

Особенности формирования экстремальных состояний термического режима вод в районе Курильской островной гряды в летний период под воздействием атмосферных процессов

В. В. Мороз^{1, ✉}, Т. А. Шатилина²

¹ Тихоокеанский океанологический институт им. В. И. Ильичева Дальневосточного отделения Российской академии наук, Владивосток, Россия

² Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, тихоокеанский филиал ФГБНУ ВНИРО (ТИНРО), Владивосток, Россия
✉ moroz@poi.dvo.ru

Поступила в редакцию 24.03.2022, одобрена после рецензирования 23.05.2022; принята к публикации 25.06.2022.

Аннотация

Цель. Цель работы – выявить механизмы формирования экстремальных состояний термического режима вод в конкретных зонах района Курильской островной гряды в летние месяцы под воздействием атмосферных процессов в течение последних четырех десятилетий.

Методы и результаты. На основе данных многолетних наблюдений на прибрежных гидрометеорологических станциях Росгидромета за 1977–2019 гг. изучен многолетний ход термического режима вод в Южно-Курильском и Северо-Курильском промысловых районах. Выявлены флуктуации среднемесячного термического состояния акватории в отдельные годы в летний период. С применением метода кластерного анализа определены годы с формированием противоположных и совпадающих по знаку экстремальных термических аномалий в южном и северном районах гряды. Исследована изменчивость характеристик региональных центров действия атмосферы. Установлено, что экстремальные состояния термического режима обусловлены аномальными изменениями в развитии Охотского антициклона, формированием тропосферной ложбины в высотном поле, смещением центра летней дальневосточной депрессии от своего среднемноголетнего положения, изменениями распространения на северо-запад Северитихоокеанского максимума (Гавайского антициклона) и соответствующей атмосферной циркуляцией. Показаны особенности механизмов формирования аномальных холодных или теплых термических аномалий в северном и южном районах Курильской гряды, выявлены причинно-следственные связи.

Выводы. Аномальные термические условия вод в отдельных районах Курильской гряды формируются локальным воздействием аномальной атмосферной циркуляции – экстремальными колебаниями интенсивности развития и положения региональных центров действия атмосферы.

Ключевые слова: Курильская гряда, термический режим, центры действия атмосферы, гидрологические условия, Охотское море, динамика вод, атмосферная циркуляция, антициклон, дальневосточная депрессия

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

Для цитирования: Мороз В. В., Шатилина Т. А. Особенности формирования экстремальных состояний термического режима вод в районе Курильской островной гряды в летний период под воздействием атмосферных процессов // Морской гидрофизический журнал. 2022. Т. 38, № 5. С. 451–465. doi:10.22449/0233-7584-2022-5-451-465

Features of Forming the Water Extreme Thermal Regimes in the Kuril Ridge Region in Summer under the Impact of the Changeable Atmospheric Processes

V. V. Moroz^{1, ✉}, T. A. Shatilina²

¹ V. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russia

² Russian Federation Research Institute of Fisheries and Oceanography, Vladivostok, Russia
✉ moroz@poi.dvo.ru.

Purpose. The work is aimed at identifying the mechanisms forming the water extreme thermal regimes in the Kuril Island ridge region in summer under the impact of the atmospheric processes over the past four decades.

Methods and Results. The data resulted from the long-term observations at the Rosgidromet coastal stations in 1977–2019 permitted to study multi-year variability of the water thermal regime in the South Kuril and North Kuril fishery regions. The extreme fluctuations in the summer sea surface temperature in certain years were revealed. Used the cluster analysis method, the years with the opposite and the same extreme thermal regimes in the ridge southern and northern parts were determined. Variability of the characteristics of the atmospheric action regional centers was researched. It was established that formation of the extreme thermal regimes was conditioned by the abnormal changes in development of the Okhotsk anticyclone, formation of the troposphere trough in the altitude field, displacement of the summer Far East depression from its mean multi-year position, changes in propagation of the North Pacific maximum (the Hawaiian anticyclone) to the north-west, and also by the corresponding atmospheric circulation. The features of the mechanisms that form the abnormal cold or warm thermal regimes in the northern and southern areas of the Kuril ridge are shown. The cause and effect relationships are revealed.

Conclusions. In the certain areas of the Kuril ridge, the abnormal water thermal conditions are formed by the local impact of the abnormal atmospheric circulation that is the extreme fluctuations both in the development intensity of the atmospheric action regional centers and in their location.

Keywords: Kuril ridge, thermal regime, atmospheric action centers, hydrological conditions, Sea of Okhotsk, water dynamics, atmospheric circulation, anticyclone, Far East depression

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

For citation: Moroz, V.V. and Shatilina, T.A., 2022. Features of Forming the Water Extreme Thermal Regimes in the Kuril Ridge Region in Summer under the Impact of the Changeable Atmospheric Processes. *Physical Oceanography*, 29(5), pp. 435-448. doi:10.22449/1573-160X-2022-5-435-448

Введение

Курильская островная гряда – архипелаг, отделяющий Охотское море от Тихого океана (рис. 1). Это сложный в океанологическом отношении район. Значительная протяженность островной гряды (около 1200 км на северо-восток от о. Хоккайдо до южного побережья п-ова Камчатка), муссонный характер атмосферных процессов с сезонным ходом направления ветров, водообмен через проливы гряды водами различного происхождения и перераспре-

деление океанологических характеристик на акватории системой приостровных течений – многообразие факторов, определяющих особенности гидрологического режима района в целом и в отдельных подрайонах гряды [1, 2].

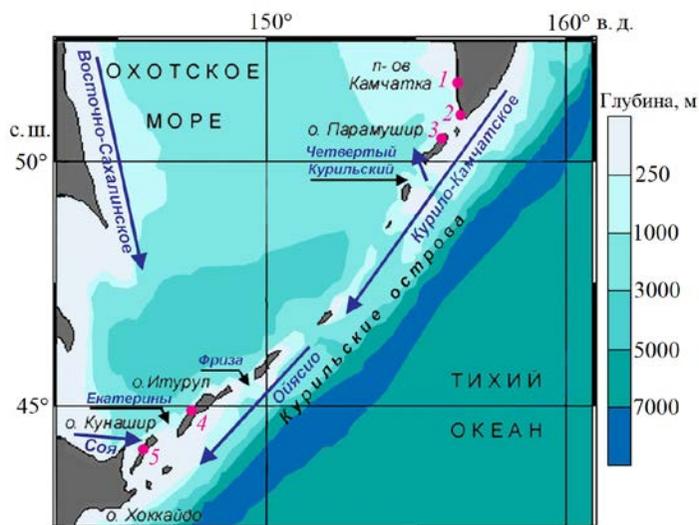


Рис. 1. Район исследований и схема расположения гидрометеорологических станций (ГМС): 1 – Октябрьская; 2 – Озерной; 3 – Северо-Курильск; 4 – Курильск; 5 – Южно-Курильск

Fig. 1. Region under study and scheme of the hydrometeorological stations location (HMS): 1 – Otktyabrskaya, 2 – Ozernoy, 3 – Severo-Kurilsk, 4 – Kurilsk, 5 – Yuzno-Kurilsk

Вместе с тем приостровная акватория гряды является экономически значимой зоной Тихоокеанско-Охотоморского региона, богатой биологическими ресурсами. Это зона активного промысла сайры, кальмаров и лососевых. Однако формирование в исследуемом районе в отдельные годы экстремальных холодных или теплых термических условий негативно отражается на функционировании и продуктивности экосистем, распределении промысловых объектов, приводит к смещению районов промысла, вызывает дополнительные сложности для промыслового прогнозирования [3, 4]. В связи с этим весьма важно изучение взаимосвязей факторов и причин, определяющих формирование аномальных термических условий акватории.

Одним из значимых факторов, определяющих особенности формирования гидрологического режима региона, является изменчивость синоптико-климатических условий. В летний промысловый период атмосферные процессы здесь обусловлены взаимодействием региональных центров действия атмосферы (ЦДА). Проведенные в последнее десятилетие оценки зависимости между изменчивостью термического режима в ряде районов Японского и Охотского морей, в районе Курильского архипелага и интенсивностью развития ЦДА показали их выраженную взаимосвязь. Выдвинуто предположение о существенных различиях в процессах формирования барических полей в аномальные по термическим условиям годы, предложена качественная схема влияния структуры барических полей на термический режим акваторий [5, 6]. Проведены исследования по применению математического метода интер-

вального распознавания для выделения предшествующих барических структур, определяющих экстремальные состояния термического режима вод, влияющие на условия промысла [7].

Вместе с тем проблема низкой оправдываемости прогнозов актуальна до настоящего времени и часто связана с аномальными термическими условиями [3, 4]. Цель настоящего исследования – выявить механизмы формирования экстремальных состояний термического режима под воздействием атмосферных процессов с учетом особенностей гидрологических условий в конкретных районах Курильской гряды.

Данные и методы

В рамках работы решались следующие задачи:

- исследование особенностей межгодовой изменчивости термического режима в июле – августе в *южном подрайоне*, включающем в себя Южно-Курильский район, зону влияния течения Соя и Восточно-Сахалинское течение (ГМС Южно-Курильск, ГМС Курильск), и в *северном*, охватывающем северную часть гряды и южную прикамчатскую акваторию, зону влияния Курило-Камчатского течения (ГМС Северо-Курильск, ГМС Озерной, ГМС Октябрьская) (рис. 1);

- исследование межгодовой изменчивости выраженности (изменчивости давления) и положения сезонных ЦДА;

- определение роли сезонных ЦДА в механизмах формирования экстремальных термических режимов акватории в каждом подрайоне.

Исследования многолетней изменчивости термического режима в прибрежных водах района проводились с использованием данных наблюдений о температуре воды электронной базы данных ЕСИМО (URL: <http://portal.esimo.ru/portal/>), ВНИИГМИ-МЦД (URL: <http://meteo.ru>) на ГМС Росгидромета за сорокалетний период 1977–2019 гг. Для оценки изменчивости термических условий использовались аномалии (отклонения значений температуры от средних). Анализ изменчивости термического режима вод проводился на основе методов построения графиков и таблиц по районам, выделенным с учетом влияния циркуляции вод. Для выделения лет с экстремальными состояниями термического режима использовался кластерный анализ.

Для анализа термических условий на акватории исследуемого района были привлечены данные о температуре воды на поверхности моря в узлах регулярной сетки $0,25 \times 0,25^\circ$ архива Японского метеорологического агентства *JMA* (URL: http://ds.data.jma.go.jp/gmd/goos/data/cobe_sst_glb_M.html) за 1977–2019 гг.

Анализ атмосферной циркуляции проводился над центральным вторым естественным синоптическим районом (2 е. с. р.) на основе 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 1977–2019 гг. Для оценки изменчивости интенсивности развития ЦДА использовались аномалии (отклонения значений давления от средних). Для анализа барических полей использовались карты приземного давления и геопотенциала H_{500} за 2000–2019 гг., составляемые *JMA*.

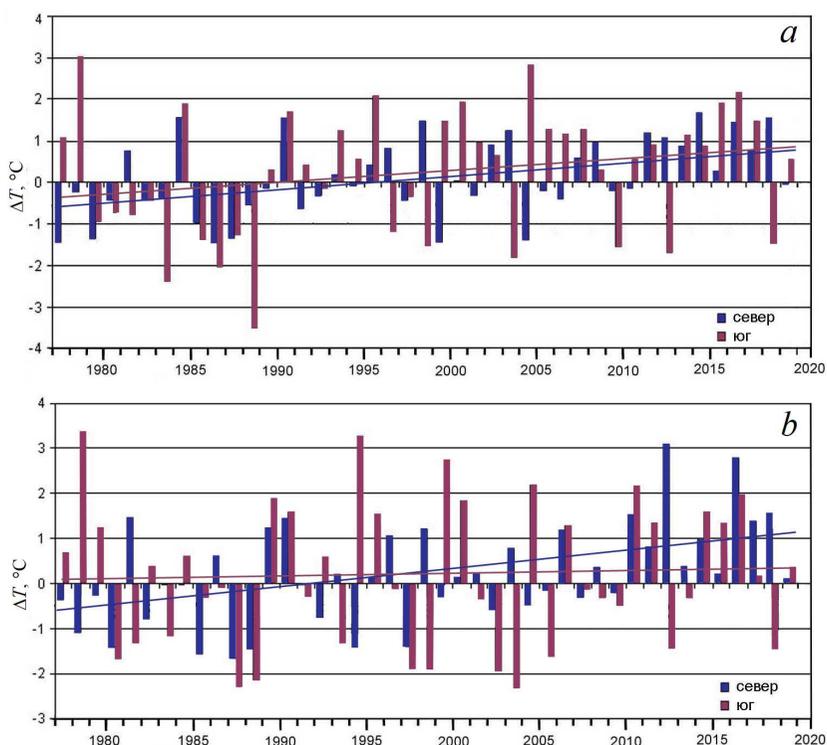
Средние многолетние значения и аномалии всех используемых в работе параметров были рассчитаны за базовый период 1981–2010 гг.

Формирование и изменчивость термического режима вод

Северный подрайон. Межгодовая изменчивость термического режима акватории северного подрайона гряды оценивалась по наблюдениям на ГМС Северо-Курильск, а также ГМС Озерной и Октябрьская на южном побережье п-ова Камчатка. ГМС Северо-Курильск находится на севере о. Парамушир северной группы Курильских островов. При мелководности северокурильских проливов (глубиной менее 200 м) только Четвертый Курильский пролив имеет глубину около 600 м. Через этот пролив происходит активный водообмен море – океан. С тихоокеанской стороны гряды пролив подвержен влиянию вод распространяющегося с севера Курило-Камчатского течения. Для пролива характерна двусторонняя схема циркуляции вод: в южной части сток охотоморских вод, в северной – приток тихоокеанских [1]. Тихоокеанские воды, поступая в пролив, поворачивают далее на север и распространяются к юго-западному побережью п-ова Камчатка – к ГМС Озерной и ГМС Октябрьская. То есть температурные характеристики акватории района формируются под влиянием вод различного происхождения – собственно охотоморских вод и частично вод Курило-Камчатского течения. Динамика вод в северокурильском подрайоне является важным фактором, определяющим здесь температурный режим.

Южный подрайон. В южном курильском подрайоне многолетняя изменчивость термических условий оценивалась по наблюдениям на прибрежных ГМС Южно-Курильск и Курильск. ГМС Южно-Курильск находится на тихоокеанском побережье о. Кунашир. ГМС Курильск находится с охотоморской стороны острова о. Итуруп. Температурные характеристики акватории, как и в северном подрайоне, определяются влиянием вод различного происхождения. Со стороны южной части Охотского моря в прикурильскую зону поступают теплые воды течения Соя и холодные воды северо-охотоморского происхождения – восточной ветви Восточно-Сахалинского течения. Их влияние на формирование термических условий здесь весьма велико [6, 8, 9]. Амплитуды межгодовых колебаний значений температуры воды у ГМС Южно-Курильского района выше, чем в прибрежных водах северного района. Это связано с тем, что в одни годы термический режим вод определяется влиянием теплых вод течения Соя (повышение температуры), в другие – влиянием холодных вод Восточно-Сахалинского течения (понижение температуры). По данным наблюдений за траекториями дрейфтеров *Argo*, влияние холодного Восточно-Сахалинского течения может распространяться на всю южную и центральную части Охотского моря [10]. Кроме того, через омывающие острова проливы, благодаря разнонаправленной циркуляции вод [1], даже при преимущественном стоке из Охотского моря имеет место приток холодных тихоокеанских вод, приносимых течением Ойясио. С изменчивостью составляющих системы течений в значительной степени связано перераспределение поступления тепла и холода, что определяет многолетний ход изменчивости температурного фона южного подрайона.

Формирование термического режима акватории в каждом из подрайонов определяется региональными особенностями гидрологических условий. При этом результаты анализа изменчивости температурного режима в июле – августе (основной промысловый период) с 1977 по 2019 г. показывают согласованность межгодовых колебаний в пределах северного (ГМС Северо-Курильск, Озерной, Октябрьская) и южного (ГМС Южно-Курильск и Курильск) подрайонов. Многолетняя изменчивость термических условий акватории каждого подрайона достаточно хорошо отражается в динамике осредненных значений аномалий температуры воды. Ход многолетних изменений термического режима вод в обоих подрайонах (рис. 2) свидетельствует о тенденции к потеплению в районе Курильской гряды в течение последних сорока десятилетий, что подтверждает исследования предыдущих лет [11]. В то же время в каждом подрайоне наблюдаются значительные флуктуации изменчивости температурных условий, что позволяет выделить годы с экстремальными состояниями термического режима.



Р и с. 2. Межгодовая изменчивость аномалий температуры воды в северном и южном подрайонах Курильской гряды в июле (а) и августе (b) и соответствующие линейные тренды
F i g. 2. Interannual variability of the water temperature anomalies in the northern and southern areas of the Kuril in July (a) and August (b), and the corresponding linear trends

На основе оценки межгодовой изменчивости термических условий в каждом подрайоне в июле – августе за сорокалетний период (1977–2019 гг.), проведенной с применением кластерного анализа методом К-средних, были

сформированы списки лет, сгруппированных по аномалиям термического режима (близкие к норме, с аномалиями по абсолютной величине менее 1,0 °С; холодные и теплые, с аномалиями 1,0–1,5 °С, и экстремально холодные и теплые, с аномалиями по абсолютной величине более 1,5 °С). Годы с экстремальными состояниями термического режима представлены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1
T a b l e 1

**Годы с экстремальными состояниями термического режима
в районе Курильской гряды за 1977–2019 гг.
Years of the abnormal thermal regimes in the Kuril ridge region in 1977–2019**

Подрайон / Area	Холодное / Cold	Теплое / Warm
<i>Июль / July</i>		
Северный / Northern	1977, 1979, 1986, 1987	1984, 1990, 1998, 2003, 2011, 2014, 2018
Южный / Southern	1983, 1985, 1986, 1987, 1988, 1998, 2003, 2009, 2012, 2018	1978, 1984, 1990, 1995, 1999, 2000, 2004, 2013, 2016
<i>Август / August</i>		
Северный / Northern	1978, 1980, 1985, 1987, 1988, 1994, 1997	1981, 1989, 1990, 1998, 2010, 2012, 2016, 2018
Южный / Southern	1980, 1987, 1988, 1997, 1998, 2002, 2003, 2005, 2012, 2018	1978, 1989, 1990, 1994, 1995, 1999, 2000, 2004, 2010, 2016

Согласно результатам проведенной оценки, было выявлено, что аномалии термического режима в отдельные годы совпадают по знаку в северном и южном подрайонах, а в некоторые годы наблюдаются противоположные по знаку термические аномалии в течение месяца и более (табл. 2).

Т а б л и ц а 2
T a b l e 2

**Годы с противоположными и совпадающими по знаку аномалиями
термического режима в районе Курильской гряды за 1977–2019 гг.
Years of the opposite and the same abnormal thermal regimes
in the Kuril ridge region in 1977–2019**

Холодный север и юг / Cold North and South	Холодный север, теплый юг / Cold North, warm South	Теплый север, холодный юг / Warm North, cold South	Теплый север и юг / Warm North and South
<i>Июль / July</i>			
1985, 1986, 1987, 1988	1999, 2004	1998, 2003, 2012, 2018	1984, 1990, 2016
<i>Август / August</i>			
1980, 1987, 1988, 1997	1978, 1994	1998, 2012, 2018	1989, 1990, 2010, 2016

Между тем известно, что термическое состояние и гидродинамика морской поверхности в значительной степени обусловлены приземными ветро-

выми условиями, направлением и интенсивностью переноса воздушных масс, которые, в свою очередь, определяются изменчивостью атмосферной циркуляции [12].

Для выявления причин формирования на исследуемой акватории в промысловый период в отдельные годы значительных аномалий термического режима проведен анализ изменчивости атмосферных процессов региона и их воздействия на подстилающую акваторию.

Изменчивость региональных атмосферных процессов

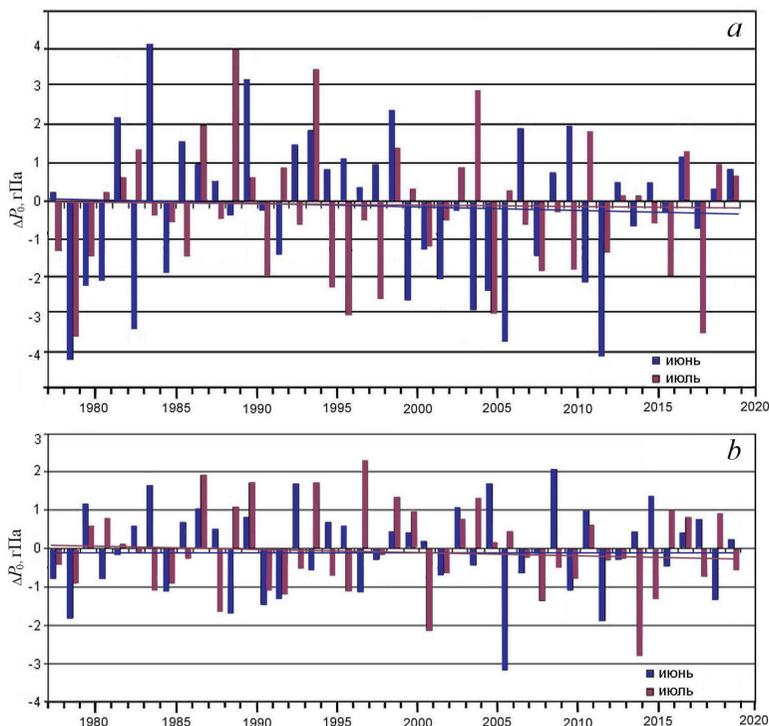
Характерные особенности летних атмосферных процессов региона связаны с летним дальневосточным муссоном. В летний период над материком формируется зона низкого давления – азиатская депрессия и как ее часть (над Монголией, северо-востоком Китая, Приамурьем) летняя дальневосточная депрессия (ЛДД) ¹. Над океаном активизируется область высокого давления – Северотихоокеанский, или Гавайский, антициклон (ГА). Над Охотским морем в период первой холодной стадии летнего муссона (май – начало июля) часто в приземном поле наблюдается локализованная область высокого давления, не связанная с ГА, – Охотский антициклон (ОА). При этом в высотных полях в средней тропосфере наблюдается холодная ложбина, в тыловой части которой на Охотское море выходят холодные воздушные массы арктического происхождения. Они наблюдаются на синоптических картах в виде небольших антициклонов, которые поддерживают область высокого давления над морем ². Кроме того, развитый ОА препятствует выходу циклонов с Приамурья на Охотское море, вследствие чего ЛДД имеет квазипостоянный характер и занимает более южное положение. В этом случае смещающиеся через ее ложбину циклоны выносят на акваторию моря в тыловой части холодные воздушные массы, способствуя формированию низкого температурного фона.

В отдельные годы влияние ОА на термические условия, приводящее к появлению отрицательной аномалии температуры воды, наблюдается вплоть до конца июля, а переход ко второй стадии муссона, характеризующейся разрушением ОА, усилением влияния ГА и установлением интенсивного выноса теплого воздуха на Охотское море, сдвигается и происходит лишь в августе ².

В связи с этим особенно важно изменение атмосферного давления над акваторией моря в июне и июле, свидетельствующее об интенсивности развития ОА. Согласно ходу межгодовой изменчивости аномалий приземного давления в области ОА и ЛДД, имеют место значительные флуктуации, что позволяет выделить годы экстремального состояния данных региональных ЦДА (рис. 3).

¹ Ильинский О. К. Летняя дальневосточная депрессия // Труды Дальневосточного научно-исследовательского гидрометеорологического института. Л. : Гидрометеорологическое издательство, 1960. Вып. 11. С. 3–53.

² Ильинский О. К. Охотский антициклон // Труды Дальневосточного научно-исследовательского гидрометеорологического института. М. : Гидрометеорологическое издательство, 1959. Вып. 7. С. 10–32.



Р и с. 3. Межгодовая изменчивость аномалий приземного давления ΔP_0 в области охотского антициклона (*a*) и летней дальневосточной депрессии (*b*) и соответствующие линейные тренды
F i g. 3. Interannual variability of the anomalies of surface pressure ΔP_0 in the Okhotsk High (*a*) and the Summer Far East Low (*b*) areas, and the corresponding linear trends

Годы активного развития ОА (аномалии давления > 2 гПа) – в июне 1981, 1983, 1985, 1989, 1998, 2009 гг. и в июле 1986, 1988, 1993, 2003 гг. Наименьшее развитие или отсутствие ОА (аномалии давления < -2 гПа) – в июне 1978, 1982, 1984, 1999, 2003, 2004, 2005, 2010, 2011 гг. и в июле 1978, 1990, 1994, 1995, 2004, 2017 гг. Годы значительного углубления ЛДД (аномалии давления $< -1,5$ гПа) – в июне 1978, 1984, 1990, 1991, 2005, 2011, 2018 гг. и в июле 2000, 2013, 2014 гг. Значительное ослабление ЛДД (аномалии давления $> 1,5$ гПа) – в июне 1983, 1992, 2004, 2008, 2014 гг. и в июле 1986, 1989, 1993, 1996, 1998, 2003 гг.

Совместный анализ межгодовой изменчивости аномалий давления в рассматриваемых ЦДА и временного хода межгодовой изменчивости температуры воды показал, что в исследуемом районе в годы активного развития (в июне – июле) ОА могут формироваться аномально холодные термические условия в июле – августе, а в годы ослабления антициклона или его отсутствия и углубления ЛДД – аномально теплые условия. Это подтверждает выявленные ранее причинно-следственные связи при формировании экстремальных термических аномалий в летний период в Южно-Курильском районе [6]. Между тем в отдельные годы эта связь неоднозначна, о чем свидетельствует межгодовой ход аномалий температурных условий конкретно

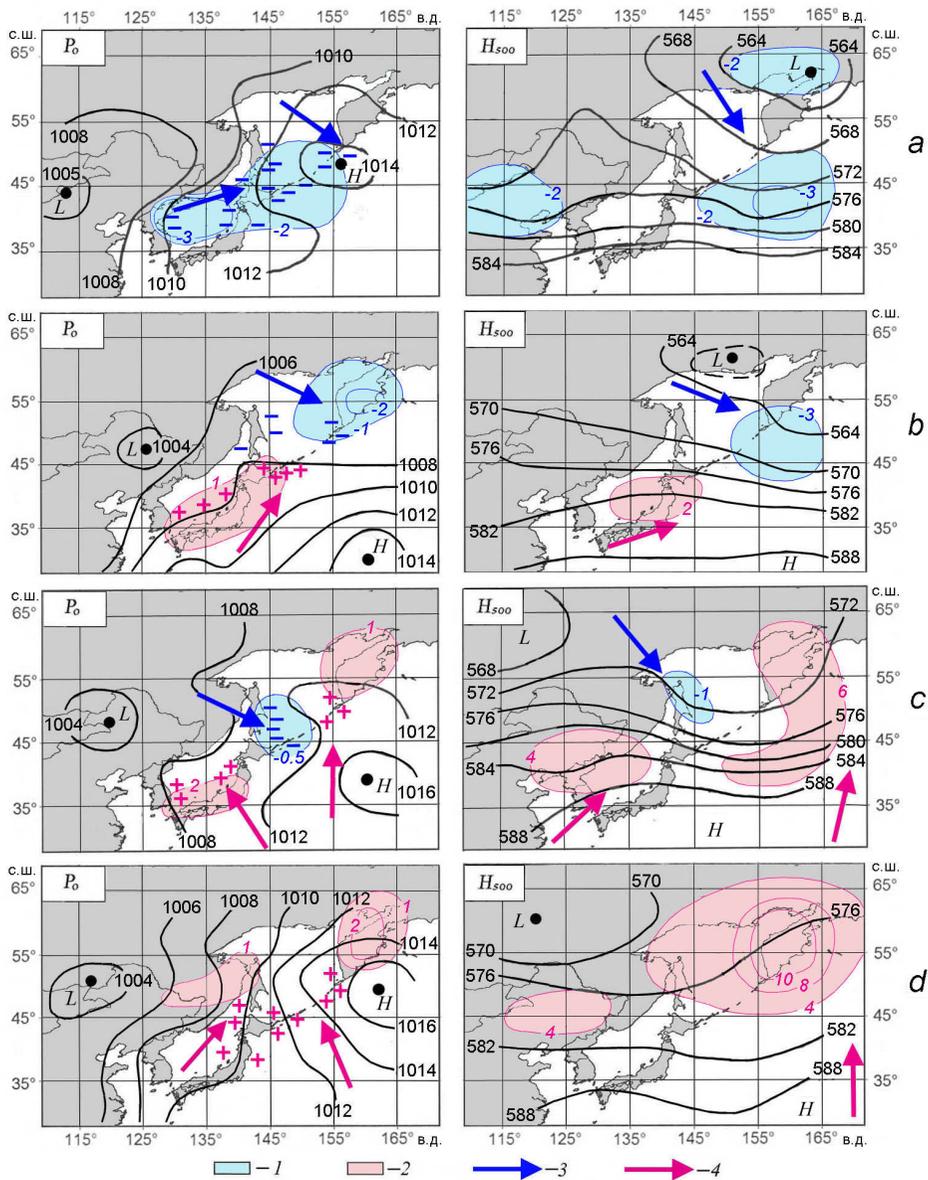
в каждом из рассматриваемых подрайонов (см. рис. 2). Наряду с интенсивностью развития ОА и ЛДД важную роль в формировании термического режима играет структура высотных полей и изменчивость положения этих атмосферных барических образований.

Механизмы формирования экстремальных термических условий

Анализ барических ситуаций показал различия в приземных и высотных полях в годы аномальных холодных или теплых термических условий в исследуемых районах Курильской гряды. При этом имеет место различное локальное атмосферное воздействие на акватории, что приводит здесь к различиям в механизмах формирования термических аномалий.

Механизм формирования экстремально холодных состояний термического режима на акватории обоих подрайонов связан с развитым ОА. Для высотных полей в эти годы характерно наличие отмечаемой на картах абсолютной топографии 500мб (AT_{500}) холодной ложбины, в области которой наблюдаются очаги экстремального понижения геопотенциала H_{500} (рис. 4, а). В этих очагах при нисходящих потоках скапливается холодный воздух у земли, происходит формирование экстремально холодных термических условий. Ложбина расположена над Камчатским п-овом и направлена на восточную часть Охотского моря и Курильские острова, что свидетельствует о распространении холодных воздушных масс в исследуемый район. В приземном поле ОА локализован в северо-восточной части моря. Центр ЛДД располагается южнее среднего многолетнего положения (среднемноголетнее положение центра 45° с. ш., 115° в. д.). Из-за блокирующего действия ОА депрессия направлена на юго-восточную часть Охотского моря. Смещающиеся вдоль депрессии циклоны выносят в тыловой части на приостровную акваторию холодные воздушные массы. При такой структуре атмосферных полей вынос холодных воздушных масс с севера, северо-запада происходит над всей Курильской грядой. Имеет место понижение температурного фона подстилающей поверхности и формирование аномально холодных термических условий на акватории всей гряды, что наблюдалось в июле – августе 1985–1988 гг., в августе 1997 г. (рис. 2, табл. 2).

Происходит и динамическое воздействие. Согласно инструментальным данным, в зоне течения Ойясио, которое «питается» поступающими через южные Курильские проливы охотоморскими водами, в 1988 г. наблюдалось значительное понижение температуры [13, 14], что свидетельствует об уменьшении притока теплых вод с течением Соя в южную часть Охотского моря и к южным проливам. Данные инструментальных измерений в экстремально холодном по термическому режиму 1986 г. также свидетельствуют об ослаблении затока теплых вод в южную часть Охотского моря и усилении стока холодных охотоморских вод с Восточно-Сахалинским течением [6]. В северной части гряды в 1997 г. наблюдалась интенсификация Курило-Камчатского течения, усиление притока холодных тихоокеанских вод в Северо-Курильский район [15].



Р и с. 4. Характерные структуры поля приземного давления P_0 и геопотенциала H_{500} в годы, аномальные по термическим условиям: *a* – холодным на всей акватории; *b* – холодным на севере и теплым на юге; *c* – теплым на севере и холодным на юге; *d* – теплым на всей акватории (цифрами синего цвета обозначены очаги отрицательных аномалий температуры воздуха и геопотенциала H_{500} , красного – очаги положительных аномалий температуры воздуха и геопотенциала H_{500} ; стрелками – перемещение воздушных масс; знаками «минус» и «плюс» – отрицательные и положительные аномалии температуры воды)

F i g. 4. Typical structures of the surface pressure field P_0 and geopotential H_{500} in the years characterized by the abnormal thermal regimes: *a* – cold over the whole water area, *b* – cold in the north and warm in the south, *c* – warm in the north and cold in the south, *d* – warm over the whole water area (blue numbers denote the centers of negative anomalies of the air temperature and geopotential H_{500} , red numbers – the centers of positive anomalies of the air temperature and geopotential H_{500} ; arrows show the air mass motion, and the signs “minus” and “plus” – the water temperature negative and positive anomalies)

Особый интерес представляют механизмы формирования противоположных по знаку в северном и южном подрайонах экстремальных состояний термического режима.

Анализ барических ситуаций над исследуемой акваторией в годы формирования холодных термических условий на севере гряды и теплых на юге свидетельствует о следующих особенностях структуры атмосферных полей южной части района (рис. 4, *b*). Северные Курилы находятся в области влияния тропосферной ложбины, располагающейся над северной частью Охотского моря (аномалии H_{500} опускаются до $-3, -2$ дам), южный район находится под влиянием гребня ГА (аномалии H_{500} достигают 2 дам). ЛДД смещена на северо-восток, проходящие вдоль ее ложбины циклоны выносят на юг Охотского моря в передней части теплые воздушные массы. С тихоокеанской стороны в район южных Курильских островов по периферии ГА, в вершине которого наблюдаются очаги повышения геопотенциала H_{500} , выносятся субтропический теплый воздух. В результате такого локального атмосферного воздействия в исследуемых подрайонах гряды формируются очаги экстремально низких и высоких аномалий температуры воздуха у земли: аномалии температуры на севере составляют около -2 °С, аномалии на юге – до 1 °С. При этом формируются соответствующие аномалии температурного режима на акваториях, что наблюдалось в июле 1999 и 2004 гг., в августе 1978 и 1994 гг. (см. рис. 2, табл. 2). Согласно инструментальным наблюдениям, при данном сочетании термических аномалий имело место развитие как системы течений Курило-Камчатского и Ойясио (1999, 2004 гг.) [15–18], так и течения Соя (2004 г.) [8], что согласуется с контрастами температурных условий северной и южной акваторий у гряды (разница аномалий составляла $2-2,5$ °С).

Механизмы формирования противоположного соотношения термических аномалий – теплый север и холодный юг – значительно отличаются от описанных выше особенностями структуры барических полей (рис. 4, *c*). В поле H_{500} северная часть Курил находится под обогревающим воздействием ГА. Гребни тепла направлены на Камчатку и Японское море. Тропосферная ложбина смещена на запад и оказывает охлаждающее воздействие на прибрежные акватории у о. Сахалин. В приземном поле отсутствует ОА, положение ЛДД восточнее среднемноголетнего. Депрессия направлена на Охотское море. При этом выходящие на восток циклоны в тыловой своей части выносят холодные воздушные массы к южным Курильским проливам. Между тем при развитии высотного гребня над Японским морем ветровое поле, способствуя поступлению течения Соя в Охотское море, в то же время приводит к отклонению течения на северо-восток соответственно ориентации гребня. В результате течение не достигает южных Курильских проливов. Подобные ситуации наблюдались и ранее [8]. В южной части гряды формируется холодная аномалия термического режима. Над северной же акваторией гряды, кроме обогревающего воздействия гребня ГА, юго-восточные, восточные ветры способствуют ослаблению Курило-Камчатского течения. Вместе с тем ветры восточных, северо-восточных направлений создают здесь условия для проникновения с востока отдельных ветвей более теплого продолжения Аляскинского течения [19]. В северной части гряды формируются положительные аномалии термических условий. Такое соотношение аномальных термиче-

ских условий северной и южной акваторий Курильской гряды наблюдалось в июле – августе 1998, 2012, 2018 гг. Контрасты аномалий температуры составляли до 2–3 °С.

Механизм формирования экстремально теплых состояний термического режима на всей акватории у Курильской гряды (июль 1984 г., август 1989 и 2010 гг., июль – август 1990 и 2016 гг.) обусловлен отсутствием холодных депрессий над Охотским морем. Относительно характерной структуры барических полей следует отметить зональность изогипс в поле H_{500} , что отражает западный перенос воздушных масс (рис. 4, *d*). Весь район Курильской гряды находится под воздействием гребня ГА, в вершине которого наблюдаются очаги повышения геопотенциала H_{500} с аномалиями давления более 4 дам (до 8–10 дам в 2016 г.) и приземной температуры воздуха (аномалии более 2 °С), что способствует формированию положительных аномалий температуры воды (до 2,5–3 °С). В приземном поле центр ЛДД смещен восточнее средне-многолетнего. Депрессия направлена на северо-восток и почти не оказывает влияния на акваторию у Курильской гряды. Такая структура атмосферных полей с западными, юго-западными ветрами способствует ослаблению холодного Курило-Камчатского течения и развитию теплого течения Соя. Так, согласно экспедиционным данным, в экстремально теплом по термическим условиям 1990 г. отмечалось значительное проникновение к Курильской гряде течения Соя – его воды наблюдались вплоть до пролива Фриза [1]. Между тем перенос холодного Курило-Камчатского течения, по инструментальным наблюдениям, у тихоокеанского побережья Камчатки в 1990 г. составлял лишь 2 Св, при среднем переносе около 10 Св [20].

Таким образом, выявленные механизмы формирования аномальных термических условий исследуемых акваторий гряды связаны с региональными особенностями атмосферной циркуляции – аномальными изменениями развития и положения региональных ЦДА, изменениями их локального термического и динамического воздействия.

Заключение

Выявлены особенности механизмов формирования аномальных состояний термического режима вод в важном промышленном районе – зоне Курильской гряды, определены качественные причинно-следственные связи.

Установлено, что аномальные термические условия в отдельных районах гряды формируются локальным воздействием аномальной атмосферной циркуляции – экстремальными колебаниями интенсивности развития и положения региональных центров действия атмосферы. Совпадающие и противоположные по знаку экстремальные состояния термического режима в северном и южном районах гряды обусловлены аномальными изменениями развития охотского антициклона, формированием тропосферной ложбины в высотном поле, смещением от среднемноголетнего положения ЛДД, изменениями распространения Северотихоокеанского максимума (ГА) и соответствующим направлением атмосферной циркуляции.

Показаны различия барических полей в аномальные по термическим условиям годы. Индикатором изменчивости атмосферной циркуляции являются барические поля средней тропосферы с различным положением ложбин

и гребней над восточным побережьем Азии. В этих барических полях локальные потоки способствуют накоплению в отдельных очагах холодных или теплых воздушных масс над акваторией, где происходит формирование аномальных термических условий. Кроме этого, динамическое атмосферное воздействие способствует изменениям характеристик отдельных звеньев системы прикурильских течений, происходит перераспределение потоков тепла и холода по акватории, что в итоге определяет характер локального формирования экстремально теплых и холодных термических условий.

Материалы данного исследования могут быть применены в промысловой океанографии, использованы для верификации результатов региональных прогностических моделей взаимодействия атмосферы и океана.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Богданов К. Т., Мороз В. В.* Структура, динамика и гидролого-акустические характеристики вод проливов Курильской гряды. Владивосток : Дальнаука, 2000. 152 с.
2. Гидрометеорология и гидрохимия морей. Т. IX. Охотское море. Вып. 1. Гидрометеорологические условия / Отв. ред. Ф. С. Терзиев. СПб. : Гидрометеоиздат, 1998. 398 с.
3. *Шунтов В. П.* Результаты изучения макроэкосистем дальневосточных морей России: задачи, итоги, сомнения // Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. 2000. № 1. С. 19-29.
4. *Каев А. М.* Снижение численности горбуши (*Oncorhynchus gorbuscha*) в Сахалино-Курильском регионе как следствие действия экстремальных факторов среды // Известия ТИНРО. 2018. Т. 192. С. 3–14. doi:10.26428/1606-9919-2018-192-3-14
5. *Шатилина Т. А., Цициашвили 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. doi:10.33933/2074-2762-2019-56-61-80
6. *Мороз В. В., Шатилина Т. А.* Влияние атмосферных процессов на формирование экстремальных гидрологических условий в южной части Охотского моря и прилегающих акваториях в летний период // Метеорология и гидрология. 2020. № 9. С. 78–89.
7. *Шатилина Т. А., Цициашвили 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. doi:10.26428/1606-9919-2021-201-470-483
8. Subinertial and Seasonal Variations in the Soya Warm Current Revealed by HF Ocean Radars, Coastal Tide Gauges, and Bottom-Mounted ADCP / N. Ebuchi [et al.] // Journal of Oceanography. 2009. Vol. 65, iss. 1. P. 31–43. doi:10.1007/s10872-009-0003-2
9. Current Structure and Volume Transport of the Soya Warm Current in Summer / M. Matsuyama [et al.] // Journal of Oceanography. 2006. Vol. 62, iss. 2. P. 197–205. doi:10.1007/s10872-006-0044-8
10. Near-surface Circulation and Tidal Currents of the Okhotsk Sea Observed with Satellite-Tracked Drifters / K. I. Ohshima [et al.] // Journal of Geophysical Research: Oceans. 2002. Vol. 107, iss. C11. 3195. doi:10.1029/2001JC001005
11. Климатические изменения термических условий окраинных морей западной части Тихого океана / И. Д. Ростов [и др.] // Метеорология и гидрология. 2020. № 3. С. 44–57.
12. *Корт В. Г.* О крупномасштабном взаимодействии океана и атмосферы (на примере северной части Тихого океана) // Океанология. 1970. Т. 10, вып. 2. С. 222–239.

13. *Kono T., Kawasaki Y.* Modification of the western subarctic water by exchange with the Okhotsk Sea // *Deep-Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*. 1997. Vol. 44, iss. 4. P. 689–711. [https://doi.org/10.1016/S0967-0637\(96\)00107-0](https://doi.org/10.1016/S0967-0637(96)00107-0)
14. *Sekine Y.* Anomalous southward intrusion of the Oyashio East of Japan. 1. Influence of the seasonal and interannual variations in the wind stress over the North Pacific // *Journal of Geographical Research: Oceans*. 1988. Vol. 93, iss. C3. P. 2247-2255. doi:10.1029/JC093iC03p02247
15. *Жигалов И. А.* Сезонная и межгодовая изменчивость геострофических течений в районе Западной Камчатки // *Известия ТИНРО*. 2012. Т. 169. С. 94–99.
16. *Жигалов И. А., Самко Е. В., Новиков Ю. В.* Межгодовая изменчивость течения Ойясио // *Метеорология и гидрология*. 2002. № 4. С. 59–66.
17. Водобмен между Беринговым морем и Тихим океаном через Камчатский пролив / И. А. Жабин [и др.] // *Метеорология и гидрология*. 2010. № 3. С. 84-92.
18. *Isoguchi O. and Kawamura H.* Seasonal to interannual variations of the western boundary current of the subarctic North Pacific by a combination of the altimeter and tide gauge sea levels // *Journal of Geophysical Research: Oceans*. 2006. Vol. 111, iss. C4. C04013. doi:10.1029/2005JC003080
19. *Андреев А. Г., Жабин И. А.* Влияние продолжения Аляскинского течения на динамику вод восточной части Охотского моря // *Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук*. 2015. № 2. С. 87–92.
20. *Розачев К. А., Шлык Н. В.* Многолетние изменения вихря ветра и уровень моря в Камчатском течении // *Океанология*. 2005. Т. 45, № 3. С. 339–348.

Об авторах:

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, **Scopus Author ID: 7102508049**, **ORCID ID: 0000-0001-5937-4080**, **ResearcherID: K-1520-2018**, moroz@poi.dvo.ru

Шатилина Татьяна Александровна, ведущий научный сотрудник, лаборатория промышленной океанологии, Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, тихоокеанский филиал ФГБНУ ВНИРО (ТИНРО), (690091, Россия, г. Владивосток, тупик Шевченко, 4), кандидат географических наук, **Scopus Author ID: 6505548902**, tatyana.shatilina@tinro-center.ru