

Научная статья

УДК 551.461.7(265.5)

EDN: DXWOOB

## Формирование крупных аномалий термического состояния вод на западном и восточном шельфах острова Сахалин

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

<sup>1</sup> *Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, тихоокеанский филиал ФГБНУ ВНИРО (ТИНРО), Владивосток, Россия*

<sup>2</sup> *Тихоокеанский океанологический институт им. В. И. Ильичева Дальневосточного отделения Российской академии наук, Владивосток, Россия*

<sup>3</sup> *Институт прикладной математики Дальневосточного отделения Российской академии наук, Владивосток, Россия*  
✉ [moroz@poi.dvo.ru](mailto:moroz@poi.dvo.ru)

Поступила в редакцию 23.06.2023; одобрена после рецензирования 25.07.2023;  
принята к публикации 15.11.2023.

### Аннотация

**Цель.** Цель работы – определить механизмы формирования крупных аномалий термического состояния вод западного и восточного шельфов острова Сахалин в весенне-летний период под воздействием атмосферных процессов.

**Методы и результаты.** По данным наблюдений на прибрежных гидрометеорологических станциях Росгидромета за 1980–2021 гг. проведены изучение и оценка многолетнего хода термического режима вод в период с мая по август в промысловых районах западного и восточного шельфов острова Сахалин. Выявлены флуктуации среднемесячного термического состояния акваторий. С применением метода анализа по критериям определены годы, в которые формировались крупные положительные и отрицательные аномалии состояния термического режима. Выявлено превышение частоты появления крупных отрицательных аномалий над частотой появления положительных в течение последних четырех десятилетий. Установлено, что механизмы формирования крупных аномалий обусловлены региональными особенностями атмосферной циркуляции – аномальными изменениями развития и распространения центров действия атмосферы (летней дальневосточной депрессии, Охотского антициклона, Гавайского максимума). Определены причинно-следственные связи.

**Выводы.** Формирование крупных аномалий состояния термического режима вод в прибрежных районах острова Сахалин определяется аномальными изменениями в структуре барических полей региональных центров действия атмосферы, изменениями локального воздействия.

**Ключевые слова:** шельф Сахалина, крупные температурные аномалии, термический режим, динамика вод, Японское море, Охотское море, центры действия атмосферы

**Благодарности:** работа выполнена в рамках государственного задания ТОИ ДВО РАН по теме № 0211-2021-0008, № государственной регистрации 121021700346-7, и в рамках государственного задания ИПМ ДВО РАН № государственной регистрации 075-01290-23-00. Авторы выражают благодарность разработчикам за возможность использования данных, размещенных на сайтах глобальной метеорологической сети и *JMA*, а также рецензенту за высказанные полезные замечания.

© Шатилина Т. А., Мороз В. В., Цициашвили Г. Ш., Радченкова Т. В., 2024

МОРСКОЙ ГИДРОФИЗИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ том 40 № 1 2024

37

Для цитирования: Формирование крупных аномалий термического состояния вод на западном и восточном шельфах острова Сахалин / Т. А. Шатилина [и др.] // Морской гидрофизический журнал. 2024. Т. 40, № 1. С. 37–50. EDN DXWOOB.

Original article

## Formation of Large Anomalies in the Thermal Conditions of Waters on the Western and Eastern Shelf of the Sakhalin Island

T. A. Shatilina<sup>1</sup>, V. V. Moroz<sup>2</sup>, ✉, G. Sh. Tsitsiashvili<sup>3</sup>,  
T. V. Radchenkova<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography,  
Pacific Branch of FSBSI VNIRO (TINRO), Vladivostok, Russia

<sup>2</sup> V. I. Il'yichev Pacific Oceanological Institute, Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences,  
Vladivostok, Russia

<sup>3</sup> Institute of Applied Mathematics, Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences,  
Vladivostok, Russia

✉ moroz@poi.dvo.ru

### Abstract

*Purpose.* The study is aimed at identifying the mechanisms forming large anomalies in the water thermal conditions on the western and eastern shelf of the Sakhalin Island being impacted by the atmospheric processes in spring-summer periods.

*Methods and Results.* The data of coastal observation stations performed by the Hydrometeorological Centre of Russia in 1980–2021 permitted to study and assess the multi-year variability of water thermal regime in the fishery regions on the western and eastern Sakhalin shelf from May to August. The extreme fluctuations of monthly average thermal conditions of the water areas were revealed. The years known for formation of large negative and positive anomalies in the water thermal conditions were determined using the criterion analysis method. The fact that frequency of arising of large negative anomalies exceeds that of large positive ones was found. It was established that the mechanisms forming large anomalies were conditioned by the regional features of atmosphere circulation, i. e. by the abnormal changes in development and spreading of the atmosphere action centers (summer Far East depression, Okhotsk anticyclone and Hawaiian maximum). The cause-effect relations were determined.

*Conclusions.* In the Sakhalin Island coastal regions, formation of large anomalies in the water thermal regime is conditioned by the abnormal changes of the baric fields' structures in the regional centers of atmosphere action, as well as by the changes in their local impact.

**Keywords:** Sakhalin Island shelf, large temperature anomalies, thermal regime, water dynamics, Sea of Japan, Sea of Okhotsk, atmosphere action centers

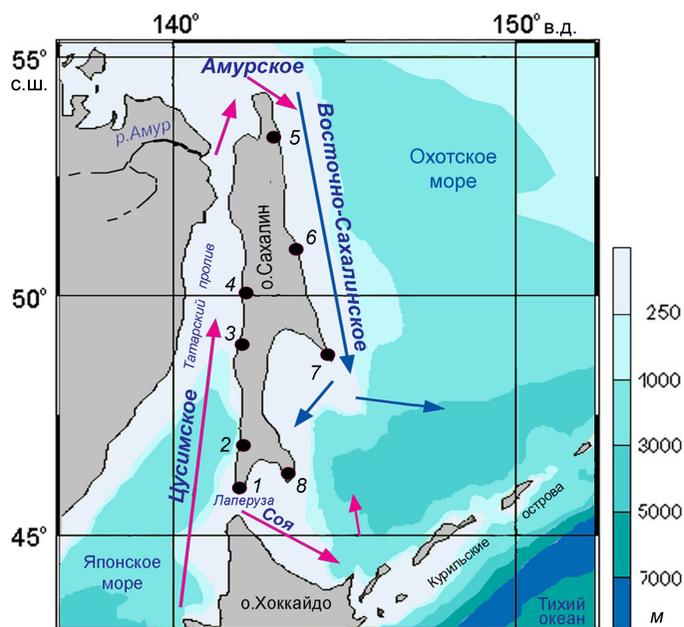
**Acknowledgments:** The work was carried out within the framework of state assignment of POI FEB RAS on theme No. 0211-2021-0008, state registration No. 121021700346-7, and state assignment of IAM FEB RAS No. 0075-01290-23-00. The authors are thankful to the software developers for the opportunity of using the data posted on the Global Meteorological Network and *JMA* websites, as well as to the reviewer for useful comments.

**For citation:** Shatilina, T.A., Moroz, V.V., Tsitsiashvili, G.Sh. and Radchenkova, T.V., 2024. Formation of Large Anomalies in the Thermal Conditions of Waters on the Western and Eastern Shelf of the Sakhalin Island. *Physical Oceanography*, 31(1), pp. 33-45.

## Введение

В настоящее время в связи с увеличением повторяемости крупных аномалий гидрометеорологических явлений на фоне глобального потепления климата большое внимание уделяется анализу этих аномалий [1–4].

В данной работе предметом изучения являются особенности формирования крупных аномалий состояния термического режима вод в районах западного и восточного побережий о. Сахалин в летний период. Рассматриваемые акватории (рис. 1) вследствие значительной протяженности острова с юга на север (около 1000 км между  $46^\circ$  с. ш. и  $55^\circ$  с. ш.) отличаются сложными гидрологическими условиями. В состав комплекса факторов, определяющих особенности гидрологического режима района, входит наличие вод различного происхождения, омывающих западное и восточное побережья острова (соответственно теплые япономорские воды Цусимского течения и холодные охотоморские воды Восточно-Сахалинского течения), перераспределение этих вод системой прибрежных течений в условиях изрезанной береговой черты, а также муссонный характер атмосферных процессов с сезонным ходом направления ветров [5].



**Р и с. 1.** Район исследований. Расположение гидрометеорологических станций (ГМС): 1 – м. Крильон, 2 – Холмск, 3 – Углегорск, 4 – Пильво, 5 – Одопту, 6 – Комрво, 7 – м. Терпениа, 8 – Новиково

**Fig. 1.** Region under study. Location of the hydrometeorological stations (HMS): 1 – Cape Krilyon, 2 – Holmsk, 3 – Ulegorsk, 4 – Pilvo, 5 – Odoptu, 6 – Komrvo, 7 – Cape Terpeniya, 8 – Novikovo

При этом приостровные акватории о. Сахалин являются важными промысловыми районами дальневосточных морей с многочисленными объектами промысла. Это районы высокой биологической продуктивности, районы воспроизводства горбуши, составляющей основу промысла азиатских лососе-

сей. Их жизненный цикл в значительной степени определяется таким важным фактором, как термические условия. Однако аномально низкие температуры в устье рек при скате молоди (май – июнь) могут привести к ее гибели, а экстремально высокий температурный фон у побережья негативно отражается на миграции и нересте (июль – август). Формирование в отдельные годы аномально холодных или теплых термических условий приводит к смещению районов промысла, что вызывает трудности промыслового прогнозирования [6, 7]. В связи с этим особое значение приобретает изучение причинно-следственных связей и факторов, влияющих на формирование аномальных термических условий на данных акваториях.

В последние десятилетия в ряде районов Японского и Охотского морей проведены оценки зависимости между изменчивостью термических режимов в летний промысловый период и интенсивностью развития региональных центров действия атмосферы (ЦДА), выявлена их взаимосвязь. Показаны различия изменчивости барических полей в аномальные по термическому режиму годы [8, 9]. Предложены подходы для выделения предшествующих барических структур, влияющих на формирование аномальных состояний термических режимов вод [10].

Вместе с тем в районах япономорского и охотоморского шельфов о. Сахалин причины формирования в отдельные годы аномальных термических условий недостаточно ясны, остаются открытыми вопросы о механизмах формирования крупных холодных и теплых термических аномалий на данных акваториях. Выявление данных механизмов, оценка причинно-следственных связей и составили цель настоящего исследования.

В рамках работы решались следующие задачи:

– исследование и оценка межгодовой изменчивости термического режима вод за период с мая по август в районе западного сахалинского шельфа – зоне влияния япономорских вод теплого Цусимского течения (ГМС Холмск, ГМС Углегорск, ГМС Пильво) и его ветви, течения Соя (ГМС м. Крильон), а также в районе восточно-сахалинского шельфа (ГМС Одопту, ГМС Комрво, ГМС м. Терпения, ГМС Новиково) – зоне влияния холодных вод Восточно-Сахалинского течения (рис. 1);

– выделение лет с крупными аномалиями термических условий с мая по август на каждой ГМС;

– оценка роли ЦДА в механизмах формирования крупных аномалий термических режимов акватории с учетом особенностей гидрологических условий в каждом районе.

### Данные и методы

Для исследования многолетней изменчивости термического режима в прибрежных водах района использованы данные наблюдений за температурой воды электронной базы данных ЕСИМО (URL: <http://portal.esimo.ru/portal/>), ВНИИГМИ-МЦД (URL: <http://meteo.ru>) на ГМС Росгидромета за 1980–2021 гг.

Для анализа термических условий были привлечены данные о температуре воды на поверхности моря в узлах регулярной сетки  $0,25 \times 0,25^\circ$  за 1980–2021 гг. из архива Японского метеорологического агентства JMA (URL: [http://ds.data.jma.go.jp/gmd/goos/data/rrtdb/jma-pro/cobe\\_sst\\_glb\\_M.html](http://ds.data.jma.go.jp/gmd/goos/data/rrtdb/jma-pro/cobe_sst_glb_M.html)).

Анализировалась многолетняя изменчивость атмосферной циркуляции второго естественного синоптического района (2 е. с. р). Использовались данные архивов реанализа (*NCEP/NCAR Reanalysis Monthly Means and Other Derived Variables*) приземного атмосферного давления ( $P_0$ ) и геопотенциала ( $H_{500}$ ) в узлах регулярной сетки  $2,5 \times 2,5^\circ$  за 1980–2021 гг. Для анализа барических полей привлекались карты приземного давления ( $P_0$ ) и геопотенциала  $H_{500}$  за 2000–2021 гг., составляемые *JMA*.

При оценке межгодовой изменчивости интенсивности развития ЦДА использовались аномалии (отклонения от средних многолетних значений) приземного давления  $P_0$  и геопотенциала  $H_{500}$ . Для оценки изменчивости термических условий использовались аномалии температуры воды (отклонения среднемесячных значений от средних многолетних). Всемирная метеорологическая организация рекомендует рассчитывать климатологические стандартные нормы как средние данные за ближайший к текущему времени 30-летний базисный период, который завершается годом с последней цифрой 0 [11]. Среднемесячные аномалии всех используемых в работе параметров были рассчитаны относительно климатической нормы периода 1991–2020 гг.

Для расчета крупных аномалий температуры воды применялся метод, изложенный в литературе [12]. Критерием появления такой аномалии ( $T_w$ ) является отклонение температуры от среднего значения на  $1,2\sigma$ , где  $\sigma$  – стандартное отклонение. Выделялось пять групп аномалий по величине: экстремально низкие ( $T_w \leq -1,2\sigma$ ); низкие ( $-1,2\sigma < T_w < -0,4\sigma$ ); средние ( $-0,4\sigma \leq T_w \leq 0,4\sigma$ ); высокие ( $0,4\sigma < T_w < 1,2\sigma$ ); экстремально высокие ( $T_w \geq 1,2\sigma$ ). Расчеты проводились для всех интервалов температуры воды. В данной работе нами приведены результаты расчета крупных аномалий на каждой ГМС за май, июнь, июль, август в период 1980–2012 гг.

Была рассчитана также частота ( $f$ ) превышения значения  $1,2\sigma$  как отношение количества крупных аномалий температуры воды к длине ряда. Данная частота является вероятностно-статистической оценкой временного ряда [13]. Нас интересовала вероятность превышения значения  $1,2\sigma$ . Такая величина в теории вероятностей еще называется хвостом распределения. Частота превышения уровня  $1,2\sigma$  может рассматриваться как эмпирическая оценка хвоста распределения.

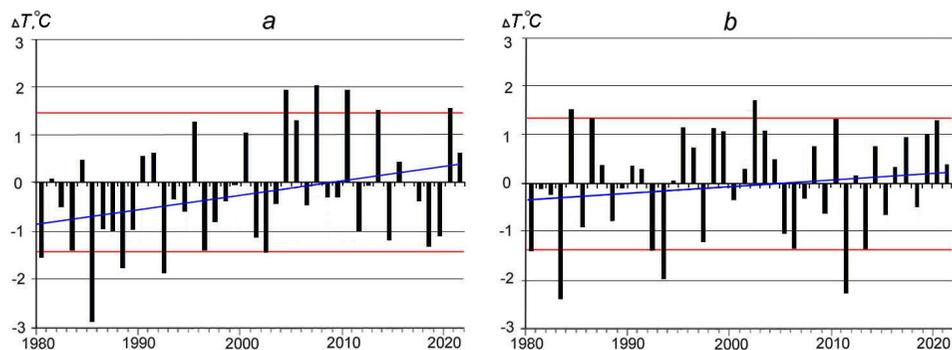
При анализе региональных временных рядов климатических параметров, когда обнаруживаются большие флуктуации для локальных территорий, требуется уточнение оценок тренда. Значимость тренда нами оценивалась по отношению  $a/s$ , где  $a$  – коэффициент линейного тренда временного ряда изменчивости температуры воды,  $s$  – остаточная изменчивость (корень квадратный из остаточной дисперсии<sup>1</sup>). Отношение  $a/s$  характеризует статистическую значимость результатов при фиксированной длине ряда с указанным критическим значением, соответствующим принятому уровню значимости. С использованием критерия Стьюдента при помощи этого отношения определяется вероятность, с которой принимается (или не принимается) гипотеза о равенстве нулю коэффициента линейного тренда [14]. При длительности ряда 30 лет для 95%-ного уровня значимости критическое значение коэффициента составляет 0,04. Особенностью используемых статистических оценок является более точное определение остаточной изменчивости  $s$ , на которую не влияют неточности в определении коэффициента линейного тренда  $a$  [15].

---

<sup>1</sup> Боровков А. А. Математическая статистика : дополнительные главы. Москва : Наука, 1984. 144 с.

## Изменчивость термического режима вод

Оценки межгодовой изменчивости аномалий температуры воды, проведенные для всех ГМС (кроме ГМС Комрво из-за неполного ряда данных), свидетельствуют о том, что при преимущественной тенденции к росту отсутствуют значимые тренды аномалий в исследуемый период. Это объясняется высокими значениями остаточной изменчивости (флуктуаций) как на западном, так и на восточном шельфе (рис. 2, табл. 1).



**Р и с. 2.** Межгодовая изменчивость аномалий температуры воды в западном, ГМС Холмск (*a*), и восточном, ГМС м. Терпения (*b*), районах сахалинского шельфа (синие линии – линейные тренды, красные линии – критерии крупных аномалий)

**F i g. 2.** Interannual variability of water temperature anomalies in the western, HMS Holmsk, (*a*) and eastern, HMS Cape Terpeniya, (*b*) areas of the Sakhalin shelf (blue lines denote the linear trends, red lines – the criteria of large anomalies)

Т а б л и ц а 1  
T a b l e 1

Оценки изменчивости аномалий температуры воды на ГМС  
за 1980–2021 гг.  
Estimates of variability of water temperature anomalies  
at HMS in 1980–2021

ГМС / HMS	Значимость тренда $a/s$ / Significance of the trend $a/s$				Остаточная изменчивость $s$ / Residual variability $s$			
	Май / May	Июнь / June	Июль / July	Август / August	Май / May	Июнь / June	Июль / July	Август / August
Крильон / Krilyon	0,03	0,03	0,02	0,03	0,90	0,96	1,06	1,07
Холмск / Holmsk	0,03	0,03	0,03	0,03	1,01	1,07	<b>1,52</b>	1,41
Углегорск / Uglegorsk	0	0	0	0,01	0,94	1,07	1,42	1,44
Пильво / Pilvo	0,02	0	0,01	0,03	0,82	1,22	1,09	1,22
Одопту / Odoptu	0,02	0	0,01	0	0,82	1,47	1,18	<b>1,59</b>
Терпения / Terpeniya	0,02	0,01	0,01	0	1,04	1,02	1,20	1,14
Новиково / Novikovo	0,01	0,01	0,02	0,02	1,26	<b>1,59</b>	1,35	<b>1,50</b>

Согласно данным оценкам, на западном шельфе острова, находящемся под воздействием теплого Цусимского течения, наибольшие флуктуации наблюдаются в июле на ГМС Холмск. В отдельные годы северная ветвь течения достигает северной части Татарского пролива – до ГМС Углегорск и далее до ГМС Пильво [9, 16, 17]. Изменение год от года распространения вод Цусимского течения определяет изменения термических условий акватории у западного побережья.

На восточном шельфе на ГМС Одопту наибольшая изменчивость отмечается в августе, на ГМС Новиково – в июне и августе. ГМС Одопту находится на севере восточного шельфа. Многолетние изменения термического режима вод здесь определяются взаимодействием вод различного происхождения – теплых вод, поступающих с Амурским течением, и холодных вод Восточно-Сахалинского течения (рис. 1) [18]. В июле – августе при развитии летнего муссона ветры южных румбов ослабляют Восточно-Сахалинское течение, но часто возникающий под действием преобладающих юго-восточных ветров у восточного побережья (район ГМС Комрво) апвеллинг в значительной степени определяет здесь холодный термический режим вод. Часто зона апвеллинга наблюдается в июле – августе и в центральной зоне восточного шельфа севернее м. Терпения (ГМС м. Терпения), она определяет здесь также значительные флуктуации. У юго-восточного шельфа острова (ГМС Новиково) термический режим вод обусловлен изменчивостью составляющих потоков антициклональной циркуляции южной части Охотского моря, в том числе холодных вод Восточно-Сахалинского течения и вторжений струй трансформированных теплых вод течения Соя [19, 20]. Направления ветровых воздействий и динамика вод в районе восточного побережья Сахалина являются важными факторами, определяющими здесь изменения температурного режима акватории, формирование значительных аномалий.

Чтобы выявить годы, в которые наблюдались крупные аномалии температуры воды, рассчитаны значения критерия для каждой ГМС (табл. 2).

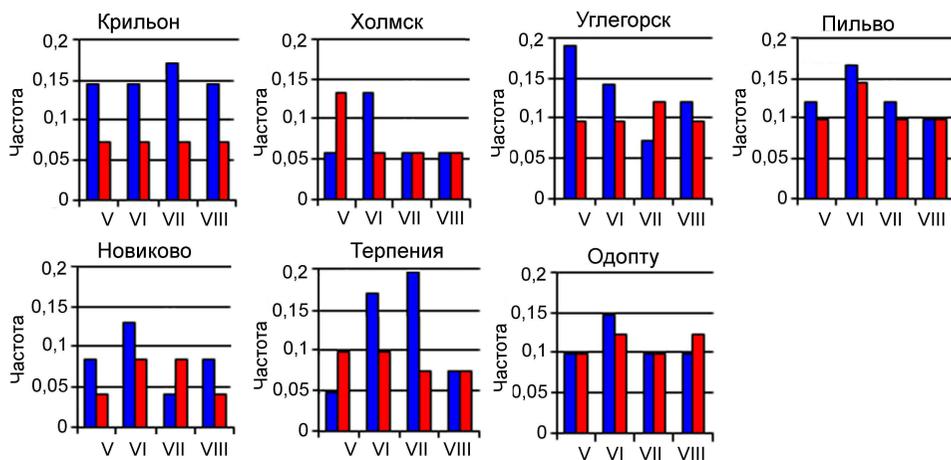
Т а б л и ц а 2  
T a b l e 2

**Критерий крупной аномалии температуры воды (°С) для ГМС  
в 1980–2021 гг.  
Criterion of water temperature large anomaly (°C) at HMS  
in 1980–2021**

Станция / Station	Май / May	Июнь / June	Июль / July	Август / August
Крильон / Krilyon	±1,18	±1,27	±1,35	±1,42
Холмск / Holmsk	±1,31	±1,38	±1,94	±1,82
Углегорск / Uglegorsk	±1,15	±1,30	±1,72	±1,76
Пильво / Pilvo	±1,03	±1,49	±1,36	±1,56
Одопту / Odoptu	±1,05	±1,80	±1,47	±1,96
Комрво / Komrvo	–	±0,98	–	–
Терпения / Terpeniya	±1,29	±1,27	±1,49	±1,40
Новиково / Novikovo	±1,57	±1,96	±1,71	±1,91

Из результатов расчетов следует, что для каждой станции значения критерия крупной аномалии разные. Наибольшие значения отмечаются в июле и августе, что согласуется с увеличением остаточной изменчивости (табл. 1).

С учетом проведенных оценок выявлены годы, в которые формировались отрицательные и положительные крупные аномалии температуры воды, превышающие значения критерия, а также определена частота появления крупных аномалий в каждом месяце (рис. 3).



**Р и с. 3.** Частота появления крупных отрицательных (синий цвет) и положительных (красный цвет) аномалий температуры воды на ГМС в мае – августе 1980–2021 гг.

**F i g. 3.** Frequency of arising of strong negative (blue color) and positive (red color) anomalies of water temperature at HMS in May – August, 1980–2021

Согласно результатам расчетов, представленным на рис. 3, в мае – августе 1980–2021 гг. на большинстве станций о. Сахалин преобладает частота появления крупных отрицательных аномалий температуры воды. Следует отметить, что риск появления сильных похолоданий особенно важен в мае – июне, когда происходит скат молоди лососей в прибрежные районы.

В мае наибольшая частота появления отрицательных аномалий наблюдается на ГМС западного шельфа, при этом на ГМС Углегорск отмечается ее пик. Но на ГМС Холмск в мае частота появления положительных аномалий температуры воды превышает частоту появления ее отрицательных аномалий.

В июне как на западном, так и на восточном побережье частота появления отрицательных аномалий температуры воды превышает частоту появлений положительных. Вместе с тем отмечается наибольшее увеличение частоты положительных аномалий на ГМС Пильво (западный шельф) и ГМС Одопту (северо-восточный шельф).

В июле наиболее высокая частота появления отрицательных аномалий наблюдается на станциях, расположенных на мысах, – ГМС м. Крильон и ГМС м. Терпения. Частота появления положительных аномалий наиболее высока на ГМС Углегорск, на этой станции она превышает частоту появления отрицательных аномалий. Превышение частоты появления положитель-

ных аномалий над частотой появления отрицательных имеет место и на ГМС Новиково.

В августе высокая частота отрицательных аномалий сохраняется на ГМС м. Крыльон. Наиболее высокая частота появления положительных аномалий отмечается на ГМС Одопту, где она превышает частоту появления отрицательных.

Из проведенного анализа следует, что термический режим, характеризующийся появлением крупных аномалий температуры воды в мае – августе, наблюдается на ГМС как западного, так и восточного шельфа.

Как отмечалось выше, изменчивость температурного режима акватории в весенне-летний период, формирование значительных положительных или отрицательных аномалий определяются особенностями гидрологических условий на западе и востоке острова. Однако в отдельные годы на ряде ГМС обоих районов наблюдаются термические режимы, отличающиеся формированием крупных аномалий только одного знака.

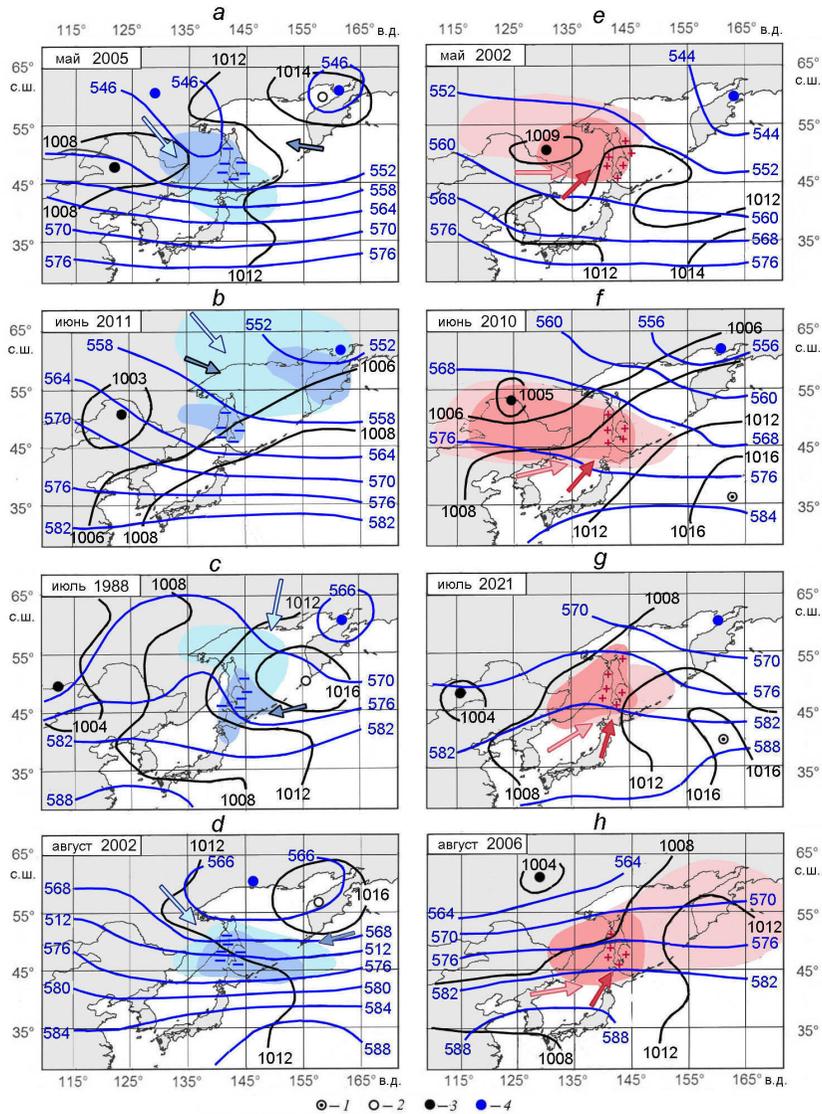
Так, термический режим, характеризующийся отрицательными аномалиями температуры воды, на западном и восточном шельфах острова за исследуемый период наблюдался в мае 1980, 2005 гг., июне 1983, 2011 гг., июле 1988, 1997 гг., августе 1981, 1992, 2002 гг.; положительными аномалиями – в мае 1995, 2002, 2019 гг., июне 2010 г., июле 1990, 2013, 2021 гг., августе 1995, 2000, 2006 гг.

Формирование в отдельные годы термических условий с крупными аномалиями одного знака на обоих побережьях острова, видимо, является результатом влияния одного фактора – воздействия со стороны атмосферы. В связи с этим весьма важно определить механизмы данного воздействия.

### **Механизмы формирования крупных аномалий**

Как установлено в настоящее время, циркуляцию атмосферы и перенос воздушных масс над исследуемым регионом в период летнего муссона (с характерными ветрами южных румбов) определяют сезонные ЦДА – формирующийся над Охотским морем в приземном поле Охотский антициклон (ОА) и холодная ложбина в средней тропосфере, а также летняя дальневосточная депрессия (ЛДД) как часть обширной азиатской депрессии, направленная на Приамурье. Со стороны океана атмосферная циркуляция связана с развитием северо-тихоокеанской области высокого давления – Гавайского антициклона (ГА). При этом интенсивность развития региональных ЦДА меняется год от года. Кроме того, отмечается изменчивость положения этих атмосферных барических образований и соответствующее изменение их локального воздействия [8, 9].

На рис. 4 приведены примеры конкретных среднемесячных барических полей в мае – августе в годы формирования термических режимов, характеризующихся крупными холодными (рис. 4, *a – d*) и теплыми (рис. 4, *e – h*) термическими аномалиями воды в исследуемых прибрежных районах о. Сахалин.



**Р и с. 4.** Характерные структуры полей приземного давления  $P_0$  (черные изобары, гПа) и геопотенциала  $H_{500}$  (синие изогипсы, гПа) в годы формирования крупных отрицательных ( $a - d$ ) или положительных ( $e - h$ ) аномалий температуры воды. 1 – Гавайский антициклон, 2 – Охотский антициклон, 3 – летняя дальневосточная депрессия, 4 – тропосферная ложбина. Голубыми и розовыми стрелками обозначено направление основного переноса холодных и теплых воздушных масс в средней тропосфере, синими и красными стрелками – направление переноса в приземном слое; знаками “-” и “+” – отрицательные и положительные аномалии температуры воды; голубым цветом выделены очаги отрицательных аномалий геопотенциала  $H_{500}$ , розовым цветом – очаги положительных аномалий геопотенциала  $H_{500}$ ; синим и красным цветом – очаги соответственно аномально низкой и высокой температуры воздуха

**F i g. 4.** Typical structures of the surface pressure fields  $P_0$  (black isobars, hPa) and geopotential  $H_{500}$  (blue isohypses, hPa) in the years of formation of large negative ( $a - d$ ) and positive ( $e - h$ ) water temperature anomalies. 1 – Hawaiian High, 2 – Okhotsk High, 3 – Summer Far East Low, 4 – Troposphere Low. Light blue and pink arrows denote the direction of basic motion of the cold and warm air masses in the mid troposphere, blue and red ones – the motion direction in the near land layer; signs “-” and “+” show the negative and positive anomalies of water temperature; light blue color marks the centers of negative anomalies of geopotential  $H_{500}$  and pink color – the centers of positive anomalies of geopotential  $H_{500}$ ; blue and red colors show the centers of anomalously low and high air temperature, respectively

Согласно проведенному анализу структуры атмосферных полей, экстремальное похолодание в прибрежных водах острова наблюдается при таких барических ситуациях, когда в высотных полях отмечаемая на картах абсолютной топографии АТ<sub>500</sub> тропосферная депрессия направлена на юго-запад Охотского моря. В дельте депрессии над исследуемым районом наблюдается формирование очагов с экстремально низкими значениями аномалий геопотенциала  $H_{500}$ . В этих очагах при нисходящих потоках у земли скапливается холодный воздух и формируются отрицательные аномалии температуры воды. В приземном поле локализация ОА на северо-востоке, востоке Охотского моря и смещение ЛДД на запад (рис. 4, *a, c, d*), в свою очередь, способствуют затоку с северо-востока холодных воздушных масс.

В случае отсутствия ОА (рис. 4, *b*) при значительном развитии ЛДД, из области которой циклоны смещаются на Охотское море по южным траекториям, в район острова в тыловой части циклонов с северо-запада также переносятся холодные воздушные массы. Такой перенос поддерживает поток холодных вод Восточно-Сахалинского течения [21] и апвеллинг на восточном шельфе [22, 23], но препятствует развитию теплого Цусимского течения и его ветви – течения Соя на юго-западе Охотского моря [9, 17], что в комплексе с формирующимся здесь очагом холодных воздушных масс определяет появление отрицательных аномалий температуры воды на всем побережье.

Формирование экстремально теплых режимов обусловлено развитием западной ветви ГА. В годы, когда уже в мае (рис. 4, *e*) исследуемый район находится под влиянием тропосферного гребня, над о. Сахалин наблюдается локализация экстремального очага положительных значений геопотенциала  $H_{500}$ , в приземном поле отмечается экстремальный очаг положительных аномалий температуры воздуха, а на акватории – положительные аномалии температуры воды. При усилении гребня ГА и его распространении на районы Японского и Охотского морей (рис. 4, *f, g*) область с экстремальными значениями геопотенциала  $H_{500}$  располагается над Приморским побережьем, Татарским проливом и о. Сахалин. По западной периферии ГА происходит интенсивный заток теплых воздушных масс. Имеет место усиление южных ветров. В случае, когда ЛДД смещена на север (рис. 4, *h*), ее взаимодействие с передней частью ГА обеспечивает вторжение с юга теплых воздушных масс, что также способствует формированию положительных аномалий на приостровных акваториях. При южном, юго-западном переносах в атмосфере интенсивность теплого Цусимского течения повышена. Согласно инструментальным наблюдениям, распространение течения отмечается до северной зоны Татарского пролива [16, 17], наблюдается также активное развитие его ветви – течения Соя [19, 20] – и ослабление холодного Восточно-Сахалинского течения [21], что в сочетании с тепловым атмосферным воздействием обеспечивает формирование крупных положительных аномалий температуры воды.

Таким образом, при анализе барических ситуаций в годы формирования крупных холодных или теплых температурных аномалий вод на шельфе о. Сахалин выявлены различия в структуре атмосферных полей. В результате различного локального теплового атмосферного воздействия на подстилающую поверхность наблюдаются различия в механизмах формирования холодных и теплых термических условий. При этом имеет место динамическое

атмосферное воздействие, способствующее изменениям приостровной циркуляции вод, что в комплексе определяет формирование крупных температурных аномалий на акватории.

### Заключение

Оценка межгодовой изменчивости состояния термического режима вод за период с мая по август 1980–2021 гг. показала, что на акватории западного и восточного шельфов острова Сахалин в теплый период при преимущественной тенденции к росту отсутствуют значимые тренды во временных рядах температуры воды. Это объясняется высокими значениями остаточной изменчивости (флуктуаций) как на западном, так и на восточном шельфе.

Наибольшие флуктуации аномалий температуры воды наблюдаются в июле и августе. Как на западном, так и на восточном шельфе острова частота появления крупных отрицательных аномалий состояния термического режима превышает частоту появления положительных.

С учетом рассчитанных критериев температурных аномалий определены годы с крупными отрицательными и положительными аномалиями состояния термического режима вод. Выявлено, что при различных гидрологических условиях на западном и восточном шельфах острова в отдельные годы на ряде станций обоих районов наблюдается появление крупных аномалий одного знака. Определены формирующие причинно-следственные связи. Установлено, что механизмы формирования крупных аномалий температуры воды на акватории района связаны с изменчивостью положения и интенсивности развития сезонных региональных центров действия атмосферы. Показано, что аномально холодные термические условия формируются, когда над островом Сахалин наблюдается очаг понижения геопотенциала  $H_{500}$  и области аномально низкой приземной температуры воздуха. Такие экстремальные зоны обусловлены усилением интенсивности ОА или прохождением циклонов по южным траекториям при развитии ЛДД. В годы крупных положительных аномалий температуры воды наблюдается противоположная картина, когда над о. Сахалин располагается очаг экстремально повышенных значений геопотенциала  $H_{500}$  и область аномально высокой приземной температуры воздуха. Такие условия связаны с усилением отепляющего влияния ГА, соответствующим изменением переноса воздушных масс. Аномальные изменения барической структуры атмосферных полей, обуславливающие накопление в отдельных очагах над всем исследуемым районом аномально холодных или теплых воздушных масс, определяют формирование крупных температурных аномалий на акватории западного и восточного шельфов о. Сахалин.

Результаты проведенных исследований могут быть использованы для оценки экстремальности состояния термических условий среды в промышленный период, а также в прогностических моделях.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Роль глобальной атмосферной осцилляции в формировании климатических аномалий Дальневосточного региона России / В. И. Бышев [и др.] // Доклады Академии наук. 2014. Т. 458, № 1. С. 92–96. EDN SJDPTZ. doi:10.7868/S0869565214250148

2. Климатические изменения термических условий окраинных морей западной части Тихого океана / И. Д. Ростов [и др.] // *Метеорология и гидрология*. 2020. № 3. С. 44–57. EDN FYBWCF.
3. *Jiang X., Li Y., Yang S., Wu R.* Interannual and interdecadal variations of the South Asian and Western Pacific subtropical highs and their relationships with Asian-Pacific summer climate // *Meteorology and Atmospheric Physics*. 2011. Vol. 113, iss. 3–4. P. 171–180. doi:10.1007/s00703-011-0146-8
4. Recent trends in oceanic conditions in the western part of East/Japan Sea: An analysis of climate regime shift that occurred after the late 1990s / Н.-К. Jung [et al.] // *Journal of Marine Science and Engineering*. 2021. Vol. 9, iss. 11. 1225. <https://doi.org/10.3390/jmse9111225>
5. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т. IX. Охотское море. Вып. 1. Гидрометеорологические условия / Ред. Б. Х. Глуховский, Н. П. Гоптарев, Ф. С. Терзиев. СПб. : Гидрометеониздат, 1998. 342 с.
6. *Шунтов В. П., Темных О. С., Найденоко С. В.* Еще раз о факторах, лимитирующих численность тихоокеанских лососей (*Oncorhynchus* spp., сем. Salmonidae) в океанический период их жизни // *Известия ТИНРО*. 2019. Т. 196. С. 3–22. EDN ZAMGUX. <https://doi.org/10.26428/1606-9919-2019-196-3-22>
7. *Каев А. М.* Снижение численности горбуши (*oncorhynchus gorbucha*) в Сахалино-Курильском районе как следствие действия экстремальных факторов среды // *Известия ТИНРО*. 2018. Т. 192. С. 3–14. EDN YTFWLH. doi:10.26428/1606-9919-2018-192-3-14
8. *Шатилина Т. А., Цицаишвили Г. Ш., Радченкова Т. В.* Особенности изменчивости летних центров действия атмосферы над Дальним Востоком и климатические экстремумы в период 1980–2017 гг. // *Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета*. 2019. № 56. С. 61–80. EDN JQMSHT. doi:10.33933/2074-2762-2019-56-61-80
9. *Мороз В. В., Шатилина Т. А., Рудых Н. И.* Формирование аномальных термических режимов в северной части Татарского пролива и Амурском лимане под воздействием атмосферных процессов // *Вестник ДВО РАН*. 2021. № 6. С. 101–110. EDN IPTPZE. doi:10.37102/0869-7698\_2021\_220\_06\_10
10. *Шатилина Т. А., Цицаишвили Г. Ш., Радченкова Т. В.* Использование метода интервального распознавания для выделения предшествующих барических структур, определяющих экстремальные термические режимы в Южнокурильском районе Тихого океана в летний период // *Известия ТИНРО*. 2021. Т. 201, № 2. С. 470–483. EDN VONHYL. doi:10.26428/1606-9919-2021-201-470-483
11. *Коршунова Н. Н., Швець Н. В.* Изменение норм основных климатических параметров на территории России за последние десятилетия // *Труды ВНИГМИ – МЦД*. 2014. Вып. 178. С. 11–24. EDN ORUUD.
12. *Спичкин В. А.* Определение критерия крупной аномалии // *Труды ААНИИ*. Л. : Гидрометеониздат, 1987. Т. 402. С. 15–20.
13. *Embrechts P., Klüppelberg C., Mikosch T.* Modelling extremal events for insurance and finance. Berlin : Springer, 1997. Ch. 1. P. 3–19. (Stochastic Modelling and Applied Probability ; vol. 33). <https://doi.org/10.1007/978-3-642-33483-2>
14. *Шитиков В. К., Розенберг Г. С., Зинченко Т. Д.* Количественная гидроэкология: методы системной идентификации. Тольятти : Самарский научный центр РАН, 2003. 463 с. EDN QKMGTL.
15. *Цицаишвили Г. Ш.* Оценки дисперсий // *Дальневосточный математический журнал*. 2008. Том 8, № 2. С. 229–234. EDN NAWFAT.
16. *Дьяков Б. С.* Межгодовая изменчивость циркуляции вод в Татарском проливе в летнее время // *Известия ТИНРО*. 2006. Т. 144. С. 281–299. EDN NYZCZB.
17. *Пицальник В. М., Архипкин В. С., Леонов А. В.* О циркуляции вод в Татарском проливе // *Водные ресурсы*. 2010. Т. 37, № 6. С. 657–670. EDN NBSUNT.

18. *Жабин И. А., Лукьянова Н. Б.* Влияние ветрового апвеллинга и стока реки Амур на термохалинную структуру вод у северо-восточного побережья острова Сахалин // *Метеорология и гидрология*. 2022. № 9. С. 32–41. EDN WYVBGK. doi:10.52002/030-2906-2022-9-32-41
19. Volume transport in the Soya Strait during 2006-2008 / Y. Fukamachi [et al.] // *Journal of Oceanography*. 2010. Vol. 66, iss. 5. P. 685–696. doi:10.1007/s10872-010-0056-2
20. Anticyclonic eddy caused by the Soya Warm Current in an Okhotsk OGCM / K. Uchimoto [et al.] // *Journal of Oceanography*. 2007. Vol. 63, iss. 3. P. 379–391. doi:10.1007/s10872-007-0036-3
21. *Андреев А. Г.* Мезомасштабная циркуляция вод в районе Восточно-Сахалинского течения (Охотское море) // *Исследование Земли из космоса*. 2017. № 2. С. 3–12. EDN YTLTZL. doi:10.7868/S0205961417010031
22. *Жабин И. А., Дмитриева Е. В.* Сезонная и межгодовая изменчивость ветрового апвеллинга у восточного побережья о-ва Сахалин по данным скаттерометра Seawinds спутника Quikscat // *Исследование Земли из космоса*. 2016. № 1–2. С. 105–115. EDN VTOVNB. doi:10.7868/S0205961416010152
23. *Шевченко Г. В., Кириллов К. В.* Вариации температуры воды у побережья о. Сахалин по данным инструментальных измерений // *Метеорология и гидрология*. 2017. № 3. С. 68–78. EDN YGFHPR.

*Об авторах:*

**Шатилина Татьяна Александровна**, ведущий научный сотрудник, лаборатория промысловой океанологии, Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, тихоокеанский филиал ФГБНУ ВНИРО (ТИНРО) (690091, Россия, г. Владивосток, тупик Шевченко, 4), кандидат географических наук, **SPIN-код: 8296-4906**, **Scopus Author ID: 6505548902**, **ORCID ID: 0009-0005-7954-9745**, tatyana.shatilina@tinro.ru

**Мороз Валентина Васильевна**, старший научный сотрудник, лаборатория информатики и мониторинга океана, ФГБУН ТОИ им. В. И. Ильичева ДВО РАН (690041, Россия, г. Владивосток, ул. Балтийская, д. 43), кандидат географических наук, **SPIN-код: 7024-0055**, **Scopus Author ID: 7102508049**, **ORCID ID: 0000-0001-5937-4080**, **Researcher ID: K-1520-2018**, moroz@poi.dvo.ru

**Цициашвили Гурами Шалвович**, главный научный сотрудник, ИПМ ДВО РАН (690041, Россия, г. Владивосток, ул. Радио, д. 7), доктор физико-математических наук, профессор, **Scopus Author ID: 35605421700**, **ORCID ID: 0000-0003-2600-0474**, guram@iam.dvo.ru

**Радченкова Татьяна Вадимовна**, сотрудник, ИПМ ДВО РАН (690041, Россия, г. Владивосток, ул. Радио, д. 7), инженер-исследователь, **ORCID ID: 0000-0003-2287-975X**, tarad@yandex.ru