

Среда обитания водных  
биологических ресурсовКлиматические колебания как главный фактор  
изменчивости условий среды обитания про-  
мысловых биоресурсов и функционирования  
морских экосистем

УДК 551.46.062.5 (265.53)

**Межгодовая изменчивость температуры воды  
в прибрежных водах восточного Сахалина в мае-  
июне и прогноз аномальных похолоданий**Т.А. Шатилина<sup>1</sup>, Г.Ш. Цициашвили<sup>2</sup>, Т.В. Радченкова<sup>2</sup><sup>1</sup> Тихоокеанский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ТИНРО»), г. Владивосток<sup>2</sup> Институт прикладной математики ДВО РАН (ФГБН «ИПМ ДВО РАН»), г. Владивосток

E-mail: tatyana.shatilina@tinro-center.ru

Проводится анализ межгодовой изменчивости температуры воды на метеостанциях сети Росгидромета в прибрежных районах юго-восточного Сахалина. Определены годы аномальных похолоданий в мае и июне. Для их прогноза применяется метод интервального распознавания. Установлено, что месяцы, предшествующие аномальным, имеют высокие коэффициенты распознавания. Для верификации результатов построены барические карты для месяцев с наибольшими коэффициентами распознавания. Найдена общая закономерность динамики предшествующих барических полей, определяющих аномально холодные термические режимы в прибрежных водах юго-восточного Сахалина. Эти годы отличаются наличием над Охотским морем в зимний сезон тропосферных депрессий или тропосферного циклонического вихря. На примере юго-восточного Сахалина представлен метод прогноза экстремальных похолоданий в эстуарный период горбуши. Аномальные похолодания прибрежных вод юго-восточного Сахалина можно предсказывать с заблаговременностью (от одного до пяти месяцев) по динамике барических полей. Такой подход может быть использован и для других районов обитания горбуши на этапах ее жизненного цикла. Он использует высокие коэффициенты корреляции и проверяется путём построения барических полей.

**Ключевые слова:** юго-восточный Сахалин, аномальные похолодания, метод интервального распознавания, барические поля, тропосферные депрессии.

DOI: 10.36038/2307-3497-2020-180-88-98

**ВВЕДЕНИЕ**

У берегов Сахалина и Курильских островов горбуша уже многие десятилетия является одним из важнейших объектов прибрежного лова, а по величине годовых уловов лидирует среди тихоокеанских лососей. В этом островном регионе на протяжении всей истории изучения и промыслового

освоения наиболее продуктивным районом как по воспроизводству, так и по годовым уловам этой рыбы, был и остаётся восточный Сахалин. Вопросы воздействия гидрометеорологических условий на воспроизводство горбуши восточного Сахалина с учётом изменений климатического режима до сих пор остаются мало исследованными. Несмо-

тря на определённый прогресс и продвижение в изучении этой проблемы, общий объём достигнутых знаний, как и понимание основных причин, воздействующих на наблюдаемые колебания запасов горбуши этого района, до сих пор оставляют желать лучшего. Это становится особенно очевидным при оценке эффективности прогнозирования численности и годовых уловов горбуши в рассматриваемом районе [Котенев, Кровнин, 2015]. Степень актуальности этих вопросов особенно возросла в настоящее время, в начале нового столетия, когда после достижения исторического максимума вылова в 2009 г. в объёме 224,34 тыс. т, численность возвратов горбуши поколений нечётных лет у берегов восточного Сахалина стала ежегодно существенно сокращаться. В последние годы наметился заметный спад численности горбуши и, соответственно, ее уловов [Шунтов и др., 2015; Каев, Сидоренко, 2015; Каев, 2016].

В статье [Шатилина и др., 2016] показано, что снижение численности горбуши, воспроизводящейся в реках восточного побережья Сахалина, во многом обусловлено неблагоприятными условиями обитания её молоди в эстуарно-прибрежный период жизни. Важным индикатором таких условий являются аномалии температуры воды на поверхности (ТПМ) в мае-июне. Критическими месяцами для воспроизводства и формирования численности горбуши восточного Сахалина являются май и июнь. В то же время практика прогнозирования термического типа и циркуляции вод в Дальневосточном регионе показала, что все неоправдавшиеся прогнозы океанологических условий, как правило, связаны с аномальными гидрометеорологическими процессами. Корреляционные связи между температурой воды и атмосферными параметрами довольно низкие, поэтому для прогноза аномальных похолоданий мы, как и в предыдущей статье [Шатилина и др., 2016], используем метод интервального распознавания.

Целью работы является прогноз аномальных похолоданий в прибрежных водах юго-восточного Сахалина в эстуарный прибрежный период жизни горбуши по предше-

ствующим месяцам методом интервального распознавания. Для верификации результатов этого метода планируется построение барических карт в месяцах с наибольшими коэффициентами распознавания.

## ДАННЫЕ И МЕТОДЫ

Основными данными для описания и оценки климато-океанологических условий у восточного побережья Азии послужили архивы реанализа ESRL / Physical Sciences Division приземного атмосферного давления и геопотенциала  $H_{500}$  в узлах регулярной сетки  $2,5^\circ \times 2,5^\circ$  за период 1977–2017 гг. [ESRL, 2018] Для анализа термических условий в юго-западной части Охотского моря (в области течения Соя) использовался архив японского метеорологического агентства JMA за период 1977–2017 гг. [JMA, 2018]. Для анализа межгодовых изменений термических условий в прибрежном районе юго-восточного Сахалина использовались данные измерений температуры воды на сети гидрометеорологических станций (ГМС) Росгидромета с 1977 по 2017 гг. Данные выбраны из архива ВНИГМИ-МЦД [ВНИГМИ-МЦД, 2018]. Анализ и качество этих данных подробно описаны в работе [Ростов и др., 2017]. Ими показано, что минимальное количество пропусков содержится на метеостанциях м. Крильон, Корсаков, Новиково, Стародубское и м. Терпения. Положение ГМС восточного Сахалина представлено на рис 1.

Для выявления закономерностей формирования экстремальных по температуре воды условий в прибрежных районах восточного Сахалина, применялся метод интервального распознавания, описанный в работах [Цициашвили и др. 2002; Шатилина, Цициашвили, 2006].

Для распознавания экстремально холодных режимов используются данные атмосферных параметров ( $H_{500}$ ,  $P_0$ ) в узлах 5 градусной сетки для трех подрайонов второго естественного синоптического района: южного ( $30-40^\circ \text{с.ш.}$ ,  $120-160^\circ \text{в.д.}$ ), умеренного ( $45-55^\circ \text{с.ш.}$ ,  $120-160^\circ \text{в.д.}$ ) и северного ( $60-70^\circ \text{с.ш.}$ ,  $120-160^\circ \text{в.д.}$ ).

Коэффициент интервального распознавания критических объектов  $n = r/(r + m)$ ,

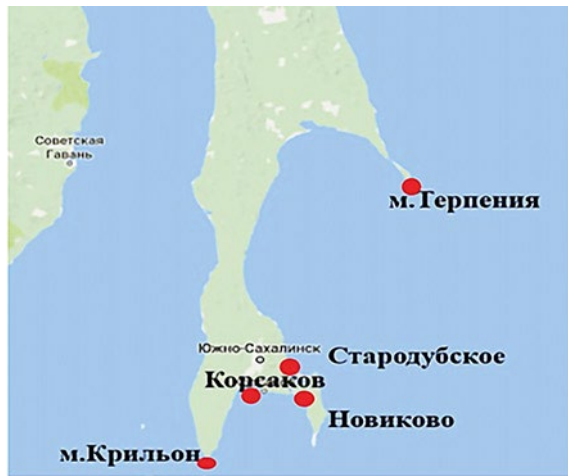


Рис. 1. Положение гидрометеорологических станций сети Росгидромета

где  $r$  — число критических объектов (годы с аномально низкой температурой воды), а  $m$  — число некритических объектов, ошибочно распознаваемых как критические, является своеобразным аналогом коэффициента множественной регрессии. Этот метод так устроен, что критические годы в обучающей выборке всегда распознаются как критические, что очень важно при распознавании (прогнозировании) критических лет и характеризует вероятность ошибочно не распознать критический год. Значение 1 означает, что все критические годы с экстремально низкой температурой воды распознаются как критические по значениям сопутствующего признака (атмосферные параметры  $H_{500}$  и  $P_0$ ). Однако некоторые некритические годы также могут распознаваться как критические (значение коэффициента распознавания меньше 1). Качество интервального распознавания определяется как отношение числа критических лет к числу лет, распознаваемых как критические, в обучающей выборке. Этот показатель характеризует процент так называемых «ложных тревог». Особенностью используемых алгоритмов распознавания (например, метод разделяющей плоскости) методами многомерной статистики (например, метод главных компонент) является требование, чтобы выборка была длинной, а число факторов, входящих в одно наблюдение — малым. В данной задаче, наоборот, выборка ко-

роткая (не более 40 лет), а число факторов, пропорциональное количеству узлов пятиградусной решётки в выделенных областях, — достаточно большое. Поэтому важную роль играет вычислительная сложность алгоритма интервального распознавания, которая пропорциональна числу факторов. Это вычислительное свойство алгоритма интервального распознавания использовано при проведении достаточно быстрых расчётов для выделенных областей. Метод интервального распознавания отчасти напоминает метод планирования экспериментов [Налимов, 1971], в котором все эксперименты проводятся при минимальных и максимальных значениях отдельных факторов. В методе интервального распознавания минимальные и максимальные значения отдельных признаков становятся концами интервалов, по которым строится процедура распознавания.

Для верификации результатов интервального распознавания аномально холодных термических режимов в прибрежных водах юго-восточного Сахалина в мае-июне анализируется динамика барических полей в предшествующие месяцы в районах с наибольшими коэффициентами распознавания.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

### Изменчивость температуры воды

На рис. 2 представлен межгодовой ход аномалий температуры воды в мае-июне на метеостанциях: м. Терпения, Новиково, Стародубское, Корсаков, м. Крильон в 1977–2017 гг. и в области течения Соя.

Видно, что в мае аномальное понижение температуры воды ( $< -1,6$  °C) на ГМС Стародубское отмечалось в 1980, 1984, 2000, 2005 и 2006 гг.; на ГМС м. Терпения — в 1977, 2005 и 2007 гг. На ГМС Новиково аномально холодными были 1998, 2005, 2006 и 2007 гг., а на ГМС Корсаков — 1977, 1996 и 2011 гг. На ГМС м. Крильон аномально холодными в мае были 1984, 1985, 2005 и 2006 гг. Практически на всех метеостанциях холодным был 2005 г.

В июне на ГМС Стародубское аномально холодными ( $< -2$  °C) были 1981, 1984,

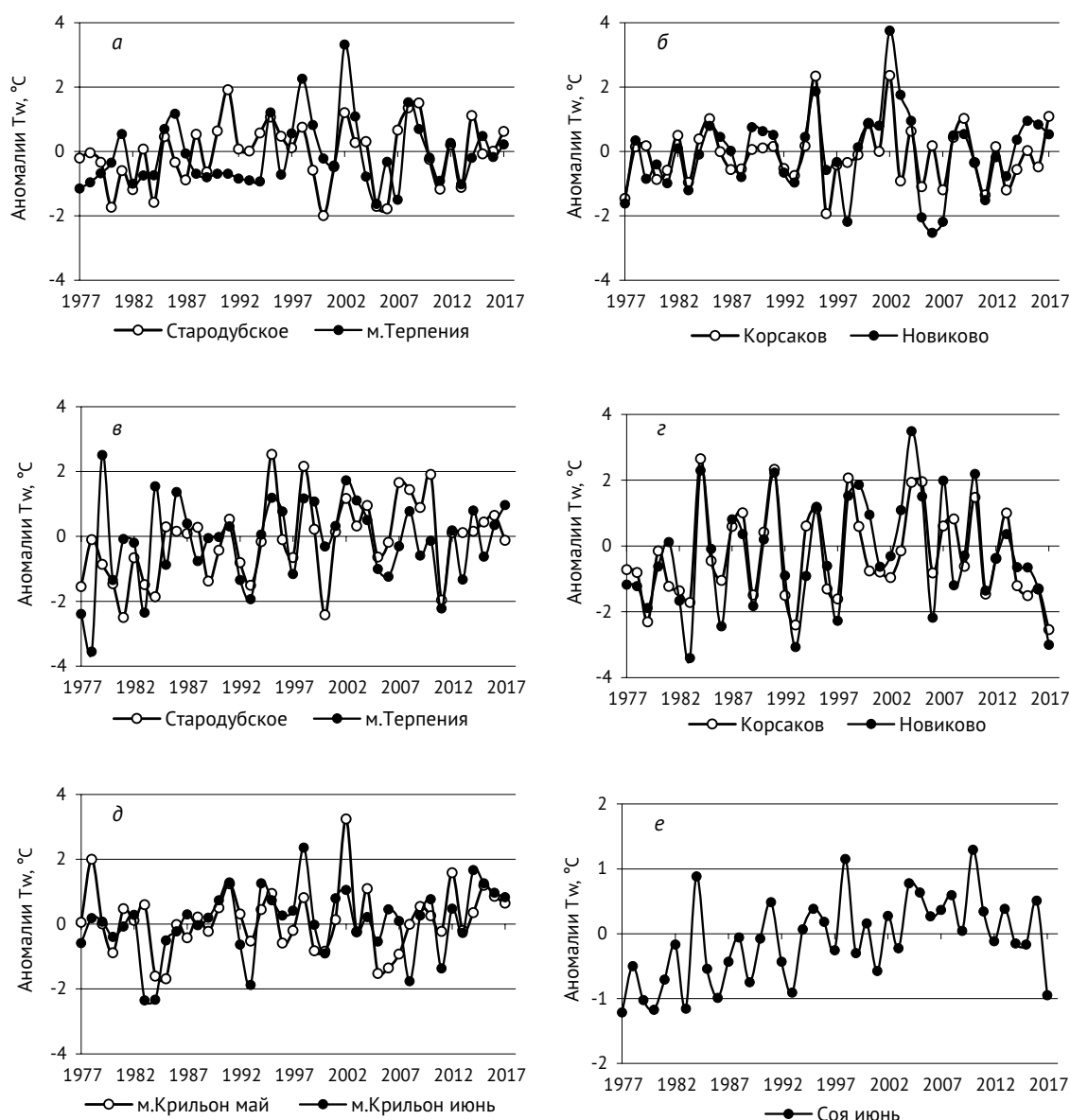


Рис. 2. Аномалии температуры воды на ГМС и в области течения Соя в 1977–2017 гг.:

а — Стародубское и м. Терпения в мае, б — Корсаков и Новиково в мае, в — Стародубское и м. Терпения в июне, г — Корсаков и Новиково в июне, д — м. Крильон в мае и июне, е — Соя в июне

2000 и 2011 гг.; на метеостанции м. Терпения в июне холодными были 1977, 1978, 1983 и 2011 гг. На ГМС Новиково в июне холодными были 1983, 1986, 1993, 1997, 2006 и 2017 годы, а в Корсакове — 1979, 1983, 1993, 2017 гг. На м. Крильон холодными годами были: 1983, 1984, 1993 и 2008 гг. В июне холодных лет значительно больше, чем в мае. Видно, что на большинстве станций холодными годами были 1983, 1993, 2017 и 2011. Тенденция к похолоданию в июне наблюдается также в области течения Соя.

#### Распознавание аномально холодных лет по данным приземного давления и геопотенциала $H_{500}$

В таблицах 1–4 представлены коэффициенты интервального распознавания экстремально низкой температуры воды по данным приземного давления  $P_0$  и  $H_{500}$  в 1977–2017 гг. в трёх климатических подрайонах 2-го естественного синоптического района (южный, умеренный и северный) для предшествующих месяцев.

**Таблица 1.** Коэффициенты интервального распознавания anomalно низкой температуры воды в прибрежных районах юго-восточного Сахалина в мае по данным приземного давления  $P_0$ 

	М. Терпения			Корсаков			Новиково			Стародубское			М. Крильон		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Янв.	0,20	<b>1,00</b>	<b>0,75</b>	<b>0,75</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	0,33	<b>1,00</b>	0,67	<b>0,83</b>	0,63	<b>1,00</b>	0,67	<b>0,80</b>	<b>1,00</b>
Февр.	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	0,21	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	0,38	0,67	0,67	0,20	0,56	0,71	0,42	0,25	<b>1,00</b>	0,40
Март	0,43	<b>1,00</b>	0,50	0,43	<b>1,00</b>	0,27	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	0,44	0,56	0,63	0,56	0,13	0,33	0,44
Апр.	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>0,75</b>	0,24	<b>1,00</b>	0,31	0,22	<b>0,83</b>	0,42	0,33	<b>1,00</b>	<b>0,80</b>

Примечание. Жирным шрифтом выделены месяцы с коэффициентом распознавания больше 0,75. Цифрами указаны районы 1 — Южный, 2 — Умеренный, 3 — Северный.

**Таблица 2.** Коэффициенты интервального распознавания anomalно низкой температуры воды в мае по данным  $H_{500}$ 

	М. Терпения			Корсаков			Новиково			Стародубское			М. Крильон		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Янв.	0,33	0,50	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	0,33	0,67	<b>0,80</b>	0,25	0,63	<b>1,00</b>	0,40	<b>0,80</b>	<b>0,80</b>
Февр.	<b>1,00</b>	<b>0,75</b>	0,60	<b>1,00</b>	0,60	<b>1,00</b>	<b>0,80</b>	<b>1,00</b>	0,33	0,38	0,71	0,71	0,36	<b>1,00</b>	0,44
Март	<b>0,75</b>	<b>1,00</b>	0,50	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	0,31	0,42	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	0,29	<b>1,00</b>	0,57
Апр.	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	0,38	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	0,20	0,57	0,36	<b>1,00</b>	0,71	0,71	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>

Из табл. 1 видно, что имеется большое число месяцев, в которых распознавание холодных режимов имеют высокие коэффициенты (от 0,75 до 1), а число случаев, когда коэффициент равен  $1/(0,75-1)$ , составляет 22/29 из 60. Наибольшее распознавание отмечается в умеренном климатическом районе, что подтверждает влияние атмосферных процессов в умеренных широтах на температуру воды в прибрежных водах Сахалина.

Из табл. 2 видно, что по параметру  $H_{500}$  число случаев, когда коэффициент равен  $1/(0,75-1)$ , составляет 28/34 из 60 для всех выделенных районов; т. е. поле  $H_{500}$  является более информативным для распознавания холодных режимов. Например, для ГМС Кор-

саков высокие коэффициенты распознавания по  $H_{500}$  отмечаются для всех районов с февраля по апрель. Для ГМС Новиково высокие коэффициенты распознавания по  $H_{500}$  в южном и умеренном районе с февраля по апрель. На ГМС Стародубское коэффициенты распознавания намного ниже и отмечаются в марте и апреле. ГМС м. Крильон в умеренном районе 100% распознавался с января по апрель.

Таким образом, по обоим атмосферным параметрам  $P_0$  и  $H_{500}$  наблюдаются высокие коэффициенты распознавания anomalно холодных режимов в мае.

Данные табл. 3 свидетельствуют о том, что наиболее информативными показателями для прогноза экстремальных похоло-

**Таблица 3.** Коэффициенты интервального распознавания anomalно низкой температуры воды в прибрежных районах юго-восточного Сахалина в июне по данным приземного давления  $P_0$ 

	М. Терпения			Корсаков			Новиково			Стародубское			М. Крильон		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Янв.	0,25	<b>0,80</b>	0,36	0,50	<b>0,75</b>	<b>0,75</b>	0,29	0,50	0,50	<b>1,00</b>	0,44	<b>0,80</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	0,36
Февр.	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	0,40	0,36	0,60	0,50	0,50	<b>1,00</b>	0,67	0,67	0,67	0,40	0,27
Март	0,40	<b>0,80</b>	0,22	<b>0,80</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	0,40	<b>0,75</b>	0,67	<b>0,80</b>	0,67	0,27	<b>1,00</b>	<b>0,80</b>	0,44
Апр.	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	0,50	0,36	0,22	0,32	0,35	0,24	<b>1,00</b>	0,67	<b>0,80</b>	0,33	0,36	0,50
Май	<b>1,00</b>	<b>0,80</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	0,67	0,67	<b>0,75</b>	0,55	<b>0,80</b>	<b>0,80</b>	0,67	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	0,57

**Таблица 4.** Коэффициенты интервального распознавания anomalно низкой температуры воды в июне по данным  $H_{500}$ 

	М. Терпения			Корсаков			Новиково			Стародубское			М. Крильон		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Янв.	0,40	0,67	0,40	<b>1,00</b>	<b>0,75</b>	<b>0,75</b>	0,24	0,50	<b>1,00</b>	0,25	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	0,19	0,56	0,50
Февр.	0,67	0,44	<b>1,00</b>	<b>0,80</b>	0,44	0,57	0,32	0,60	0,67	0,57	0,50	0,31	<b>0,80</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>
Март	0,50	<b>1,00</b>	0,36	<b>1,00</b>	<b>0,80</b>	0,25	0,50	<b>0,86</b>	0,26	0,50	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	0,50	0,29	0,36
Апр.	0,50	<b>1,00</b>	<b>0,80</b>	0,57	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	0,60	0,55	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>0,80</b>	0,44	0,44	<b>0,80</b>
Май	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	0,50	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	0,60	<b>0,86</b>	<b>1,00</b>	<b>0,80</b>	<b>0,80</b>	<b>0,80</b>	0,67	0,67	<b>0,80</b>

даний у побережья юго-восточного Сахалина являются данные о приземном давлении с января по май над южным и умеренными районами для станций м. Терпения, Стародубское. Число случаев, когда коэффициент распознавания по  $P_0$  равен  $1/(0,75-1)$ , составляет 21/35 из 75.

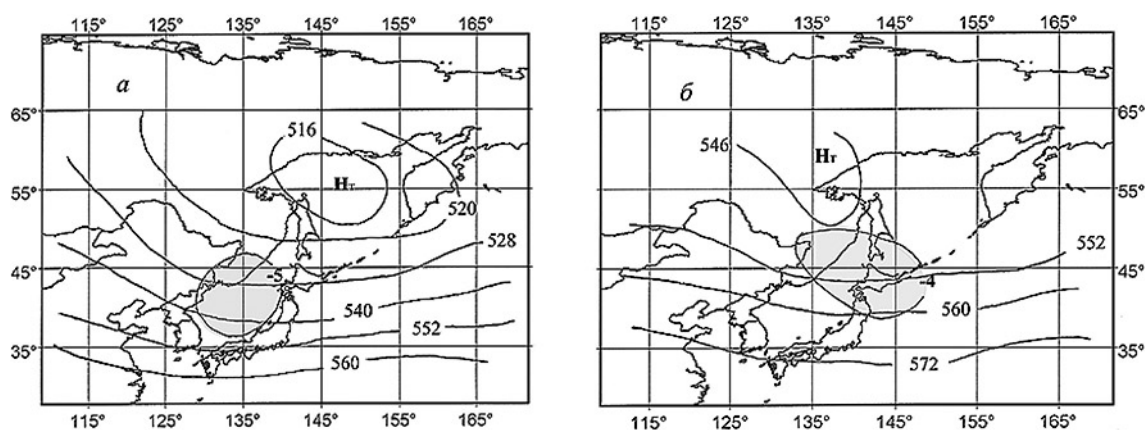
Из табл. 4 видно, что число случаев (по наибольшему количеству высоких коэффициентов распознавания), когда коэффициент распознавания по  $H_{500}$  равен  $1/0,75-1$ , составляет 23/37 из 75. Таким образом, как и для мая, параметр  $H_{500}$  является наиболее информативным для прогноза anomalно низких значений температуры воды в июне. Особенно важными для прогноза являются данные  $H_{500}$  над южным и умеренным подрайонами второго естественного синоптического района.

### Барические поля, предшествующие anomalному похолоданию прибрежных вод юго-восточного Сахалина

На основании данных таблиц 1–4 построены барические поля в месяцы с наибольшими коэффициентами распознавания. На рис. 3 представлены барические поля геопотенциала в марте и в мае 2005 г., когда наблюдались anomalные похолодания на ГМС м. Терпения, Стародубское, Новиково, м. Крильон.

Видно, что над Охотским морем располагается обширная депрессия, в передней части которой на восточную часть Охотского моря поступают теплые воздушные массы. В тыловой части этой депрессии распространяются холодные воздушные массы.

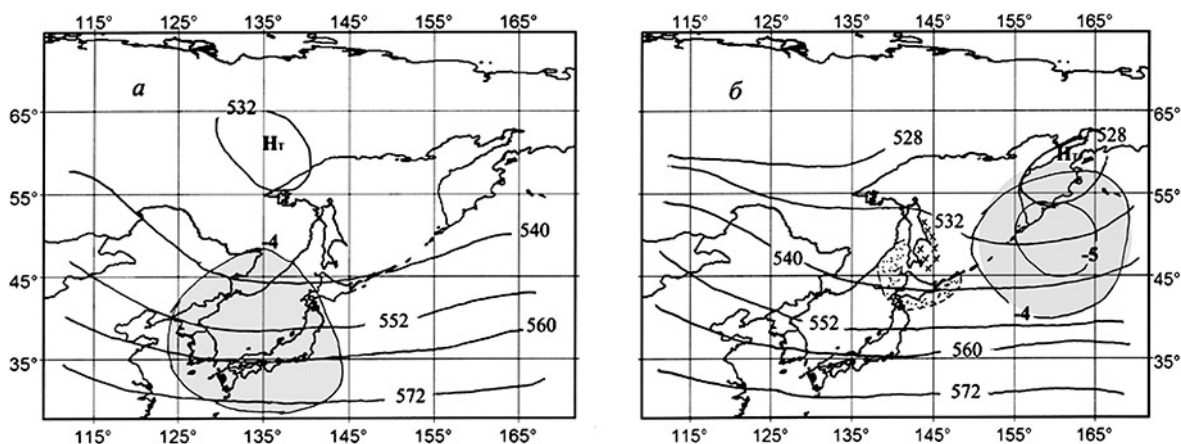
На рис. 4 представлены характерные структуры геопотенциала  $H_{500}$ , положение экстремально низких значений геопотенци-



**Рис. 3.** Характерная структура геопотенциала  $H_{500}$  и положение экстремально низких значений геопотенциала в марте (а) и мае (б) для экстремально холодных лет в 2005 г.

$H_T$  — центр тропосферной депрессии, серым цветом выделены области низких anomalий  $H_{500}$





**Рис. 5.** Характерные структуры геопотенциала  $H_{500}$  и положение экстремально низких значений геопотенциала в апреле для экстремально холодных лет (на примере 2011 и 2017 гг.) а — апрель 2011 г., б — апрель 2017 г.,

$H_T$  — центр тропосферной депрессии, серым цветом выделены области низких аномалий  $H_{500}$ , точками — области с аномально низкой температурой воды, крестиками — положение ледовой кромки у юго-востока Сахалина в апреле

ала в марте, поле приземного давления и положение центров летней дальневосточной депрессии и охотского антициклона в годы аномальных похолоданий в июне на ГМС восточного Сахалина.

Из анализа барических ситуаций видно, что если в марте над Охотским морем располагается высотная депрессия, то в июне наблюдается её наличие над Охотским морем, а в приземном поле присутствует развитый охотский антициклон. В тыловой части высотной депрессии и по восточной периферии приземного антициклона распространяется холодный полярный воздух. В этом случае усиливается холодное восточно-сахалинское течение, формируются холодные термические режимы.

Из таблиц 1–4 видно, что высокие коэффициенты распознавания по  $H_{500}$  отмечаются в апреле. В качестве примера на рис. 5 представлена типовая барическая карта  $AT_{500}$  в апреле 2011 и 2017 гг., предшествующая аномальному похолоданию в прибрежных водах юго-восточного Сахалина.

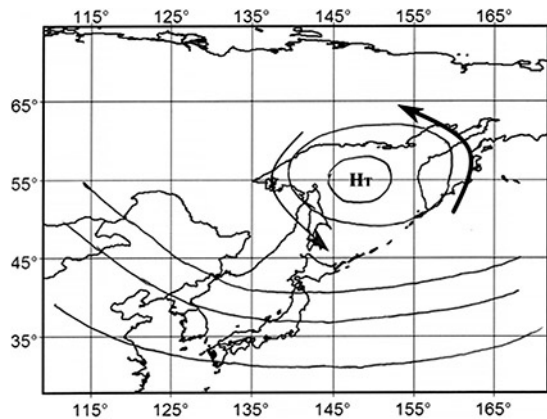
В апреле 2011 и 2017 гг. над Охотским морем наблюдались депрессии, а очаги понижения геопотенциала  $H_{500}$  наблюдались над Японским морем в 2011 г., и в 2017 г. — над восточной частью Охотского моря. Видно, что в последнем году отрицательные аномалии температуры воды наблюдались в Та-

тарском проливе, а у юго-восточного побережья Сахалина еще оставались ледовые поля. Эти процессы в 2011 г. обусловили аномально холодную температуру воды на ГМС Стародубское и м. Терпения, а в 2017 г. — на ГМС Новиково и в Корсакове.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Аномальные похолодания в прибрежных водах юго-восточного Сахалина формируются при определённых структурах барических полей. Обязательно наличие тропосферной ложбины над восточной частью Охотского моря и часто наличие охотского антициклона в приземном поле. При этих процессах усиливается адвекция холодных воздушных масс, что приводит к усилению Восточно-Сахалинского течения и охлаждению поверхностных вод. Поскольку аномальные процессы имеют предысторию, то с помощью метода интервального распознавания можно определить месяцы с высокими коэффициентами распознавания по данными приземного давления и геопотенциала  $H_{500}$ , которые являются предсказателями аномальных похолоданий в прибрежных водах юго-восточного Сахалина в мае и июне. Эти месяцы отличаются наличием над Охотским морем в зимний период тропосферных депрессий или тропосферного циклонического вихря (рис. 6).





**Рис. 6.** Схематическая структура барического поля геопотенциала  $H_{500}$  в зимний период, определяющая в мае и июне аномальные похолодания в прибрежных водах юго-восточного Сахалина

$H_T$  — центр тропосферной депрессии; стрелками указаны направления движения холодных воздушных масс (тонкая) и теплых воздушных масс (толстая)

Аномальные похолодания прибрежных вод юго-восточного Сахалина можно предсказывать с заблаговременностью (от одного до пяти месяцев) по динамике барических полей. Основным показателем будущего похолодания прибрежных вод является наличие тропосферной депрессии над Охотским морем или охотского тропосферного циклона.

На примере юго-восточного Сахалина представлен метод прогноза экстремальных похолоданий в эстуарный период горбуши. Такой подход может быть использован и для других районов обитания горбуши на этапах ее жизненного цикла. Мы полагаем, что этот метод может быть составляющей частью традиционных методов, ныне используемых для прогноза распределения горбуши во время её миграции. Он не использует низкие коэффициенты корреляции и проверяется картографическим анализом, основанным на построении барических полей.

## ЛИТЕРАТУРА

- ВНИГМИ-МЦД. Доступно через: <http://meteo.ru/data/156-temperature#описание-массива-данных> 30.09.2019.
- Каев А.М. 2016. Развитие промысла горбуши в 2016 г. в основных районах её воспроизводства в Сахалинской области // Изучение тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке, Владивосток: ТИНРО-Центр. Бюлл. № 11. С. 68–76.
- Каев А.В., Сидоренко М.Е. 2015. Прогноз и фактическое развитие промысла горбуши в 2015 г. в основных районах её воспроизводства в Сахалинской области // Изучение тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке, Владивосток: ТИНРО-Центр. Бюлл. № 10. С. 35–40.
- Котенёв Б.Н., Кровнин А.С., Кловач Н.В., Мордасова Н.В., Муры Г.П. 2015. Влияние климато-океанологических факторов на состояние основных запасов горбуши в 1950–2015 гг. // Труды ВНИРО. Т. 158. С. 143–161.
- Налимов В.В. 1971. Теория эксперимента. М.: Наука. 208 с.
- Ростов И.Д., Дмитриева Е.В., Воронцов А.А. 2017. Тенденции климатических изменений термических условий прибрежных районов Охотского моря за последние десятилетия. // Известия ТИНРО. Т. 191. С. 176–195.
- Цициашвили Г.Ш., Шатилина Т.А., Кулик В.В., Никитина М.А., Голычева И.В. 2002. Модификация метода интервальной математики применительно к прогнозу экстремальной ледовитости в Охотском море // Вестник ДВО РАН. № 4. С. 111–118.
- 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, Том 173. С. 181–189.
- 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.
- Шунтов В.П., Темных О.С., Шевляков В.А. 2015. Лососевая путина — 2015: успехи и неудачи, контрасты «север–юг» // Изучение тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. Владивосток: ТИНРО-Центр. Бюлл. № 10. С. 3–15.
- ESRL / Physical Sciences Division. Accessible via: <https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.nccep.reanalysis.derived.surface.html> 30.05.2018.
- JMA: Japan Meteorological Agency. Accessible via: <http://ds.data.jma.go.jp/gmd/goos/data/rtrdb/jma-pro.html> 28.05.2018.

Поступила в редакцию 02.09.2019 г.  
Принята после рецензии 19.09.2019 г.

## Habitat of aquatic biological resources

Climatic factors of variability of environmental  
conditions of fishery resources and marine  
ecosystem functioning

# Interannual variability of water temperature in coastal waters of Eastern Sakhalin in May-June and abnormal cold snap forecast

T.A. Shatilina<sup>1</sup>, G. Sh Tsitsiashvili<sup>2</sup>, T.V Radchenkova<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Pacific branch of FSBSI «VNIRO» («TINRO»), Vladivostok, Russia

<sup>2</sup> Institute of Applied Mathematics, FEB RAS (FSBIS «IAM FEB RAS»), Vladivostok, Russia

The analysis of water temperature interannual variability at weather stations of Roshydromet network in coastal areas of South-Eastern Sakhalin is carried out. The years of abnormal cold snaps in May and June were determined. The interval recognition method is used for their prediction. It is established, that the months preceding the anomalous ones have high recognition coefficients. To verify the results, baric maps for months with the highest recognition coefficients are constructed. General dynamics pattern of the prior pressure fields that determine extreme cold thermal regimes in the coastal waters of southeastern Sakhalin has been found. These years are distinguished by the presence of tropospheric depressions or tropospheric cyclonic vortex over the Sea of Okhotsk in winter season. Method for predicting of extreme cold events during the period of pink salmon growth in estuaries is developed for southeastern Sakhalin. Using this method, abnormal cooling of coastal waters could be predicted by dynamics of baric fields in advance of 1–5 months. This approach can be applied for other areas of pink salmon habitat at different stages of its life cycle. The method is based on relationships with strong correlation; results of forecasting could be verified by the baric fields plotting.

**Keywords:** Southeastern Sakhalin, abnormal cold snaps, the method of interval recognition, the pressure field, tropospheric depression.

DOI: 10.36038/2307-3497-2020-180-88-98

## REFERENCES

- RIHMI-WDC. Accessible via: <http://meteo.ru/data/156-temperature#описание-массива-данных> 30.09.2019.
- Kaev A.M. 2016. Razvitie promysla gorbushi v 2016 g. v osnovnykh rajonakh ee vosproizvodstva v Sakhalinskoj oblasti [Development of the pink salmon fishery in 2016 in the main areas of its reproduction in the Sakhalin Oblast] // *Izuchenie tikhookeanskikh lososej na Dal'nem Vostoke*. Vladivostok: TINRO-Tsentr. Byull. № 11.
- Kaev A.V., Sidorenko M.E. 2015. Prognoz i fakticheskoe razvitie promysla gorbushi v 2015 g. v osnovnykh rajonakh ee vosproizvodstva v Sakhalinskoj oblasti [Forecast and actual development of the pink salmon fishery in 2015 in the main areas of its reproduction in the Sakhalin region] // *Izuchenie tikhookeanskikh lososej na Dal'nem Vostoke*. Vladivostok: TINRO-Tsentr. Byull. № 10 S. 35–40.
- Kotenev B. N., Krovnin A. S., Klovach N. V., Mordasova N. V., Muriy G. P. 2015. Vliyanie klimato-okeanologicheskikh faktorov na sostoyanie osnovnykh zapasov gorbushi v 1950–2015 gg. [Influence of climatic-oceanological factors on the state of the main stocks of pink salmon in 1950–2015] // *Trudy VNIRO*. T. 158. S. 143–161. S. 68–76.
- Nalimov V.V. 1971. *Teoriya eksperimenta*. [Theory of experiment]. M.: Nauka. 208 s.
- Rostov I. D., Dmitrieva E. V., Voroncov A. A. 2017. Tendencii klimaticheskikh izmenenij termicheskikh uslovij pribrezhnykh rajonov Ohotskogo morja za poslednie desjatiletija [Tendencies of climatic change for thermal condition in the coastal areas of the Okhotsk Sea in last decades] // *Izvestija TINRO*. T. 191. S. 176–195.

- Tsitsiashvili G. Sh., Shatilina T.A., Kulik V.V., Nikitina M.A., Golycheva I.V.* 2002. Modifikatsiya metoda interval'noj matematiki primenitel'no k prognozu ehkstremaal'noj ledovitosti v Okhotskom more [Modification of the interval mathematics method with reference to the extreme ice cover forecast in the Sea of Okhotsk] // Vestnik DVO RAN. № 4. S. 111–118.
- Shatilina T.A., Tsitsiashvili G. Sh., Radchenkova T.V.* 2006. Opyt ispol'zovaniya metoda interval'nogo raspoznavaniya dlya prognoza ehkstremaal'noj ledovitosti Tatarskogo proliva (Yaponskoe more) [Experience of using the interval recognition method for the extreme ice cover forecasting of the Tatar Strait (Sea of Japan)] // Meteorologiya i gidrologiya. № 10. S. 65–72.
- Shatilina T.A., Velikanov A. Ja., Tsitsiashvili G. Sh., Radchenkova T.V.* 2018. Anomal'nye gidrometeorologicheskie usloviya v jestuarno-pribrezhnyj period zhizni gorbushi Vostochnogo Sahalina [Abnormal hydrometeorological conditions in the estuarine-coastal period of the pink salmon life (eastern Sakhalin)] // Trudy VNIRO. T. 173. S. 181–189
- Shuntov V.P., Temnykh O.S., Shevlyakov V.A.* 2015. Lososevaya putina — 2015: uspekhi i neudachi, kontrasty «sever-yug» [Salmon fishing season — 2015: successes and failures, contrasts “north-south”] // Izuchenie tikhoookeanskikh lososej na Dal'nem Vostoke. Vladivostok: TINRO-Tsentr. Byul. № 10. S. 3–15
- ESRL / Physical Sciences Division.* Accessible via: <https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ncep.reanalysis.derived.surface.html> 30.05.2018.
- JMA: Japan Meteorological Agency.* Accessible via: <http://ds.data.jma.go.jp/gmd/goos/data/rtrdb/jma-pro.html> 28.05.2018.

## TABLE CAPTIONS

- Table 1.** The recognition coefficients of abnormally low water temperatures in the coastal area of South-Eastern Sakhalin in May based on the ground pressure  $P_0$  data
- Table 2.** The recognition coefficients of abnormally low water temperatures in May based on  $H_{500}$  data
- Table 3.** The recognition coefficients of abnormally low water temperatures in the coastal area of South-Eastern Sakhalin in June based on the ground pressure  $P_0$  data
- Table 4.** The recognition coefficients of abnormally low water temperatures in the coastal area of South-Eastern Sakhalin in June based on  $H_{500}$  data

## FIGURE CAPTIONS

- Fig. 1.** Position of hydro meteorological stations
- Fig. 2.** Water temperature anomalies at hydro meteorological stations and in Soya current area in 1977–2017:  
a — Starodubskoe and cape Terpeniya in May, b — Korsakov and Novikovo and in May, c — in Starodubskoye and cape Terpeniya in June, d — Korsakov and Novikovo and in June, f — cape Krilion in May and June, g — Soya in June
- Fig. 3.** Geopotential ( $H_{500}$ ) characteristic structure and position of extremely low geopotential values in March (a) and in May (b) for extremely cold years on the example of 2005  
 $H_T$  — tropospheric depression center, the gray color is highlighting the area of low anomalies  $H_{500}$
- Fig. 4.** Geopotential ( $H_{500}$ ) characteristic structures and position of geopotential's extremely low values in March, position of the center of the summer Far Eastern depression and Okhotsk anticyclone in the abnormally cold years in June at the hydro meteorological stations of the Eastern Sakhalin  
a — in March 1983, b — in June 1983, c — in March 1993, d — in June 1993, e — in March 2011, f — in June 2011, g — in March 2017, h — in June 2017.  
 $H_T$  — tropospheric depression center, H — the summer Far Eastern depression center, B — Okhotsk anticyclone center, the gray color highlights the region of low  $H_{500}$  anomalies, points highlight regions with an abnormally low water temperatures, plus signs highlight areas of abnormally high water temperatures in June. Arrows indicate the cold air masses movement directions in the rear part of the depression over the Okhotsk Sea.
- Fig. 5.** Geopotential ( $H_{500}$ ) characteristic structures, position of geopotential's extremely low values in April for extremely cold years (for example 2011 and 2017)  
a — April, 2011 b — April 2017,  $H_T$  — tropospheric depression center, gray color highlights the area of low anomalies  $H_{500}$ , points — areas with abnormally low water temperature, x — the position of the ice edge South-East of Sakhalin in April
- Fig. 6.** Schematic structure of geopotential  $H_{500}$  baric field of in winter, determining anomalous cold snaps in the coastal waters of South-Eastern Sakhalin in May and June  
 $H_T$  — tropospheric depression center, arrows indicate the cold air masses movement direction (thin) and warm air masses movement direction (thick)