



УДК 551.5:597.552.511

## Среда обитания водных биологических ресурсов

# Особенности гидрометеорологических условий над Дальним Востоком в годы высокого и низкого возврата амурской горбуши чётной генерации

Т.А. Шатилина<sup>1</sup>, Г.Ш. Цициашвили<sup>2</sup>, М.А. Осипова<sup>2,3</sup>, Т.В. Радченкова<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Тихоокеанский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ТИНРО»), пер. Шевченко, 4, г. Владивосток, 690091

<sup>2</sup> Институт прикладной математики ДВО РАН (ФГБНУ «ИПМ ДВО РАН»), ул. Радио 7, г. Владивосток, 690041

<sup>3</sup> Дальневосточный федеральный университет (ФГАОУ ВО «ДФУ»), о. Русский, п. Аякс, 10, Владивосток, 690022,

SPIN-код: Шатилина Т.А. – 8296-4906; Цициашвили Г.Ш. – 8626-5781; Осипова М.А. – 6110-492; Радченкова Т.В. – 7541-9790

**Цель работы:** оценить климатические факторы, влияющие на динамику вылова амурской горбуши, и определить механизмы этого влияния в периоды высокого и низкого возврата горбуши в Амурский лиман. **Материал исследования:** данные уловов горбуши амурского лимана, данные наблюдений за температурой воды электронной базы ЕСИМО, данные о температуре воздуха и осадках на прибрежных ГМС были получены из архивов ВНИИГМИ МЦД и архивы реанализа (NCEP/NCAR Reanalysis Monthly Means and Other Derived Variables) атмосферного давления  $P_0$ , геопотенциала  $H_{500}$ . **Используемые методы:** для выявления критических уровней уловов лососей применён алгоритм интервального распознавания, ранее разработанный коллективом авторов и показавший свою результативность в решении задач рыбного хозяйства. **Результаты:** возможность определения за два года будут ли благоприятными или нет условия выживания горбуши в инкубационный период, а также прогноз за год благоприятных условий для выживания горбуши на основе оценки температуры воды в период ската, которая зависит от особенностей атмосферной циркуляции.

**Ключевые слова:** горбуша *Oncorhynchus gorbuscha*, Амурский лиман, аномалии температуры воды, воздуха и осадков, коэффициент интервального распознавания.

## Features of hydrometeorological conditions over the Far East during the years of high and low runs of Amur pink salmon of even-numbered generation

Tatiana A. Shatilina<sup>1</sup>, Guram Sh. Tsitsiashvili<sup>2</sup>, Marina A. Osipova<sup>2,3</sup>, Tatiana V. Radchenkova<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Pacific branch of VNIRO («ТИНРО»), 4, per. Shevchenko, Vladivostok, 690091, Russia

<sup>2</sup> Institute of applied mathematics FEB RAS («IAM FEB RAS»), 7, Radio str., Vladivostok, 690041, Russia

<sup>3</sup> Far Eastern Federal University («FEFU»), 10, Ajax vil., Russian Island, Vladivostok, 690022, Russia

SPIN-код: Т.А. Шатилина – 8296-4906; Г.Ш. Цициашвили – 8626-5781; М.А. Осипова – 6110-492; Т.В. Радченкова – 7541-9790

**Purpose:** assessment of climatic factors influencing the dynamics of Amur pink salmon catch and determination of the mechanisms of this influence during periods of high and low salmon runs to the Amur estuary. **Research Material:** salmon catch data from the Amur estuary, water temperature observations from the ESIMO electronic database, air temperature and precipitation data on coastal GMS were obtained from the archives of the VNIIGMI MDC and the archives of the Reanalysis (NCEP/NCAR Reanalysis Monthly Mean and Other Derived Variables) of atmospheric pressure  $P_0$ , geopotential  $H_{500}$ . **Methods used:** to identify critical levels of salmon catches, an interval recognition algorithm was used, previously developed by a team of authors and demonstrated its effectiveness in solving fisheries problems. **Results:** the possibility of determining in two years whether the conditions for the survival of pink salmon during the incubation period will be favorable or not, as well as a forecast for a year of favorable conditions for the survival of pink salmon based on an estimate of the water temperature during the slope, which depends on the characteristics of atmospheric circulation.

**Keywords:** pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha*, Amur estuary, temperature anomalies of water, air and precipitation, interval recognition coefficient.

## ВВЕДЕНИЕ

С середины прошлого столетия началось неуклонное снижение уловов амурской горбуши (*Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum, 1792)), вызванное истощением запасов. Суммарный вылов данного вида на Амуре во второй половине прошлого столетия по

сравнению с первой половиной снизился почти в 2 раза. В период истощения запасов лососей особую актуальность приобретают исследования влияния климата на их воспроизводство [Леванидов, 1969].

Помимо естественных факторов, лимитирующих численность амурских лососей, существуют и антропогенные факторы, главным образом – промысел. До

80-х годов 20-го столетия упадок промысла осенней кеты и горбуши в бассейне Амура специалистами связывался со снижением запасов, вызванным японским морским промыслом на путях миграций. В работе [Горяинов и др., 2006], кроме антропогенного воздействия на снижение запасов амурской горбуши показана также роль климатических изменений.

Одним из наиболее критических периодов жизненного цикла тихоокеанских лососей является речной, на который приходятся самые ранние этапы развития. При этом подавляющее число факторов, лимитирующих численность развивающейся икры, личинок и молоди так или иначе связаны с проявлениями климата. Колебания климата, определяющие изменения гидрологических условий, влияют на естественное воспроизводство как путём прямой элиминации на самых ранних этапах, так и косвенно – ускоряя или замедляя темпы её развития и роста на последующих, более поздних этапах.

Влияние климата на динамику вылова горбуши описывалось в работах [Смирнов, 1947; Лапин, 1971; Енютин, 1972; Островский, 2014, 2018, 2023; Рослый, 1975, 2002; Карпова и др., 2008; Колпаков и др. 2019; Горяинов и др. 2003, 2006; Островский и др., 2023]. Ю.Е. Лапин [1971] отмечает, что горбуша представляет исключительный интерес не только по своему хозяйственному значению, но и благодаря характерным особенностям своей биологии. Из всех тихоокеанских лососей горбуша отличается самым коротким жизненным циклом, наиболее быстрым ростом и созреванием. Подобно другим видам лососей после нереста горбуша погибает. Её уловы также, как и запасы, сильно колеблются, а в некоторых районах ареала довольно чётко выражена двухлетняя периодичность этих колебаний. Так, например, в бассейне р. Амур уловы в чётные годы долгое время превышали уловы нечётных лет. Эта особенность динамики численности горбуши получила наименование доминирования линии поколений или доминанты.

Промыслово-биологический очерк по амурской горбуше был сделан Р.И. Енужиной [1972]. Она отмечает, что рунный ход горбуши в лимане Амура происходит при температуре воды в среднем 15-18 °С. Нерест горбуши начинается во второй или в начале третьей декады июля и продолжается до конца сентября.

Наиболее критическими являются период эмбриогенеза и период перехода в прибрежные морские воды. Из предыдущих работ [Великанов и др., 2017; Шатилина и др., 2018] следует, что в годы экстремумов более наглядно выявляются механизмы влияния климата на динамику вылова горбуши.

Основной идеей работы является то, что высокие и низкие уловы горбуши Амурского лимана обусловлены экстремальными условиями атмосферной циркуляции, когда над Амурским лиманом располагаются области с аномальными значениями климатических параметров (приземного давления, температуры воздуха, геопотенциала). Чтобы обнаружить в какие месяцы года над лиманом наблюдаются эти особые климатические условия, был использован метод интервального распознавания, который позволяет выявить особенности барических полей, обуславливающих благоприятные или неблагоприятные условия для жизненных циклов горбуши Амурского лимана.

Целью работы является оценка климатических факторов, влияющих на динамику вылова амурской горбуши и выявление механизмов этого влияния в периоды высокого и низкого возврата горбуши в Амурский лиман.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Данные уловов горбуши амурского лимана с 1950 по 2022 гг. предоставлены В.И. Островским (Хабаровский филиал ВНИРО). Использовались данные наблюдений за температурой воды электронной базы ЕСИМО<sup>1</sup>, ВНИИГМИ-МЦД<sup>2</sup> на гидрометеорологических станциях (ГМС) Пронге, Джаоре, Лазарев, Погиби за период 1977-2022 гг. (рис. 1).

Для оценки изменчивости термического режима в Амурском лимане рассчитывались аномалии температуры воды по ГМС Пронге, Джаоре, Лазарев и Погиби относительно базового периода 1991-2020 гг. Данные о температуре воздуха и осадках на прибрежных ГМС были получены из архивов ВНИИГМИ МЦД за период 1950-2023 гг.

Для оценки изменчивости атмосферной циркуляции рассчитывались аномалии приземного давления и геопотенциала  $H_{500}$  в центрах действия атмосферы (ЦДА). Основными данными послужили архивы реанализа (NCEP/NCAR Reanalysis Monthly Means and Other Derived Variables) атмосферного давления  $P_0$ , геопотенциала  $H_{500}$  в узлах регулярной сетки  $2,5 \times 2,5^\circ$  за период с 1950 по 2022 гг.

В настоящей работе для распознавания критических уровней уловов амурской горбуши использовался оригинальный алгоритм интервального распознавания, опубликованный в работах [Шатилина и др., 2006; Svyatukha et al., 2003]. В качестве признаков для распознавания экстремальных уловов были взяты ежемесячные данные  $H_{500}$ ,  $P_0$  и  $T_a$  в узлах 5-градусной

<sup>1</sup> <http://portal.esimo.ru/portal/>

<sup>2</sup> <http://meteo.ru>

сетки для трёх районов: южного (30-40° с.ш., 120-160° в.д.), умеренного (45-55° с.ш., 120-160° в.д.) и северного (60-70° с.ш., 120-160° в.д.). Метод интервального распознавания отчасти напоминает метод планирования экспериментов [Налимов, 1971], которые проводятся при минимальных и максимальных значениях отдельных факторов.

В период с 1950 по 2022 гг. выбирались года с аномально большими уловами (1958, 2012, 2014, 2016 гг.), и для каждого месяца находились минимальные и максимальные значения метеорологических характеристик  $H_{500}$ ,  $P_0$  и  $T_a$ . Для остальных лет рассматриваемого периода проверялось попадают ли значения всех параметров ( $H_{500}$ ,  $P_0$  и  $T_a$ ) в построенные интервалы (неправильно распознанные выловы) или нет (правильно распознанные выловы). Алгоритм решения строится так, что все экстремальные выловы распознавались правильно, а остальные выловы могут распознаваться как правильно, так и неправильно. Аналогично распознавались и аномально малые уловы (года с такими уловами – 1954, 1970, 1972, 1994, 2022 гг.). Коэффициент распознавания – это отношение фактического количества правильно распознаваемых выловов к общему количеству выловов.

Если коэффициент распознавания для больших уловов высокий (не меньше 0,8), то в этом месяце формируются условия благоприятные для выживания горбуши. Если же коэффициент распознавания высокий для экстремально малых уловов, это означает формирование неблагоприятных условий выживания. На основании этого были построены синоптические карты метеорологических условий, способствующих высокой и низкой численности горбуши.

Задача распознавания экстремальных выловов по метеорологическим данным рассматривает короткие (не более 30 лет) и неоднородные временные ряды. Поэтому её, с одной стороны, можно отнести к задаче о редких событиях. С другой стороны, массив обрабатываемых значений метеорологических признаков велик (порядка 40 и более), т. е. мы имеем дело с большими данными. Причём, при увеличении числа метеорологических признаков качество распознавания только возрастает.

Вычислительная сложность используемого алгоритма интервального распознавания зависит линейно от числа уловов и от объёма выборки по каждой метеорологической характеристике. Это делает алгоритм достаточно быстрым в отличие от разложения по ортогональным функциям.

Интерес авторов вызвало применение метода интервальной математики к обработке данных климатических параметров ( $H_{500}$ ,  $P_0$  и  $T_a$ ) за год или два до

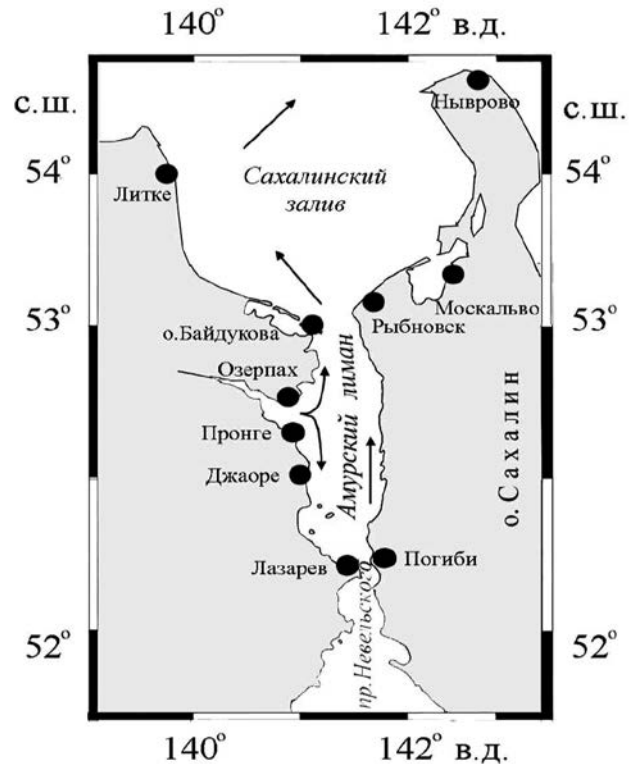


Рис. 1. Схема расположения станций и течений в Амурском лимане

Fig. 1. The layout of stations and currents in the Amur estuary

года с экстремальными выловами. Такое исследование позволяет выявить месяцы, благоприятные (для экстремально больших уловов) и неблагоприятные (для экстремально малых уловов) для ската и периода инкубации горбуши.

Для выявления экстремальных климатических условий рассчитывались значимые аномалии для всех используемых параметров ( $H_{500}$ ,  $P_0$ ,  $R$ ,  $T_a$ ) по формуле, опубликованной в работе [Спичкин, 1987]. Критерием крупной/значимой аномалии является значение  $1,2\sigma$ , где  $\sigma$  – стандартное отклонение. В настоящей работе для исследования изменчивости термических условий по наблюдениям за температурой воды  $T(t)$ ,  $t=1, \dots, n$ , построена оценка коэффициента  $a$  уравнения линейного тренда  $T=at+b$ , минимизирующая функцию (остаточная изменчивость временного ряда):

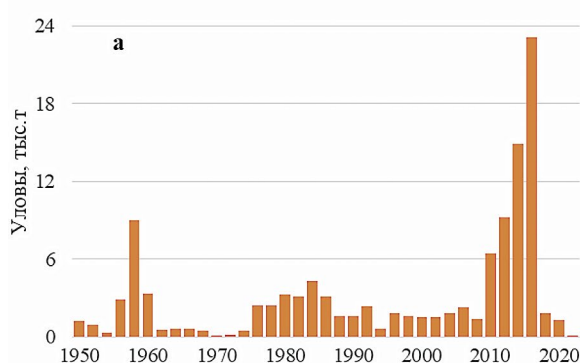
$$s = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (T(t) - (at+b))^2}$$

Проверена гипотеза о равенстве/неравенстве нулю коэффициента линейного тренда  $a$  с помощью критерия Стьюдента по величине  $a/s$ . Тренд считался значимым, если отношение  $a/s$  не меньше 0,04 при заданном уровне значимости 0,95 и при условии нормального распределения исходных данных [Шатилина и др., 2016].

## Динамика уловов горбуши в 1950-2022 гг.

Российский лососевый промысел в бассейне Амура с начала прошлого столетия осуществляется на традиционных участках, при примерно постоянном рыболовном усилии. Динамика отечественных уловов амурских лососей представлена на рис. 2.

В четные годы высокие уловы горбуши были в 1958, 2012, 2014, 2016 гг., а в нечётные годы – в 1983, 1985, 2009, 2011 гг. В данной работе анализируется влияние климатических факторов на процесс воспроизводства горбуши чётного поколения (рис. 2 а).



В декабре выделяются несколько лет с экстремально высокими аномалиями  $H_{500}$  над областью тропосферной ложбины: 1961, 1979, 1980, 1989, 1990, 2010 и 2013 гг., и экстремально низкими аномалиями: 1969, 1970, 1978, 2002, 2003 и 2020 гг. (рис. 3а). Видно, что частота крупных положительных аномалий над Охотским морем увеличивается после 1980 г. Увеличение частоты появления крупных аномалий над областью дальневосточной ложбины свидетельствует о её ослаблении. В январе максимальные значения аномалий  $H_{500}$  были в 1950, 1963, 1974, 1984, 1991, 1997, 2000, 2002, 2009 и 2015 гг., а минимальные зна-

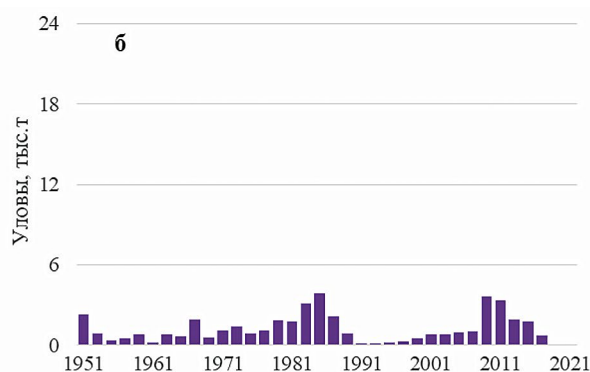


Рис. 2. Вылов горбуши в Амурском лимане в чётные (а) и нечётные (б) годы

Fig. 2. Pink salmon fishing in the Amur Estuary in even-numbered (a) and odd-numbered years (b)

Отметим, что в зимний сезон Амурский лиман и река Амур находятся под воздействием холодных воздушных масс зимнего муссона. В весенний и летний периоды под воздействием тёплых воздушных масс летнего муссона. Интенсивность зимнего и летнего муссона оценивается в работе по динамике интегральных характеристик в центрах действия атмосферы.

### Изменчивость интегральных характеристик в центрах действия атмосферы у восточного побережья Азии в 1950-2022 гг.

В зимний период основными центрами действия атмосферы у Восточного побережья Азии являются сибирский антициклон и алеутская депрессия. В средней тропосфере в зимний период над Дальним Востоком расположена дальневосточная тропосферная ложбина (ТЛ), большая часть которой располагается над Охотским морем, а в северо-западной части моря часто располагается тропосферный циклон (ОТЦ).

Интенсивность ТЛ определяется по данным аномалий геопотенциала  $H_{500}$  над Охотским морем. Динамика аномалий геопотенциала  $H_{500}$  в декабре и январе, а также аномалии температуры воздуха и осадков на ГМС Николаевск-на-Амуре в 1950-2023 гг. представлены на рис. 3.

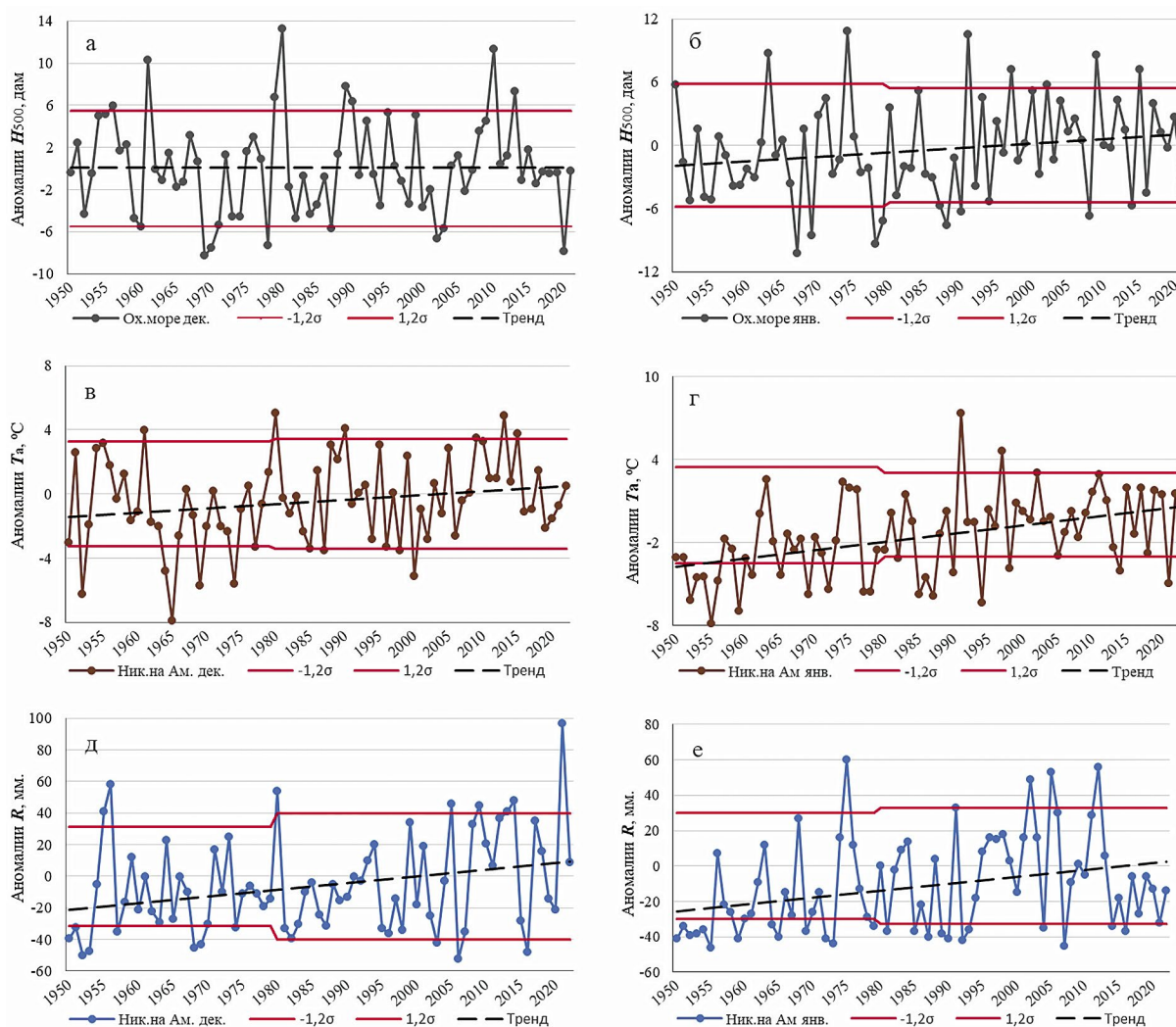
чения аномалий  $H_{500}$  (ТЛ усиливалась) отмечались в 1967, 1969, 1978, 1979, 1988, 2008, 2014 гг. (рис. 3 б). Интенсивность ТЛ обуславливает изменчивость температуры воздуха и осадков над Амурским лиманом.

Крупные положительные аномалии температуры воздуха (более 4 °C) в декабре отмечались в 1961, 1980, 1990, 2013 и 2015 гг., а в январе – в 1991, 1997 гг. А отрицательные аномалии температуры воздуха (до минус 6 °C) в декабре в 1952, 1964, 1965, 1969, 1974 и 2000 гг., в январе – в 1952, 1955, 1959, 1969, 1985, 1987 и 1994 гг. (рис. 3 в, г).

Максимальные осадки (аномалии более 40 мм), (рис. 3 д, е) отмечались в декабре в 1956, 1980, 2009, 2012, 2014 и 2021 гг., а дефицит (от минус 40 мм) осадков – в 1952, 1953, 1968, 1969, 1970, 2006, 2016 гг. (рис. 3 д). Максимальные осадки в январе отмечались в 1975, 1991, 2002, 2005 и 2012 гг., а дефицит осадков – в 1955, 1959, 1965, 1972, 1973, 1987, 1990, 1992 и 2007 гг. (рис. 3 е).

### Особенности атмосферной циркуляции в региональных ЦДА в тёплый период

На рис. 4 представлена изменчивость циркуляции в ЦДА в июле 1950-2022 гг., когда наблюдается летний муссон.



**Рис. 3.** Аномалии геопотенциала  $H_{500}$  над Охотским морем в декабре (а), январе (б), аномалии температуры воздуха  $T_a$  в декабре (в) и январе (г) и осадков  $R$  на ГМС Николаевск-на-Амуре в декабре (д) и январе (е) в 1950-2023 гг. Красным цветом выделены границы крупных аномалий в области ТЛ

**Fig. 3.** Anomalies of the  $H_{500}$  geopotential over the Sea of Okhotsk in December (a), January (b), air temperature anomalies  $T_a$  in December (c) and January (d), and precipitation  $R$  at the Nikolaevsk-on-Amur HMS in December (e) and January (f) in 1950-2023. The boundaries of large anomalies in the tropospheric hollow area are highlighted in red

В результате анализа многолетнего хода средне-месячных аномалий приземного давления и высоты изобарической поверхности 500 гПа выявлено, что в тёплый период года (период наибольшей активности указанных центров) после 1979-1980 гг. наблюдалось повышение давления в области азиатской депрессии (рис. 4 а). В области отрога гавайского антициклона в тёплый период года давление повышалось, особенно это заметно в средней тропосфере в июле (рис. 4 б).

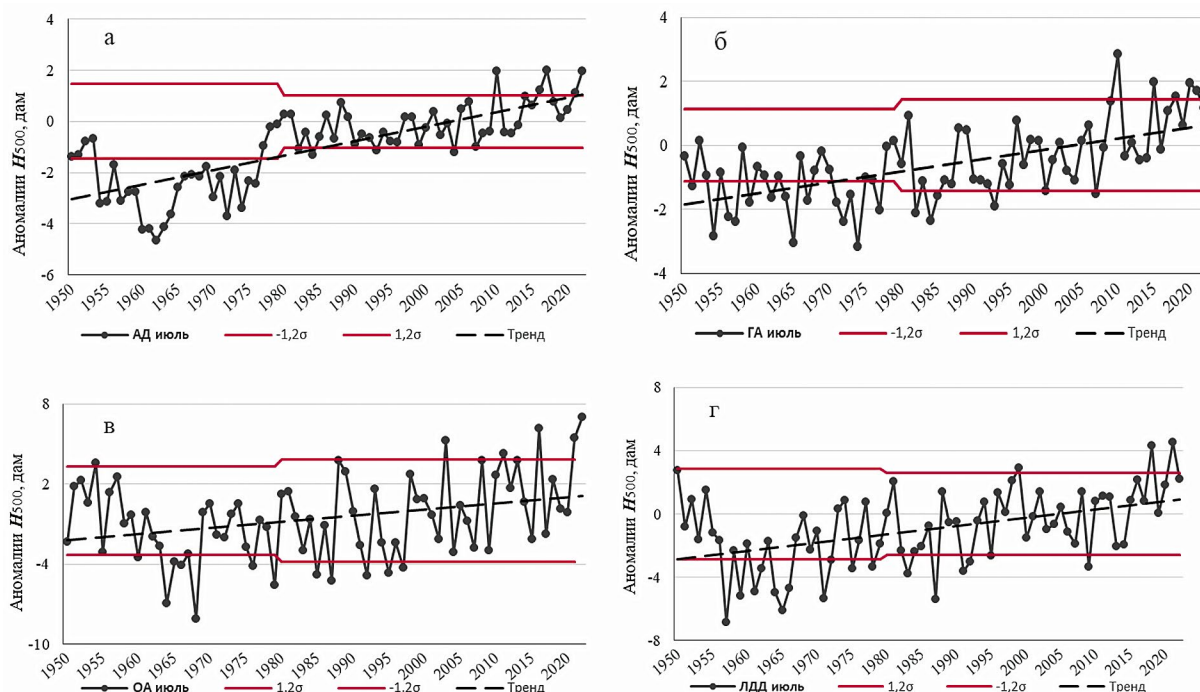
Для количественной оценки состояния тропосферной депрессии (ТД) над Охотским морем в летний период рассматривались среднемесячные значения аномалий геопотенциальной высоты  $H_{500}$ . Наблюдается тенденция роста  $H_{500}$ , что свидетельствует об

ослаблении тропосферной депрессии над Охотским морем (рис. 4в). Охотский антициклон был особенно развит в 80-х годах прошлого столетия. В июле можно выделить его ослабление с 2004 г.

### Оценка изменчивости термических условий в Амурском лимане по данным ГМС

В табл. 1 представлены оценки тренда ( $a/s$ ) и остаточной изменчивости ( $s$ ) для ряда аномалий температуры воды на всех ГМС Амурского лимана в 1977-2021 гг.

На ГМС Погиби значимый тренд отмечается в сентябре и октябре, на ГМС Лазарев отмечается отрицательный тренд в июне, положительные значения были с июля по ноябрь.



**Рис. 4.** Аномалии геопотенциала  $H_{500}$  над областью азиатской депрессии (а), гавайским антициклоном (б), Охотским морем (в) и летней дальневосточной депрессией (г) в июле 1950–2022 гг. Красным цветом показаны границы крупных аномалий  
**Fig. 4.** Anomalies of the  $H_{500}$  geopotential over the Asian depression (a), the Hawaiian anticyclone (b), the Sea of Okhotsk (c), and the summer Far Eastern depression (d) in July 1950–2022. The borders of large anomalies are shown in red

**Таблица 1.** Оценка тренда ( $a/s$ ) и остаточной изменчивости ( $s$ ) аномалий температуры воды в прибрежных водах Амурского лимана в 1977–2021 гг.

**Table 1.** Assessment of the trend ( $a/s$ ) and residual variability ( $s$ ) of water temperature anomalies in the coastal waters of the Amur Estuary in 1977–2021

Месяцы	Погиби		Лазарев		Пронге		Джаоре	
	$s$	$a/s$	$s$	$a/s$	$s$	$a/s$	$s$	$a/s$
май	1,2	0,03	1,3	0,01	1,4	0,02	1,5	0,02
июнь	1,4	0,0	1,3	-0,04	1,2	0,01	1,5	-0,01
июль	1,0	0,02	0,9	0,05	1,0	0,02	3,0	0,01
август	1,1	0,02	1,1	0,04	1,0	0,02	1,2	0,01
сентябрь	0,9	0,05	0,9	0,1	1,0	0,05	2,4	0,0
октябрь	0,9	0,05	1,0	0,1	1,0	0,04	0,9	0,04
ноябрь	0,3	0,02	0,5	0,06	0,3	0,02	0,2	0,03

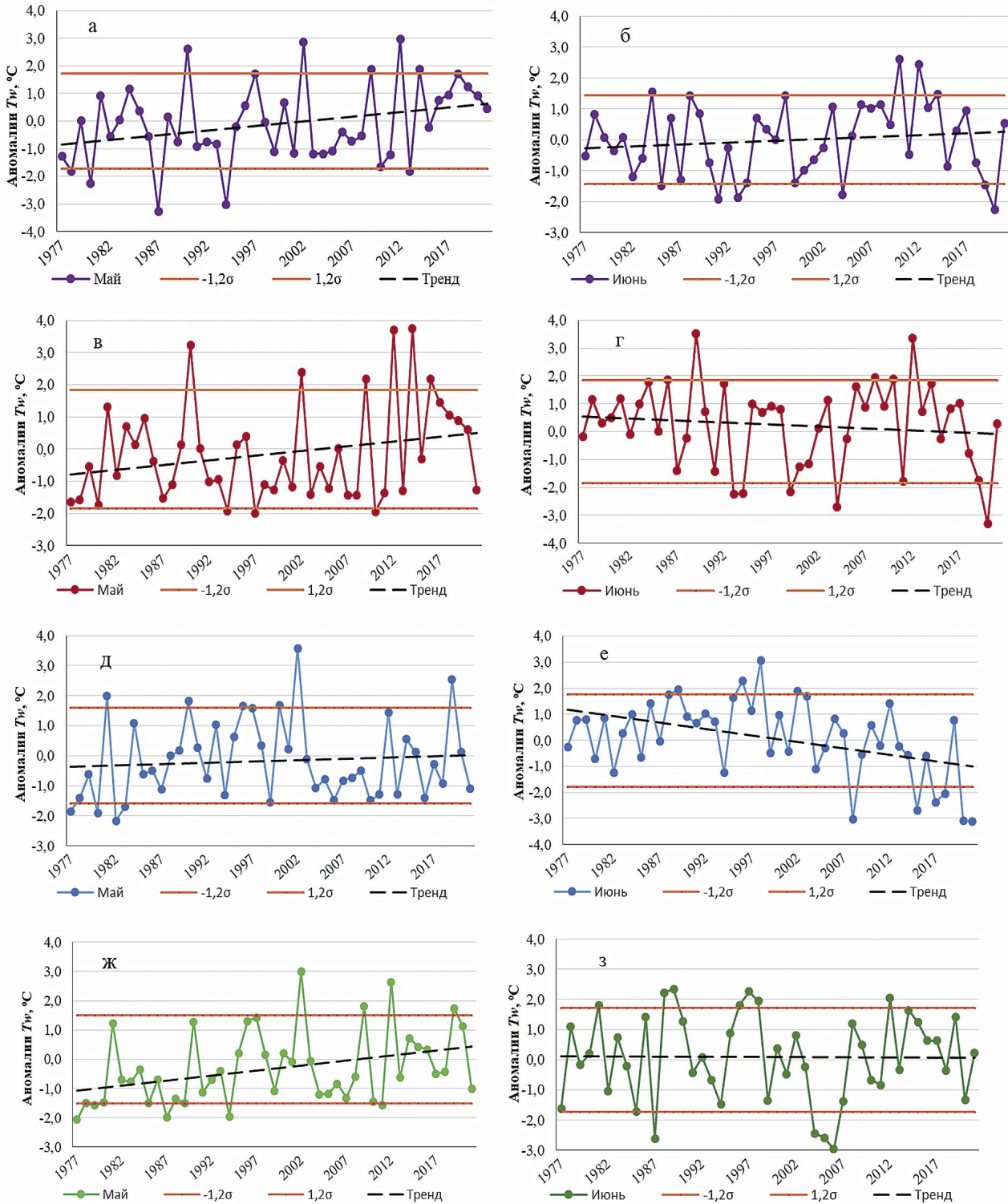
На рис. 5 представлен межгодовой ход аномалий температуры воды на ГМС Амурского лимана.

На ГМС Пронге крупные положительные аномалии температуры воды в мае отмечались в 1990, 2002, 2012 гг., а отрицательные – в 1980, 1987 и 1994 гг. (рис. 5 а). На ГМС Джаоре крупные положительные аномалии в мае наблюдались в 1990, 2002, 2009, 2012 и 2014 гг., а отрицательные – 1980, 1994 и 2010 гг. (рис. 5 в). На ГМС Лазарев положительные аномалии

наблюдались в 1981, 1990, 2002 и 2019 гг., а минимальные – 1980 и 1982 гг. (рис. 5 д). На ГМС Погиби крупные положительные аномалии отмечались в 2002 и 2012 гг., а отрицательные – 1977, 1987 и 1994 гг. (рис. 5 ж). Крупные положительные аномалии в мае 2012 и 2014 гг. совпадали с максимальными уловами амурской горбуши, а отрицательные – с минимальными уловами. Максимальные значения аномалий температуры воды в июне на ГМС Пронге отмечались в 2010, 2012 гг., а минимальные – в 1991, 1993, 2020 гг. (рис. 5 б). На ГМС Джаоре максимальные значения были в 1989 и 2012 гг., а минимальные – в 1993, 1994, 1999 и 2020 гг. (рис. 5 г). На ГМС Лазарев максимальные аномалии отмечались в 1996, 1998 и 2002 гг., а минимум был – в 2008, 2015, 2020 и 2021 гг. (рис. 5 е). На ГМС Погиби крупные аномалии температуры воды были в 1988, 1989, 1997 и 2012 гг., а крупное понижение температуры воды на этой станции отмечалось в 1987, 2004, 2005 и 2006 гг. (рис. 5 з).

### Оценка влияния гидрометеорологических условий на динамику вылова горбуши Амурского лимана.

Для определения взаимосвязи температуры воздуха, воды и осадков с заблаговременностью два года на уловы амурской горбуши в чётные годы



**Рис. 5.** Межгодовая изменчивость аномалий температуры воды в 1977-2021 гг. на ГМС Пронге в мае (а), в июне (б), Джаоре в мае (в), в июне (г), Лазарев в мае (д), в июне (е), Погиби в мае (ж), в июне (з). Красным цветом выделены границы крупных аномалий

**Fig. 5.** Intra-annual variations in water temperature anomalies in 1977-2021 at the Pronge HMS in May (a), in June (b), Jaore in May (c), in June (d), Lazarev in May (e), in June (f), and Perished in May (g), in June (h). The borders of large anomalies are highlighted in red

рассчитан коэффициент корреляции на ГМС Пронге и Николаевск-на-Амуре.

**Таблица 2.** Коэффициенты корреляции уловов горбуши Амурского лимана чётной линии с аномалиями температуры воздуха и осадков на ГМС Николаевск-на-Амуре и с аномалиями температуры воды на ГМС Пронге

**Table 2.** Coefficients correlation of catches of pink salmon from the Amur estuary of the even line with anomalies of air temperature and precipitation at the Nikolaevsk-on-Amur HMS and with anomalies of water temperature at the Pronge HMS

Месяцы	$T_a$	Осадки	Месяцы	$T_w$
Январь	-0,01	0,16	май	-0,07
Февраль	0,05	0,13	июнь	0,03
Март	0,07	<b>0,26</b>	июль	0,22
Декабрь	<b>0,34</b>	<b>0,61</b>	август	<b>0,48</b>

Связь с температурой воды на ГМС Пронге, расположенной в устье Амура, низкая. Самая высокая корреляция отмечается между уловами и осадками в декабре для горбуши чётной линии. Но в то же время эта связь достаточно низкая, чтобы использовать её для прогноза условий выживаемости амурской горбуши. Ещё ниже связь с температурой воздуха. Заметим, что низкие коэффициенты корреляции обуславливаются присутствием во временных рядах климатических параметров крупных аномалий (или выбросов).

Для определения особенностей гидрометеорологических условий в годы высокого и низкого воз-

врата амурской горбуши на всех этапах жизненного цикла применим метод интервального распознавания по данным геопотенциала  $H_{500}$ , приземного давления  $P_0$  и температуры воздуха  $T_a$  над районами: южный район (30-40° с.ш.), умеренный район (40-50° с.ш.) и северный район (55-65° с.ш.). Эти районы расположены над центральным сектором северного полушария (120-160° в.д. 30-70° с.ш.) и данные  $H_{500}$ ,  $P_0$  и  $T_a$  отражают основные особенности в изменчивости региональных ЦДА, представленных на рис. 3 и 4.

В табл. 3-4 представлены коэффициенты интервального распознавания  $n$  для максимальных уловов в 1958, 2012, 2014, 2016 гг. чётного поколения (рис. 2а) амурской горбуши по данным геопотенциала  $H_{500}$ , приземного давления  $P_0$  и приземной температуры воздуха  $T_a$  для южного, умеренного и северного района со сдвигом 2 года (нерест и инкубационный период) и со сдвигом 1 год (скат).

Видно, что наибольшие коэффициенты распознавания отмечаются в июле и декабре, т. е. наибольшее сходство имеют барические поля в период нереста и инкубации, что согласуется с общими представлениями о влиянии климата на воспроизводство горбуши Амурского лимана.

На основании данных интервального распознавания строим барические поля для жизненных циклов чётных поколений амурской горбуши в годы высоких уловов (рис. 6). В период нереста (сдвиг 2 года) наибольшие коэффициенты отмечались в июле, в инкубационный период – в декабре. В период ската молоди наибольшие коэффициенты были в июне.

**Таблица 3.** Коэффициенты интервального распознавания по данным  $H_{500}$ ,  $P_0$  и  $T_a$  для максимальных уловов амурской горбуши чётного поколения со сдвигом 2 года (нерест и инкубационный период)

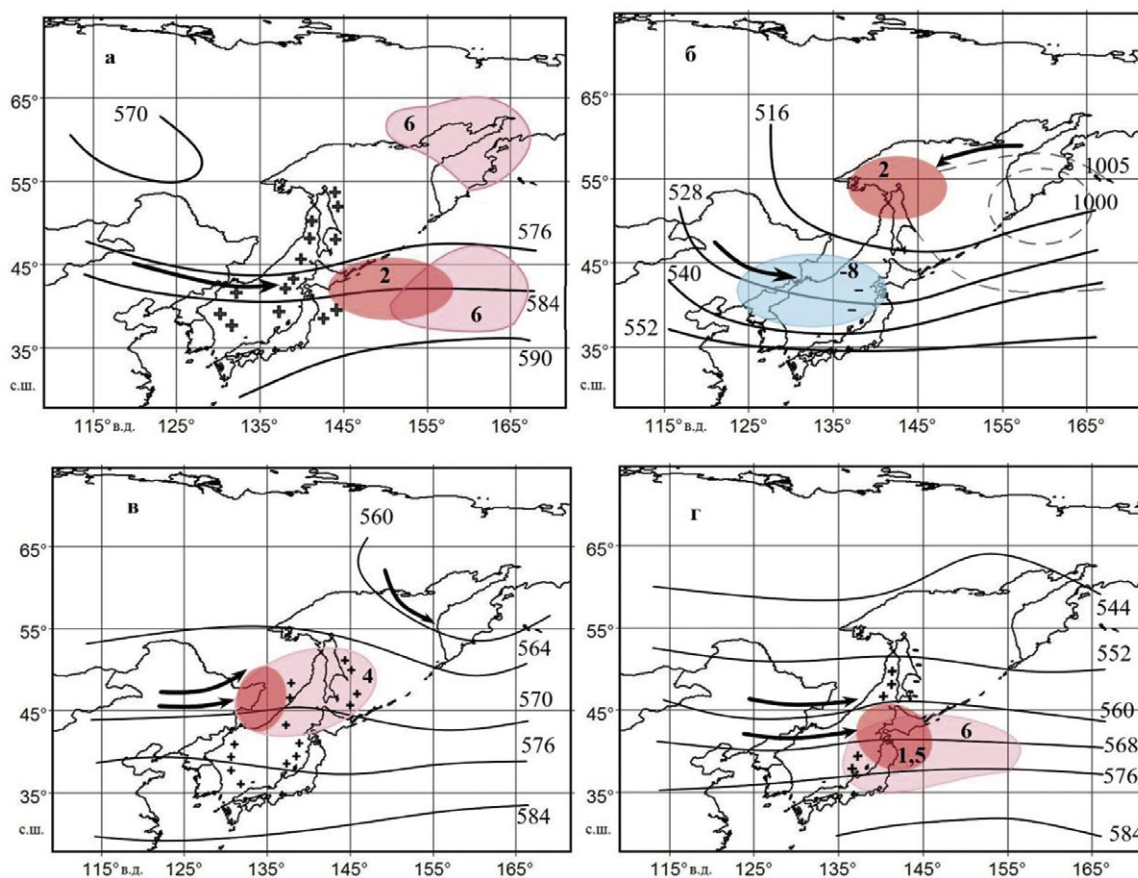
**Table 3.** Interval recognition coefficients according to  $H_{500}$ ,  $P_0$  and  $T_a$  data for maximum catches of Amur pink salmon of the even-numbered generation with a 2-year shift (spawning and incubation period)

Месяцы	Южн.	Ум.	Сев.	Южн.	Ум.	Сев.	Южн.	Ум.	Сев.
	$H_{500}$			$P_0$			$T_a$		
Янв.	0,44	<b>1,00</b>	0,50	0,67	<b>1,00</b>	0,50	0,67	0,80	1,00
Фев.	0,44	0,33	0,31	<b>1,00</b>	0,36	0,31	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>
Март	<b>1,00</b>	0,67	0,67	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>0,80</b>	<b>1,00</b>
Апр.	<b>0,80</b>	0,31	0,80	0,36	0,29	0,44	0,67	0,67	0,44
Май	<b>1,00</b>	0,67	0,31	<b>1,00</b>	0,40	<b>0,80</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	0,44
Июнь	<b>0,80</b>	<b>1,00</b>	0,50	0,40	<b>0,80</b>	0,50	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>
Июль	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>0,80</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>
Авг.	0,36	<b>0,80</b>	<b>0,80</b>	0,50	0,67	0,67	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>0,80</b>
Сен.	0,57	0,67	<b>0,80</b>	<b>1,00</b>	0,31	0,67	0,57	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>
Окт.	<b>0,80</b>	<b>1,00</b>	0,57	<b>1,00</b>	0,57	0,50	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	0,67
Ноя.	0,67	<b>1,00</b>	<b>0,80</b>	0,57	0,67	0,40	<b>0,80</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>
Дек.	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>0,80</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	0,57	<b>1,00</b>	<b>0,80</b>	<b>1,00</b>

**Таблица 4.** Коэффициенты интервального распознавания по данным  $H_{500}$ ,  $P_0$  и  $T_a$  максимальных уловов амурской горбуши четного поколения со сдвигом 1 год (скат)

**Table 4.** Coefficients of interval recognition according to  $H_{500}$ ,  $P_0$  and  $T_a$  data of maximum catches of Amur pink salmon of the even-numbered generation with a 1-year shift (downstream migration)

Месяцы	Южн.	Ум.	Сев.	Южн.	Ум.	Сев.	Южн.	Ум.	Сев.
	$H_{500}$			$P_0$			$T_a$		
Янв.	0,50	0,67	0,50	0,80	1,00	0,40	1,00	0,80	1,00
Фев.	0,36	0,44	0,21	0,80	0,80	0,36	0,80	0,67	0,50
Март	0,24	0,36	0,80	0,44	0,57	0,18	0,80	0,67	0,67
Апр.	0,50	0,67	0,50	0,80	0,80	0,36	1,00	1,00	0,80
Май	0,57	0,57	0,27	1,00	0,67	0,50	0,67	1,00	0,57
Июнь	0,31	1,00	0,67	1,00	0,67	0,57	0,80	1,00	1,00
Июль	0,50	0,80	1,00	0,80	1,00	0,80	1,00	0,80	1,00



**Рис. 6.** Среднемесячная структура геопотенциала изобарической поверхности 500 гПа, положение экстремальных областей геопотенциала  $H_{500}$ , приземной температуры воздуха  $T_a$  и аномалий поверхностной температуры воды: а – июль 2010 (нерест), б – декабрь 2014 (инкубационный период), в – июнь 2013 (скат), г – май 2016 (анадромные миграции). Красным цветом выделена область с экстремально высокой температурой воздуха у поверхности земли, розовым – области крупных положительных аномалий  $H_{500}$ , голубым – области отрицательных аномалий  $H_{500}$ , плюсом выделены области с положительными значениями поверхностной температуры воды; пунктиром показаны изобары приземного давления, стрелками показано направление переноса воздушных масс

**Fig. 6.** The average monthly structure of the isobaric surface geopotential of 500 gPa, the position of extreme areas of the  $H_{500}$  geopotential, surface air temperature and surface water temperature anomalies: a – July 2010 (spawning), b – December 2014 (incubation period), c – June 2013 (slope), d – May 2016 (anadromous migrations). The area with extremely high air temperature near the earth's surface is highlighted in red, the areas of large positive anomalies of  $H_{500}$  are pink, the areas of negative anomalies of  $H_{500}$  are blue, the areas with positive values of surface water temperature are highlighted with a plus; the dotted line shows isobars of surface pressure, the arrows show the direction of air mass transfer.

Наблюдались положительные аномалии температуры воды в Татарском проливе, что обеспечивало миграцию горбуши через пролив Невельского (рис. 6 а). Положительные аномалии в области Цусимского течения составили в среднем 1,5 °С, т. е. это были крупные аномалии, усиливалось Цусимское течение, что обеспечивало миграцию горбуши через пролив Невельского.

Благоприятными условиями для горбуши был и инкубационный период, когда над районом наблюдался очаг с крупной аномалией температуры воздуха (рис. 6 б). Поступление тёплых воздушных масс отмечалось с циклонами, формирующимися в мористых районах СЗТО.

В период ската горбуши в северной части Татарского пролива наблюдались положительные значения аномалий температуры воды, в частности аномалии температуры воды в июне 2013 г. составляли на ГМС Пронге, Джаоре, Лазарев и Погиби соответственно: 1 °С, 0,7 °С, 0,2 °С, т. е. были в пределах нормы. В период анадромных миграций крупные аномалии отмечались на юге Японского моря и северной части Татарского уже в мае, они составили в области Цусимского течения 0,7 °С и 1,2 °С. Таким образом, в годы высоких уловов Амурской горбуши чётной линии наблюдались благоприятные атмосферные условия на всех этапах жизненного цикла горбуши Амурского лимана.

В табл. 5-6 представлены результаты интервального распознавания для минимальных уловов в 1954, 1970, 1972, 1994, 2022 гг. горбуши чётного поколения

со сдвигом 2 года (нерест и инкубационный период) и со сдвигом 1 год (скат).

Наибольшие коэффициенты распознавания в период миграции на нерест наблюдаются в июле по  $H_{500}$  для южного района, по  $P_0$  – для умеренного и по  $T_a$  – для южного и умеренного районов. Большие  $n$  по всем районам отмечаются и в августе. В период инкубации наибольшие коэффициенты распознавания наблюдаются по  $H_{500}$  для северного района (где расположена ТЛ) и по  $T_a$  – для умеренного района (табл. 5).

Для минимальных уловов наибольший коэффициент распознавания по  $H_{500}$  отмечался в июне для северного района (над областью Амурского лимана), по  $P_0$  для южного и умеренного района, а по данным  $T_a$  высокие коэффициенты были для всех районов (табл. 6). На основании полученных связей строим барические поля для жизненных циклов горбуши в годы низких уловов (рис. 7).

Видно, что при низких уловах нерест горбуши проходит в неблагоприятных метеорологических условиях, когда над Охотским морем наблюдается барическая ложбина, способствующая выносу холодных воздушных масс в район Амурского лимана (рис. 7 а, б). При неблагоприятных условиях ската молоди горбуши и анадромных миграциях также наблюдается вынос холодных воздушных масс на Амурский лиман (рис. 7 в, г).

На основании данных об изменчивости гидрометеорологических условий (рис. 3-4) определим аномалии этих факторов для жизненных циклов горбуши чётной линии в месяцы наибольших коэффициентов распознавания в 1996-2022 гг.

**Таблица 5.** Коэффициенты интервального распознавания по данным  $H_{500}$ ,  $P_0$  и  $T_a$  минимальных уловов амурской горбуши чётного поколения со сдвигом 2 года (нерест и инкубационный период)

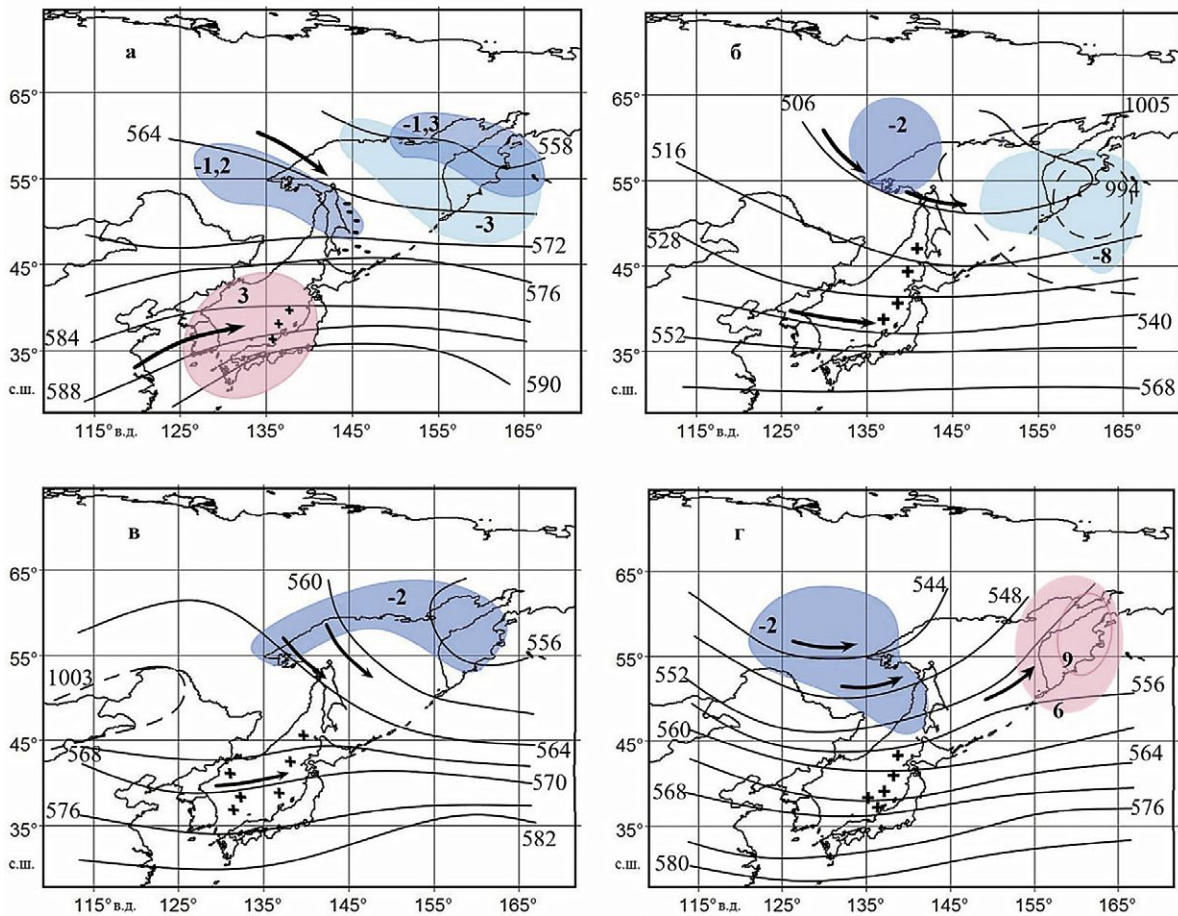
**Table 5.** Interval recognition coefficients according to  $H_{500}$ ,  $P_0$  and  $T_a$  data for minimum catches of Amur pink salmon of the even-numbered generation with a 2-year shift (spawning and incubation period)

Месяцы	Южн.	Ум.	Сев.	Южн.	Ум.	Сев.	Южн.	Ум.	Сев.
	$H_{500}$			$P_0$			$T_a$		
Янв.	0,31	0,63	0,38	0,50	0,71	0,36	0,38	<b>1,00</b>	<b>0,83</b>
Фев.	0,33	0,45	0,45	0,50	0,63	0,31	0,50	0,56	0,50
Март	0,26	0,38	0,63	0,24	0,42	0,36	0,22	0,36	0,45
Апр.	0,71	<b>1,00</b>	0,71	0,45	0,63	0,63	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	0,71
Май	0,50	0,63	0,56	<b>1,00</b>	0,56	<b>1,00</b>	<b>0,83</b>	<b>1,00</b>	0,71
Июнь	0,63	<b>0,83</b>	0,45	0,56	0,38	0,63	<b>0,83</b>	<b>1,00</b>	1,00
Июль	<b>1,00</b>	0,56	0,50	0,63	<b>1,00</b>	<b>0,83</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	0,50
Авг.	0,56	<b>0,83</b>	0,45	<b>1,00</b>	<b>0,83</b>	<b>0,83</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	0,71
Сен.	<b>0,83</b>	0,63	<b>1,00</b>	<b>0,83</b>	0,63	<b>1,00</b>	<b>0,83</b>	0,63	0,71
Окт.	<b>1,00</b>	0,56	0,36	<b>0,83</b>	<b>0,83</b>	<b>0,83</b>	<b>1,00</b>	<b>0,83</b>	0,50
Ноя.	0,56	0,71	0,56	0,50	<b>0,83</b>	0,33	0,71	0,45	0,45
Дек.	<b>0,83</b>	0,38	<b>1,00</b>	0,63	0,36	<b>0,71</b>	0,63	<b>1,00</b>	0,63

**Таблица 6.** Коэффициенты интервального распознавания по данным  $H_{500}$ ,  $P_0$  и  $T_a$  минимальных уловов амурской горбуши четного поколения со сдвигом 1 год (скат)

**Table 6.** Coefficients of interval recognition according to  $H_{500}$ ,  $P_0$  and  $T_a$  data of minimum catches of Amur pink salmon of the even-numbered generation with a 1-year shift (downstream migration)

Месяцы	Южн.	Ум.	Сев.	Южн.	Ум.	Сев.	Южн.	Ум.	Сев.
	$H_{500}$			$P_0$			$T_a$		
Янв.	0,45	0,45	0,33	0,63	0,56	0,25	0,83	1,00	0,50
Фев.	0,63	0,33	0,33	0,38	0,23	0,17	0,71	0,63	0,45
Март	0,38	0,56	0,71	0,83	1,00	0,71	0,56	0,83	1,00
Апр.	0,45	0,26	0,31	0,71	0,71	0,21	1,00	1,00	0,83
Май	0,71	0,71	0,83	0,83	0,83	0,45	1,00	1,00	1,00
Июнь	0,63	0,71	1,00	0,83	0,83	0,42	0,83	0,83	0,83
Июль	0,71	0,56	0,83	0,83	0,63	1,00	0,71	0,71	0,71



**Рис. 7.** Среднемесячная структура поля геопотенциала изобарической поверхности 500 гПа, положение экстремальных областей геопотенциала  $H_{500}$ , приземной температуры воздуха  $T_a$  и аномалий поверхностной температуры воды: а – август 2020 г., б – декабрь 2020 г., в – июнь 2021 г., г – май 2022 г. Синим цветом выделена область с низкой температурой воздуха у поверхности земли, розовым выделена область крупных положительных аномалий  $H_{500}$ , голубым – области отрицательных аномалий  $H_{500}$ , плюсом выделены области с положительными значениями поверхностной температуры воды, минусами отрицательными аномалиями, пунктиром показаны изобары приземного давления, стрелками – направление переноса воздушных масс

**Fig. 7.** The average monthly structure of the geopotential field of an isobaric surface of 500 gPa, the position of extreme areas of geopotential  $H_{500}$ , surface air temperature  $T_a$  and surface water temperature anomalies: а – August 2020, б – December 2020, в – June 2021, г – May 2022. An area with low air temperature near the earth's surface is highlighted in blue, an area of large positive anomalies of  $H_{500}$  is highlighted in pink, areas of negative anomalies of  $H_{500}$  are highlighted in blue, areas with positive values of surface water temperature are highlighted in plus, negative anomalies are highlighted, isobars of surface pressure are dotted, and the direction of air mass transfer is indicated by arrows.

Из табл. 7 видно, что для высокочисленных поколений чётной линии наблюдаются высокие осадки и положительные температуры воздуха, а для малочисленных – низкие значения. Такие условия определяются атмосферной циркуляцией. На основании анализа полученных данных можно составить формализованные схемы (рис. 8) благоприятных или неблагоприятных условий в период нерестовых миграций и инкубации, что важно для прогноза вылова горбуши с заблаговременностью 2 года.

При благоприятных условиях нереста в средней тропосфере отмечается зональный перенос тёплого воздуха, а у земли над Японским морем располагается западная периферия гавайского антициклона. Над Охотским морем тропосферная депрессия ослаблена (наблюдается повышение геопотенциала  $H_{500}$ ) (рис. 8 а).

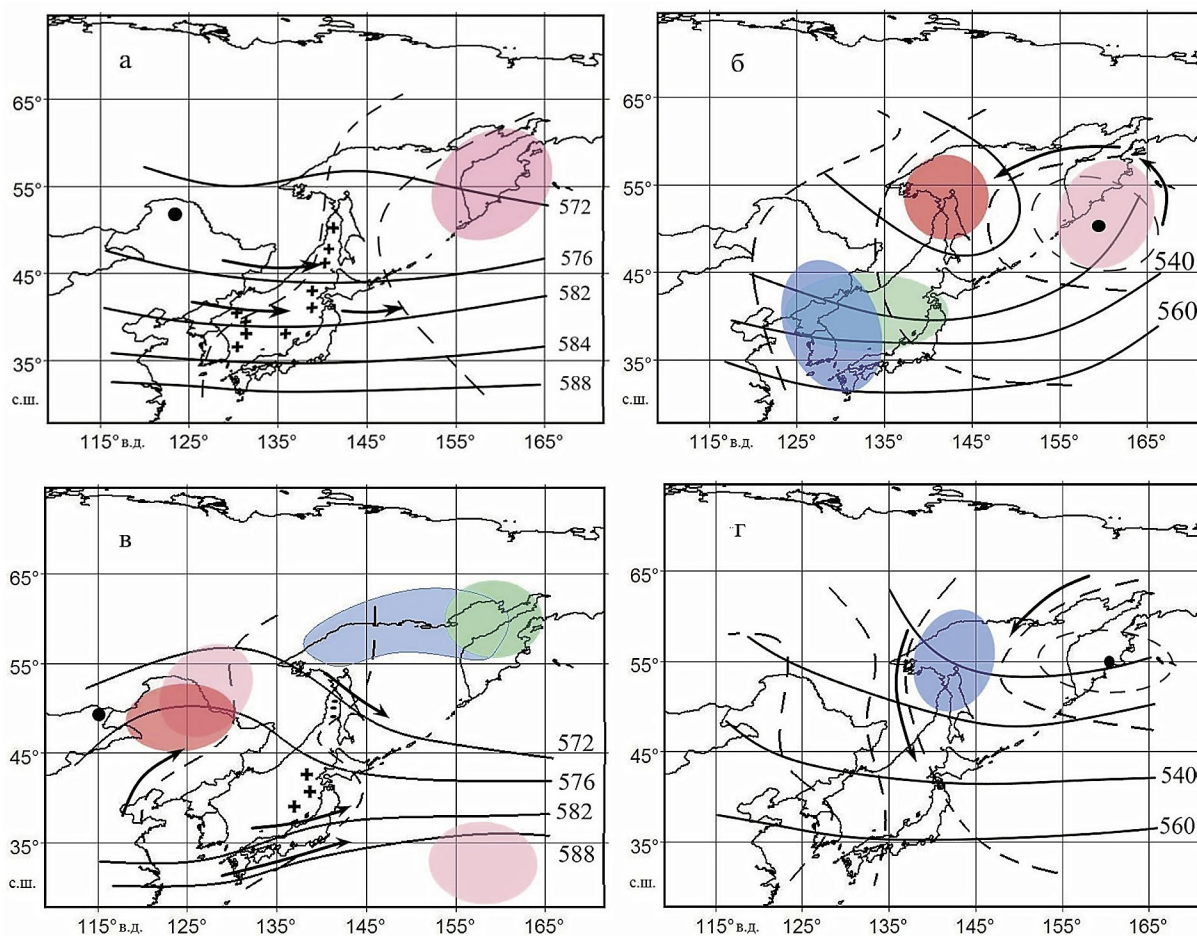
При благоприятных условиях инкубации тропосферная ложбина ослаблена, центр циклонической активности отмечается к юго-востоку от Камчатки,

**Таблица 7.** Аномалии температуры воды по данным ГМС Пронге, Джаоре, Татарском проливе и в области Цусимского течения, аномалии температуры воздуха и осадков на ГМС Николаевск-на Амуре для жизненных циклов горбуши четной линии Амурского лимана

**Table 7.** Anomalies of water temperature according to the data of the GMS Pronge, Dzhaore, Tatar Strait and in the area of the Tsushima current, anomalies of air temperature and precipitation on the GMS Nikolaevsk-on-Amur for the life cycles of pink salmon of the even line of the Amur Estuary

Год	Нерест июль			Инкубация декабрь		Скат					Анадромн. migr. июль		Улов	
	$\Delta T_w, ^\circ\text{C}$			$\Delta T_a$	$\Delta R$	май			июнь		$\Delta T_w, ^\circ\text{C}$			
	1	2	3	4	4	1	2	3	1	2	3	3		5
<b>96</b>	0,8	0,8	<b>-0,8</b>	-1	<b>-36</b>							-0,4	<b>-2,4</b>	<b>Ср.</b>
97						1,7		1,6	0,0	0,9	1,1			
<b>98</b>	<b>1,5</b>	<b>1,5</b>	0,8	-2,2	<b>-24</b>							1,2	-0,2	<b>Ср.</b>
99						<b>-1,1</b>	<b>-1,5</b>	<b>-1,6</b>	<b>-1,4</b>	<b>-2,2</b>	<b>-0,5</b>			
<b>00</b>	-0,6	<b>-1,2</b>	<b>1,1</b>	<b>-3,4</b>	<b>-19</b>							-0,9	0,6	<b>Ср.</b>
01						-1,2	-1,4	0,2	-0,6	-1,2	-0,4			
<b>02</b>	<b>-1,1</b>	<b>-1,3</b>	<b>-1,1</b>	<b>-5,8</b>	<b>-25</b>							-0,6	0,5	<b>Ср.</b>
03						<b>-1,2</b>	<b>-1,6</b>	-0,1	<b>1,1</b>	<b>1,1</b>	<b>1,7</b>			
<b>04</b>	-0,2	-0,5	-0,5	0,1	-3							-0,3	0,5	<b>Ср.</b>
05						<b>-1,1</b>	<b>-1,5</b>	-0,8	0,1	-0,3	-0,3			
<b>06</b>	0,1	-0,3	0,9	<b>-1,6</b>	<b>-52</b>							0,9	-1,3	<b>крупн</b>
07						-0,7	<b>-1,7</b>	-0,8	1,0	0,9	0,3			
<b>08</b>	0,4	<b>0,6</b>	0,6	<b>1,9</b>	<b>32,8</b>							1	0,3	<b>мин.</b>
09						<b>1,9</b>	<b>1,9</b>	-0,5	0,5	0,9	-0,5			
<b>10</b>	-0,5	<b>-1,6</b>	<b>1,3</b>	<b>3</b>	<b>20,8</b>							<b>1,4</b>	<b>1,5</b>	<b>мак</b>
11						<b>-1,2</b>	<b>-1,6</b>	<b>-1,3</b>	-0,5	<b>-1,8</b>	-0,2			
<b>12</b>	0,5	0,2	<b>1,0</b>	-0,2	<b>36,8</b>							-0,1	<b>1,1</b>	<b>мак</b>
13						<b>-1,8</b>	<b>-1,5</b>	<b>-1,3</b>	<b>1,0</b>	<b>0,7</b>	-0,2			
<b>14</b>	0,3	0,2	-0,5	<b>2,5</b>	<b>47,8</b>							-0,4	1,4	<b>мак</b>
15						-0,2	-0,6	0,1	-0,9	-0,3	<b>-2,7</b>			
<b>16</b>	0,8	0,8	0,3	<b>-2,8</b>	<b>-48</b>							-0,1	0,5	<b>мак</b>
17						0,9	1,2	-0,3	0,9	1,0	<b>-2,4</b>			
<b>18</b>	-0,1	-0,8	<b>-1,3</b>	1,7	<b>15,8</b>							0,3	<b>1,3</b>	<b>мин.</b>
19						<b>1,2</b>	<b>0,6</b>	<b>2,5</b>	<b>-1,5</b>	<b>-1,7</b>	0,8			
<b>20</b>	<b>-0,7</b>	<b>-0,8</b>	0,4	-0,8	<b>-21</b>							-1,6	0,2	<b>мин.</b>
21						0,4	<b>-1,5</b>	<b>-1,1</b>	0,5	0,3	<b>-3,1</b>			
<b>22</b>			<b>1,5</b>	0,8	<b>8,8</b>								<b>2,3</b>	<b>мин.</b>

Обозначения: 1 – Пронге, 2 – Джаоре, 3 – Татарский пролив, 4 – область Цусимского течения, 5 – Лазарев, НА – Николаевск-на-Амуре



**Рис. 8** Схема благоприятных условий нереста (а), инкубации (б) и неблагоприятных условий нереста (в), инкубации (г) икры над Амурским лиманом. Сплошными линиями обозначены изогипсы, пунктирными – изобары, тёмным кружочком центр низкого давления. Стрелками направление выноса воздушных масс. Плюсами – положительные аномалии температуры воды, минусами – отрицательные аномалии. Розовым цветом выделена область с экстремальными значениями геопотенциала  $H_{500}$ , а голубым – отрицательные значения. Красным цветом выделена область с наибольшими значениями приземной температуры воздуха, а синим – область с отрицательной температурой воздуха

**Fig. 8.** Scheme of favorable spawning conditions (а), incubation (б) and unfavorable spawning conditions (в), incubation (г) of caviar over the Amur estuary. Isogypses are indicated by solid lines, isobars by dotted lines, and the low-pressure center by a dark circle. Use the arrows to indicate the direction of air mass removal. The advantages are positive anomalies of water temperature, the disadvantages are negative anomalies. The area with extreme values of the  $H_{500}$  geopotential is highlighted in pink, and negative values are highlighted in blue. The area with the highest values of surface air temperature is highlighted in red, and the area with negative air temperature is highlighted in blue.

в передней части морских циклонов наблюдается восточный вынос тёплых воздушных масс на район Амурского лимана (рис. 8 б). При такой циркуляции воздушных масс создаются благоприятные условия в период инкубации.

При неблагоприятных условиях в период нерестовых миграций район Амурского лимана находится под воздействием холодных воздушных масс. Гребень высокого давления и центр приземных циклонов смещен на запад, поэтому тёплые воздушные массы не оказывают влияния на этот район. Он находится под воздействием депрессии над Охотским морем (рис. 8 в).

Неблагоприятные условия в период инкубации наблюдаются при усилении ТЛ над Охотским морем и выходе приземных циклонов на Камчатку. В тыловой части циклонов наблюдается адвекция холодного воздуха на район Амурского лимана (рис. 8 г). Эти условия способствуют вымерзанию нерестовых гнезд.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В зимний период частота крупных положительных аномалий геопотенциала  $H_{500}$  над областью тропосферной ложбины увеличивается после 1980 г., что свидетельствует об её ослаблении. Такие условия спо-

способствовали появлению над Амурским лиманом крупных положительных аномалий температуры воздуха.

В результате анализа многолетнего хода среднемесячных аномалий приземного давления и высоты изобарической поверхности 500гПа выявлено, что в тёплый период года (период наибольшей активности центров действия атмосферы) после 1980 гг. наблюдалось повышение давления в области азиатской депрессии и в области отрога гавайского антициклона.

На ГМС Пронге, расположенной в устье р. Амур, крупные положительные аномалии температуры воды в мае отмечались в 1990, 2002, 2012 гг., а в июне – в 2010, 2012 гг. Отрицательные аномалии на этой станции в мае были в 1980, 1987 и 1994 гг. а в июне – в 1991, 1993, 2020 гг. Крупные положительные аномалии совпадали с максимальными уловами амурской горбуши, а отрицательные – с минимальными уловами.

Коэффициенты корреляции между аномалиями температуры воздуха, осадками на ГМС Николаевска-Амуре, аномалиями температуры воды на ГМС Пронге и уловами горбуши чётной линии по всему ряду показали низкие значения. Низкие коэффициенты корреляции не позволяют выявить различие гидрометеорологических условий в годы высокоурожайных и низкоурожайных поколений амурской горбуши.

Применение метода интервального распознавания позволило выявить особенности взаимодействия атмосферы и океана при низких и высоких возвратах чётной и нечётной линии амурской горбуши и составить схемы благоприятных и неблагоприятных условий для выживания горбуши. За два года можно определить будут ли благоприятными или нет условия выживания горбуши в инкубационный период. Вымерзание нерестилищ наблюдается, когда над Амуром располагается экстремально холодная воздушная масса и низкие значения осадков. При поступлении тёплого воздуха и повышенных значений осадков над районами воспроизводства создаются благоприятные условия для выживания горбуши. Очень важным является также оценка температуры воды в период ската, которая зависит от особенностей атмосферной циркуляции. Нами такие особенности выявлены со сдвигом 1 год.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Из-за малых значений коэффициентов корреляции между уловами и климатическими параметрами не удастся выявить причинно-следственные связи между этими характеристиками. Поэтому на основе интервального распознавания в годы высоких и низких уловов были построены региональные модели взаимодействия атмосферы и океана в период нерестовых миграций и инкубации, которые выявляют та-

кие связи, на самом деле имеющие контрастный характер. По-видимому, на коэффициенты корреляции влияют не только экстремальные значения уловов, но и промежуточные, которые сильно «загрязняют» выборку. А поскольку данные связи обнаружены со сдвигом в два года, то они дают возможность оценить величину вылова через два года. В дальнейшем предполагается указанным методом оценить роль каждого из выделенных критических моментов в жизненном цикле горбуши на её уловы.

## **Благодарности**

Авторы выражают огромную признательность Басюку Евгению Олеговичу, Островскому Владимиру Ивановичу, Цыпышевой Ирине Леонидовне за помощь в формировании данных климатических параметров и уловов горбуши, а также благодарны рецензентам.

## **Конфликт интересов**

Авторы данной работы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## **Соблюдение этических норм**

В данной работе отсутствуют исследования человека или животных.

## **Финансирование**

Работа выполнена в рамках государственного задания ИПМ ДВО РАН № 075-00460-26-00 и в рамках государственного задания Тихоокеанского филиала ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ТИНРО») № 123060700025-8.

## **ЛИТЕРАТУРА**

- Великанов А.Я., Цициашвили Г.Ш., Шатилина Т.А., Радченко Т.В. 2017. Многолетняя динамика уловов горбуши восточного Сахалина и климатогидрологические факторы // Современные состояния и перспективы развития лососевого хозяйства на Дальнем Востоке России. Тез. докл. науч. конф. г. Южно-Сахалинск, 7-8 нояб. 2017 г. Южно-Сахалинск: СахНИРО. С. 28-29.
- 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. 2003. Динамика уловов азиатской горбуши и макросиноптические процессы над Северным полушарием в XX в // Вестник ДВО РАН. № 1. С. 20-31.
- Горяинов А.А., Шатилина Т.А., Цициашвили Г.Ш., Радченко Т.В., Лысенко А.В. 2006. Климатические причины снижения запасов амурских лососей в 20-м столетии // ДВ Экспресс информация. Владивосток: Дальрыбтехника. № 6. С. 1-17.

- Енютина Р.И. 1972. Амурская горбуша (промыслово-биологический очерк) // Известия ТИНРО. Т. 77. С. 3-126.
- Карпова И.П., Шатилина Т.А., Горяинов А.А. 2008. Циклические изменения в полях атмосферного давления над Азией и Тихим океаном и в уловах амурских лососей // Вопросы промысловой океанологии. Вып. 5. № 1. С. 115-132.
- Колпаков Н.В., Коцюк Д.В. 2019. Кризисы рыболовства в бассейне реки Амур. Количественный анализ фонда рыбопромысловых участков // Бюллетень изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. № 14. С. 93-105.
- Лалин Ю.Е. 1971. Закономерности динамики популяций рыб в связи с длительностью их жизненного цикла. М.: Наука. 176 с.
- Леванидов В.Я. 1969. Воспроизводство амурских лососей и кормовая база их молоди в притоках Амура // Известия ТИНРО. Т. 67. 242 с.
- Налимов В.В. 1971. Теория эксперимента. М.: Наука. 210 с.
- Островский В.И. 2014. Факторы, влияющие на численность покатной молоди тихоокеанских лососей // Чтения памяти В.Я. Леванидова. Владивосток: Дальнаука. Вып. 6. С. 501-508.
- Островский В.И., Коцюк Д.В., Колпаков Н.В. 2018. Итоги лососевой путины в Хабаровском крае в 2018 г. // Бюл. № 13 изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. Владивосток: ТИНРО-центр. С. 88-93.
- Островский В.И. 2023. Причины изменчивости урожайности поколений амурской горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum) // Известия ТИНРО. Т. 203. Вып. 2. С. 264-280. DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-264-280.
- Островский В.И., Козлова Т.В. 2023. «Неблагодарная» горбуша. Случайность или закономерность // Бюл. № 17 изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. Владивосток: ТИНРО. С. 152-158. DOI: 10.26428/losos\_bull17-2023-152-158.
- Рослый Ю.С. 1975. Влияние условий пресноводного периода жизни амурских лососей на состояние их запасов. // Труды ВНИРО. Т. 106. С. 52-57.
- Рослый Ю.С. 2002. Динамика популяций и воспроизводство тихоокеанских лососей в бассейне Амура. Хабаровск: Хабаровское книжн. издательство. 210 с.
- Смирнов А.Г. 1947. Состояние запасов амурских лососей и причины их численных колебаний // Известия ТИНРО. Т. 25. С. 33-52.
- Спичкин В.А. 1987. Определение критерия крупной аномалии // Труды ААНИИ. Т. 402. С. 15-20.
- Шатилина Т.А., Великанов А.Я., Цициашвили Г.Ш., Радченкова Т.В. 2018. Аномальные гидрометеорологические условия в эстуарно-прибрежный период жизни горбуши Восточного Сахалина // Труды ВНИРО. Т. 173. С. 181-192.
- Шатилина Т.А., Цициашвили Г.Ш., Радченкова Т.В. 2006. Опыт использования метода интервального распознавания для прогноза экстремальной ледовитости Татарского пролива (Японское море) // Метеорология и гидрология, № 10, С. 65-72.
- Шатилина Т.А., Цициашвили Г.Ш., Радченкова Т.В. 2016. Оценка тенденций изменчивости центров действия атмосферы над Азиатско-Тихоокеанским регионом в летние периоды 1950-1979 и 1980-2012 гг. // Метеорология и гидрология. № 1. С. 17-28.
- Шатилина Т.А., Цициашвили Г.Ш., Радченкова Т.В. 2018. Режим охотского антициклона и климатические экстремумы в Курило-Хоккайдском регионе в летний период 1950-2017 гг. // Тез. Всерос. конф. «Гидрометеорология и экология: научные и образовательные достижения и перспективы развития». СПб.: Изд. РГГМУ. С. 491-494.
- Svyatukha V.A., Tsitsiashvili G.Sh., Shatilina T.A., Goryainov A.A. 2003. Intra-annual bundles of climatic parameters // Pacific Oceanography. Vladivostok: FERHRI. V. 1, № 2. P. 144-148.

## REFERENCES

- Velikanov A.Ya., Tsitsiashvili G.Sh., Shatilina T.A., Radchenkova T.V. 2017. Long-term dynamics of salmon catches in Eastern Sakhalin and climatic and hydrological factors // Current conditions and prospects for the development of salmon farming in the Russian Far East. Thes. of the Scient. Conf. Yuzhno-Sakhalinsk, November 7-8, 2017 Yuzhno-Sakhalinsk: SakhNIRO. P. 28-29. (In Russ.)
- Goryainov A.A., Shatilina T.A. 2003. Dynamics of Asian pink salmon and climatic changes over the Asia-Pacific region in the twentieth century // Russ. J. Mar. Biol., V. 29. No. 6. P. 429-435. DOI 10.1023/B: RUMB.0000011707.83549.64 (In Russ.)
- Goryainov A.A., Shatilina T.A. 2003. Dynamics of Asian pink salmon catches and macrosynoptic processes over the Northern Hemisphere in the 20th century // Bull. of the Far Eastern Branch RAS. No. 1. pp. 20-31. (In Russ.)
- Goryainov A.A., Shatishina T.A., Tsitsiashvili G.Sh., Radchenkova T.V., Lysenko A.V. 2006. Climatic reasons for the decline of Amur salmon stocks in the 20th century // DV Express information. Vladivostok: Fishing equipment. No. 6. P. 1-17. (In Russ.)
- Enyutina R.I. 1972. Amur pink salmon (a commercial and biological essay) // Izvestiya TINRO. V. 77. P. 3-126. (In Russ.)
- Karpova I.P., Shatilina T.A., Goryainov A.A. 2008. Cyclic changes in atmospheric pressure fields over Asia and the Pacific Ocean and in catches of Amur salmon // Questions of commercial oceanology. Iss. 5. No. 1. P. 115-132. (In Russ.)
- Kolpakov N.V., Kotsyuk D.V. 2019. Fishing crises in the Amur River basin. Quantitative analysis of the fund of fishing grounds // Bull. of the Study of Pacific salmon in the Far East. No. 14. P. 93-105. (In Russ.)
- Lalin Yu.E. 1971. Patterns of dynamics of fish populations in connection with the duration of their life cycle. Moscow: Nauka. 176 p. (In Russ.)
- Levanidov V.Ya. 1969. Reproduction of Amur salmon and the food supply of their young in the Amur River tributaries // Izvestiya TINRO. V. 67. 242 p. (In Russ.)
- Nalimov V.V. 1971. Theory of experiment. Moscow: Nauka. 210 p. (In Russ.)

- Ostrovsky V.I.* 2014. Factors affecting the number of sloping young Pacific salmon // Readings in memory of V.Ya. Levanidov. Vladivostok: Dalnauka. Iss. 6. pp.501-508. (In Russ.)
- Ostrovsky V.I., Kotsyuk D.V., Kolpakov N.V.* 2018. The results of salmon fishing in the Khabarovsk Territory in 2018 // Bull. No. 13 of the study of Pacific salmon in the Far East. Vladivostok: TINRO-center. P. 88-93. (In Russ.)
- Ostrovsky V.I.* 2023. The reasons for the variability of crop yields of Amur pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum) // Izvestiya TINRO. V. 203. Iss. 2. P. 264-280. DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-264-280. (In Russ.)
- Ostrovsky V.I., Kozlova T.V.* 2023. «Ungrateful» pink salmon. Randomness or regularity // Bull. No. 17 of the study of Pacific salmon in the Far East. Vladivostok: TINRO Publish. P. 152-158. DOI: 10.26428/losos\_bull17-2023-152-158. (In Russ.)
- Rosly Y.S.* 1975. The influence of freshwater conditions of Amur salmon on the state of their stocks. // Trudy VNIRO. V. 106. P. 52-57. (In Russ.)
- Rosly Y.S.* 2002. Population dynamics and reproduction of Pacific salmon in the Amur basin. Khabarovsk: Khabarovsk Publishing House. 210 p. (In Russ.)
- Smirnov A.G.* 1947. The state of Amur salmon stocks and the causes of their numerical fluctuations // Izvestiya TINRO. V. 25. P. 33-52. (In Russ.)
- Spichkin V.A.* 1987. Definition of a criterion of a large anomaly // Trudy AANII. V. 402. P. 15-20. (In Russ.)
- Shatilina T.A., Velikanov A.Ya., Tsitsiashvili G.Sh., Radchenkova T.V.* 2018. Abnormal hydrometeorological conditions in the estuarine-coastal period of life of the pink salmon of Eastern Sakhalin // Trudy VNIRO. V. 173. P. 181-192. (In Russ.)
- Shatilina T.A., Tsitsiashvili G.Sh., Radchenkova T.V.* 2006. Experience of using the interval recognition method to predict the extreme iciness of the Tatar Strait (Sea of Japan) // Meteorology and Hydrology. No. 10. P. 65-72. (In Russ.)
- Shatilina T.A., Tsitsiashvili G.Sh., Radchenkova T.V.* 2016. Assessment of trends in the variability of atmospheric action centers over the Asia-Pacific region in the summers of 1950-1979 and 1980-2012 // Meteorology and hydrology. № 1. P. 17-28. (In Russ.)
- Shatilina T.A., Tsitsiashvili G.Sh., Radchenkova T.V.* 2018. The regime of the Okhotsk anticyclone and climatic extremes in the Kuril-Hokkaido region in the summer of 1950-2017 // Abstr. of the All-Russ. Conf. «Hydrometeorology and Ecology: scientific and educational achievements and development prospects». Saint Petersburg: RSHU. P. 491-494. (In Russ.)
- Svyatukha V.A., Tsitsiashvili G.Sh., Shatilina T.A., Goryainov A.A.* 2003. Intra-annual bundles of climatic parameters // Pacific Oceanography. Vladivostok: FERHRI. V. 1, № 2. P. 144-148.

*Поступила в редакцию 18.02.2025 г.  
Принята после рецензии 18.11.2025 г.*