of complete linkage on the data for 1971–2015: A – using the Euclidean distances, Б – using the distances 1 minus Pearson correlation coefficient (*r*)

показала, что у горбуши наиболее близок этот показатель по двум значимым кластерам: 1) Курильские о-ва, бассейн р. Амур, Приморье и Западная Камчатка; 2) МП Охотского моря, Сахалин, Восточная Камчатка и Чукотка (рис. 3Б). Следует отметить, что максимальная близость уровней и динамики уловов Сахалина и Восточной Камчатки обусловлена сходством продуктивности и единством порядка смены урожайных (нечетные годы) и неурожайных (четные годы) поколений. У кеты можно выделить четыре кластера распределения уловов по уровню динамики: 1) Приморье; 2) МП Охотского моря; 3) Сахалин, Курильские о-ва, бассейн р. Амур, Западная Камчатка и Восточная Камчатка; 4) Чукотка. Подчеркнем, что как у горбуши, так и у кеты наибольшее сходство отмечается для охотоморских центров воспроизводства. У нерки можно выделить три достаточно разобщенных кластера: 1) МП Охотского моря; 2) Западная Камчатка и Восточная Камчатка; 3) Чукотка. В данном случае структура уловов более простая, поэтому близость просматривается на уровне двух основных группировок стад нерки Дальнего Востока.

Из представленного анализа следует, что структура распределения уровней и динамики временных рядов уловов тихоокеанских лососей весьма неоднозначна. Речь не идет об идентичности наиболее близких элементов кластеров, поскольку здесь отражаются лишь общие тенденции изменчивости исследуемых переменных значений. Тем не менее одной из закономерностей можно обозначить наличие определенного сходства уловов в центрах воспроизводства в Охотоморском бассейне. Кроме того, в регионах, где уровень уловов относительно низок, наиболее часто формируется отличная от всех динамика численности. Но, как правило, при формировании общих рядов уловов эти различия нивелируются из-за незначительного вклада последних в структуру переменных значений временного ряда.

В настоящей работе группировка данных промысловой статистики проведена по бассейновому принципу, который обусловлен географией воспроизводства и единством жизненной стратегии макрокомплексов стад тихоокеанских лососей: 1) Тихоокеанско-Беринговоморская группировка (ТБГ) — Восточная Камчатка и Чукотка; 2) Североохотоморская группировка (СОГ) — Западная Камчатка и МП Охотского моря; 3) Южноохотоморская группировка (ЮОГ) — Сахалин, бассейн р. Амур, Курильские о-ва и Приморье. Данный подход разделения основных региональных группировок стад достаточно давно используется отечественными специалистами при исследованиях дальневосточных лососей (Шунтов, Темных, 2008, 2011).

На рисунке 4 показана динамика численности бассейновых уловов лососей на Дальнем

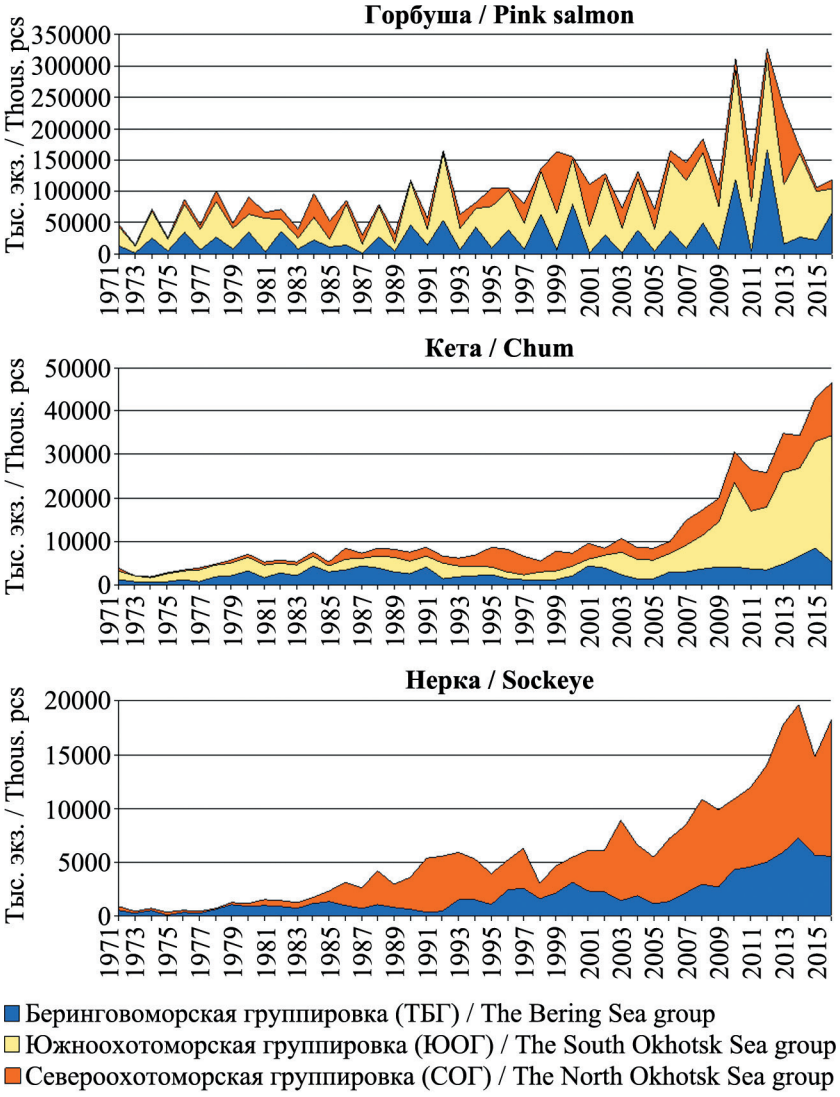


Рис. 4. Динамика уловов тихоокеанских лососей различных бассейновых группировок стад Дальнего Востока России в 1971–2015 гг.
Fig. 4. The dynamics of the Pacific salmon catches of different groups of stocks in Russian Far East in 1971–2015

Востоке России в 1971–2015 гг. В целом, по среднемноголетним данным, в течение указанного периода на Дальнем Востоке России добывали следующее количество производителей массовых видов: горбуша — 107 386 тыс. экз. (13 586–325 889 тыс. экз.); кета — 11 638 тыс. экз. (1863–46515 тыс. экз.); нерка — 5750 тыс. экз. (400–19 678 тыс. экз.). У горбуши количественное распределение уловов по регионам бассейнового воспроизводства имело следующий вид: ТБГ — 26%, ЮОГ — 55%, СОГ — 19%. У кеты аналогичная структура уловов соответствовала: ТБГ — 24%, ЮОГ — 49%, СОГ — 27%. У нерки распределение уловов имело следующий вид: ТБГ — 34%, СОГ — 66%. Отметим, что у всех трех видов тихоокеанских лососей Дальнего Востока России наиболее существенный вклад в структуру промысла вносят охотоморские центры воспроизводства.

Моделирование взаимосвязей, характеризующих влияние климатической изменчивости на продуктивность тихоокеанских лососей

Первичным этапом определения взаимосвязи между продуктивностью тихоокеанских лососей и климатической изменчивостью было проведение корреляционного анализа (табл. 4–6). Полученные результаты позволили выявить наиболее значимые климатические факторы (индексы), которые статистически достоверно влияли на величину уловов лососей бассейновых группировок стад Дальнего Востока России в 1971–2015 гг. Отбор проводили на основе наличия коэффициентов корреляций, имеющих умеренный или выше уровень значимости (брали: умеренный — $0,3 < r \leq 0,75$; высокий — $r > \pm 0,75$).

У горбуши было отмечено минимальное количество прямых связей между осредненными показателями климатических индексов и фактическими уловами. Отсутствие взаимодействия было зафиксировано при использовании следующих индексов: ALPI, AFI, PNA, NP, AO, WP, Nino 3.4, Ice BS, Solar Flux, Sun Spot. Наиболее стабильная связь «индекс – улов горбуши» была отмечена только у четырех индексов: N.HEMI+dSST (r = 0,31–0,62); GLB.Ts+dSST (r = 0,31–0,64); Ap (r = –0,32…–0,54); LOD (r = –0,31…–0,56). При этом не зафиксировано ни одного коэффициента корреляции с высоким уровнем значимости.

У кеты при анализе прямолинейной зависимости в большинстве случаев были отмечены умеренные, а в отдельных случаях и высокие коэффициенты корреляций. Отсутствие связей наблюдали только при сопоставлении с тремя климатическими индексами: NP, AO, Nino 3.4. Наиболее стабильные связи «индекс – улов кеты» были зафиксированы с шестью индексами: AFI (r = 0,39–0,68); PNA (r = 0,34–0,67); N.HEMI+dSST (r = 0,55–0,82); GLB.Ts+dSST (r = 0,57–0,83); Ap (r = –0,47…–0,76); LOD (r = –0,47…–0,65).

У нерки, также как и у кеты, наблюдается заметная прямая взаимосвязь различных климатических индексов с динамикой продуктивности. Отсутствие связей было отмечено только у трех индексов: NP, Nino 3.4, Ice BS. Наиболее стабильные связи «индекс – улов нерки» зафиксированы с восьмью индексами: AFI (r = 0,38–0,41); PCI (r = 0,64–0,88); PNA (r = 0,30–0,52); PDO (r = –0,31…–0,38); N.HEMI+dSST (r = 0,76–0,87); GLB.Ts+dSST (r = 0,78–0,88); Ap (r = –0,61…–0,81); LOD (r = –0,53…–0,79). При этом заметная часть полученных коэффициентов корреляций была близка или достигала высокого уровня значимости.

Проведенный корреляционный анализ показал, что из массовых видов тихоокеанских лососей на многолетнем уровне наименее подвержен прямому комплексному воздействию климатической изменчивости только один вид — горбуша. У кеты и нерки взаимосвязи «индекс–улов» отмечены в большинстве случаев. Причем в обоих случаях связи имели комплексный характер взаимодействия. Кроме того, следует отметить, что у всех трех видов заметную роль играли региональные особенности динамики уловов (ТБГ, ЮОГ, СОГ), поэтому наличие достоверных коэффициентов корреляций было дифференцированным для отдельных бассейновых группировок стад.

Исходя из результатов первичной разведки сопряженности связей «индекс–улов», понятно, что воздействие климатических факторов имеет многофакторный характер. В большей степени это выражено для видов с продолжительным периодом морского/океанического нагула — кеты и нерки. Поэтому необходимо моделирование множественных взаимосвязей, которое возможно осуществить с помощью регрессионного анализа. В качестве предикторов, как было отмечено выше, в работу были включены 10 климатических индексов: ALPI,

Таблица 4. Значения коэффициентов корреляции Пирсона (*r*) и доверительная вероятность (*p*), характеризующие взаимосвязь уловов горбуши (тыс. экз.) различных бассейновых группировок стад Дальнего Востока России со среднегодовыми показателями стандартных климатических индексов по данным 1971–2015 гг.
Table 4. The values of the Pearson correlation coefficients (*r*) and confidence probability (*p*), characterizing correlation between the catches of pink salmon (thous. pcs) of different groups of stocks in Russian Far East and the average annual values oof stanfard climate indices on the data for 1971–2015

Класс индексов Class of indices	Индекс Index	Casewise							Pairwise						
		N	ТБГ		ЮОГ		СОГ		*N*	ТБГ		ЮОГ		СОГ	
			r	*p*	*r*	*p*	*r*	*p*		*r*	*p*	*r*	*p*	*r*	*p*
Метеорологические (МИ) Meteo	ALPI	35	0,07	0,698	–0,03	0,875	0,26	0,138	45	–0,04	0,816	–0,18	0,231	0,11	0,481
	AFI		0,05	0,771	0,06	0,718	0,20	0,239	35	0,05	0,771	0,06	0,718	0,20	0,239
	PCI		0,18	0,289	**0,46**	0,005	0,23	0,193	35	0,18	0,289	**0,46**	0,005	0,23	0,193
	PNA		0,13	0,469	0,06	0,749	0,32	0,058	45	0,18	0,237	0,12	0,438	0,21	0,159
	NP		0,07	0,704	0,03	0,855	–0,23	0,185	45	0,06	0,702	0,13	0,384	–0,10	0,529
	AO		0,12	0,487	0,09	0,597	–0,06	0,741	45	0,03	0,854	–0,02	0,888	–0,04	0,793
	WP		0,07	0,678	0,03	0,876	0,07	0,684	45	–0,08	0,585	–0,21	0,172	–0,08	0,617
Океанологические (ОИ) Oceanology	PDO	40	–0,20	0,215	**–0,49**	0,001	–0,27	0,090	45	–0,13	0,409	**–0,37**	0,013	–0,10	0,522
	N.HEMI+dSST		**0,34**	0,034	**0,61**	0,000	**0,31**	0,050	45	**0,34**	0,023	**0,62**	0,000	**0,36**	0,017
	Nino 3.4		–0,05	0,758	–0,06	0,707	–0,04	0,800	45	–0,02	0,889	–0,02	0,910	0,07	0,633
	GLB.Ts+dSST		**0,33**	0,036	**0,62**	0,000	**0,31**	0,053	45	**0,34**	0,023	**0,64**	0,000	**0,34**	0,022
	Ice BS		–0,10	0,523	–0,28	0,081	–0,10	0,522	40	–0,10	0,523	–0,28	0,081	–0,10	0,522
Планетарно-космические (ПКИ) Planetary-cosmic	Solar Flux	41	–0,11	0,503	–0,26	0,100	–0,07	0,649	45	–0,09	0,544	–0,23	0,131	–0,05	0,726
	Ap		**–0,32**	0,043	**–0,54**	0,000	–0,24	0,138	45	**–0,32**	0,034	**–0,52**	0,000	–0,24	0,111
	Sun Spot		–0,15	0,347	–0,30	0,058	–0,10	0,546	45	–0,15	0,327	–0,29	0,054	–0,10	0,521
	LWR		0,20	0,202	**0,33**	0,034	0,14	0,389	41	0,20	0,202	**0,33**	0,034	0,14	0,389
	LOD		–0,17	0,278	**–0,51**	0,001	–0,23	0,154	45	–0,23	0,132	**–0,56**	0,000	**–0,31**	0,039

Примечание. Обозначение климатических индексов и бассейновых региональных группировок стад представлено в разделе «Материал и методика». Методы исключения пропущенных значений: Casewise — для всех рядов наблюдений по минимальному ряду, Pairwise — для отдельных пар рядов наблюдений. Бассейновые группировки стад: ТБГ — Тихоокеанско-Беринговоморская группировка; ЮОГ — Южноохотоморская группировка; СОГ — Североохотоморская группировка. Аналогичные показатели приняты для таблиц 5 и 6.
Note. The symbols of the climatic indices and basin regional groups of stocks are in the part “Material and methods”. Method of omiting missing values: Casewise – for all series of observations on the shortest observation, Pairwise – for individual pairs of onservations. Basin groups of stocks: ТБГ – Pacific Ocean and Bering Sea; ЮОГ – south part of the Sea of Okhotsk; СОГ – north part of the Sea of Okhotsk. Similar symbols in Tables 5 and 6.

Таблица 5. Значения коэффициентов корреляции Пирсона (*r*) и доверительная вероятность (*p*), характеризующие взаимосвязь уловов кеты (тыс. экз.) различных бассейновых группировок стад Дальнего Востока России со среднегодовыми показателями стандартных климатических индексов по данным 1971–2015 гг.
Table 5. The values of the Pearson correlation coefficients (*r*) and confidence probability (*p*), characterizing correlation between the catches (thous. pcs) of chum salmon from different groups of stocks in Russian Far East and the average annual values of standard climatic indices on the data for 1971–2015

Класс индексов Class of indices	Индекс Index	Casewise							Pairwise						
		N	ТБГ		ЮОГ		СОГ		*N*	ТБГ		ЮОГ		СОГ	
			r	*p*	*r*	*p*	*r*	*p*		*r*	*p*	*r*	*p*	*r*	*p*
Метеорологические (МИ) Meteo	ALPI	37	**0,68**	0,000	0,24	0,148	0,28	0,096	45	0,24	0,117	–0,22	0,141	–0,11	0,464
	AFI		**0,68**	0,000	**0,45**	0,005	**0,39**	0,017	37	**0,68**	0,000	**0,45**	0,005	**0,39**	0,017
	PCI		0,25	0,128	**0,52**	0,001	**0,83**	0,000	37	0,25	0,128	**0,52**	0,001	**0,83**	0,000
	PNA		**0,67**	0,000	**0,43**	0,008	**0,46**	0,004	45	**0,38**	0,010	0,16	0,301	**0,34**	0,022
	NP		–0,22	0,195	–0,04	0,813	0,23	0,176	45	–0,02	0,873	0,15	0,331	0,22	0,139
	AO		–0,12	0,472	0,01	0,942	0,20	0,243	45	–0,08	0,605	–0,02	0,913	0,05	0,736
	WP		0,11	0,508	0,08	0,648	–0,18	0,294	45	**–0,36**	0,016	**–0,53**	0,000	**–0,54**	0,000
Океанологические (ОИ) Oceanology	PDO	42	–0,06	0,726	**–0,41**	0,007	–0,26	0,093	45	–0,01	0,937	**–0,36**	0,014	–0,18	0,227
	N.HEMI+dSST		**0,55**	0,000	**0,68**	0,000	**0,81**	0,000	45	**0,56**	0,000	**0,67**	0,000	**0,82**	0,000
	Nino 3.4		–0,02	0,899	–0,07	0,659	0,17	0,296	45	–0,02	0,874	–0,07	0,639	0,18	0,244
	GLB.Ts+dSST		**0,57**	0,000	**0,72**	0,000	**0,82**	0,000	45	**0,58**	0,000	**0,71**	0,000	**0,83**	0,000
	Ice BS		–0,12	0,442	**–0,36**	0,018	–0,25	0,113	42	–0,12	0,442	**–0,36**	0,018	–0,25	0,113
Планетарно-космические (ПКИ) Planetary-cosmic	Solar Flux	41	–0,09	0,571	–0,24	0,126	**–0,35**	0,026	45	–0,10	0,535	–0,24	0,108	**–0,34**	0,023
	Ap		**–0,52**	0,000	**–0,75**	0,000	**–0,76**	0,000	45	**–0,47**	0,001	**–0,72**	0,000	**–0,71**	0,000
	Sun Spot		–0,15	0,360	–0,29	0,068	**–0,34**	0,028	45	–0,19	0,220	**–0,30**	0,042	**–0,37**	0,014
	LWR		0,22	0,160	**0,32**	0,040	0,16	0,325	41	0,22	0,160	**0,32**	0,040	0,16	0,325
	LOD		**–0,47**	0,002	**–0,50**	0,001	**–0,60**	0,000	45	**–0,56**	0,000	**–0,53**	0,000	**–0,65**	0,000

Таблица 6. Значения коэффициентов корреляции Пирсона (*r*) и доверительная вероятность (*p*), характеризующие взаимосвязь уловов нерки (тыс. экз.) различных бассейновых группировок стад Дальнего Востока России со среднегодовыми показателями стандартных климатических индексов по данным 1971–2015 гг.
Table 6. The values of the Pearson correlation coefficients (*r*) and confidence probability (*p*), characterizing correlation between the catche sof sockeye salmon (thous. pcs) of different groups of stock on Russian Far East on the average annual values of standard climate indices on the data for 1971–2015

Класс индексов Class of indices	Индекс Index	Casewise						Pairwise					
			ТБГ		СОГ				ТБГ		СОГ		
		N	*r*	*p*	*r*	p	*N*	r	p	r	p
Метеорологические (МИ) Meteo	ALPI	37	**0,39**	0,016	0,22	0,196	45	–0,07	0,634	–0,07	0,637
	AFI		**0,38**	0,021	**0,41**	0,011	37	**0,38**	0,021	**0,41**	0,011
	PCI		**0,64**	0,000	**0,88**	0,000	37	**0,64**	0,000	**0,88**	0,000
	PNA		**0,52**	0,001	**0,37**	0,023	45	**0,30**	0,049	0,29	0,055
	NP		–0,02	0,904	0,17	0,325	45	0,12	0,428	0,24	0,120
	AO		–0,02	0,910	**0,39**	0,016	45	–0,08	0,582	0,16	0,299
	WP		–0,04	0,792	–0,11	0,530	45	**–0,50**	0,000	**–0,49**	0,001
Океанологические (ОИ) Oceanology	PDO	42	**–0,38**	0,012	**–0,33**	0,034	45	**–0,31**	0,040	–0,26	0,086
	N.HEMI+dSST		**0,76**	0,000	**0,87**	0,000	45	**0,77**	0,000	**0,87**	0,000
	Nino 3.4		0,00	0,998	0,09	0,581	45	0,01	0,938	0,09	0,559
	GLB.Ts+dSST		**0,78**	0,000	**0,88**	0,000	45	**0,78**	0,000	**0,88**	0,000
	Ice BS		–0,29	0,065	–0,13	0,429	42	–0,29	0,065	–0,13	0,429
Планетарно-космические (ПКИ) Planetary-cosmic	Solar Flux	41	**–0,32**	0,043	–0,13	0,420	45	**–0,31**	0,038	–0,13	0,383
	Ap		**–0,81**	0,000	**–0,65**	0,000	45	**–0,77**	0,000	**–0,61**	0,000
	Sun Spot		**–0,35**	0,027	–0,18	0,253	45	**–0,36**	0,014	–0,22	0,153
	LWR		**0,33**	0,034	0,18	0,260	41	**0,33**	0,034	0,18	0,260
	LOD		**–0,53**	0,000	**–0,77**	0,000	45	**–0,58**	0,000	**–0,79**	0,000

PNA, WP, PDO, NP, AO, N.HEMI+dSST, Ap, Sun Spot, LOD. При этом окончательный отбор предикторов осуществляли с учетом как продолжительности рядов наблюдений, так и прямых данных первичного корреляционного анализа. Практически все вышеперечисленные климатические индексы имели воздействие на продуктивность лососей рассматриваемых региональных группировок стад. Исключением был предиктор NP, но, принимая во внимание комплексный характер воздействия климатических факторов, мы также включили данный показатель в общий анализ, так как пошаговый отбор используемых предикторов позволит выявить наиболее активные климатические индексы, комплексно влияющие на продуктивность возвратов тихоокеанских лососей.

Результаты многомерного регрессионного анализа взаимосвязей промысловых уловов тихоокеанских лососей с осредненными многолетними показателями климатических индексов, представлены в таблицах 7–9. Оценки выполнены как для основных бассейновых группировок стад массовых видов лососей, так и для всего дальневосточного комплекса стад.

Горбуша. У данного вида полученные коэффициенты множественной регрессии по всем регионам имели достоверный уровень связи. При этом минимальная сопряженность была отмечена у Североохотоморской группировки (СОГ — R = 0,36) и Тихоокеанско-Беринговоморской группировки (ТБГ — R = 0,38) стад. В первом случае методом пошагового отбора были выделены только два влияющих предиктора (*beta*-коэффициенты) — b_1 (N.HEMI+dSST) = 0,24 и b_2 (Ap) = –0,19, а во втором один — b_1 (N.HEMI+dSST) = 0,36. Наиболее высокая взаимосвязь «индексы – улов горбуши» зафиксирована у Южноохотоморской группировки (ЮОГ — R = 0,75). В данном случае уровень сопряженности определили три предиктора: b_1 (N.HEMI+dSST) = 0,60; b_2 (PDO) = –0,35; b_3 (Sun Spot) = –0,22.

В целом для Дальневосточной группировки стад горбуши (ДВГ) заметно влияние наиболее значимой по численности ЮОГ. Уровень взаимосвязи у ДВГ составил R = 0,74. При этом и отбор воздействующих предикторов оставался одинаковым: b_1 (N.HEMI+dSST) = 0,63; b_2 (PDO) = –0,29; b_3 (Sun Spot) = –0,20.

Для оценки адекватности полученной модели взаимосвязи «индексы – улов горбуши» на уровне

ДВГ был проведен анализ остатков данной множественной регрессии путем оценки нормальности распределения их значений (рис. 5). Известно, что линия регрессии выражает наилучшее предсказание зависимой переменной (Y) по независимым переменным (X). Однако природные процессы редко бывают полностью предсказуемы, поэтому всегда имеется определенный разброс наблюдаемых точек относительно подогнанной прямой. Таким образом, значение отклонения отдельной точки от линии регрессии (от предсказанного значения) называется остатком. Этот показатель является важнейшим критерием оценки адекватности регрессионной модели.

Из представленных графиков видно, что в случае с горбушей основное количество наблюдений остатков близко к нормальному закону распределения. При этом имеются отдельные выраженные точки выброса. В целом это свидетельствует об общей зависимости наблюдений, то есть адекватности модели. Но в реальности необходимо учитывать, что имеющиеся точки выброса остатков говорят о недостаточной устойчивости некоторых значений коэффициентов регрессии (*beta*). В данном случае это статистически незначимый предиктор b_3 (Sun Spot), характеризующий солнечную активность.

Кета. У данного вида полученные результаты многомерного моделирования показали, что для всех бассейновых группировок стад характерны высокие коэффициенты множественной регрессии: ТБГ — $R = 0{,}71$; ЮОГ — $R = 0{,}86$; СОГ — $R = 0{,}93$. Во всех случаях полученные многомерные взаимосвязи были высокодостоверными. Наиболее значимыми для ТБГ кеты были следующие предикторы: b_2 (Ap) = –0,94;

Таблица 7. Результаты многомерного регрессионного моделирования взаимосвязей промысловых уловов горбуши (тыс. экз.) различных бассейновых группировок стад Дальнего Востока России со среднемноголетними годовыми показателями стандартных климатических индексов по данным 1971–2015 гг. (N = 45)
Table 7. Results of multidimention regression simulation of the interactions between pink salmon commercial catches (thous. tons) of different groups of stocks in Russian Far East and the average annual values of standard climate indices on the data for 1971–2015 (N = 45)

Региональная группировка стад Regional group of stocks	**Результаты регрессии Results of regression**						**Общие параметры зависимых переменных General parameters of dependent variables**						
	R	***R²***	***SE***	***F***	***df***	***p***	***Предиктор / Predictor***	***Beta***	***SE (Beta)***	***B***	***SE (B)***	***t***	***p***
ТБГ	**0,38**	0,14	30 394,0	3,50	2,42	<0,05	b_0 (свободный член / free term)			39 130,9	21 663,3	1,81	0,078
							b_1 (N.HEMI+dSST)	0,24	0,17	235,1	162,0	1,45	0,154
							b_2 (Ap)	–0,19	0,17	–1534,9	1304,6	–1,18	0,246
ЮОГ	**0,75**	0,56	25 924,1	17,54	3,41	<0,001	b_0 (свободный член / free term)			45 581,7	8405,3	5,42	<0,001
							b_1 (N.HEMI+dSST)	0,60	0,10	689,6	119,8	5,76	<0,001
							b_2 (PDO)	–0,35	0,10	–17 413,1	5207,6	–3,34	<0,01
							b_3 (Sun Spot)	–0,22	0,10	–125,5	60,6	–2,07	<0,05
СОГ	**0,36**	0,13	22 934,4	6,22	1,43	<0,05	b_0 (свободный член / free term)			10 486,2	5314,9	1,97	0,055
							b_1 (N.HEMI+dSST)	0,36	0,14	263,1	105,5	2,49	<0,05
ДВГ	**0,74**	0,55	46 000,1	16,72	3,41	<0,001	b_0 (свободный член / free term)			79 713,0	14 914,6	5,34	<0,001
							b_1 (N.HEMI+dSST)	0,63	0,11	1266,2	212,5	5,96	<0,001
							b_2 (PDO)	–0,29	0,10	–25 223,9	9240,4	–2,73	<0,01
							b_3 (Sun Spot)	–0,20	0,11	–203,8	107,5	–1,90	0,065

Примечания. Обозначение климатических индексов и бассейновых региональных группировок стад представлено в разделе «Материал и методика». 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_0 — свободный член уравнения, b_1, b_2 ... b_n — коэффициенты уравнения регрессии, *Beta* и B — стандартизированные и нестандартизированные коэффициенты регрессии (веса). Бассейновые группировки стад: ТБГ — Тихоокеанско-Беринговоморская группировка; ЮОГ — Южноохотоморская группировка; СОГ — Североохотоморская группировка; ДВГ — Дальневосточная группировка. Аналогичные показатели приняты для таблиц 8 и 9.
Notes. Description of the symbols of the climate indices and the regional groups of stocks is the part “Material and methods”. Statistical parameters: R – coefficient of multiple regression, R^2 – determination coefficient, SE – standard error, F – values of the F-test, t – Student test values, df – freedom degrees number, p – confidence probability, b_0 – free term of the equation, b_1, b_2 ... b_n – coefficients of the regression equation, *Beta* и B – standardized and non-standardized regression coefficients (weights). Basin stock groups: ТБГ – of the Pacific Ocean and Bering Sea; ЮОГ – of the southern part of the Sea of Okhotsk; СОГ – of the northern part of the Sea of Okhotsk; ДВГ – of Far East. Similar symbols are in Tables 8 and 9.

Таблица 8. Результаты многомерного регрессионного моделирования взаимосвязей промысловых уловов кеты (тыс. экз.) различных бассейновых группировок стад Дальнего Востока России со среднемноголетними годовыми показателями стандартных климатических индексов по данным 1971–2015 гг. (N = 45)
Table 8. Results of mulidimention regression simulating the correlation between the commercial catches of chum salmon (thous. pcs) of different groups of stocks in Russian Far East and the average annual values of standard climate indices on the data for 1971–2015 (N = 45)

Региональная группировка стад Regional group of stocks	Результаты регрессии Results of regression						Общие параметры зависимых переменных General parameters of dependent variables						
	R	***R²***	***SE***	***F***	***df***	***p***	***Предиктор / Predictor***	***Beta***	***SE (Beta)***	***B***	***SE (B)***	***t***	***p***
ТБГ	**0,71**	0,51	1228,3	6,53	6,38	<0,001	b_0 (свободный член / free term)			7712,5	1887,7	4,09	<0,001
							b_1 (N.HEMI+dSST)	–0,13	0,23	–6,9	11,9	–0,58	0,564
							b_2 (Ap)	–0,94	0,30	–434,0	136,7	–3,17	<0,01
							b_3 (ALPI)	0,59	0,19	819,6	255,4	3,21	<0,01
							b_4 (AO)	0,43	0,20	2983,0	1378,7	2,16	<0,05
							b_5 (WP)	–0,24	0,13	–1820,9	986,4	–1,85	0,073
							b_6 (Sun Spot)	0,28	0,16	8,3	4,8	1,72	0,093
ЮОГ	**0,86**	0,74	3736,0	22,18	5,39	<0,001	b_0 (свободный член / free term)			45 057,6	16 500,7	2,73	<0,01
							b_1 (Ap)	–0,90	0,11	–1767,0	221,4	–7,98	<0,001
							b_2 (WP)	–0,33	0,09	–10 831,6	2820,1	–3,84	<0,001
							b_3 (AO)	0,34	0,11	9917,1	3164,4	3,13	<0,001
							b_4 (Sun Spot)	0,22	0,11	27,2	13,7	1,99	0,054
							b_5 (NP)	–0,12	0,11	–1376,5	1212,0	–1,14	0,263
СОГ	**0,93**	0,86	1230,9	32,79	7,37	<0,001	b_0 (свободный член / free term)			4328,0	2376,5	1,82	0,077
							b_1 (N.HEMI+dSST)	0,76	0,18	73,2	17,3	4,23	<0,001
							b_2 (Ap)	–0,44	0,12	–377,3	104,9	–3,60	<0,001
							b_3 (WP)	–0,21	0,07	–2942,5	1003,0	–2,93	<0,001
							b_4 (LOD)	0,26	0,16	926,7	586,2	1,58	0,122
							b_5 (AO)	0,10	0,10	1310,3	1344,4	0,97	0,336
							b_6 (PDO)	0,24	0,12	1215,0	583,3	2,08	<0,05
							b_7 (ALPI)	–0,19	0,14	–487,2	368,8	–1,32	0,195
ДВГ	**0,88**	0,77	5501,2	26,585	5,39	<0,001	b_0 (свободный член / free term)			33 557,2	5905,0	5,68	<0,001
							b_1 (N.HEMI+dSST)	0,27	0,11	91,8	37,9	2,42	<0,05
							b_2 (Ap)	–0,67	0,14	–2053,6	421,2	–4,88	<0,001
							b_3 (WP)	–0,27	0,08	–13 920,1	4318,8	–3,22	<0,01
							b_4 (AO)	0,19	0,09	8683,6	4193,8	2,07	<0,05
							b_5 (Sun Spot)	0,16	0,10	31,1	20,0	1,56	0,128

Таблица 9. Результаты многомерного регрессионного моделирования взаимосвязей промысловых уловов нерки (тыс. экз.) различных бассейновых группировок стад Дальнего Востока России со среднемноголетними годовыми показателями стандартных климатических индексов по данным 1971–2015 гг. (N = 45)
Table 9. Results of multidimention regression sinulating the correlation between the commercial catches of sockeye salmon (thous. pcs) of different groups of stocks in Russian Far East and average annual values of standard climate indices on the data for 1971–2015 (N = 45)

Региональная группировка стад Regional group of stocks	Результаты регрессии Results of regression						Общие параметры зависимых переменных General parameters of dependent variables						
	R	***R²***	***SE***	***F***	***df***	***p***	***Предиктор / Predictor***	***Beta***	***SE (Beta)***	***B***	***SE (B)***	***t***	***p***
ТБГ	**0,91**	0,82	773,2	45,67	4,40	<0,001	b_0 (свободный член / free term)			1510,0	1175,8	1,28	0,206
							b_1 (Ap)	–0,42	0,08	–207,8	41,1	–5,05	<0,001
							b_2 (N.HEMI+dSST)	0,85	0,17	46,7	9,6	4,87	<0,001
							b_3 (WP)	–0,21	0,07	–1710,2	603,1	–2,84	<0,01
							b_4 (LOD)	0,44	0,16	911,7	329,5	2,77	<0,01
СОГ	**0,92**	0,85	1458,9	30,93	7,37	<0,001	b_0 (свободный член / free term)			10 393,0	3160,2	3,29	<0,01
							b_1 (N.HEMI+dSST)	0,27	0,21	29,6	23,0	1,29	0,205
							b_2 (ALPI)	–0,03	0,10	–85,0	307,4	–0,28	0,784
							b_3 (WP)	–0,17	0,07	–2796,7	1174,8	–2,38	<0,05
							b_4 (LOD)	–0,32	0,17	–1339,7	691,1	–1,94	0,060
							b_5 (Ap)	–0,46	0,17	–454,5	166,4	–2,73	<0,05
							b_6 (AO)	0,25	0,11	3728,3	1649,9	2,26	<0,05
							b_7 (Sun Spot)	0,16	0,09	10,3	5,9	1,76	0,087
ДВГ	**0,93**	0,86	2009,8	40,21	6,38	<0,001	b_0 (свободный член / free term)			10 285,8	2383,3	4,32	<0,001
							b_1 (N.HEMI+dSST)	0,59	0,12	94,6	19,5	4,85	<0,001
							b_2 (Ap)	–0,44	0,12	–634,6	166,6	–3,81	<0,001
							b_3 (PNA)	–0,07	0,09	–2087,7	2868,5	–0,73	0,471
							b_4 (WP)	–0,17	0,07	–4144,2	1718,6	–2,41	<0,05
							b_5 (AO)	0,15	0,09	3151,0	1908,1	1,65	0,107
							b_6 (Sun Spot)	0,11	0,08	9,6	7,5	1,27	0,211

b_3 (ALPI) = 0,59; b_4 (AO) = 0,43. У ЮОГ также определяющими были три климатических индекса: b_1 (Ap) = –0,90; b_2 (WP) = –0,33; b_3 (AO) = 0,34. В СОГ количество активных предикторов было несколько выше: b_1 (N.HEMI+dSST) = 0,76; b_2 (Ap) = –0,44; b_3 (WP) = –0,21; b_6 (PDO) = 0,24. Исходя из имеющихся данных, можно отметить существующую определенную стабильность наличия влияющих климатических факторов для всех бассейновых группировок кеты. Тем не менее имеются и региональные особенности, связанные с условиями раннего морского и дальнейшего океанического нагула.

В целом для Дальневосточного региона также характерен высокий и достоверный коэффициент множественной регрессии: R = 0,88. Методом пошагового отбора в качестве предикторов были определены следующие климатические индексы: b_1 (N.HEMI+dSST) = 0,27; b_2 (Ap) = –0,67; b_3 (WP) = –0,27; b_4 (AO) = 0,19; b_5 (Sun Spot) = 0,16. При этом статистически недостоверной была взаимосвязь только с индексом Sun Spot.

Анализ остатков регрессионной модели «индексы – улов кеты» для ДВГ показал, что в целом распределение их значений было очень близко к ожидаемому нормальному (рис. 6). Это говорит об адекватности полученной модели. Тем не менее на графике вероятностного распределения заметны отдельные точки выброса. Это указывает на то,

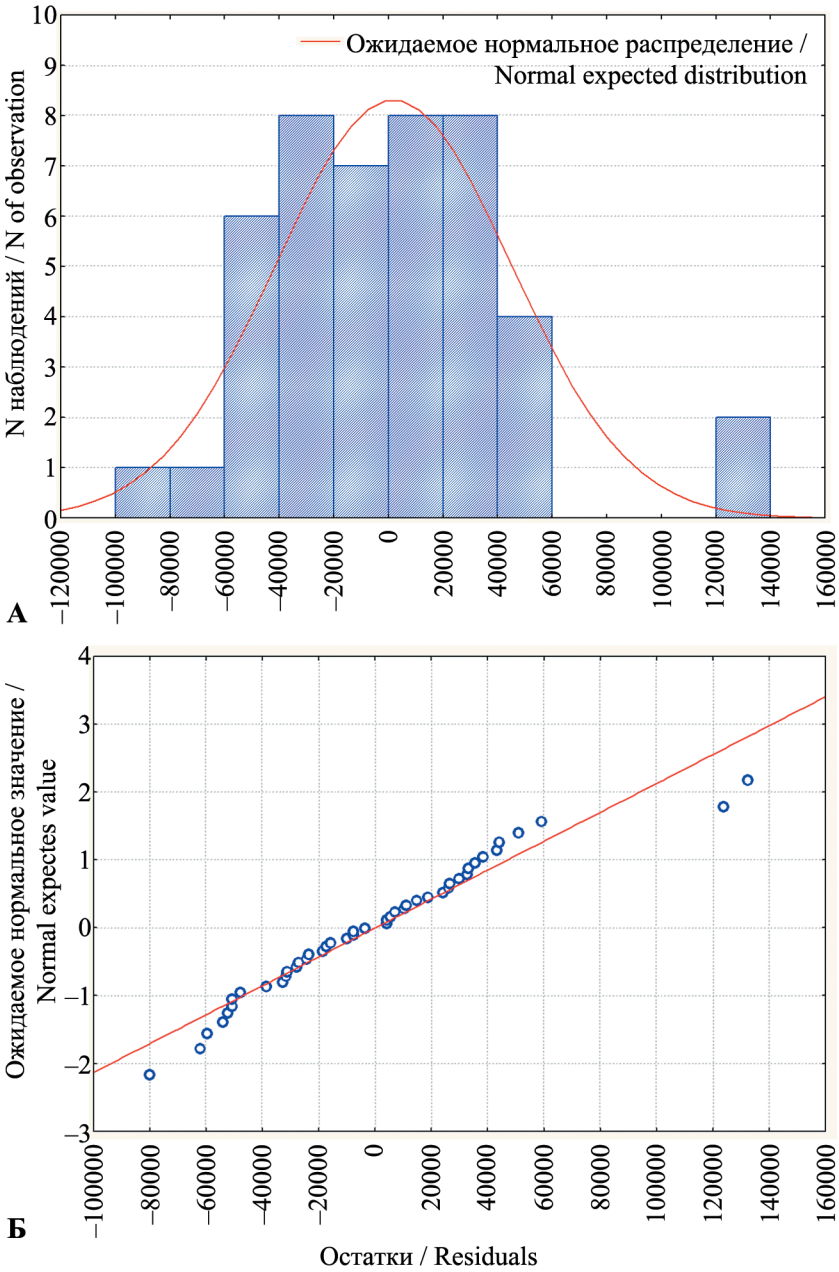


Рис. 5. Анализ остатков модели множественной регрессии взаимосвязи уловов горбуши (тыс. экз.) различных бассейновых группировок стад Дальнего Востока России с климатическими индексами (N.HEMI+dSST, PDO, Sun Spot) в 1971–2015: А — гистограмма нормального распределения остатков; Б — график нормального вероятностного распределения остатков

Fig. 5. Analysis of the residuals of the multiple regression model of the corelation between the catches of pink salmon (thous. pcs) of different groups of stocks in Russian Far East and the climate indices (N.HEMI+dSST, PDO, Sun Spot) in 1971–2015: A – the histogramme of the normal distribution of the residuals; Б – the graph of the normal probability distribution of the residuals

что часть компонентов регрессионной модели может быть неустойчива. В первую очередь это может относиться к статистически незначимым *beta*-коэффициентам.

Нерка. У данного вида на уровне бассейновых региональных группировок получены очень высокие коэффициенты множественной регрессии: ТБГ (R = 0,91) и СОГ (R = 0,92). Статистически значимыми в ТБГ определены все активные предикторы: b_1 (Ap) = –0,42; b_2 (N.HEMI+dSST) = 0,85; b_3 (WP) = –0,21; b_4 (LOD) = 0,44. В СОГ многофакторное взаимодействие заметно отличалось. В данном случае активными можно считать лишь три предиктора: b_3 (WP) = –0,17; b_5 (Ap) = –0,46; b_6 (AO) = 0,25. По сути, у СОГ только порядка 40% предикторов образовывали достоверные связи «индексы – улов нерки». При этом общий набор предикторов, определяющих сопряженность многомерного взаимодействия для данной бассейновой группировки стад, был максимален (7) по сравнению со всеми другими видами лососей.

В целом для ДВГ нерки показатель коэффициента множественной регрессии также был весьма высок: R = 0,93. В качестве базовых компонент в данном случае определены шесть климатических индексов: b_1 (N.HEMI+dSST) = 0,59; b_2 (Ap) = –0,44; b_3 (PNA) = –0,07; b_4 (WP) = –0,17; b_5 (AO) = 0,15; b_6 (Sun Spot) = 0,11. Статистически значимыми из них были лишь три предиктора.

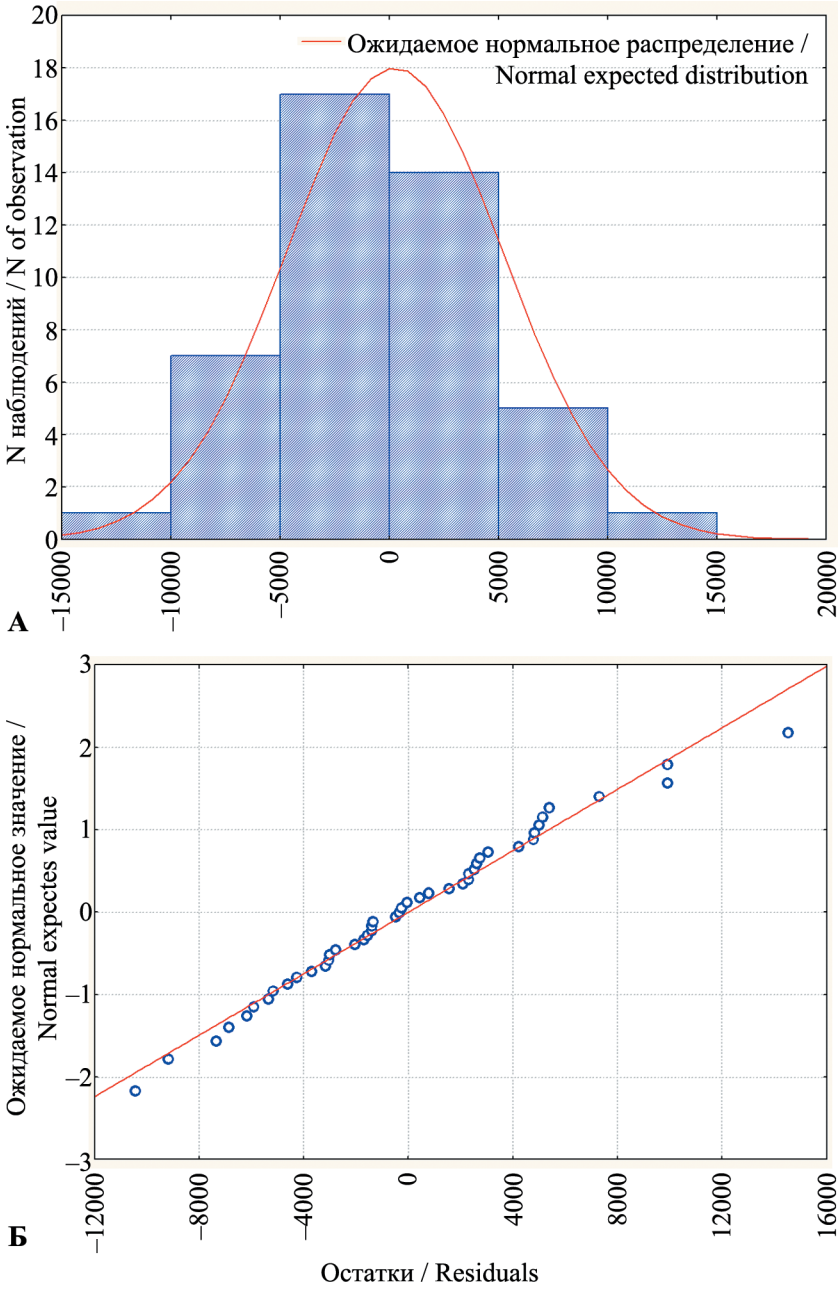


Рис. 6. Анализ остатков модели множественной регрессии взаимосвязи уловов кеты (тыс. экз.) различных бассейновых группировок стад Дальнего Востока России с климатическими индексами (N.HEMI+dSST, PDO, Sun Spot) в 1971–2015: А — гистограмма нормального распределения остатков; Б — график нормального вероятностного распределения остатков

Fig. 6. Analysis of the residuals of the model of multiple regression of the correlation between the catches of chum salmon (thous. pcs) from different groups of stocks of Russian Far East and the climate indices (N.HEMI+dSST, PDO, Sun Spot) in 1971–2015: A – the histogramme of the normal distribution of the residuals; Б – the graph of the normal probability distribution of the residuals

Анализ остатков регрессионной модели «индексы – улов нерки» для ДВГ показал, что основной блок их значений был близок к ожидаемому нормальному распределению (рис. 7). При этом следует отметить, что имеют место четкие выбросы остатков модели. Это говорит о необходимости регулирования количества предикторов. В основном речь идет о статистически незначимых *beta*-коэффициентах.

В качестве показательной демонстрации, характеризующей взаимосвязь «индексы – уловы тихоокеанских лососей» для Дальневосточной группировки стад, были построены трехмерные регрессионные модели с использованием наиболее активных климатических индексов, которые отобрали по результатам многомерного моделирования, проведенного для трех массовых видов (рис. 8). Исходя из представленных графиков, видно, что редукция числа предикторов, определенных методом пошагового отбора при построении регрессии, мало отразилась на уровне взаимосвязи. Полученные коэффициенты регрессий остались достаточно высокими и статистически достоверными: горбуша — R = 0,71; кета — R = 0,83; нерка — R = 0,89. Это говорит о том, что существуют наиболее значимые климатические факторы, максимально влияющие на динамику уловов тихоокеанских лососей. По сути, их отбор и есть базовый принцип изучения воздействия климатической изменчивости как непосредственно на этот

вид биоресурсов, так и на любые другие биологические объекты.

Подводя итоги для данного раздела настоящей работы, подчеркнем, что представленные регрессионные модели для оценки сопряженности климатической изменчивости и продуктивности тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке России, разумеется, не отражают всей сложности и многофакторности процесса. В данном случае представлены некоторые базовые векторы, характеризующие эти взаимосвязи. Из основных выявленных закономерностей следует отметить относительно низкую сопряженность взаимодействия климатических факторов на продуктивность горбуши. Кета и нерка, наоборот, отличаются высокой степенью многофакторной взаимосвязи «индексы–уловы». Наиболее вероятно, что это связано с продолжительностью морского/океанического периода жизни этих видов. Понятно, что горбуша, как вид с коротким морским нагулом (с момента откочевки в открытые воды и до возврата к нерестовым водоемам), значительно меньше подвержена комплексному влиянию метеорологических, океанологических и планетарно-космических факторов. Как показывают результаты исследований камчатской горбуши, наибольшее влияние климатические факторы оказывают на ее выживаемость во время нереста (Фельдман, Шевляков, 2015). Результаты настоящих исследований показывают, что в морской/океанический период жизни определяющим критерием для формирования продукционных показателей горбуши является глобаль-

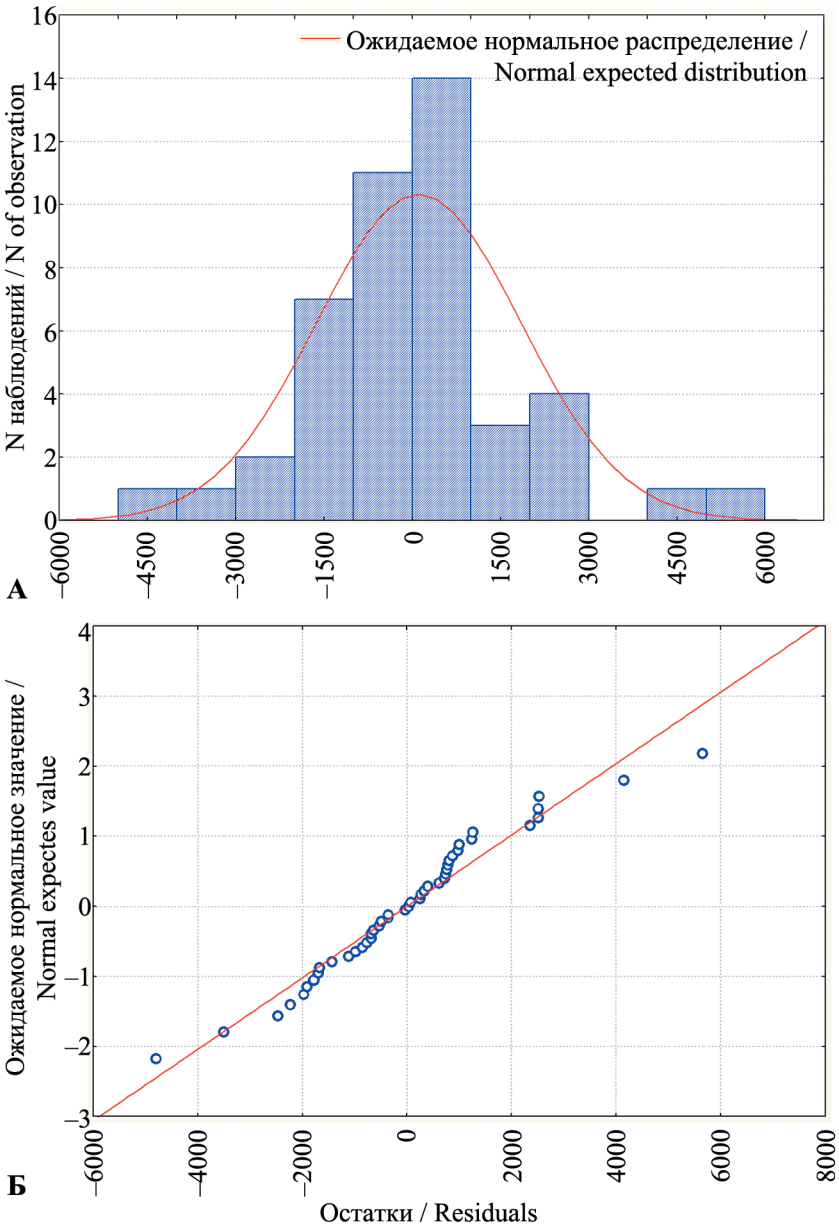
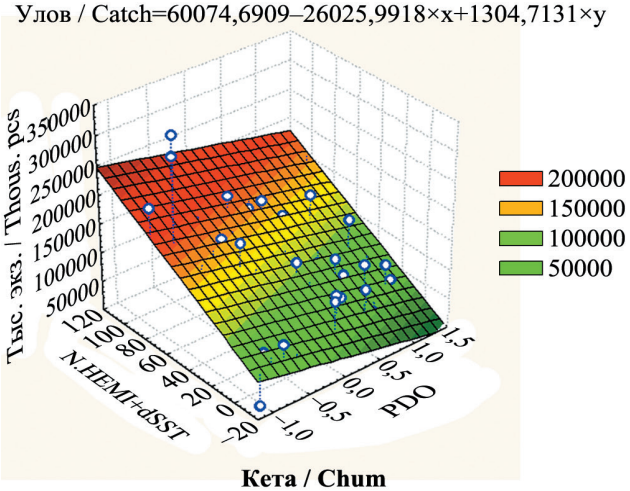


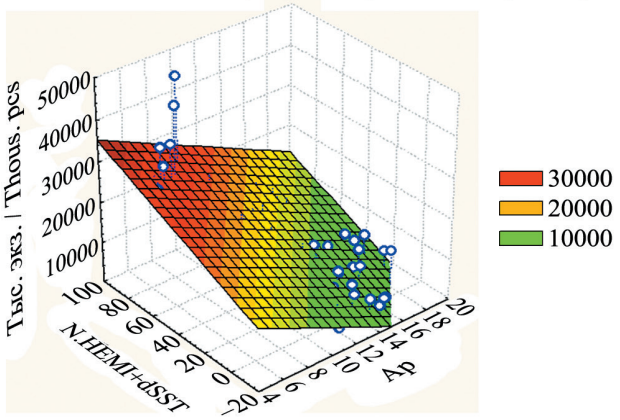
Рис. 7. Анализ остатков модели множественной регрессии взаимосвязи уловов нерки (тыс. экз.) различных бассейновых группировок стад Дальнего Востока России с климатическими индексами (N.HEMI+dSST, PDO, Sun Spot) в 1971–2015: А — гистограмма нормального распределения остатков; Б — график нормального вероятностного распределения остатков

Fig. 7. Analysis of the residuals of the model of multiple regression of the correlation between the catches of sockeye salmon (thous. pcs) from different groups of stocks of Russian Far East and the climate indices (N.HEMI+dSST, PDO, Sun Spot) in 1971–2015: A – the histogramme of the normal distribution of the residuals; Б – the graph of the normal probability distribution of the residuals

Горбуша / Pink salmon
R(z/xy)=0,71; p<0,001
Улов / Catch=60074,6909–26025,9918×x+1304,7131×y



Кета / Chum
R(z/xy)=0,83; p<0,001
Улов / Catch=24420,8987–1409,0411×x+165,4636×y



Нерка / Sockeye
R(z/xy)=0,89; p<0,001
Улов / Catch=7123,4917–411,9615×x+113,1945×y

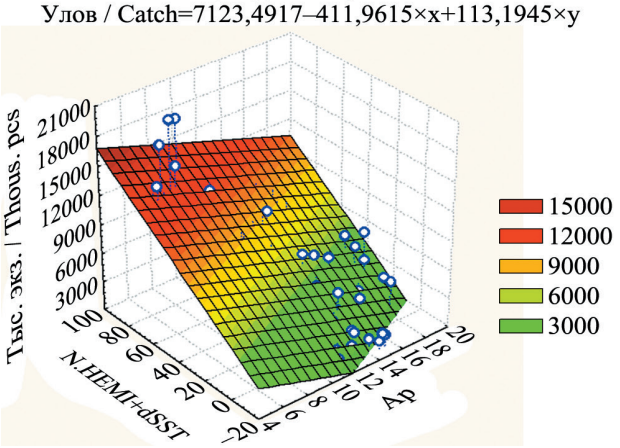


Рис. 8. Трехмерные графики регрессионных моделей, характеризующих взаимосвязи уловов тихоокеанских лососей Дальнего Востока России с наиболее активными климатическими индексами, отобранными методом пошагового отбора по данным 1971–2015 гг.
Fig. 8. Three-dimentional graphs of regression models, characterizing correlationa between the catches of Pacific salmon of Russian Far East and the most active climate indices, selected by the method of forward stepwise on the data for 1971–2015

ная температурная аномалия (N.HEMI+dSST — северное полушарие Земли, GLB.Ts+dSST — вся Земля). Именно данный климатический фактор влияет на терморежим вод в районах откочевки и нагульных миграций этого вида. Аналогичная зависимость «температурная аномалия – уловы» наблюдается и для дальневосточной кеты и нерки. Ранее уже был опубликован ряд работ, в которых отражены данные тенденции для массовых видов дальневосточных лососей (Котенев и др., 2010, 2015; Кровнин и др., 2010; Бугаев, Тепнин, 2011). Тем не менее для кеты и нерки продолжительность морского/океанического периода жизни от 3 до 5 лет обуславливает определенные возможности и для развития многофакторного климатического воздействия на процесс формирования продукционных показателей этих рыб.

Оценка зонального влияния аномалий температуры поверхности морских/океанских вод (аТПО) в период осенней откочевки и 1-го зимнего нагула молоди тихоокеанских лососей на продуктивность возвратов их производителей

Принимая во внимание показанное значение влияния температурной глобальной аномалии на формирование потенциальной продуктивности тихоокеанских лососей Дальнего Востока России, нами была предпринята попытка оценить данную взаимосвязь с позиции зонального принципа миграционной активности в период морского/океанического нагула молоди в акваториях Охотского и Берингова морей, а также в Субарктической зоне Тихого океана. Ранее аналогичные исследования в этом направлении были выполнены практически для всей акватории Субарктической зоны Тихого океана и Берингова моря для азиатских и североамериканских стад тихоокеанских лососей (Бугаев, Тепнин, 2015; Bugaev et al., 2016). На том этапе исследований оценка взаимосвязи пространственного распределения аномалий температуры воды поверхности океана (аТПО) с величиной уловов лососей была не связана с конкретными особенностями миграционной активности континентальных группировок стад лососей на ранних этапах осеннего и зимнего нагула. Предполагалось, что из-за комплексной взаимосвязи динамики вод северной части Тихого океана и Берингова моря влияние распределения аТПО на продуктивность рыб может иметь глобальный характер для двух

континентальных группировок стад. В принципе, на этом уровне ряд закономерностей был выделен. Прежде всего, наличие статистически значимых взаимосвязей «аТПО–уловы» для массовых видов лососей в Субарктической зоне Тихого океана, а также отсутствие таковых в открытых водах Берингова моря.

В связи с этим предлагаемые результаты исследований уже получены с учетом закономерностей пространственного распределения и миграций дальневосточных лососей во время осенней откочевки и зимнего нагула молоди. В настоящее время, благодаря многочисленным отечественным и зарубежным исследователям (Бирман, 1985; Атлас распространения.., 2002; Шунтов, Темных, 2008, 2011; Godfrey et al., 1975; French et al., 1976; Neave et al., 1976; Major et al., 1978; Takagi et al., 1981; Myers et al., 1993, 1996; и др.), достаточно хорошо известны общие принципы миграций лососей бассейновых группировок стад в дальневосточных морях и прилегающих тихоокеанских водах, а также пространственные границы их распространения на восток в приалеутских открытых водах Тихого океана.

Полученные результаты корреляционного анализа взаимосвязи аТПО с промысловыми уловами тихоокеанских лососей Дальнего Востока России представлены в таблице 10 и на рисунках 9–14.

Горбуша. В период осенней откочевки молоди (сентябрь–ноябрь) в открытые воды у данного вида наиболее высокая положительная связь «аТПО–улов» отмечена для Южноохотоморской группировки стад (ЮОГ) в зонах (картографических трапециях) центральной и южной части Охотского моря, а также в прикурильских водах Тихого океана. Коэффициенты корреляций Пирсона (r) в данном районе варьируют от 0,52 до 0,70. Учитывая опосредованное и многофакторное влияние температуры на среду обитания рыб, данные показатели взаимосвязи можно считать очень значимыми. Причем наличие взаимосвязи в квадрате № 22 (см. рис. 1) также соответствует логике миграций рыб ЮОГ, которые поднимаются до 55–56° с. ш., достигая вод юго-западного побережья Камчатки (Чистякова, Бугаев, 2013, 2016). Возможно, именно фактор высокой численности, а также разнообразие популяционного состава скоплений молоди горбуши в южной части Охотского моря являются определяющими для повышенной реакции на выживаемость рыб данной группировки стад при воздействии температурного фактора в период откочевки в открытые воды.

Для Североохотоморской группировки стад (СОГ) горбуши в осенний период миграций подобного влияния аТПО на продуктивность возвратов не зафиксировано ($r \leq 0{,}20$). Возможно, это связано с тем, что продукционные показатели горбуши Западной Камчатки и МП Охотского моря формируются от условий среды в прибрежных зонах сразу после ската молоди. В случае с западнокамчатскими стадами об этом неоднократно указывалось специалистами КамчатНИРО (Карпенко, 1998; Koval et al., 2011). В прибрежной зоне Североохотоморского побережья специалисты МагаданНИРО связывают выживаемость горбуши после ската из рек с ледовой обстановкой во внутренних морских водных объектах (Тауйская губа, залив Шелихова и др.) (Волобуев, Рогатных, 1997; Волобуев, Марченко, 2011).

Для Тихоокеанско-Беринговоморской группировки стад (ТБГ) горбуши получены умеренные коэффициенты корреляций взаимосвязи «аТПО–улов» в водах Северо-Восточной (r = 0,33) и Юго-Восточной (r = 0,26) Камчатки, а также Северных Курильских о-вов (r = 0,38). Это также свидетельствует о наличии влияния температурного фактора на формирование продуктивности восточнокамчатской горбуши. Однако, как и в случае с СОГ, именно от абиотических и биотических условий среды во внутренних морских водных объектах (заливы: Олюторский, Карагинский, Камчатский, Авачинский и др.) зависит выживаемость горбуши данного комплекса стад. Исследования камчатских специалистов подтверждают данную закономерность (Карпенко, 1998).

В целом для периода осенней откочевки можно считать, что температура воды в отдельных случаях может быть использована в качестве индикатора потенциальной выживаемости дальневосточной горбуши. В первую очередь, речь идет о Южноохотоморской группировке стад. В других случаях необходимы исследования термических условий вод на уровне прибрежно-эстуарных комплексов.

В период зимнего нагула (декабрь–февраль) известно, что основная часть молоди (как горбуши, так и других видов тихоокеанских лососей) мигрирует в приалеутские воды северной части Тихого океана. При этом часть молоди лососей охотоморских стад остается на зимовку в акватории

Таблица 10. Результаты корреляционного анализа взаимосвязей промысловых уловов тихоокеанских лососей (тыс. экз.) различных бассейновых группировок стад Дальнего Востока России с показателями аномалий температуры поверхности воды в бассейне Северной Пацифики (Охотское море, западная часть Берингова моря, субарктическая зона северной части Тихого океана) по данным спутникового мониторинга 1982–2015 гг.

Table 10. Results of correlation analysis of the commercial catches of Pacific salmon (thous. pcs) from different groups of stocks in Russian Far East and the values of the sea surface temperature anomalies in the North Pacific Ocean basin (the Sea of Okhotsk, the western part of the Bering Sea, subartic zone of the Northern Pacific Ocean) on the satellite monitoring data 1982–2015

Сезон Season	**N квадрата N of square**	**Горбуша / Pink salmon** (N ряда = 33)						**Кета / Chum salmon** (N ряда = 30)						**Нерка / Sockeye salmon** (N ряда = 31)			
		ТБГ		**ЮОГ**		**СОГ**		**ТБГ**		**ЮОГ**		**СОГ**		**ТБГ**		**СОГ**	
		r	***p***	***r***	***p***	***r***	***p***	***r***	***p***	***r***	***p***	***r***	***p***	***r***	***p***	***r***	***p***
Осень Autumn	1	–	–	0,52	*0,002*	0,09	*0,621*	–	–	0,39	*0,032*	0,33	*0,072*	–	–	0,50	*0,004*
	2	–	–	0,55	*0,001*	0,15	*0,408*	–	–	0,44	*0,016*	0,34	*0,063*	–	–	0,53	*0,002*
	11	–	–	0,70	*0,000*	0,22	*0,229*	–	–	0,60	*0,000*	0,57	*0,001*	–	–	0,64	*0,000*
	12	0,38	*0,031*	0,69	*0,000*	0,20	*0,268*	0,28	*0,135*	0,43	*0,017*	0,44	*0,015*	0,60	*0,000*	0,42	*0,019*
	21	–	–	0,60	*0,000*	–0,01	*0,969*	–	–	0,39	*0,033*	0,41	*0,025*	–	–	0,48	*0,006*
	22	–	–	0,55	*0,001*	0,09	*0,627*	–	–	0,40	*0,027*	0,41	*0,025*	–	–	0,45	*0,011*
	23	0,26	*0,151*	–	–	–	–	0,29	*0,123*	–	–	–	–	0,39	*0,031*	–	–
	30	–	–	0,07	*0,703*	0,02	*0,918*	–	–	0,03	*0,867*	0,11	*0,552*	–	–	0,08	*0,673*
	31	–	–	0,26	*0,144*	0,18	*0,307*	–	–	0,25	*0,184*	0,37	*0,042*	–	–	0,31	*0,087*
	32	0,33	*0,058*	–	–	–	–	0,44	*0,015*	–	–	–	–	0,46	*0,010*	–	–
	33	0,26	*0,150*	–	–	–	–	0,47	*0,009*	–	–	–	–	0,38	*0,035*	–	–
	39	0,06	*0,752*	–	–	–	–	0,25	*0,178*	–	–	–	–	0,12	*0,523*	–	–
Зима Winter	1	–	–	0,12	*0,493*	0,12	*0,514*	–	–	–0,03	*0,889*	0,15	*0,423*	–	–	0,01	*0,973*
	2	0,16	*0,367*	0,18	*0,320*	0,36	*0,038*	0,30	*0,102*	0,35	*0,056*	0,48	*0,008*	0,42	*0,018*	0,33	*0,074*
	3	–0,05	*0,770*	0,05	*0,791*	0,41	*0,018*	0,22	*0,245*	0,16	*0,390*	0,27	*0,149*	0,35	*0,055*	0,16	*0,403*
	4	0,06	*0,748*	0,23	*0,207*	0,38	*0,029*	0,25	*0,181*	0,29	*0,118*	0,41	*0,025*	0,48	*0,006*	0,24	*0,196*
	5	0,06	*0,732*	0,27	*0,127*	0,20	*0,276*	0,18	*0,335*	0,21	*0,259*	0,37	*0,042*	0,44	*0,012*	0,18	*0,332*
	6	–	–	–	–	–	–	0,10	*0,585*	0,14	*0,475*	0,29	*0,125*	0,34	*0,065*	0,11	*0,561*
	7	–	–	–	–	–	–	0,04	*0,837*	0,09	*0,654*	0,17	*0,375*	0,21	*0,256*	0,05	*0,770*
	8	–	–	–	–	–	–	–0,08	*0,679*	–0,08	*0,679*	0,03	*0,860*	–0,01	*0,971*	–0,12	*0,536*
	11	–	–	0,28	*0,111*	0,16	*0,367*	–	–	0,37	*0,042*	0,49	*0,006*	–	–	0,33	*0,073*
	12	0,11	*0,553*	0,07	*0,684*	0,24	*0,175*	0,28	*0,128*	0,21	*0,262*	0,27	*0,152*	0,33	*0,067*	0,10	*0,584*
	13	0,02	*0,891*	0,11	*0,551*	0,34	*0,053*	0,32	*0,090*	0,31	*0,096*	0,39	*0,034*	0,40	*0,025*	0,19	*0,297*
	14	0,00	*0,989*	0,12	*0,521*	0,35	*0,046*	0,27	*0,151*	0,22	*0,245*	0,30	*0,103*	0,37	*0,041*	0,14	*0,442*
	15	0,04	*0,817*	0,08	*0,662*	0,32	*0,067*	0,23	*0,223*	0,10	*0,614*	0,16	*0,406*	0,32	*0,078*	0,00	*0,983*
	16	–	–	–	–	–	–	0,06	*0,740*	–0,11	*0,578*	0,01	*0,954*	0,16	*0,376*	–0,19	*0,306*
	17	–	–	–	–	–	–	–0,08	*0,666*	–0,19	*0,312*	–0,08	*0,688*	–0,05	*0,786*	–0,33	*0,072*
	18	–	–	–	–	–	–	–0,13	*0,502*	–0,22	*0,242*	–0,15	*0,443*	–0,21	*0,248*	–0,33	*0,072*
	21	–	–	0,18	*0,318*	0,05	*0,782*	–	–	0,39	*0,033*	0,40	*0,029*	–	–	0,36	*0,046*
	22	–	–	–0,09	*0,611*	0,23	*0,191*	–	–	0,15	*0,421*	0,14	*0,474*	–	–	0,01	*0,937*
	23	–0,02	*0,905*	–0,16	*0,375*	0,28	*0,115*	0,23	*0,223*	0,02	*0,911*	0,04	*0,851*	0,16	*0,381*	–0,14	*0,460*
	24	–0,13	*0,459*	–0,17	*0,346*	0,31	*0,079*	0,22	*0,241*	0,00	*10,000*	0,07	*0,699*	0,09	*0,615*	–0,18	*0,321*
	25	–0,18	*0,322*	–0,35	*0,046*	0,19	*0,296*	0,05	*0,800*	–0,23	*0,225*	–0,20	*0,292*	–0,27	*0,149*	–0,40	*0,025*
	26	–	–	–	–	–	–	–0,03	*0,894*	–0,24	*0,195*	–0,24	*0,211*	–0,33	*0,072*	–0,43	*0,017*
	27	–	–	–	–	–	–	–0,20	*0,299*	–0,41	*0,024*	–0,39	*0,033*	–0,50	*0,004*	–0,58	*0,001*
	28	–	–	–	–	–	–	–0,19	*0,319*	–0,32	*0,081*	–0,33	*0,076*	–0,48	*0,007*	–0,44	*0,012*

Охотского моря (Радченко и др., 1991; Шунтов, Темных, 2008, 2011). Поэтому в работе обозначенный район зимовки лососей охотоморского комплекса стад включает акваторию Охотского моря. Соответственно, в Субарктической зоне северной части Тихого океана границы зимовки (в восточной части бассейна) дальневосточных стад лососей, как отмечено выше, определены на основе данных многолетних исследований отечественных и зарубежных специалистов.

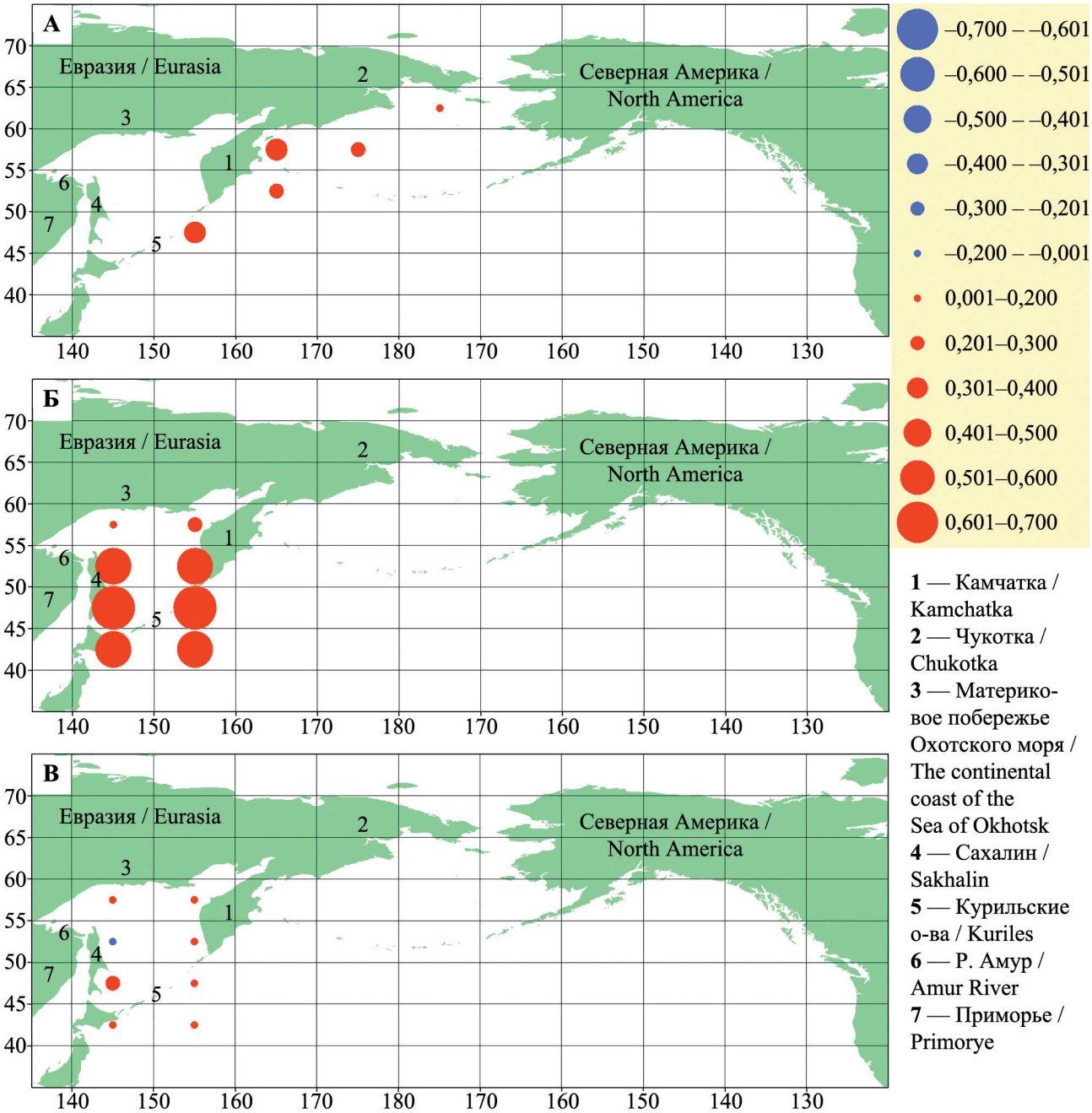


Рис. 9. Распределение значений коэффициентов корреляций Пирсона (*r*), отражающих взаимосвязь величин промысловых уловов горбуши (тыс. экз.) различных бассейновых группировок стад Дальнего Востока России (учитывается массовый возраст поколений производителей — 0.1) с показателями аномалий температуры поверхности воды (aSST), полученными в период осенней откочевки молоди (сентябрь–ноябрь) на 1-м году морского и океанического нагула в западной части бассейна Северной Пацифики по данным 1982–2015 гг.: А — Тихоокеанско-Беринговоморская группировка, Б — Южноохотоморская группировка, В — Североохотоморская группировка

Fig. 9. The distribution of the values of Pearson correlation coefficients (*r*), reflecting correlation between the commercial catches of pink salmon (thous. pcs) from different groups of stocks in Russian Far East (the mass age of spawning generation being 0.1) and the values of the sea surface temperature anomalies (aSST), revealed during the juvenile fall emigration (September–November) in the 1-st year of life at sea and feeding in the western part of the Pacific Ocean basin on the data for данным 1982–2015: A – the Pacific-Bering Sea group, Б – the South Okhotsk Sea group, B – the North Okhotsk Sea group

Исходя из полученных результатов, следует, что для ТБГ и ЮОГ горбуши практически отсутствует связь «аТПО–улов», так как максимальные коэффициенты корреляций (*r*) не превышают порог 0,2–0,3, а остальные близки к 0. Наиболее четко прослеживаемая зависимость была отмечена только для СОГ. В этом случае максимальная связь прослеживалась на уровне *r* = 0,3–04. Причем активная зона реакции была достаточно однородна для субарктических вод Тихого океана, что

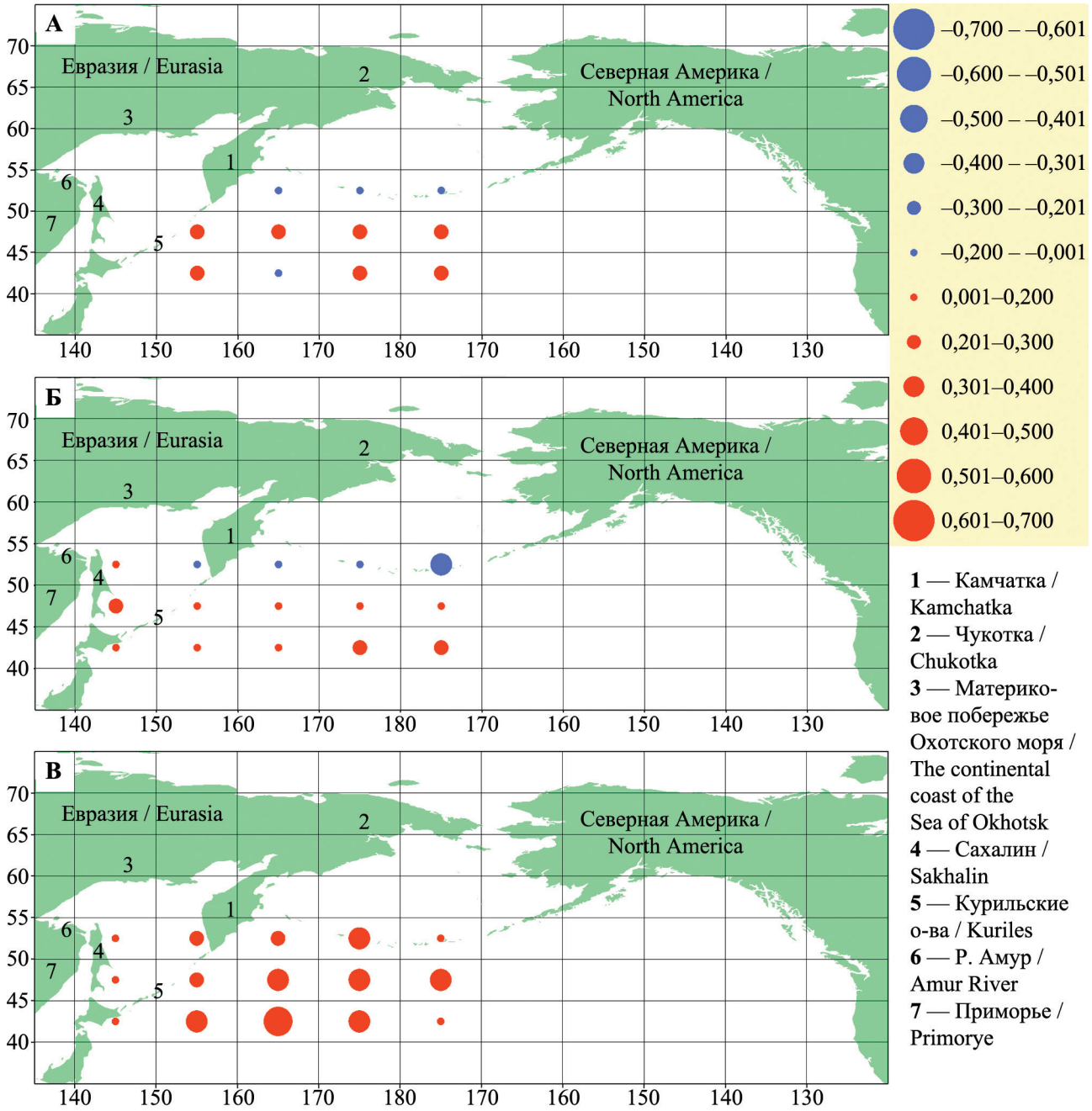


Рис. 10. Распределение значений коэффициентов корреляций Пирсона (*r*), отражающих взаимосвязь величин промысловых уловов горбуши (тыс. экз.) различных бассейновых группировок стад Дальнего Востока России (учитывается массовый возраст поколений производителей — 0.1) с показателями аномалий температуры поверхности воды (aSST), полученными в период зимних миграций молоди (декабрь–февраль) на 1-м году морского и океанического нагула в бассейне Северной Пацифики по данным 1982–2015 гг.: А — Тихоокеанско-Беринговоморская группировка, Б — Южноохотоморская группировка, В — Североохотоморская группировка
Fig. 10. The distribution of the values of Pearson correlation coefficients (*r*), reflecting correlation between the commercial catches of pink salmon (thous. pcs) from different groups of stocks in Russian Far East (the mass age of spawning generation being 0.1) and the values of the sea surface temperature anomalies (aSST), revealed during the juvenile fall emigration (December–February) in the 1-st year of life at sea and feeding in the western part of the Pacific Ocean basin on the data for данным 1982–2015: A – the Pacific-Bering Sea group, Б – the South Okhotsk Sea group, B – the North Okhotsk Sea group

указывает на неслучайный характер взаимодействия. В водах Охотского моря у рыб СОГ полученные значения корреляций были близки к 0.

Ранее было принято считать, что зимний период морского/океанического нагула тихоокеанских лососей также является критическим для формирования их продуктивности (Бирман, 1985; Pacific salmon life histories, 1991). Как правило, это связывали с обеднением кормовой базы и понижением температуры воды в районах зимовальных

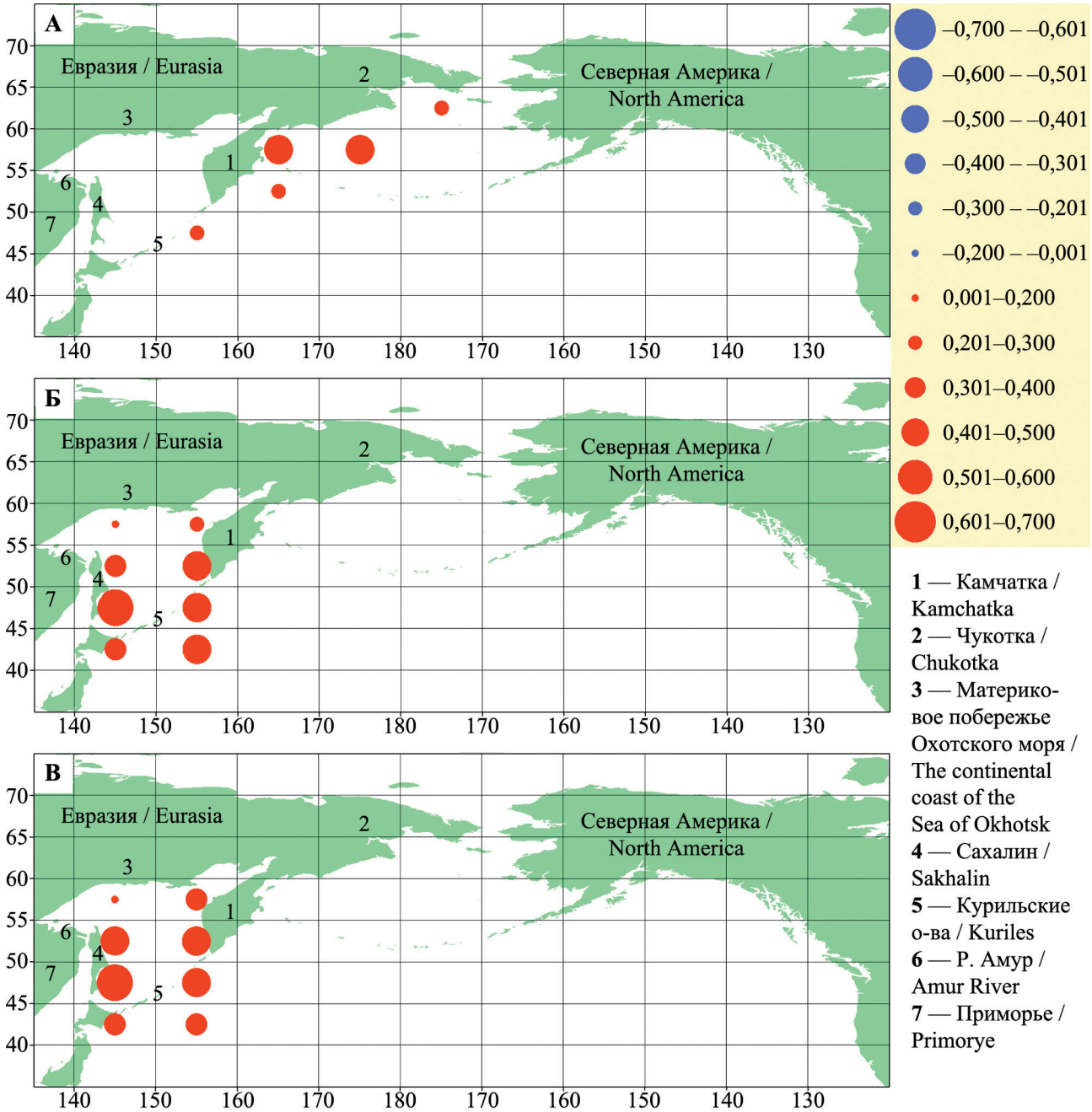


Рис. 11. Распределение значений коэффициентов корреляций Пирсона (*r*), отражающих взаимосвязь величин промысловых уловов кеты (тыс. экз.) различных бассейновых группировок стад Дальнего Востока России (учитывается массовый возраст поколений производителей — 0.3 и 0.4) с показателями аномалий температуры поверхности воды (aSST), полученными в период осенней откочевки молоди (сентябрь–ноябрь) на 1-м году морского и океанического нагула в западной части бассейна Северной Пацифики по данным 1982–2015 гг.: А — Тихоокеанско-Беринговоморская группировка, Б — Южноохотоморская группировка, В — Североохотоморская группировка

Fig. 11. The distribution of the values of Pearson correlation coefficients (*r*), reflecting correlation between the commercial catches of chum salmon (thous. pcs) from different groups of stocks in Russian Far East (the mass ages of spawning generation being 0.3 and 0.4) and the values of the sea surface temperature anomalies (aSST), revealed during the juvenile fall emigration (September–November) in the 1-st year of life at sea and feeding in the western part of the Pacific Ocean basin on the data for данным 1982–2015: A – the Pacific-Bering Sea group, Б – the South Okhotsk Sea group, B – the North Okhotsk Sea group

миграций лососей (Цейтлин и др., 1994; Mackas, Tsuda, 1999; Nagasawa, 2000b; и др.). Особенно это считалось актуальным для 1-го года морского/океанического нагула молоди лососей.

С альтернативным мнением выступили специалисты ТИНРО-Центра, которые проводили многолетние исследования тихоокеанских лососей на основе данных масштабных учетных траловых

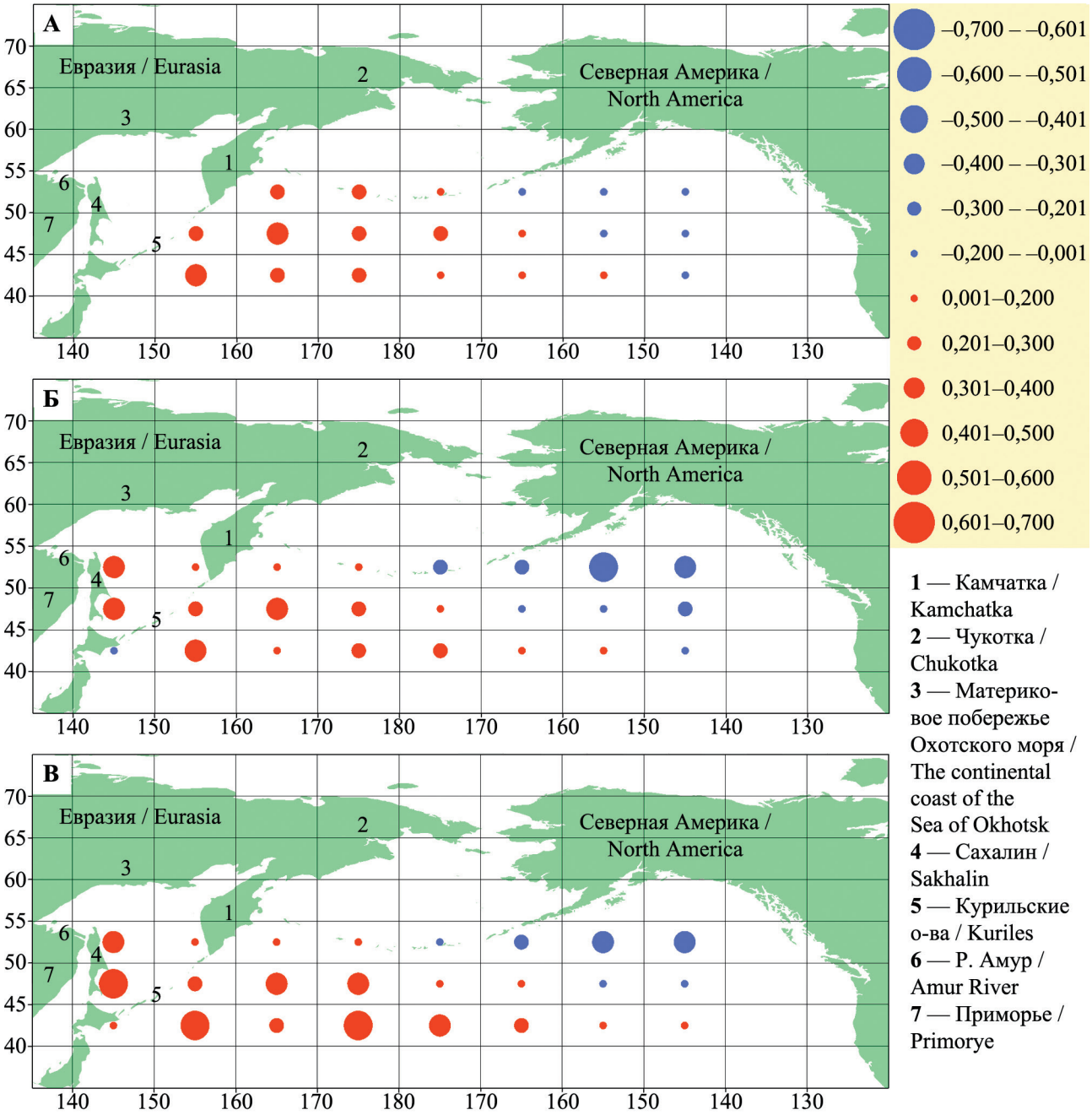
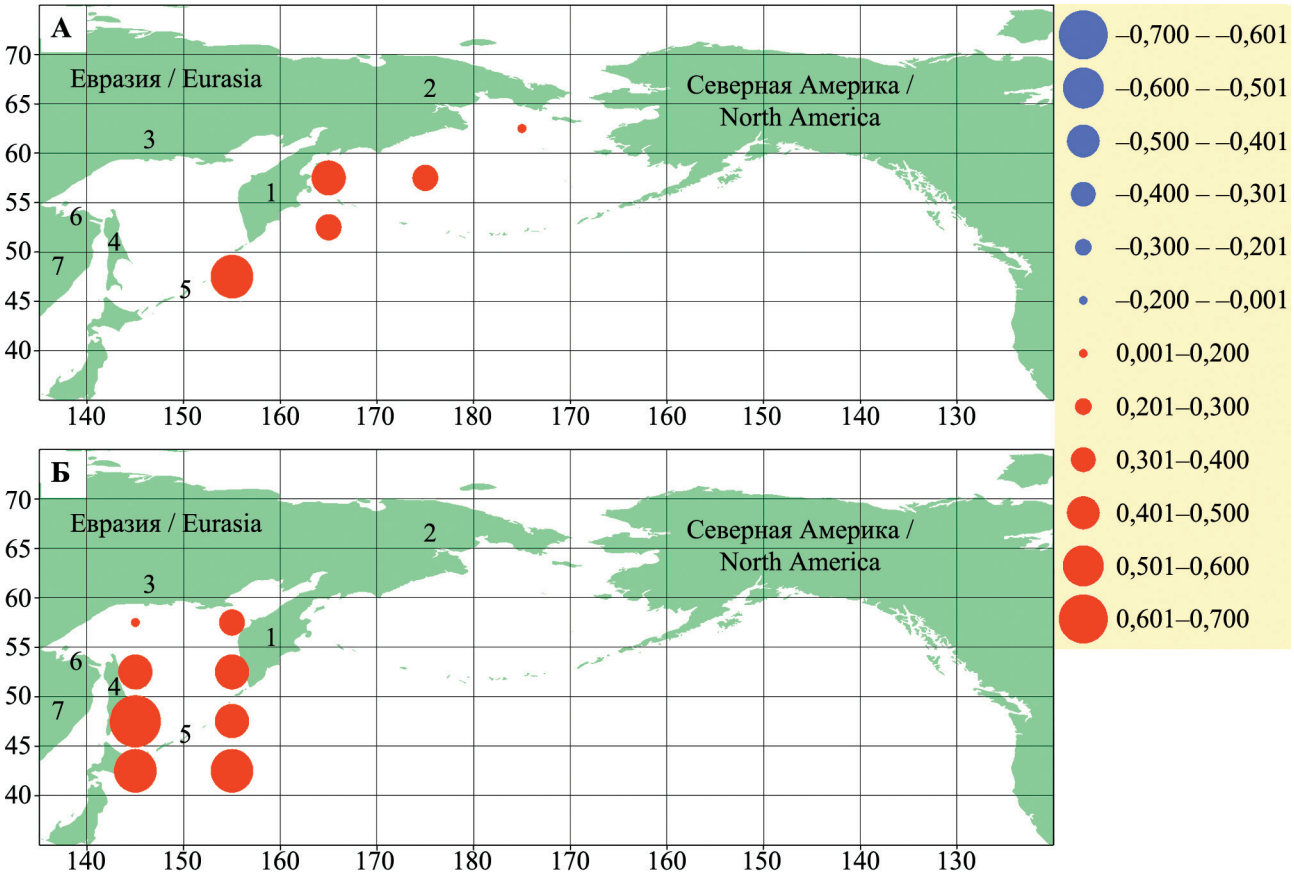


Рис. 12. Распределение значений коэффициентов корреляций Пирсона (*r*), отражающих взаимосвязь величин промысловых уловов кеты (тыс. экз.) различных бассейновых группировок стад Дальнего Востока России (учитывается массовый возраст поколений производителей — 0.3 и 0.4) с показателями аномалий температуры поверхности воды (aSST), полученными в период зимних миграций молоди (декабрь–февраль) на 1-м году морского и океанического нагула в бассейне Северной Пацифики по данным 1982–2015 гг.: А — Тихоокеанско-Беринговоморская группировка, Б — Южноохотоморская группировка, В — Североохотоморская группировка
Fig. 12. The distribution of the values of Pearson correlation coefficients (*r*), reflecting correlation between the commercial catches of chum salmon (thous. pcs) from different groups of stocks in Russian Far East (the mass ages of spawning generation being 0.3 and 0.4) and the values of the sea surface temperature anomalies (aSST), revealed during the juvenile fall emigration (December–February) in the 1-st year of life at sea and feeding in the western part of the Pacific Ocean basin on the data for данным 1982–2015: A – the Pacific-Bering Sea group, Б – the South Okhotsk Sea group, B – the North Okhotsk Sea group

съемок в северо-западной части Тихого океана в 1980–2010-е гг. Они показали, что период зимнего нагула не является критическим для выживания молоди (Шунтов, Темных, 2008, 2011; Naydenko et al., 2016). Основным аргументом для такого утверждения была переоценка уровня кормовой базы в это время года, которая, по мнению специалистов ТИНРО-Центра, остается вполне достаточной для поддержания современной (высокой) численности тихоокеанских лососей.

Принимая во внимание полученные нами данные, можно согласиться с мнением специалистов ТИНРО-Центра, что терморежим вод в зимний период в целом не оказывает значительного влияния на выживание молоди горбуши в 1-й год морского/океанического нагула, так как коэффициенты корреляций для ТБГ и ЮОГ оказались относительно низкими. Тем не менее, по-видимому, существуют определенные эндогенные факторы, влияющие на взаимосвязь «аТПО–улов» на уровне региональных комплексов стад. Примером может служить наличие устойчивых умеренных связей в период зимовальных миграций горбуши СОГ в водах Субарктического фронта Тихого океана.

Кроме того, аналогичная положительная взаимосвязь была ранее отмечена в целом для континентальной группировки стад азиатской горбуши (Бугаев, Тепнин, 2015; Bugaev et al., 2016). Коэф-



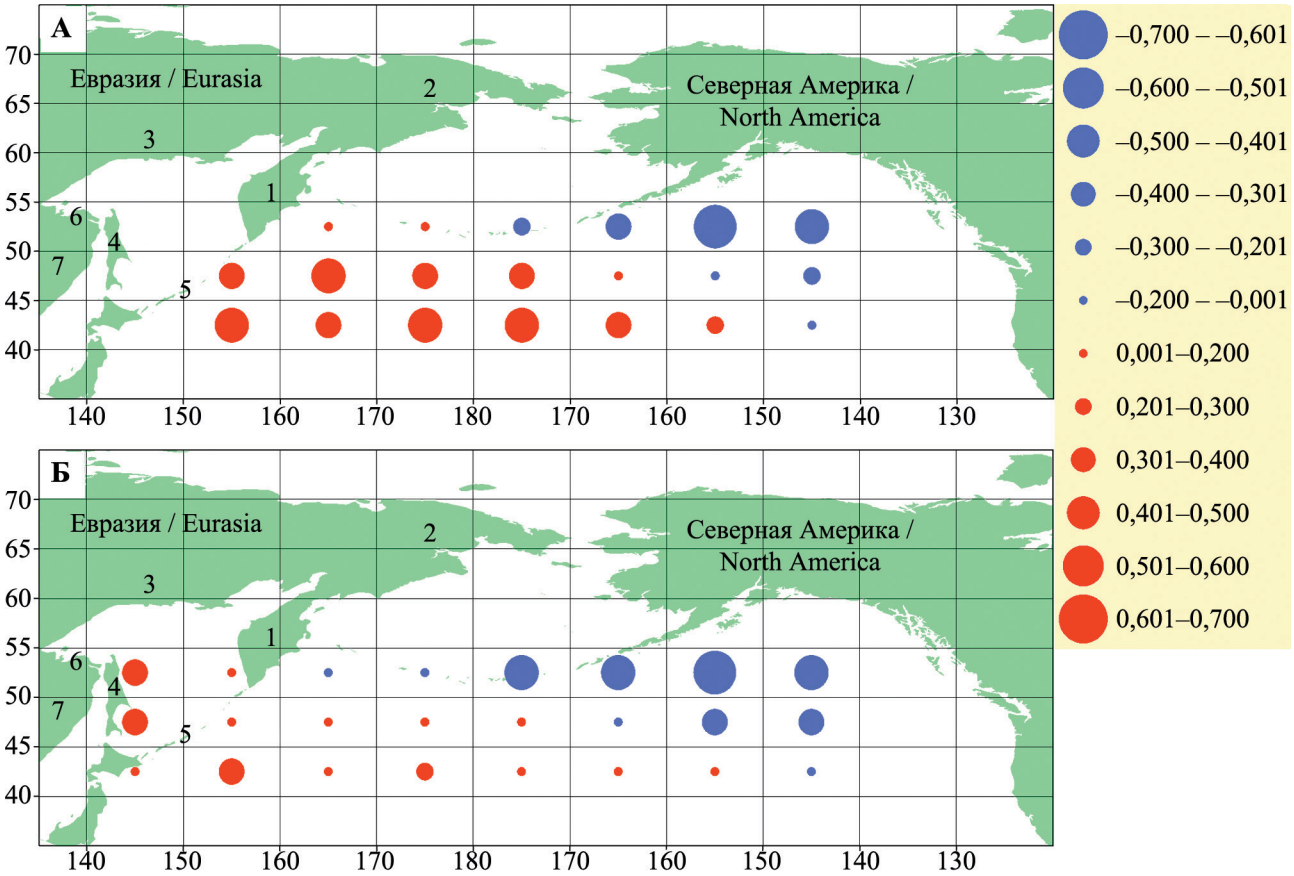
1 — Камчатка / Kamchatka; **2** — Чукотка / Chukotka; **3** — Материковое побережье Охотского моря / The continental coast of the Sea of Okhotsk; **4** — Сахалин / Sakhalin; **5** — Курильские о-ва / Kuriles; **6** — Р. Амур / Amur River; **7** — Приморье / Primorye

Рис. 13. Распределение значений коэффициентов корреляций Пирсона (*r*), отражающих взаимосвязь величин промысловых уловов нерки (тыс. экз.) различных бассейновых группировок стад Дальнего Востока России (учитывается массовый возраст поколений производителей — n.2 и n.3) с показателями аномалий температуры поверхности воды (aSST), полученными в период осенней откочевки молоди (сентябрь–ноябрь) на 1-м году морского и океанического нагула в западной части бассейна Северной Пацифики по данным 1982–2015 гг.: А — Тихоокеанско-Беринговоморская группировка, Б — Североохотоморская группировка
Fig. 13. The distribution of the values of Pearson correlation coefficients (*r*), reflecting correlation between the commercial catches of sockeye salmon (thous. pcs) from different groups of stocks in Russian Far East (the mass ages of spawning generation being n.3 and n.4) and the values of the sea surface temperature anomalies (aSST), revealed during the juvenile fall emigration (September–November) in the 1-st year of life at sea and feeding in the western part of the Pacific Ocean basin on the data for данным 1982–2015: А – the Pacific-Bering Sea group, Б – the South Okhotsk Sea group, В – the North Okhotsk Sea group

фициенты корреляций в этом случае были достаточно высоки и статистически значимы: r = 0,4 – 0,6. Не исключено, что имеет место принцип глобального влияния аномалий температуры воды на выживаемость горбуши азиатских стад. При этом непосредственно для отдельных региональных группировок стад могут большое значение играть именно эндогенные факторы формирования динамики численности.

Отметим, что в 2010-е гг. специалистами ВНИРО был выполнен ряд работ по изучению влияния аномалий температуры поверхности воды в Северной Пацифике на величину уловов дальневосточной горбуши (Кляшторин, Любушин, 2005; Котенев и др., 2010, 2015; Кровнин и др., 2010; Ванюшин и др., 2015). В настоящее время это направление исследований получает все более широкое развитие в связи с необходимостью создания прогностической базы для оценки динамики запасов данного вида.

Кета. Полученные результаты корреляционного анализа показали, что для формирования численности поколений производителей кеты в возрасте 0.3 и 0.4 (скользящее среднее для основных возрастных группы созревания) заметное влияние имеет аномальность температурного режима вод в период осенней откочевки молоди в Охотском (центральная и южная части) и Беринговом (западная



1 — Камчатка / Kamchatka; **2** — Чукотка / Chukotka; **3** — Материковое побережье Охотского моря / The continental coast of the Sea of Okhotsk; **4** — Сахалин / Sakhalin; **5** — Курильские о-ва / Kuriles; **6** — Р. Амур / Amur River; **7** — Приморье / Primorye

Рис. 14. Распределение значений коэффициентов корреляций Пирсона (*r*), отражающих взаимосвязь величин промысловых уловов нерки (тыс. экз.) различных бассейновых группировок стад Дальнего Востока России (учитывается массовый возраст поколений производителей — n.2 и n.3) с показателями аномалий температуры поверхности воды (aSST), полученными в период зимних миграций молоди (декабрь–февраль) на 1-м году морского и океанического нагула в бассейне Северной Пацифики по данным 1982–2015 гг.: А — Тихоокеанско-Беринговоморская группировка, Б — Североохотоморская группировка

Fig. 14. The distribution of the values of Pearson correlation coefficients (*r*), reflecting correlation between the commercial catches of sockeye salmon (thous. pcs) from different groups of stocks in Russian Far East (the mass ages of spawning generation being n.2 and n.3) and the values of the sea surface temperature anomalies (aSST), revealed during the juvenile fall migration (December–February) in the 1-st year of life at sea and feeding in the western part of the Pacific Ocean basin on the data for данным 1982–2015: A – the Pacific-Bering Sea group, Б – the South Okhotsk Sea group, B – the North Okhotsk Sea group

часть) морях, а также прикурильских водах Тихого океана. Уровень взаимосвязи во всех районах варьировал в пределах r = 0,4–0,6. Как уже отмечалось, подобный показатель для прямой взаимосвязи «индекс–улов» весьма высок, учитывая опосредованный механизм их взаимодействия.

В зимний период связи для отдельных региональных группировок кеты были несколько ниже. У стад ТБГ корреляции в основном прослеживались только на уровне r = 0,2–0,3, что говорит о слабом влиянии аТПО на выживаемость молоди кеты на данном этапе океанического нагула. У охотоморских группировок стад (ЮОГ и СОГ) взаимодействие «аТПО–улов» было выражено заметно сильнее. У ЮОГ максимальные коэффициенты корреляций колебались на уровне r = 0,3–0,4, а у СОГ — r = 0,4–0,5. При этом в обоих случаях отмечена достоверная взаимосвязь «аТПО–улов» в Охотском море, что косвенно указывает на присутствие в его бассейне значимых скоплений молоди данных комплексов стад в зимний период. В восточной части Субарктической зоны Тихого океана значения корреляций для всех региональных группировок стад кеты уменьшаются и приобретают отрицательный характер.

Сходная тенденция была отмечена в целом и для азиатского комплекса стад кеты, когда коэффициенты корреляций связей «аТПО–улов» по мере удаления от побережья Дальнего Востока России и Японии уменьшались и меняли знак (Бугаев, Тепнин, 2015; Bugaev et al., 2016). Следует отметить, что у кеты, как вида с продолжительным периодом морского/океанического нагула, влияние температурных аномалий в зимний период для региональных группировок стад выражено заметно сильнее, чем у горбуши. Разумеется, речь не идет о прямой зависимости высокого уровня значимости. Тем не менее как индикатор положительной или отрицательной реакции аТПО — вполне показательный предиктор для понимания закономерностей потенциального формирования численности кеты на Дальнем Востоке России.

Нерка. По аналогии с другими массовыми видами тихоокеанских лососей, у нерки наблюдался высокий уровень корреляции «аТПО–улов» в период осенней откочевки молоди в открытые воды Охотского и Берингова морей, а также в прикурильские воды Тихого океана. В данном случае речь идет о связи с показателями скользящего среднего для двух доминирующих поколений производителей с морским возрастом n.2 и n.3. Уровень коэффициентов корреляций варьировал в пределах r = 0,4–0,7. Наиболее высокие значения корреляций были получены для СОГ.

В зимний период максимальные положительные связи «аТПО–улов» были получены для ТБГ нерки в зоне Субарктического фронта западной и центральной частей Тихого океана: r = 0,3–0,6. Единый характер распределения полей значений коэффициентов корреляций указывает на достоверный характер данной закономерности. В случае с СОГ нерки положительное влияние аТПО на динамику многолетних уловов практически не прослеживалось. При этом у нерки ТБГ и СОГ, как и у кеты, был отмечен отрицательный тренд взаимосвязи «аТПО–улов» в Субарктической зоне Тихого океана по мере удаления от азиатского побережья. При этом максимальные значения коэффициентов корреляций были достаточно высоки: r = –0,4…–0,6.

Подводя итоги данного раздела работы, обозначим основные закономерности влияния аномалий температуры поверхности океана на продуктивность массовых видов тихоокеанских лососей Дальнего Востока России:

1) Максимальная корреляция «аТПО–уловы» отмечена у всех видов в период осенней откочевки в открытые воды. Наиболее высокий уровень связей отмечен для бассейна Охотского моря и прилегающих прикурильских вод Тихого океана: r = 0,4–0,7. В западной части Берингова моря и прилегающих тихоокеанских водах уровень взаимосвязи колебался в пределах r = 0,3–0,5. Наиболее стабильное воздействие температурного фактора проявлялось только для двух видов — кеты и нерки. У горбуши отсутствие связи было отмечено в Охотском море для СОГ.

2) В период зимнего нагула уровень взаимосвязи «аТПО–уловы» был заметно ниже, по сравнению с осенним периодом. Наиболее высокие показатели связи были отмечены в зоне Субарктического фронта Тихого океана у СОГ горбуши и кеты: r = 0,3–0,5. У нерки ТБГ зафиксированы наиболее высокие корреляции в этом регионе: r = 0,3–0,6. По мере удаления от азиатского побережья связи для всех видов принимают отрицательный характер. Особенно четко это прослеживается у нерки.

3) Различия взаимосвязи «аТПО–уловы» на межрегиональном уровне указывают на наличие

не только экологических, но и эндогенных факторов, определяющих формирование динамики численности тихоокеанских лососей в основных центрах воспроизводства на Дальнем Востоке России. Особенно это актуально для горбуши. Не исключено, что решающую роль в этом играет короткий жизненный цикл вида, в результате чего формирование основных продукционных показателей у части региональных группировок стад осуществляется на самом раннем этапе морского периода жизни в прибрежной зоне до массовой откочевки в открытые воды.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный анализ влияния климатической изменчивости на промысловые уловы тихоокеанских лососей позволил определить ряд основных факторов, воздействующих на продуктивность базовых бассейновых группировок стад Дальнего Востока России. Все полученные результаты показали наличие достоверных взаимосвязей.

У горбуши отмечены наиболее низкие уровни связи продуктивности с показателями климатической изменчивости: ТБГ — R = 0,38; ЮОГ — R = 0,75; СОГ — R = 0,36; ДВГ (Дальневосточная группировка) — R = 0,74. Общее количество воздействующих индексов-индикаторов было минимальным по сравнению с другими видами тихоокеанских лососей. В целом по суммарным данным для ДВГ горбуши всего выделено три индекса: N.HEMI+dSST, PDO и Sun Spot.

У кеты зафиксированы умеренно-высокие уровни связи продуктивности с показателями климатической изменчивости: ТБГ — R = 0,71; ЮОГ — R = 0,86; СОГ — R = 0,93; ДВГ — R = 0,88. Полученные регрессионные модели включали практически весь набор имеющихся индексов-индикаторов: ТБГ — 6, ЮОГ — 5, СОГ — 7. По суммарным данным для ДВГ выделено пять индексов: N.HEMI+dSST, Ap, WP, AO и Sun Spot. Подобный уровень пошагового включения большого количества индексов указывает на комплексный характер воздействия климатических факторов на продуктивность кеты Дальневосточного бассейна.

У нерки наблюдались наиболее сильные уровни связи продуктивности с показателями климатической изменчивости: ТБГ — R = 0,91; СОГ — R = 0,92; ДВГ — R = 0,93. Как и в случае с кетой, полученные регрессионные модели включали широкий набор определенных индексов-индикаторов: ТБГ — 4, СОГ — 7. По суммарным данным для ДВГ выделено шесть индексов: N.HEMI+dSST, Ap, PNA, WP, AO и Sun Spot. Это также свидетельствует о высоком уровне реагирования численности нерки на комплексное воздействие климатических факторов.

Принимая во внимание стабильное и значимое влияние индекса глобальной температурной аномалии Северного полушария (N.HEMI+dSST) на продуктивность всех массовых видов тихоокеанских лососей, были построены карты-схемы распределения значений коэффициентов корреляций Пирсона (r), отражающие взаимосвязь величин промысловых уловов различных бассейновых группировок стад на Дальнем Востоке России с показателями аномалий температуры поверхности воды (аТПО), полученными в период осенней откочевки (сентябрь–ноябрь) и зимнего нагула (декабрь–февраль) молоди на 1-м году морского/океанического периода в бассейне Северной Пацифики.

В результате было определено зональное наличие связи величины уловов тихоокеанских лососей с аномалиями температуры воды в акватории осенне-зимнего нагула в бассейне Северной Пацифики. Для охотоморских группировок стад (ЮОГ и СОГ) наибольшая взаимосвязь «аТПО–уловы» была отмечена в центральной и южной частях Охотского моря, а также в прилегающих прикурильских водах Тихого океана. Максимальные уровни коэффициентов корреляций здесь варьировали следующим образом: горбуша — r = 0,5–0,7; кета и нерка — r = 0,4–0,7. У лососей ТБГ наиболее значимые связи были получены в западной части Берингова моря: горбуша — r = 0,2–0,4; кета — r = 0,4–0,5; нерка — r = 0,3–0,5.

В период зимнего нагула влияние температурного фактора на продуктивность лососей было заметно ниже. Наибольшая зависимость наблюдалась в Субарктической зоне Северной Пацифики у нерки восточнокамчатской группировки стад (ТБГ) — r = 0,4–0,5, а также у кеты СОГ — r = 0,3–0,5.

Отметим, что все выявленные заметные закономерности взаимосвязи «аТПО–уловы» во время осенней откочевки молоди лососей имели положительный характер. В период зимнего нагула наблюдались разнонаправленные тенденции. Отрицательный характер связи приобретали по мере удаления от азиатского побережья. Различия взаимосвязи «аТПО–уловы» на уровне бассейновых группировок

стад лососей, по-видимому, определялись не только экологическими, но и эндогенными факторами.

Следует учитывать, что в условиях многофакторного воздействия климата на водную среду, а также наличия разнообразных эндогенных факторов, влияющих на продуктивность отдельных популяций или видов, нельзя прогнозировать динамику численности любых видов животных, опираясь только на ограниченный набор факторов среды. Представленный в работе оценочный принцип ориентирован на выявление многомерной реакции наиболее значимых климатических факторов, которые могут выступать в качестве индикаторов потенциальной изменчивости продукционных показателей тихоокеанских лососей. Полученная информация может помочь в поиске дополнительных предикторов при построении и интерпретации прогностических моделей типа «родители–потомство».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Атлас распространения в море основных стад тихоокеанских лососей в период весенне-летнего нагула и преднерестовых миграций / Под ред. О.Ф. Гриценко. 2002. М.: ВНИРО. 190 с.

Бирман И.Б. 1985. Морской период жизни и вопросы динамики численности стада тихоокеанских лососей. М.: Агропромиздат. 208 с.

Бугаев А.В. 2017. Оценка влияния численности стад и глобальной температурной аномалии на среднюю массу тела тихоокеанских лососей в бассейне Северной Пацифики // Изв. ТИНРО. Т. 191. С. 3–33.

Бугаев А.В., Тепнин О.Б. 2011. Оценка влияния некоторых климатических факторов на численность азиатских стад горбуши и кеты // Изв. ТИНРО. Т. 166. С. 67–81.

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.

Будыко М.И. 1980. Климат в прошлом и будущем. М.: Гидрометеоиздат. 350 с.

Ванюшин Г.П., Царева В.А., Углова Т.Ю., Кружалов М.Ю. 2015. Сравнительная оценка результатов промысла и температурных условий морской среды, определяемых по спутниковым данным в районе Южных Курильских островов // Тр. ВНИРО. Т. 158. С. 112–120.

Витинский Ю.И., Оль А.И., Сазонов Б.И. 1976. Солнце и атмосфера Земли. Л.: Гидрометеоиздат. 351 с.

Волобуев В.В., Марченко С.Л. 2011. Тихоокеанские лососи континентального побережья Охотского моря (биология, популяционная структура, динамика численности, промысел). Магадан: СВНЦ ДВО РАН. 303 с.

Волобуев В.В., Рогатных А.Ю. 1997. Условия воспроизводства лососей рода *Oncorhynchus* материкового побережья Охотского моря // Вопр. ихтиологии. Т. 37, вып. 5. С. 612–618.

Горяинов А.А., Шатилина Т.А. 2003. Динамика азиатской горбуши и климатические изменения над Азиатско-Тихоокеанским регионом в XX веке // Биология моря. Т. 29, № 6. С. 429–435.

Горяинов А.А., Шатилина Т.А., Цициашвили Г.Ш., Радченкова Т.В., Лысенко А.В. 2006. Климатические причины снижения запасов амурских лососей в XX столетии // ДВ «Экспресс-информация». Владивосток: Дальрыбтехника. № 6 (73). С. 2–18.

Гумилев Л.Н. 1989. Этногенез и биосфера Земли. Л.: Изд-во Ленинградского ун-та. 495 с.

Карпенко В.И. 1998. Ранний морской период жизни тихоокеанских лососей. М.: ВНИРО. 165 с.

Кляшторин Л.Б., Любушин А.А. 2005. Циклические изменения климата и рыбопродуктивности. М.: ВНИРО. 235 с.

Котенев Б.Н., Богданов М.А., Кровнин А.С., Мурый Г.П. 2010. Изменения климата и динамика вылова дальневосточных лососей // Вопр. промысловой океанологии. Вып. 7, № 1. С. 60–92.

Котенев Б.Н., Гриценко О.Ф., Кловач Н.В. 2006. Об организации промысла тихоокеанских лососей. М.: ВНИРО. 32 с.

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.

Кривенко В.Г. 1992. Концепция внутривековой и многовековой изменчивости климата как предпосылка прогноза / Климаты прошлого и климатический прогноз. М. С. 39–40.

Кровнин А.С., Котенев Б.Н., Кловач Н.В., Мурый Г.П. 2010. Связь уловов западно-камчатской горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* и нерки *O. nerka* с температурой поверхности океана в Северном полушарии и прогноз их вылова на 2010 г. // Рыбное хозяйство. № 3. С. 43–46.

Ле Руа Ладюри Э. 1971. История климата с 1000 года. Л.: Гидрометеоиздат. 270 с.

Логинов В.Ф. 2008. Пространственно-временные закономерности глобальных изменений температуры и их возможные причины // Известия Иркутского государственного университета. Т. 1, № 1. С. 8–21.

Монин А.С., Шишков Ю.А. 1979. История климата. Л.: Гидрометеоиздат. 408 с.

Переведенцев Ю.П. 2004. Теория климата. Казань: Изд-во Казанского ун-та. 318 с.

Радченко В.И. 2008. О корреляции российского вылова горбуши с динамикой теплового баланса Мирового океана // Бюл. № 3 реализации «Концепции дальневосточной программы изучения тихоокеанских лососей». Владивосток: ТИНРО-Центр. С. 230–235.

Радченко В.И. 2015. О базе данных вылова и выпуска молоди тихоокеанских лососей, курируемой НПАФК // Бюллетень № 10 изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. Владивосток. С. 67–79.

Радченко В.И., Волков А.Ф., Фигуркин А.Л. 1991. О зимнем нагуле горбуши в Охотском море // Биология моря. № 6. С. 88–90.

Радченко В.И., Рассадников О.А. 1997. Тенденции многолетней динамики запасов азиатских лососей и определяющие ее факторы // Изв. ТИНРО. Т. 122. С. 72–94.

Селифонов М.М. 1988. Об оптимуме производителей нерки бассейна реки Озерной // Проблемы фертилизации лососевых озер Камчатки. Владивосток: ТИНРО. С. 129–136.

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

Фельдман М.Г., Шевляков Е.А., Артюхина Н.Б. 2016. Оценка ориентиров пропуска производителей тихоокеанских лососей *Oncorhynchus* в бассейнах рек Восточной и Юго-Восточной Камчатки // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана: Сб. науч. тр. КамчатНИРО. Вып. 41. С. 51–80.

Халафян А.А. 2008. STATISTICA 6. Статистический анализ данных. 3-е изд. М.: ООО «Бином-Пресс». 512 с.

Цейтлин В.Б., Китаин В.Я., Рудяков Ю.А. 1994. Сезонные изменения биомассы мезопланктона в поверхностном слое Берингова моря и северо-западной части Тихого океана // Океанология. Т. 34. С. 248–251.

Четвертый оценочный доклад МГЭИК, 2007. IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007 (AR4). IPCC, Geneva, Switzerland.

Чистякова А.И., Бугаев А.В. 2013. Применение результатов отолитного маркирования для определения происхождения и путей миграций заводской молоди горбуши и кеты в Охотском море в осенний период // Изв. ТИНРО. Т. 173. С. 77–102.

Чистякова А.И., Бугаев А.В. 2016. Оценка происхождения и пути миграций заводской молоди горбуши и кеты в бассейне Охотского моря в осенний период 2011–2014 гг. // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана: Сб. науч. тр. КамчатНИРО. Вып. 40. С. 5–23.

Шевляков Е.А. 2006. Управление ресурсами тихоокеанских лососей *Oncorhynchus* в Камчатском регионе с учетом специфики многовидового промысла // Вопр. рыболовства. Т. 7, № 1 (25). С. 22–41.

Шунтов В.П. 2017. Об упрощенных трактовках лимитирующих факторов и динамики численности некоторых промысловых рыб дальневосточных вод // Изв. ТИНРО. Т. 189. С. 35–51.

Шунтов В.П., Темных О.С. 2008. Тихоокеанские лососи в морских и океанических экосистемах. Владивосток: ТИНРО-Центр. Т. 1. 481 с.

Шунтов В.П., Темных О.С. 2011. Тихоокеанские лососи в морских и океанических экосистемах. Владивосток: ТИНРО-Центр. Т. 2. 473 с.

Шунтов В.П., Темных О.С., Иванов О.А. 2017. Об устойчивости стереотипов в представлениях о морской экологии тихоокеанских лососей *Oncorhynchus* spp. // Изв. ТИНРО. Т. 188. С. 3–36.

Якунин Л.П. 1979. Ледовые исследования на дальневосточных морях // Тр. ДВНИИ. Вып. 77. С. 102–107.

Azumaya T., Ishida Y. 2004. An evaluation of the potential influence of SST and currents on the oceanic migration of juvenile and immature chum salmon (*Oncorhynchus keta*) by a simulation model // Fish. Oceanogr. № 13 (1). P. 10–23.

Azumaya T., Nagasawa T., Temnykh O.S., Khen G.V. 2007. Regional and seasonal differences in temperature and salinity limitations of Pacific salmon // NPAFC, Bull. № 4. P. 179–187. (Available at http://www.npafc.org)

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.

Bartels J. 1938. Potsdamer erdmagnetische Kennziffern // 1 Mitteilung. Zeitschrift für Geophysik. № 14. P. 68–78.

Beamish R.J., Bouillon D.R. 1993. Pacific salmon production trends in relation to climate // Can. J. Fish. Aquat. Sci. № 50. P. 1002–1016.

Beamish R.J., Mahnken C. 2001. A critical size and period hypothesis to explain natural regulation of salmon abundance and the linkage to climate and climate change // Prog. Oceanogr. № 49 (1–4). P. 423–437.

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.

Beamish R.J., Noakes D., McFarlane G.A., Klyashtorin L.B., Ivanov V.V., Kurashov V. 1999. The regime concept and natural trends in the production of pacific salmon // Can. J. Fish. Aquat. Sci. Vol. 56. P. 516–526.

Bugaev A.V., Tepnin O.B., Myers K.W. 2016. Correlation between winter sea surface temperatures in the north Pacific Ocean and continental-scale commercial catches of pacific salmon, 1983–2013 // NPAFC, Bull. № 6. P. 189–205. (Available at http://www.npafc.org)

Burgner R.L., DiCostanzo C.I., Ellis R.I., Harry C.J., Hartman W.L., Kerns O.E., Mathisen O.A., Royce W.F. 1969. Biological studies and estimates of optimum escapements of sockeye salmon in the major river systems in South Western Alaska // Fish. Bull. № 672. P. 405–459.

Clark J.H., McGregor A., Mecum R.D., Krasnowski P., Carroll A.M. 2006. The commercial salmon fishery in Alaska. Alaska Fishery Research Bull. Vol. 12. № 1. 146 p.

French R., Bilton H., Osako M., Hartt A. 1976. Distribution and origin of sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) in offshore waters of the North Pacific Ocean. INPFC, Bull. № 34. 113 p.

Godfrey H., Henry K.A., Machidori S. 1975. Distribution and abundance of coho salmon in offshore waters of the North Pacific Ocean. INPFC, Bull. № 31. 80 p.

Hansen J., Johnson D., Lacis A., Lebedeff S., Lee P., Rind D., Russell G. 1981. Climate impact of increasing atmospheric carbon dioxide // Science. № 213. P. 957–966.

Hansen J., Ruedy R., Sato M., Lo K. 2010. Global surface temperature change // Rev. of Geophys. RG4004. № 48. P. 1–29.

Hansen J., Ruedy R., Sato M., Reynolds R. 1996. Global surface air temperature in 1995: Return to pre-Pinatubo level // Geophys. Res. Lett. № 23. P. 1665–1668.

Hansen J., Sato M., Glascoe J., Ruedy R. 1998. A common-sense climate index: Is climate changing noticeably? // Proc. Natl. Acad. Sci. № 95. P. 4113–4120.

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.

Harvey K.L. 1992. Proceedings of the Workshop on the Solar Electromagnetic Radiation Study for Solar Cycle 22. SEL, NOAA, Boulder, Co. P. 113.

Impacts of climate and climate change on the key species in the fisheries in the North Pacific / Ed. R.J. Beamish. PICES, Sci. Rep. 2008. Vol. 35. 218 p. (Available at http://www.pices.int)

Irvine J.R., Fukuwaka M., Kaga T., Park J., Seong K.B., Kang S., Karpenko V.I., Klovach N.V., Bartlett H., Volk E. 2009. Pacific salmon status and abundance trends: NPAFC, Doc. № 1199. 153 p. (Available at http://www.npafc.org)

King J.R., Ivanov V.V., Kurashov V., Beamish R.J., McFarlane G.A. 1998. General circulation of the atmosphere over the North Pacific and its relationship to the Aleutian Low. NPAFC, Doc. № 318. 18 p. (Available at www.npafc.org)

Koval M.V., Erokhin V.G., Dekshtein A.B., Subbotin S.I., Gorodovskaya S.B., Shershneva V.I., Morozova A.V. 2011. Basic results of juvenile pacific salmon study in coastal waters of Kamchatka during summer, 2004–2007, and 2010. NPAFC, Doc. № 1332. 41 p. (Available at http://www.npafc.org)

Mackas D.I., Tsuda A. 1999. Mezozooplankton in the eastern and western Subarctic Pacific: community structure, seasonal life histories, and interannual variability // Progr. In Oceanogr. Vol. 43. P. 335–363.

Major R.L., Ito J., Ito S., Godfrey H. 1978. Distribution and origin of chinook salmon *Oncorhynchus tschawytscha* in offshore waters of the North Pacific Ocean. INPFC. Bull. № 38. 54 p.

McFarlane G.A., King J.R., Beamish R.J. 2000. Have there been recent changes in climate? // Prog. Oceangr. Vol. 47. P. 147–169.

Menvielle M., Berthelier A. 1991. The K-derived planetary indices: description and availability // Rev. Geophys. № 29 (3). P. 415–432.

Miller A.J., Cayan D.R., Barnett T.P., Graham N.E., Oberhuber J.M. 1994. Interdecadal variability of the Pacific Ocean: model response to observed heat flux and wind stress anomalies // Climate Dynamics. Vol. 9. P. 287–302.

Myers K.W., Aydin K.Y., Walker R.V., Fowler S., Dahlberg M.L. 1996. Known ocean ranges of stocks of

pacific salmon and steelhead as shown by tagging experiments, 1956–1995. NPAFC, Doc. № 192. 60 p. (Available at http://www.npafc.org)

Myers K.W., Harris C.K., Ishida Y., Margolis L., Ogura M. 1993. Review of the Japanese landbased driftnet salmon fishery in the western North Pacific Ocean and the continent of origin of salmonids in this area. INPFC, Bull. № 52. 86 p.

Myers K.W., Klovach N.V., Gritsenko O.F., Urawa S., Royer T.C. 2007. Stock-specific distribution of Asian and North American salmon in the open ocean, interannual changes, and oceanographic conditions // NPAFC, Bull. № 4. P. 159–177. (Available at http://www.npafc.org)

Nagasawa K. 2000a. Long-term changes in the climate and ocean environment in the Okhotsk Sea and western North Pacific and abundance and body weight of East Sakhalin pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*) // NPAFC, Bull. № 2. P. 203–211. (Available at http://www.npafc.org)

Nagasawa K. 2000b. Winter zooplankton biomass in the Subarctic North Pacific, with a discussion on the overwintering survival strategy of pacific salmon (*Oncorhynchus* spp.) // NPAFC, Bull. № 2. P. 21–32. (Available at http://www.npafc.org)

Naydenko S.V., Temnykh O.S., Figurkin A.L. 2016. Is winter the critical period in the marine life history of pacific salmon? // NPAFC, Bull. № 6. P. 139–152. (Available at http://www.npafc.org)

Neave F., Yonemori T., Bakkala R.G. 1976. Distribution and origin of chum salmon (*Oncorhynchus keta*) in offshore waters of the North Pacific Ocean. INPFC, Bull. № 35. 79 p.

North Pacific Anadromous Fish Commission. Records of the 18th Annual meeting, November 1–5, 2010: NPAFC, Doc. 2010. № 1249. 141 p. (Available at http://www.npafc.org)

North Pacific Anadromous Fish Commission. Records of the 19th Annual meeting, October 23–28, 2011: NPAFC, Doc. 2011. № 1326. 143 p. (Available at http://www.npafc.org)

North Pacific Anadromous Fish Commission. Records of the 20th Annual meeting, October 7–12, 2012: NPAFC, Doc. 2012. № 1395. 152 p. (Available at http://www.npafc.org)

North Pacific Anadromous Fish Commission. Records of the 21th Annual meeting, November 12–15, 2013: NPAFC, Doc. 2013. № 1491. 139 p. (Available at http://www.npafc.org)

North Pacific Anadromous Fish Commission. Records of the 22th Annual meeting, May 12–16, 2014: NPAFC, Doc. 2014. № 1543. 193 p. (Available at http://www.npafc.org)

North Pacific Anadromous Fish Commission. Records of the 23rd Annual meeting, May 11–15, 2015: NPAFC, Doc. 2015. № 1607. 187 p. (Available at http://www.npafc.org)

North Pacific Anadromous Fish Commission. Records of the 24th Annual meeting, May 16–20, 2016: NPAFC, Doc. 2016. № 1622. 165 p. (Available at http://www.npafc.org)

Pacific salmon life histories / Ed. C. Groot and L. Margolis. Canada, Vancouver: UBC press, 1991. 564 p.

Petty G.W. 2006. A First Course in Atmospheric Radiation. Sundog Publishing, Madison, Wisconsin. 452 p.

Reynolds R.W., Rayner N.A., Smith T.M., Stokes D.C., Wang W. 2002. An improved in situ and satellite SST analysis for climate // J. of Climate. № 15. P. 1609–1625.

Richard R.W., Thomas M.S., Chunying L., Dudley B.C., Kenneth S.C., Michael G.S. 2007. Daily high-resolution blended analyses for sea surface temperature // J. of Climate. № 20. P. 5473–5496.

Ryding K.E., Skalski J.R. 1999. Multivariate regression relationships between ocean conditions and early marine survival of coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) // Can. J. Fish. Aquat. Sci. № 56 (12). P. 2374–2384.

Stephenson F.R., Morrison L.V. 1984. Long-Term Changes in the Rotation of the Earth: 700 BC to AD 1980 // Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Ser. A, 313. P. 47–70.

Story of International Year of the Salmon: concept to lunch. NPAFC, Technical report. 2017. № 10. 142 p. (Available at http://www.npafc.org)

Takagi K., Aro K.V., Hartt A.C., Dell M.B. 1981. Distribution and origin of pink salmon Oncorhynchus gorbuscha in offshore waters of the North Pacific Ocean. INPFC, Bull. № 40. 195 p.

Thompson D.W.J., Wallace J.M. 1998. The Arctic Oscillation signature in the wintertime geopotential height and temperature fields // Geophysical Research Letters. № 25. P. 1297–1300.

Trenberth K.E. 1997. The Definition of El Nino // Bulletin of the American Meteorological Soc. № 78 (12). P. 2771–2777.

Walker G.T. 1923. Correlation in seasonal variability of weather, VIII. A preliminary study of world weather //

Memoirs of the India Meteorological Department. №24. P. 75–131.
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.
Zavolokin A.V., Khen G.V. 2012. Decreases in abundance of immature pacific salmon in the western Bering Sea from 2002 to 2011: link to hydrological and forage conditions. NPAFC, Doc. № 1398. 20 p. (Available at http://www.npafc.org)

REFERENCES

Gritsenko O.F. (Ed). *Atlas rasprostraneniya v more razlichnykh stad tikhookeanskikh lososey v period vesenneletnego nagula i prednerestovykh migratsiy* [Atlas of marine distributian of Pacific salmons during the spring-summer feeding and pre-spawning migrations]. Moscow:VNIRO, 2002, 190 p.
Birman I.B. *Morskoy period zhizni i voprosy dinamiki chislennosti stada tikhookeanskikh lososey* [Pacific salmon ocean life and stock dynamics]. Moscow: Agropromizdat, 1985, 208 p.
Bugaev A.V. Evaluation of contributions of stock abundance and global temperature anomaly to mean body weight of pacific salmons in the North Pacific basin. *Izvestiya TINRO,* 2017, vol. 191, pp. 3–33. (In Russain with English abstract)
Bugaev A.V., Tepnin O.B. Estimation of some climatic factors influence on abundance of Asian pink and chum salmons. *Izvestiya TINRO*, 2011, vol. 166, pp. 67–81. (In Russian with English abstract)
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*, 2015, vol. 158, pp. 89–111. (In Russian with English abstract)
Budyko M.I. *Klimat v proshlom i budushchem* [The earth's climate: Past and future]. Moscow: Gidrometeoizdat, 1980, 350 p.
Vanyushin G.P., Tsareva V.A., Uglova T.Y., Kruzhalov M.Y. Comparative evaluation of the results of the pink salmon fishery and temperature conditions of the marine environment determined by the satellite data in the South Kuril area. *Trudy VNIRO*, 2015, vol. 158, pp. 112–120. (In Russian with English abstract)
Vitinsky Yu.P., Ol'h A.I., Sazonov B.I. *Solntse i atmosfera zemli* [The Sun and the Earth's atmosphere]. Moscow: Gidrometeoizdat, 1976, 351 p.
Volobuev V.V., Rogatnykh A.Y. Physiographic conditions for reproduction of the Pacific salmons (Genus *Oncorhynchus*) along the continental coast of the sea of Okhotsk. *Journal of Ichthyology*, 1997, vol. 22, iss. 6, pp. 79–85. (In Russian with English abstract)
Volobuev V.V., Marchenko S.L. *Tikhookeanskiye lososi kontinental'nogo poberezh'ya Okhotskogo morya (biologiya, populyatsionnaya struktura, dinamika chislennosti, promysel)* [Pacific salmon of the continental sea coast area of the Sea of Okhotsk (biology, population structure, number dynamics, commercial fishing)]. Magadan: SVNC DVO RAN, 2011, 303 p.
Goryainov A.A., Shatilina T.A. Dynamics of the Asian pink salmon and climatic changes over the Asian-Pacific Region in the twentieth century. *Russian Journal of Marine Biology*, 2003, vol. 29, iss. 6, pp. 383–389. doi: 10.1023/B:RUMB.0000011707.83549.64
Goryainov A.A., Shatilina T.A., Tsitsiashvili G.Sh., Rodchenkova T.V., Lysenko A.V. Climatic reasons for the decline in stocks of the Amur salmon in 20-th century. *Vladivostok: ANO NTC Dalrybtechnika, Express-information*, 2006, no. 6, iss. 73, pp. 2–18. (In Russian)
Gumilev L.N. *Etnogenez i biosfera Zemli* [Ethnogenesis and the Earth's Biosphere]. Leningrad: Leningrad University publ., 1989, 495 p.
Karpenko V.I. *Ranniy morskoy period zhizni tikhookeanskikh lososey* [Early Marine Period Life of the Pacific Salmon]. Moscow: VNIRO, 1998, 165 p.
Klyashtorin L.B., Lyubushin A.A. *Tsiklicheskiye izmeneniya klimata i ryboproduktivnosti* [Cyclic climate changes and fish productivity]. Moscow: VNIRO, 2005, 235 p.
Kotenev B.N., Gritsenko O.F., Klovach N.V. *Ob organizatsii promysla tikhookeanskikh lososey* [On the organization of Pacific salmon fishing]. Moscow: VNIRO, 2006, 32 p.
Kotenev B.N., Bogdanov M.A., Krovnin A.S., Moury G.P. Climatic variations and catch dynamics of Far East salmons. *Voprosy Promyslovoi Okeanologii*. Moscow, 2010, vol. 7, iss. 1, p. 60–92. (In Russian)
Kotenev B.N., Krovnin A.S., Klovach N.V., Mordasova N.V., Moury G.P. Impact of climatic and oceanographic factors on the state of main pink salmon stocks, 1950–2015. *Trudy VNIRO*, 2015, vol. 158, pp. 143–161. (In Russian with English abstract)
Krivenko V.G. The Concept of intra and centuries-long climate variability as a prerequisite of the forecast. *The climates of the past and climate forecast*, Moscow, 1992, pp. 39–40. (In Russian)

Krovnin A.S., Klovach N.V., Kotenev B.N., Moury G.P. The association between catches of West Kamchatka pink (*Oncorhynchus gorbusha*) and sockeye (*O. nerka*) salmons with sea surface temperature in the Northern Hemisphere and preliminary forecast of their catch for 2010. *Rybnoye Khozyaistvo*, 2010, vol. 3, pp. 43–46. (In Russian)

LeRoy Ladurie E. *Istoriya klimata s 1000 goda* [A history of climate since the year 1000]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1971, 270 p.

Loginov V.F. Spatial-temporal regularities of temperature global changes and their possible reasons. *The bulletin of Irkutsk state University*, 2008, vol. 1, no. 1, pp. 8–21.

Monin A.S., Shishkov Yu.A. *Istoriya klimata* [Climate history]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1979, 408 p.

Perevedentsev Yu.P. *Teoriya klimata* [Theory of Climate]. Kazan, Kazan state University publ., 2004, 318 p.

Radchenko V.I., Volkov A.F., Figurkin A.L. On the winter foraging excursion of pink salmon in the Sea of Okhotsk. *Russian Journal of Marine Biology*, 1991, vol. 6, pp. 88–90. (In Russian)

Radchenko V.I. On correlation of Russian pink salmon catch with dynamics of heat balance of the World Ocean. *Bulletin of the implementation of the "Concept of the Far Eastern Basin Program of Pacific Salmon Research"*. Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2008. Vol. 3, pp. 230–235. (In Russian)

Radchenko V.I. On database of catch and release of the Pacific salmon juveniles supervised by NPAFC. *Bulletin of the implementation of the "Concept of the Far Eastern Basin Program of Pacific Salmon Research"*. Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2015. Vol. 10, pp. 67–79. (In Russian).

Radchenko V.I., Rassadnikov O.A. Tendencies of long-term dynamics of Asian salmon stocks and it determinate factors. *Izvestiya TINRO*, 1997, vol. 122, pp. 72–94. (In Russian with English abstract)

Selifonov M.M. About optimum of the Ozernaya River sockeye escapement. *Izvestiya TINRO*, 1988, special issue: Problems of sockeye lakes fertilization on Kamchatka, pp. 129–136. (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 with English abstract)

Feldman M.G., Shevlyakov E.A., Artukhina N.B. An assessment of the Pacific salmon *Oncorhynchus* adult escapement parameters for the river basins on East and Southeast Kamchatka. *The researchers of the aquatic biological resources of Kamchatka and of the north-west part of the Pacific Ocean*, 2016, vol. 41, pp. 51–80. doi: 10.15853/2072-8212.2016.41.51-80. (In Russian with English abstract)

Khalafyan A.A. STATISTICA 6. Statistical analysis of data. Third edition. Moscow: Binom-Press, 2008, 512 p.

Tseitlin V.B., Kitain V.Y., Rudyakov Y.A. Seasonal variations of mesoplankton biomass in the surface layer of the Bering Sea and the North-West Pacific. *Oceanology*, 1994, vol. 34, pp. 248–251. (In Russian)

Fourth Assessment Report: Climate Change. Switzerland: Geneva: IPCC, 2007. Available at http://www.ipcc.ch/report/ar4/.

Chistyakova A.I., Bugaev A.V. Using the results of otolith marking for determination of origin and migration routes for hatchery juvenile pink and chum salmons in the Okhotsk Sea in autumn period. *Izvestiya TINRO*, 2013, vol. 173, pp. 77–102. (In Russian with English abstract)

Chistyakova A.I., Bugaev A.V. An assessment of the origin and migration routes of juvenile hatchery pink and chum salmon in the basin of the Okhotsk Sea in autumn in 2011–2014. *The researchers of the aquatic biological resources of Kamchatka and of the north-west part of the Pacific Ocean*, 2016, vol. 40, p. 5–23. doi: 10.15853/2072-8212.2016.40.5-23. (In Russian with English abstract)

Shevlyakov E.A. Management of Pacific salmon *Oncorhynchus* in the Kamchatka region taking into account the specifics multispecies fishery. *Problems of fisheries*, 2006, vol. 7, no. 1 (25), pp. 22–41.

Shuntov V.P. On simplified interpretations of limiting factors and dynamics of for abundance for some commercial fishes in the Far Eastern waters. *Izvestiya TINRO*, 2017, vol. 189, pp. 35–51. (In Russian with English abstract). http://dx.doi.org/10.26428/1606-9919-2017-189-35-51.

Shuntov V.P., Temnykh O.S. *Tikhookeanskie lososi v morskikh i okeanicheskikh ekosistemakh.* [Pacific salmon in marine and ocean ecosystems: monograph]. Vol. 1. Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2008, 481 p.

Shuntov V.P., Temnykh O.S. 2011. *Tikhookeanskie lososi v morskikh i okeanicheskikh ekosistemakh: monografiya* [Pacific salmon in marine and ocean ecosystems: monograph]. Vol. 2. Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2011, 473 p.

Shuntov V.P., Temnykh O.S., Ivanov O.A. On steadyness of stereotypes in conceptions on marine ecol-

ogy of pacific salmons (*Oncorhynchus* spp.). *Izvestiya TINRO*, 2017, vol. 188, pp. 3–36. (In Russian with English abstract)
Yakunin L.P. Ice Studies in the Far East Seas. *Problemy Arktiki i Antarktiki*, 1979, vol. 77, pp. 102–107. (In Russian)
Azumaya T., Ishida Y. An evaluation of the potential influence of SST and currents on the oceanic migration of juvenile and immature chum salmon (*Oncorhynchus keta*) by a simulation model. *Fish. Oceanogr.*, 2004, no. 13 (1), pp. 10–23.
Azumaya T., Nagasawa T., Temnykh O.S., Khen G.V. Regional and seasonal differences in temperature and salinity limitations of Pacific salmon. *Bull. NPAFC*, 2007, no. 4, pp. 179–187. (Available at http://www.npafc.org)
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.
Bartels J. Potsdamer erdmagnetische Kennziffern. *1 Mitteilung. Zeitschrift für Geophysik,* 1938, no. 14, pp. 68–78.
Beamish R.J., Bouillon D.R. Pacific salmon production trends in relation to climate. *Can. J. Fish. Aquat. Sci*., 1993, no. 50, pp. 1002–1016.
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.
Beamish R.J., Noakes D., McFarlane G.A., Klyashtorin L.B., Ivanov V.V., Kurashov V. The regime concept and natural trends in the production of pacific salmon. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 1999, vol. 56, pp. 516–526.
Beamish R.J., Mahnken C. A critical size and period hypothesis to explain natural regulation of salmon abundance and the linkage to climate and climate change. *Prog. Oceanogr.,* 2001, no. 49 (1–4), pp. 423–437.
Bugaev A.V., Tepnin O.B., Myers K.W. Correlation between winter sea surface temperatures in the North Pacific Ocean and continental-scale commercial catches of pacific salmon, 1983–2013. *Bull. NPAFC*, 2016, no. 6, pp. 189–205. (Available at http://www.npafc.org)
Burgner R.L., DiCostanzo C.I., Ellis R.I., Harry C.J., Hartman W.L., Kerns O.E., Mathisen O.A., Royce W.F. Biological studies and estimates of optimum escapements of sockeye salmon in the major river systems in South Western Alaska. *Fish. Bull.,* 1969, no. 672, pp. 405–459.
Clark J.H., McGregor A., Mecum R.D., Krasnowski P., Carroll A.M. The commercial salmon fishery in Alaska. *Alaska Fishery Research Bull*., 2006, vol. 12, no. 1, 146 p.
French R., Bilton H., Osako M., Hartt A. Distribution and origin of sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) in offshore waters of the North Pacific Ocean. *Bull. INPFC*, 1976, no. 34, 113 p.
Godfrey H., Henry K.A., Machidori S. Distribution and abundance of coho salmon in offshore waters of the North Pacific Ocean. *Bull. INPFC*, 1975, no. 31, 80 p.
Hansen J., Johnson D., Lacis A., Lebedeff S., Lee P., Rind D., Russell G. Climate impact of increasing atmospheric carbon dioxide. *Science*, 1981, no. 213, pp. 957–966.
Hansen J., Ruedy R., Sato M., Reynolds R. Global surface air temperature in 1995: Return to pre-Pinatubo level // Geophys. Res. Lett. 1996. № 23. P. 1665–1668.
Hansen J., Sato M., Glascoe J., Ruedy R. A common-sense climate index: Is climate changing noticeably? *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 1998, no. 95, pp. 4113–4120.
Hansen J., Ruedy R., Sato M., Lo K. Global surface temperature change. *Rev. of Geophys. RG4004*, 2010, no. 48, pp. 1–29.
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.
Harvey K.L. Proceedings of the Workshop on the Solar Electromagnetic Radiation Study for Solar Cycle 22. SEL, NOAA, Boulder, CO, 1992, 113 p.
Impacts of climate and climate change on the key species in the fisheries in the North Pacific / Ed. R.J. Beamish. *Sci. Rep. PICES*, 2008, vol. 35, 218 p. (Available at http://www.pices.int)
Irvine J.R., Fukuwaka M., Kaga T., Park J., Seong K.B., Kang S., Karpenko V.I., Klovach N.V., Bartlett H., Volk E. Pacific salmon status and abundance trends. *Doc. NPAFC*, 2009, no.1199, 153 p. (Available at http://www.npafc.org)
King J.R., Ivanov V.V., Kurashov V., Beamish R.J., McFarlane G.A. General circulation of the atmosphere over the North Pacific and its relationship to the Aleutian Low. *Doc. NPAFC*, 1998. no. 318, 18 p. (Available at www.npafc.org)
Koval M.V., Erokhin V.G., Dekshtein A.B., Subbotin S.I., Gorodovskaya S.B., Shershneva V.I., Mo-

rozova A.V. Basic results of juvenile pacific salmon study in coastal waters of Kamchatka during summer, 2004–2007, and 2010. *Doc. NPAFC*, 2011, no. 1332, 41 p. (Available at http://www.npafc.org)

Mackas D.I., Tsuda A. Mezozooplankton in the eastern and western Subarctic Pacific: community structure, seasonal life histories, and interannual variability. *Progr. In Oceanogr*., 1999, vol. 43, pp. 335–363.

Major R.L., Ito J., Ito S., Godfrey H. Distribution and origin of chinook salmon *Oncorhynchus tschawytscha* in offshore waters of the North Pacific Ocean. *Bull. INPFC,* 1978, no. 38, 54 p.

McFarlane G.A., King J.R., Beamish R.J. Have there been recent changes in climate? *Prog. Oceangr.*, 2000, vol. 47, pp. 147–169.

Menvielle M., Berthelier A. The K-derived planetary indices: description and availability. *Rev. Geophys*, 1991, no. 29 (3), pp. 415–432.

Miller A.J., Cayan D.R., Barnett T.P., Graham N.E., Oberhuber J.M. Interdecadal variability of the Pacific Ocean: model response to observed heat flux and wind stress anomalies. *Climate Dynamics*, 1994, vol. 9, pp. 287–302.

Myers K.W., Harris C.K., Ishida Y., Margolis L., Ogura M. Review of the Japanese landbased driftnet salmon fishery in the western North Pacific Ocean and the continent of origin of salmonids in this area. *Bull. INPFC*, 1993, no. 52, 86 p.

Myers K.W., Aydin K.Y., Walker R.V., Fowler S., Dahlberg M.L. Known ocean ranges of stocks of pacific salmon and steelhead as shown by tagging experiments, 1956–1995. *Doc. NPAFC*, 1996, no. 192, 60 p. (Available at http://www.npafc.org)

Myers K.W., Klovach N.V., Gritsenko O.F., Urawa S., Royer T.C. Stock-specific distribution of Asian and North American salmon in the open ocean, interannual changes, and oceanographic conditions. *Bull. NPAFC*, 2007, no. 4, pp. 159–177. (Available at http://www.npafc.org)

Nagasawa K. Long-term changes in the climate and ocean environment in the Okhotsk Sea and western North Pacific and abundance and body weight of East Sakhalin pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*). *Bull. NPAFC*, 2000a, no. 2, pp. 203–211. (Available at http://www.npafc.org)

Nagasawa K. Winter zooplankton biomass in the Subarctic North Pacific, with a discussion on the overwintering survival strategy of pacific salmon (*Oncorhynchus* spp.). *Bull. NPAFC*, 2000b, no. 2, pp. 21–32. (Available at http://www.npafc.org)

Naydenko S.V., Temnykh O.S., Figurkin A.L. Is winter the critical period in the marine life history of pacific salmon? *Bull. NPAFC*, 2016, no. 6, pp. 139–152. (Available at http://www.npafc.org)

Neave F., Yonemori T., Bakkala R.G. Distribution and origin of chum salmon (*Oncorhynchus keta*) in offshore waters of the North Pacific Ocean. *Bull. NPFC*, 1976, no. 35, 79 p.

North Pacific Anadromous Fish Commission. Records of the 18th Annual meeting, November 1–5, 2010. *Doc. NPAFC*, 2010, no. 1249, 141 p. (Available at http://www.npafc.org)

North Pacific Anadromous Fish Commission. Records of the 19th Annual meeting, October 23–28, 2011. *Doc. NPAFC*, 2011, no. 1326, 143 p. (Available at http://www.npafc.org)

North Pacific Anadromous Fish Commission. Records of the 20th Annual meeting, October 7–12, 2012. *Doc. NPAFC*, 2012, no. 1395, 152 p. (Available at http://www.npafc.org)

North Pacific Anadromous Fish Commission. Records of the 21th Annual meeting, November 12–15, 2013. *Doc. NPAFC*, 2013, no. 1491, 139 p. (Available at http://www.npafc.org)

North Pacific Anadromous Fish Commission. Records of the 22th Annual meeting, May 12–16, 2014. *Doc. NPAFC,* 2014, no. 1543, 193 p. (Available at http://www.npafc.org)

North Pacific Anadromous Fish Commission. Records of the 23rd Annual meeting, May 11–15, 2015. *Doc. NPAFC*, 2015, no. 1607, 187 p. (Available at http://www.npafc.org)

North Pacific Anadromous Fish Commission. Records of the 24th Annual meeting, May 16–20, 2016. *Doc. NPAFC*, 2016, no. 1622, 165 p. (Available at http://www.npafc.org)

Groot. C. Edand L. Margolis (Ed.) Pacific salmon life histories. Canada: Vancouver, UBC press, 1991. 564 p.

Petty G.W. A First Course in Atmospheric Radiation. Madison: Wisconsin, Sundog Publishing, 2006. 452 p.

Reynolds R.W., Rayner N.A., Smith T.M., Stokes D.C., Wang W. An improved in situ and satellite SST analysis for climate. *J. of Climate,* 2002, no. 15, pp. 1609–1625.

Richard R.W., Thomas M.S., Chunying L., Dudley B.C., Kenneth S.C., Michael G.S. Daily high-resolution blended analyses for sea surface temperature. *J. of Climate,* 2007, no. 20, pp. 5473–5496.

Ryding K.E., Skalski J.R. Multivariate regression relationships between ocean conditions and early marine

survival of coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.,* 1999, no. 56 (12), pp. 2374–2384.
Stephenson F.R., Morrison L.V. Long-Term Changes in the Rotation of the Earth: 700 BC to AD 1980. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 1984, Ser. A, 31, pp. 47–70.
Story of International Year of the Salmon: concept to lunch. *Technical report NPAFC*, 2017, no. 10, 142 p. (Available at http://www.npafc.org)
Takagi K., Aro K.V., Hartt A.C., Dell M.B. Distribution and origin of pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* in offshore waters of the North Pacific Ocean. *Bull. INPFC*, 1981, no. 40, 195 p.
Thompson D.W.J., Wallace J.M. The Arctic Oscillation signature in the wintertime geopotential height and temperature fields. *Geophysical Research Letters,* 1998, no. 25, pp. 1297–1300.
Trenberth K.E. The Definition of El Nino. *Bulletin of the American Meteorological Soc.*, 1997, no. 78 (12), pp. 2771–2777.
Walker G.T. Correlation in seasonal variability of weather, VIII. A preliminary study of world weather. *Memoirs of the India Meteorological Department*, 1923, no. 24, pp. 75–131.
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.
Zavolokin A.V., Khen G.V. Decreases in abundance of immature pacific salmon in the western Bering Sea from 2002 to 2011: link to hydrological and forage conditions. *Doc. NPAFC*. 2012. № 1398. 20 p. (Available at http://www.npafc.org)

Статья поступила в редакцию 16.04.2018
Принята после рецензии 16.05.2018