

DOI: <https://doi.org/10.37162/2618-9631-2021-3-64-79>

УДК 551.583.16

Охотский тропосферный циклон и его роль в формировании экстремальной температуры воздуха в январе в 1950–2019 гг.

Т.А. Шатилина¹, Г.Ш. Цициашвили², Т.В. Радченкова²

*¹Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства
и океанографии, тихоокеанский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ТИНРО»),
Владивосток, Россия;*

*²Институт прикладной математики ДВО РАН, г. Владивосток, Россия
tatyana.shatilina@tinro-center.ruguram@iam.dvo.ru, tarad@yandex.ru*

В январе 1950–2019 гг. анализируется поле геопотенциала H_{500} над центральным районом второго естественно синоптического района с целью определения режимных характеристик охотского тропосферного циклона и его роли в формировании аномалий температуры воздуха над восточным побережьем Азии. Представлен механизм формирования экстремальных значений температуры воздуха у земли с использованием этой методики. В годы локализации минимума геопотенциала H_{500} над Охотским морем происходит формирование экстремально низкой температуры воздуха в области минимума и связанной с ним глубокой ложбины. Обсуждается разработанная методика построения эллипсов, аппроксимирующих линии уровня H_{500} в малой окрестности минимума геопотенциала H_{500} , рассчитаны характеристики эллипсов и анализируется их связь с эволюцией тропосферного циклона. Характеристики эллипсов, построенных в окрестностях минимума геопотенциала, вне пределов Охотского моря значительно отличаются от характеристик эллипсов над Охотским морем. Сильное сжатие эллипсов к большой оси отмечается при ослаблении интенсивности дальневосточной ложбины. В этом случае наблюдается вынос теплых океанических воздушных масс в Охотское море. Положение минимума H_{500} и характеристики эллипсов в окрестности центра могут использоваться для анализа причин резких изменений температуры воздуха в исследуемом районе.

Ключевые слова: охотский тропосферный циклон, центры минимумов геопотенциала H_{500} , экстремальная температура воздуха у земли, характеристики эллипсов

The Okhotsk tropospheric cyclone and its role in the occurrence of extreme air temperature in January in 1950–2019

T.A. Shatilina¹, G.Sh. Tsitsiashvili², T.V. Radchenkova²

*¹Research Institute of Fisheries and Oceanography, pacific branch
of VNIRO (TINRO), Vladivostok, Russia;*

*²Institute of Applied Mathematics, Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences,
Vladivostok, Russia
tatyana.shatilina@tinro-center.ruguram@iam.dvo.ru, tarad@yandex.ru*

The field of H_{500} geopotential height over the central part of the second natural synoptic region in January during 1950-2019 is analysed to determine regime characteristics of the Okhotsk tropospheric cyclone and its role in the formation of air temperature anomalies over the eastern coast of Asia. A mechanism of occurrence of extreme surface air temperatures using this technique is presented. Extremely low air temperature in the area of the minimum and related deep through are formed during the years when the H_{500} minimum is localized over the Sea of Okhotsk. A methodology for constructing ellipses approximating the H_{500} level lines in a small neighborhood of the H_{500} minimum is developed, the ellipse characteristics are calculated, and their relation to the tropospheric cyclone evolution is analysed. The characteristics of the ellipses constructed in the neighborhood of the geopotential height minimum outside the Sea of Okhotsk significantly differ from those of the ellipses over the Sea of Okhotsk. A high compression of the ellipses towards the major axis is reported when the Far Eastern through intensity is reduced. In this case, an outflow of warm oceanic air masses to the Sea of Okhotsk is observed. The location of the H_{500} minimum and the characteristics of the ellipses located within the center circle may be used to explain reasons for dramatic changes in air temperature in the study region.

Keywords: Okhotsk tropospheric cyclone, H_{500} minima centers, extreme surface air temperature, ellipse characteristics

Введение

В зимний период основными центрами действия атмосферы у восточного побережья Азии в приземном поле являются сибирский антициклон и алеутская депрессия. Изменчивости этих центров посвящен ряд работ [4–7]. В средней тропосфере в зимний период над Дальним Востоком расположена дальневосточная ложбина, большая часть которой располагается над Охотским морем. Некоторые данные о режиме тропосферной ложбины в 21 веке были опубликованы в кратком сообщении [9].

Над северо-западной частью Охотского моря часто наблюдается вторичный полярный тропосферный циклон, интенсивность и положение которого определяют циркуляцию воздушных масс у восточного побережья Азии и климатические особенности [8].

Охотский тропосферный циклон (ОТЦ) можно считать самостоятельным центром действия атмосферы. Роль зимнего охотоморского циклона как сезонного центра действия атмосферы мало изучена [1]. В общей циркуляции атмосферы ОТЦ играет не меньшую роль, чем алеутская депрессия. В середине зимы наблюдается наибольшая разница температур поверхностей океана и материка, что приводит к очень большим контрастам температуры в высотной фронтальной зоне. Поэтому характерные для зимнего сезона процессы наиболее четко проявляются в январе. Охотский тропосферный циклон обнаруживается на изобарической поверхности AT_{500} как минимум геопотенциала H_{500} . Поэтому нам представляется важным рассчитать характеристики эллипсов, аппроксимирующих линии уровня H_{500} в малой окрестности минимума, и проанализировать их связь с эволюцией тропосферного циклона.

Целью работы является определить режимные характеристики, местоположение охотского тропосферного циклона и выявить его роль в формировании климатических аномалий над восточным побережьем Азии.

Использованные данные и методика исследования

Основными данными для расчета режимных характеристик охотского тропосферного циклона послужили архивы реанализа NCEP/NCAR атмосферного давления P_0 , геопотенциала H_{500} и температуры воздуха T_a в узлах регулярной сетки $2,5^\circ \times 2,5^\circ$ за период с 1950 по 2019 год.

Использовались данные температуры воздуха T_a из архива ВНИИГМИ-МЦД (<http://mete.ru/it/178-aisori>) по станциям, расположенным на побережье Охотского и Японского морей: Охотск ($59^\circ 22'$ с. ш., $143^\circ 12'$ в. д.), Аян ($56^\circ 27'$ с. ш., $138^\circ 09'$ в. д.), Магадан ($59^\circ 33'$ с. ш., $150^\circ 47'$ в. д.), Поронайск ($49^\circ 13'$ с. ш., $143^\circ 06'$ в. д.), Николаевск-на-Амуре ($53^\circ 09'$ с. ш., $140^\circ 42'$ в. д.), Южно-Сахалинск ($46^\circ 57'$ с. ш., $142^\circ 43'$ в. д.), Александровск-Сахалинский ($50^\circ 54'$ с. ш., $142^\circ 10'$ в. д.), Советская Гавань ($49^\circ 00'$ с. ш., $140^\circ 18'$ в. д.). Широта и долгота центра выбиралась как точка минимума для района $45\text{--}65^\circ$ с. ш., $120\text{--}160^\circ$ в. д. по сетке $2,5^\circ \times 2,5^\circ$.

Перейдем теперь к анализу заданных в узлах квадратной решетки функций, характеризующих геопотенциал H_{500} . Пусть трижды непрерывно дифференцируемая функция $f(x, y)$ определена на прямоугольнике $D = \{0 \leq x \leq Nh, 0 \leq y \leq Mh\}$ и измерена в точках (ih, jh) , $i = 0, \dots, N$, $j = 0, \dots, M$. Всюду далее полагаем, что величина шага решетки h является достаточно малой. Известно, что в точке (kh, lh) функция f достигает глобального минимума. Причем точка (kh, lh) является внутренней в дискретном множестве $\{(ih, jh), i = 0, \dots, N, j = 0, \dots, M\}$, т. е. $0 < k < N$; $0 < l < M$. Представим разложение функции $f(x, y)$ в ряд Тейлора при условии $|x - kh| \leq h$, $|y - lh| \leq h$:

$$f(x, y) = f(kh, lh) + \frac{1}{2} [A(x - kh)^2 + B(y - lh)^2 + 2C(x - kh)(y - lh) + o(h^2)],$$

$$A = f_{x,x}(kh, lh), B = f_{y,y}(kh, lh), C = f_{x,y}(kh, lh).$$

Поскольку точка (kh, lh) является точкой глобального минимума функции $f(x, y)$, то квадратичная форма $A(x - kh)^2 + B(y - lh)^2 + 2C(x - kh)(y - lh)$ является положительно определенной и, значит, выполняются неравенства: $A + B > 0$, $AB > C^2$.

Построим конечно-разностные оценки частных производных A, B, C :

$$a = \frac{f((k+1)h, lh) - 2f(kh, lh) + f((k-1)h, lh)}{h^2} = A + O(h),$$

$$b = \frac{f(kh, (l+1)h) - 2f(kh, lh) + f(kh, (l-1)h)}{h^2} = B + O(h),$$

$$c = \frac{f((k+1)h, (l+1)h) - f((k+1)h, lh) - f(kh, (l+1)h) + f(kh, lh)}{h^2} =$$

$$= C + O(h)$$

Тогда функцию f можно аппроксимировать функцией \hat{f} с точностью $o(h^2)$ в переменных $X = \frac{x - kh}{h}$, $Y = \frac{y - lh}{h}$,

$$\hat{f}(x, y) = f(kh, lh) + \frac{1}{2}(aX^2 + bY^2 + 2cXY), \quad a + b > 0, \quad ab > c^2 \text{ и, значит,}$$

квадратичная форма $aX^2 + bY^2 + 2cXY$ также является положительно определенной.

Приведем теперь эту квадратичную форму к диагональному виду.

Для этого построим матрицу этой квадратичной формы $D = \begin{pmatrix} a & c \\ c & b \end{pmatrix}$ и

выпишем характеристическое уравнение $(a - \lambda)(b - \lambda) - c^2 = 0$. Корнями

этого квадратного уравнения являются $\lambda_{\pm} = \frac{a+b}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{a+b}{2}\right)^2 - ab + c^2} > 0$

– собственные числа матрицы D , а ее ортонормированные собственные вектора n_+, n_- удовлетворяют линейным уравнениям $Dn_+ = \lambda_+ n_+$, $Dn_- = \lambda_- n_-$.

Перейдем в систему координат (u_+, u_-) с ортонормированным базисом \vec{n}_+, \vec{n}_- . В этой системе координат квадратичная форма $aX^2 + bY^2 + 2cXY$ представима суммой квадратов $\lambda_+ u_+^2 + \lambda_- u_-^2$. Линии уровня этой квадратичной формы являются эллипсами вида $\lambda_+ u_+^2 + \lambda_- u_-^2 = const > 0$. Обозначим $K = \sqrt{\lambda_+ / \lambda_-}$, тогда для построения указанных эллипсов окружности, задаваемые уравнением $u_+^2 + u_-^2 = const$, следует сжать по оси u_+ в K раз. Здесь рассмотрен способ построения эллипсов линий уровня функции f в малой окрестности точки минимума. Аналогично такие эллипсы можно построить в малой окрестности точки максимума функции f (рис. 1).

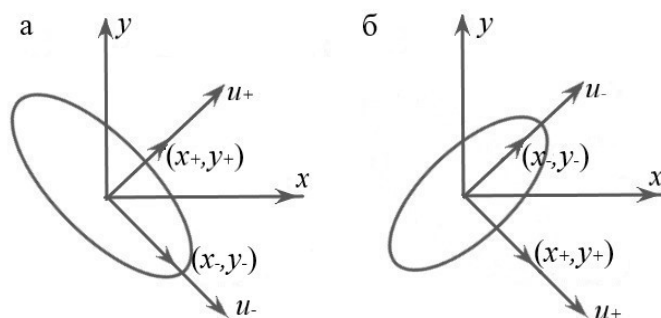


Рис. 1. Направление поворота эллипсов, построенных в окрестностях точки минимума геопотенциала H_{500} : эллипс 1 повернут против часовой оси, когда $y_+ > 0$ (а); эллипс 2 повернут по часовой оси, когда $y_+ < 0$ (б).

Fig.1. Direction of a turn of the ellipses, built in the vicinity of geopotential H_{500} 's minimum point: ellipse 1 is turned anti-clockwise when $y_+ > 0$ (a); while ellipse 1 is turned clockwise when $y_+ < 0$ (б).

Результаты и обсуждение

На первом этапе были определены центры минимума H_{500} над центральным районом второго естественно синоптического района за период 1950–2019 гг. (рис. 2).

Отметим, что в 50-х годах прошлого столетия большая часть центра минимума геопотенциала H_{500} располагалась над северо-западной частью Охотского моря, за исключением 1950 и 1953 гг., когда центр находился в западной континентальной части района и к юго-востоку от п-ва Камчатки (рис. 2а). В 60-х годах прошлого столетия центры минимума располагались в пределах Охотского моря, за исключением южного смещения минимума в 1963 г. (рис. 2б). В 70-е годы центры располагались в основном над северным побережьем Охотского моря, а также вне границ Охотского моря (рис. 2б). Аномальное смещение центра на континент отмечалось в январе 1974 и 1979 гг., а в 1976 и 1977 гг. отмечалось смещение к юго-востоку от Камчатки. В 80-х годах прошлого столетия большинство центров находилось в северо-западной части Охотского моря либо над северной частью моря. Исключение составили 1981 г., когда центр отмечался над Камчаткой, и 1980, 1984 гг., когда центры были смещены на континентальную часть (рис. 2в). По положению центров значительно отличаются 90-е годы прошедшего столетия (рис. 2в). В эти годы только в январе 1990 г. минимум H_{500} отмечался над Охотским морем, в остальные годы минимумы были смещены на континентальную часть района (1994, 1995 и 1996) либо на юго-восток (1997 и 1991).

В первом десятилетии 21 века количество лет, когда минимумы располагались над Охотским морем увеличилось до 5. ОТС наблюдался в 2000, 2001, 2004, 2005 и 2008 гг. (рис. 2г). Во втором десятилетии

21 века минимумы над Охотским морем отмечались в 2010, 2014 и 2016 и 2019 гг. (рис. 2г). Аномальные отклонения на западную континентальную часть района были зафиксированы в 2002, 2012, 2009, 2015 и 2018 гг., а на восточную часть – в 2011 и 2013 гг.

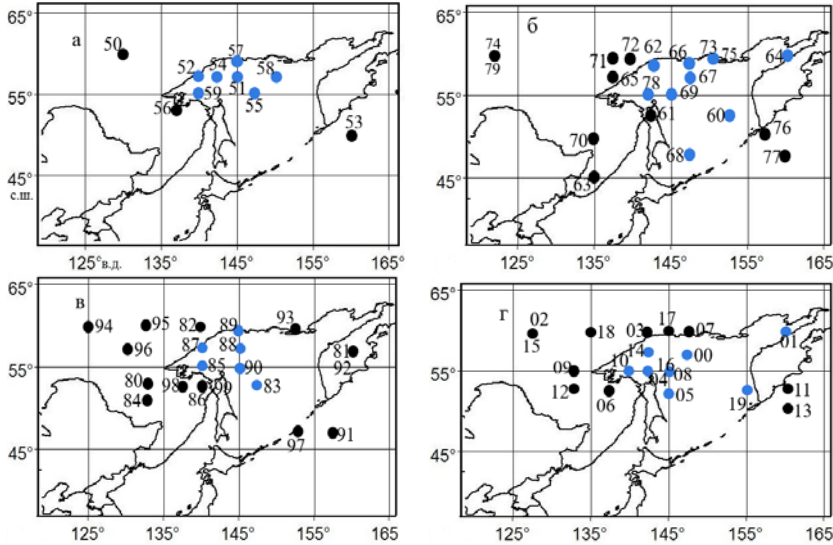


Рис. 2. Положение центров минимума геопотенциала H_{500} в январе: 1950–1959 (а); 1960–1979 (б); 1980–1999 (в); 2000–2019 гг. (г). Синим цветом выделены центры над Охотским морем.

Fig. 2. Location of the centers of geopotential H_{500} 's minimum in January: 1950–1959 (a); 1960–1979 (б); 1980–1999 (в); 2000–2019 (r). The centers above the Sea of Okhotsk are painted blue.

В первую очередь нас интересуют характеристики центра минимума геопотенциала H_{500} над Охотским морем, так называемого охотского тропосферного циклона. В таблице представлены характеристики ОТЦ: координаты центра, значения геопотенциала H_{500} в центре, коэффициент K , характеризующий сжатие эллипса, координаты эллипса x_+ и y_+ и тип эллипса 1 или 2 в зависимости от его поворота по часовой стрелке, когда $y_+ < 0$ (рис. 1б), или против часовой стрелки, когда $y_+ > 0$ (рис. 1а).

Рассмотрим несколько примеров, когда центры минимума геопотенциала H_{500} располагались над Охотским морем. Так, в 1952 г. центр располагался в точке с координатами $57,5^\circ$ с. ш., 140° в. д., значение H_{500} в центре было 500,5 дам. Построенный вокруг него эллипс имеет коэффициент $K=3,5$ и повернут против часовой оси, так как тип эллипса 1 при $y_+ > 0$. В 1960 г. центр минимума геопотенциала H_{500} (507,8 дам) располагался в точке с координатами $52,5^\circ$ с. ш., $152,5^\circ$ в. д., коэффициент $K=10,98$, значит, эллипс более вытянут вдоль основной оси и повернут по часовой стрелке, так как тип эллипса 2 при $y_+ < 0$.

Таблица. Значение геопотенциала H_{500} в центре минимума, широта и долгота центра, коэффициент сжатия эллипса K , x_+ , y_+ и типы эллипсов в годы, когда центр охотского тропосферного циклона расположен над Охотским морем

Table. The value of the geopotential H_{500} in the center of the minimum, the latitude and longitude of the center, the compression coefficient of the ellipse K , x_+ , y_+ and the types of ellipses in the years when the center of the Okhotsk tropospheric cyclone is located over the Sea of Okhotsk

Годы	H_{500} , дам	Широта, °с. ш.	Долгота, °в. д.	K	x_+	y_+	Тип эллипса
1951	509,1	57,5	145	2,6	0,999	-0,044	2
1952	500,5	57,5	140	3,5	0,994	0,105	1
1954	502,8	57,5	142,5	3,0	0,999	0,046	1
1955	505,0	55	147,5	4,1	1,000	0,027	1
1957	506,8	60	145	2,2	0,962	-0,275	2
1958	506,1	57,5	150	9,1	0,998	0,067	1
1959	502,3	55	140	2,4	0,996	0,084	1
1960	507,8	52,5	152,5	11,0	1,000	-0,018	2
1962	509,1	60	142,5	2,5	0,042	-0,999	2
1966	506,9	60	147,5	3,8	0,999	-0,051	2
1967	498,4	57,5	147,5	3,8	1,000	-0,018	2
1968	512,1	47,5	147,5	5,0	1,000	0,024	1
1969	500,9	55	145	3,7	1,000	0,026	1
1973	501,5	60	150	3,1	1,000	-0,006	2
1978	498,7	55	142,5	3,0	0,995	-0,095	2
1983	507,9	52,5	147,5	2,8	0,973	-0,231	2
1985	508,0	55	140	5,6	0,995	0,103	1
1987	503,9	57,5	140	3,8	0,996	-0,087	2
1988	502,1	57,5	145	3,4	1,000	0,007	1
1989	503,3	60	145	5,7	0,992	-0,126	2
1990	503,5	55	145	3,9	0,994	-0,109	2
2000	514,9	57,5	147,5	1,4	0,917	0,400	1
2001	506,7	60	160	8,9	1,000	0,015	1
2004	514,5	55	142,5	4,6	1,000	-0,020	2
2005	512,0	52,5	145	2,2	0,999	0,053	1
2006	512,8	52,5	137,5	4,4	0,986	-0,169	2
2008	502,6	55	145	3,5	0,992	-0,125	2
2010	510,2	55	140	2,5	1,000	-0,009	2
2014	504,6	57,5	142,5	3,7	0,996	-0,094	2
2016	506,0	55	145	2,5	1,000	-0,009	2
2019	510,4	52,5	155	6,8	0,998	-0,058	2

Для исследования роли ОЦ в формировании экстремально низкой температуры воздуха у земли были рассмотрены данные температуры воздуха на ГМС, расположенных на побережье Охотского и Японского

морей (в области влияния тропосферной ложбины). На ГМС Охотск, расположенной на побережье северо-западной части Охотского моря, экстремально низкая температура воздуха отмечалась в годы, когда центр минимума H_{500} располагался над Охотским морем. Аномалия температуры воздуха здесь в 1951 и 1952, 1954 и 1955, 1966 и 1967 гг., а также в 1987 г. составляла от $-3,4$ до $-5,2$ °С.

На ГМС Аян, также расположенной в северо-западной части Охотского моря, экстремальное понижение температуры воздуха происходило в годы, когда ОТЦ располагался над северо-западной частью Охотского моря. Аномалия температуры воздуха при этом здесь составляла от $-3,3$ до $-4,4$ °С, в 1959 г. – $-6,9$ °С.

На ГМС Магадан, расположенной на побережье северной части Охотского моря, экстремально низкая температура воздуха отмечалась в 1954 ($-5,2$ °С), 1966 ($-5,8$ °С), 1967 ($-6,6$ °С), 1973 ($-6,6$ °С). Экстремально низкая температура воздуха на севере Охотского моря была обусловлена интенсивным развитием северо-охотской ложбины (аномалии H_{500} здесь достигали минус 6–10 дам).

Влияние ОТЦ и связанной с ним ложбины обуславливало экстремальное понижение температуры воздуха также на Сахалине и в восточных районах Приморского края.

Для демонстрации роли ОТЦ (когда центр располагается над Охотским морем) в формировании экстремумов над Дальним Востоком на рис. 3 представлена среднемесячная структура поля H_{500} , положение центров, эллипсов и экстремальных областей температуры воздуха у земли (по данным реанализа).

В январе 1954 г. центр тропосферного циклона (эллипс 1 типа) располагался над северо-западной частью Охотского моря, давление в его центре было 502,8 дам, значение коэффициента сжатия $K=3$, $x_+=0,999$ и $y_+=0,046$ (см. таблицу), ось эллипса повернута против часовой стрелки. Над северной частью Охотского моря располагается глубокая тропосферная ложбина, значения H_{500} здесь достигают 508 дам. Аномалии температуры воздуха в этой ложбине достигают -6 °С. Второй очаг с аномально низкой температурой воздуха отмечается на континентальном побережье Приморского края (рис. 3а). Изогипса 540 дам (центральная изогипса высотной фронтальной зоны над восточной Азией) занимает среднемноголетнее положение. Об интенсивном похолодании в области тропосферного циклона и тропосферной ложбины свидетельствуют также данные ГМС, описанные выше.

В январе 1969 г. центр тропосферного циклона располагался над центральной частью Охотского моря, давление в его центре было 500,9 дам, значение $K=3,7$ $x_+=1$ и $y_+=0,026$ (см. таблицу). Заметим, что эти показатели были близки к 1954 г. Обширная область холодных воздушных масс располагалась над континентальными районами Дальнего Востока (рис. 3б). В этом году экстремально низкая температура воздуха была на ГМС Николаевск-на-Амуре и Благовещенск (аномалия - $4,4$ °С).

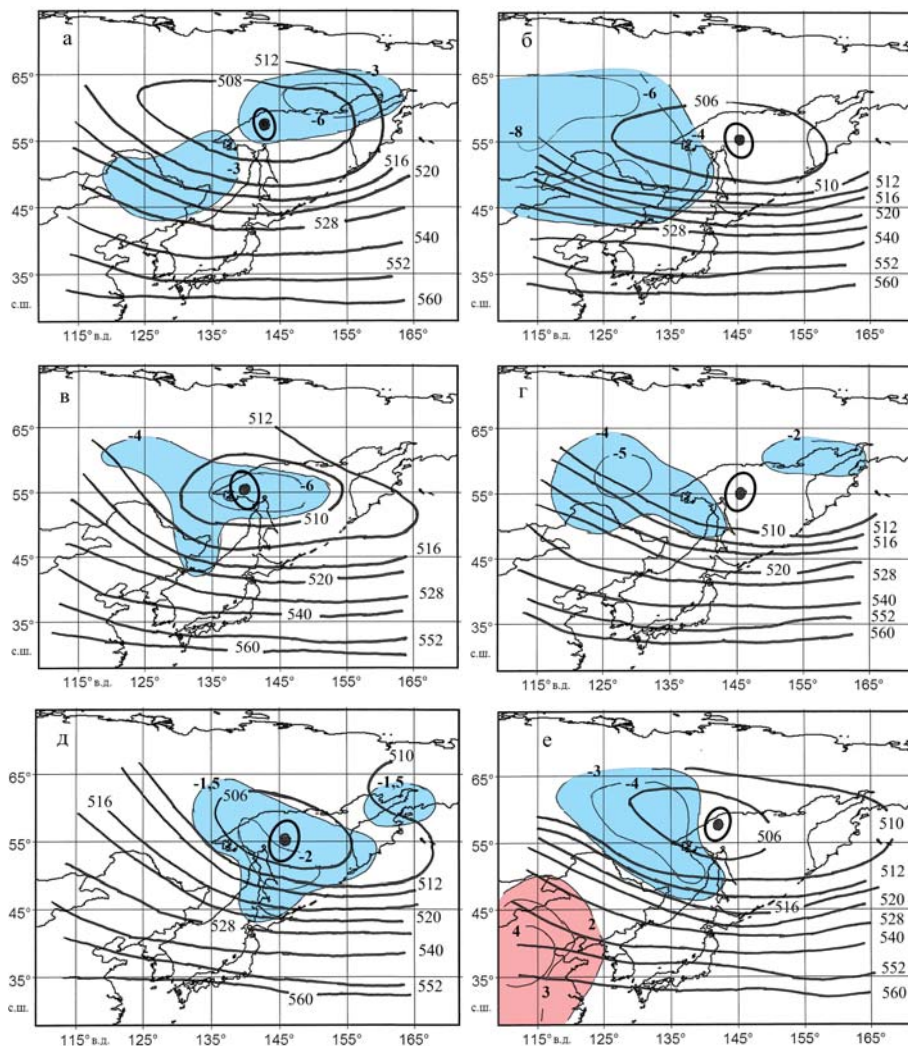


Рис. 3. Среднемесячная структура поля геопотенциала изобарической поверхности 500 дам и положение экстремальных областей приземной температуры воздуха T_a у земли в январе: 1954 г. (а); 1969 г. (б); 1985 г. (в); 1990 г. (г); 2008 г. (д); 2014 г. (е). Точкой показан центр охотского тропосферного циклона и положение эллипсов в окрестности центра. Синим цветом показаны области с экстремально низкой температурой воздуха у земли, красным цветом – области с экстремально высокой температурой воздуха у земли.

Fig. 3. Mean monthly structure of the geopotential field at 500 gPa isobaric surface and positions of extreme areas of surface air temperature T_a in January: 1954 (a); 1969 (б); 1985 (в); 1990 (г); 2008 (д); 2014 (e). The point indicates the Okhotsk tropospheric cyclone's center and the ellipse positions in the center's vicinity. Areas of extremely low surface air temperature are painted blue, while areas of extremely high surface air temperature are painted red.

В январе 1985 г. центр тропосферного циклона (эллипс 1 типа) располагался над северо-западной частью Охотского моря (несколько западнее 1954 г.), давление в его центре было 505,4 дам, значение коэффициента сжатия $K=5,6$, $x_+=0,995$ и $y_+=0,103$ (см. таблицу). Охотское море и прилегающие районы северной части Японского моря и Тихого океана находились под влиянием глубокой тропосферной ложбины. Изогипса 540 дам располагалась южнее своего среднего положения (в отличие от первых двух лет). Экстремально холодные воздушные массы наблюдались над северо-западной частью моря (рис. 3в). В этом году заметно увеличилось число станций с экстремально низкой температурой воздуха. Так, на ГМС Южно-Сахалинск, Советская Гавань, Николаевск-на-Амуре, Холмск, Александровск-Сахалинский, Погиби аномалии температуры воздуха составляли от $-4,4$ до $4,8$ °С.

В январе 1990 г. центр тропосферного циклона (эллипс 2 типа) располагался над центральной частью Охотского моря, давление в его центре было 503,5 дам, $K=3,9$, $x_+ = -0,994$ и $y_+ = 0,109$ (см. таблицу), в отличие от предыдущих лет ось эллипса была повернута на северо-восток. Основной очаг холодных воздушных масс располагался в северо-западной континентальной части (рис. 3г). В этом году экстремально низкая температура отмечалась на ГМС Александровск-Сахалинский, Советская Гавань (аномалии -4 °С) и Поронайск ($-5,5$ °С).

В январе 2008 г. центр тропосферного циклона располагался над центральной частью Охотского моря, давление в его центре было 502,6 дам, $K=3,5$, $x_+ = -0,992$ и $y_+ = 0,125$ (см. таблицу). Основной очаг холодных воздушных масс располагался над Охотским морем (рис. 3д).

В январе 2014 г. центр тропосферного циклона располагался над северо-западной частью Охотского моря, давление в его центре было 504,6 дам, $K=3,7$, $x_+ = -0,996$ и $y_+ = 0,094$ (см. таблицу). Очаг холодных воздушных масс располагался в северо-западной части района и над северной частью Японского моря (рис. 3е). Область теплых воздушных масс наблюдалась над юго-восточной частью района. Аномалии температуры воздуха на ГМС Николаевск-на-Амуре и Александровск-Сахалинский составили $-2,8$ °С.

Таким образом, в годы локализации минимума геопотенциала H_{500} над Охотским морем происходит формирование экстремально низкой температуры воздуха в области минимума и связанной с ним глубокой ложбины. В этом случае ось эллипса повернута либо по часовой стрелке (на северо-запад), либо против (на северо-восток).

Из всех рассмотренных лет самым экстремальным был январь 1985г., когда почти на всех станциях аномалии температуры воздуха превышали -4 °С.

Нами были рассчитаны также характеристики эллипсов, когда минимумы H_{500} располагались вне Охотского моря (данные не приводятся). На рис. 4 представлены примеры барических полей, когда центры минимумов H_{500} располагались вне Охотского моря.

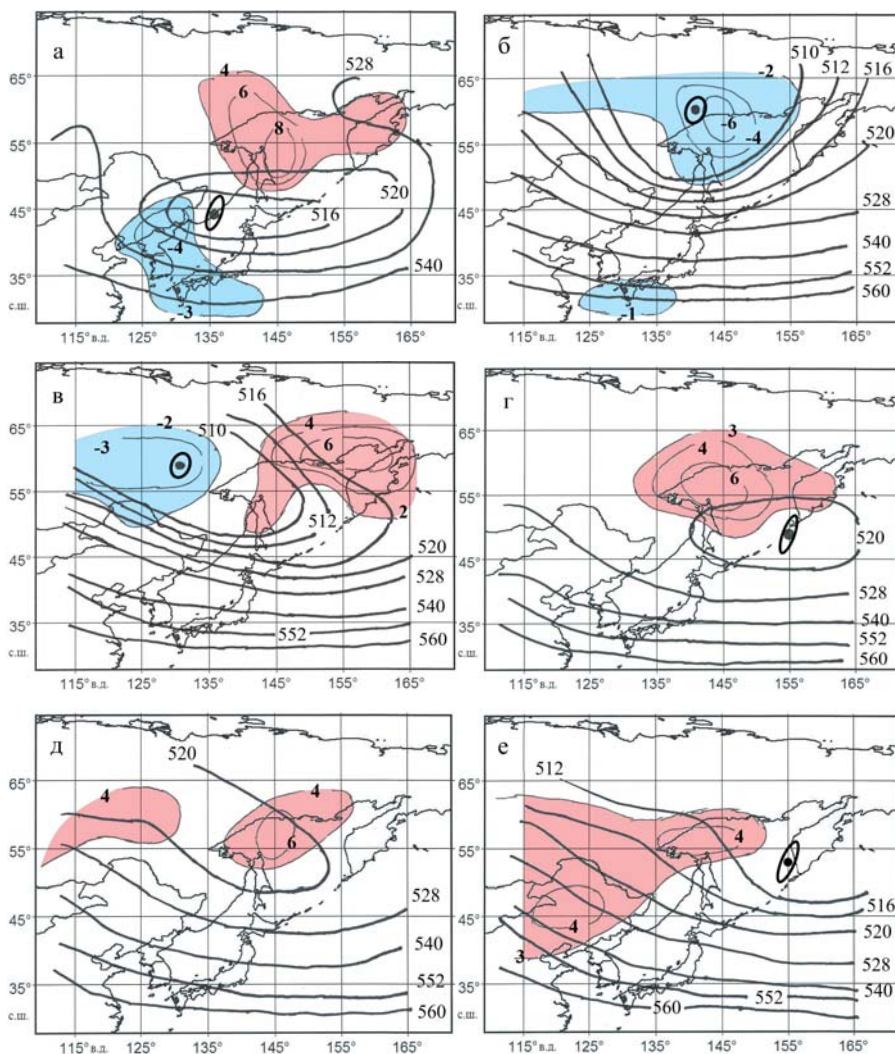


Рис. 4. Среднемесячная структура поля геопотенциала изобарической поверхности 500 дам и положение экстремальных областей приземной температуры воздуха T_a у земли в январе: 1963 г. (а); 1982 г. (б); 1996 г. (в); 1997 г. (г); 2015 г. (д); 2019 г. (е). Синим цветом показаны области с экстремально низкой температурой воздуха у земли, красным цветом – области с экстремально высокой температурой воздуха у земли.

Fig. 4. Mean monthly structure of the geopotential field at 500-gPa isobaric surface and locations of extreme areas of surface air temperature T_a in January: 1963 (a); 1982 (б); 1996 (в); 1997 (г); 2015 (д); 2019 (е). Areas of extremely low surface air temperature are painted blue, while areas of extremely high surface air temperature are painted red.

В январе 1963 г. минимум H_{500} (эллипс 2 типа) располагался над югом Приморского края, $K=6,339$, $x_+ = -1,0$, а $y_+ = 0,019$, большая ось эллипса повернута по часовой стрелке, Дальневосточная ложбина была значительно ослаблена, изогипса 540 дам смещалась далеко к югу. Охотское море находилось в области экстремально теплых воздушных масс. В то же время юг Японского моря находился под воздействием холодных воздушных масс (рис. 4а). Теплые воздушные массы распространялись в передней части обширной тропосферной депрессии, значения H_{500} были 516, 520 дам. В этом году экстремальная температура воздуха отмечалась на ГМС Николаевск-на-Амуре (аномалия составила 4 °С), на ГМС Южно-Сахалинск (4,3 °С), на ГМС Охотск она была выше нормы на 6,9 °С. На юге района в области экстремально низкой температуры воздуха на корейской станции Сеул температура была ниже нормы на 6,5 °С, а на станции Есу на 4,4 °С.

В 1982 г. дальневосточная ложбина располагалась над Охотским морем, центр глубокой депрессии наблюдался на северной границе Охотского моря, в его области отмечалось экстремальное понижение температуры воздуха (рис. 4б), ось эллипса повернута по часовой стрелке.

В январе 1996 г. Охотское море находилось под влиянием тропосферного гребня, минимум располагался в северо-западной части континента (рис. 4в). Экстремально высокая температура воздуха у земли отмечалась над северо-восточной частью Охотского моря.

В январе 1997 г. минимум H_{500} (эллипс 2 типа) располагался над юго-восточной частью Охотского моря, $K=5,401$, $x_+ = -1,0$, $y_+ = 0,008$ (рис. 4г). Коэффициент K показывает сильное сжатие эллипса, повернутого по часовой стрелке. Дальневосточная ложбина была значительно ослаблена, давление над Охотским морем составляло 520 дам, что было значительно выше среднего многолетнего значения.

В январе 2015 г. минимум H_{500} не наблюдался в пределах исследуемого района. Дальневосточная ложбина была значительно ослаблена, давление над Охотским морем составляло 520 дам, что было значительно выше среднего многолетнего значения (рис. 4д).

В передней части тропосферной ложбины осуществлялся перенос теплого воздуха с океанических районов. Здесь располагался очаг с экстремально высокой температурой воздуха. Так, по сведениям Гидрометцентра России [2], температура воздуха на станции Охотск была выше нормы на 5,8 °С, а на станции Аян на 4,7 °С.

В январе 2019 г. минимум H_{500} (эллипс 2 типа) располагался над юго-восточной частью Охотского моря, $K=6,787$, $x_+ = -0,998$, $y_+ = 0,058$ (рис. 4е). Над континентальной частью восточной Азии отмечался высотный гребень (периферия высотного сибирского гребня). В [3] отмечено, что Сибирский антициклон в январе 2019 г. оставался стабильным и очень интенсивным, давление в его центре на 6 дам превышало норму. Центр антициклона располагался на северо-западе Монголии. Наиболее

интенсивная циклоническая деятельность происходила у берегов Камчатки, где располагался основной центр раздвоенного алеутского минимума. Аномалии давления достигали здесь -15 дам. Отмечено также [3], что на ГМС Аян аномалия температуры воздуха была 5°C повторяемостью один раз в 110 лет, на станции Благовещенск $6,7^\circ\text{C}$ повторяемостью раз в 136 лет.

Таким образом, характеристики эллипсов вне пределов Охотского моря значительно отличаются от характеристик эллипсов, располагающихся над Охотским морем. Сильное сжатие отмечается при ослаблении интенсивности дальневосточной ложбины и выносе теплых воздушных масс на Охотское море. Механизм формирования экстремальной температуры воздуха над вторым естественно синоптическим районом демонстрируется на рис. 5.

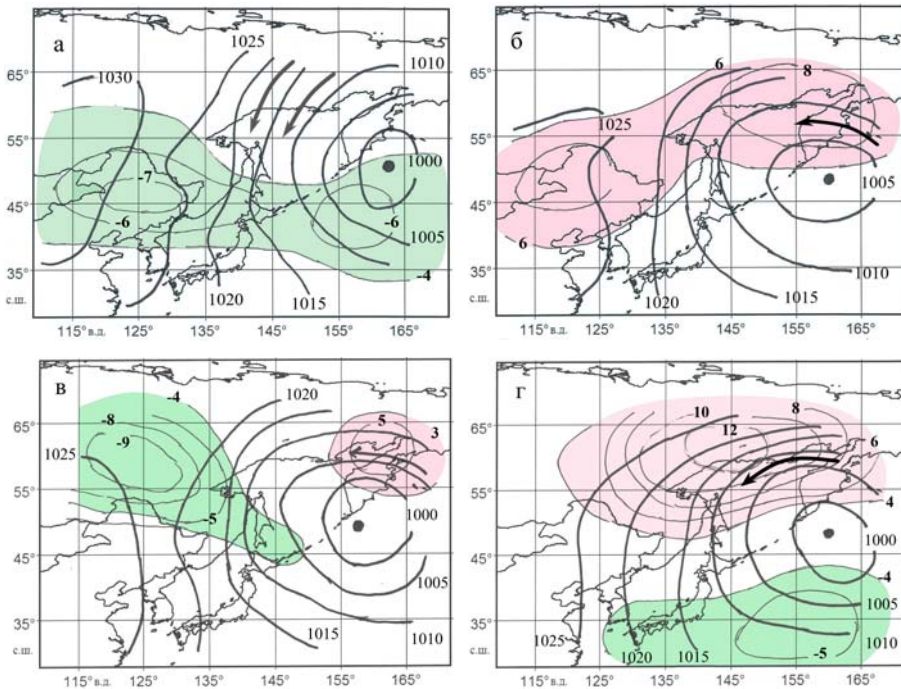


Рис. 5. Приземное поле давления P_0 и положение экстремальных областей геопотенциала H_{500} (дам) в январе: 1985 г. (а); 2015 г. (б); 1996 г. (в); 1997 г. (г). Зеленым цветом выделена область со значительными отрицательными аномалиями геопотенциала, а розовым области положительных аномалий геопотенциала H_{500} . Точками выделены центры приземных циклонов. Стрелками показано направление выноса воздушных масс.

Fig. 5. Surface pressure field P_0 and position of geopotential H_{500} 's extreme areas (dam) in January: 1985 (a); 2015 (б); 1996 (в); 1997 (г). The area of geopotential H_{500} 's significant negative anomalies is painted green, while areas of the geopotential's positive anomalies are painted pink. Points indicate the surface cyclone centers. Arrows indicate the outflow direction of air masses.

Видно, что в 1985 г. в умеренных районах отмечались значительные отрицательные аномалии H_{500} , ложбина была интенсивна (рис. 5а). Приземные циклоны выходили к югу от Камчатки. В тыловой части циклонов закачивался холодный воздух из полярных районов. В 2015 г. в умеренных и северных районах наблюдались значительные положительные аномалии, циклоны были менее глубокими, в этом случае отмечался восточный вынос (рис. 5б).

Теплая воздушная масса распространялась на Охотское море с океана. В 1996 и 1997 гг. также наблюдался восточный вынос теплых воздушных масс с Тихого океана в передней части циклона (рис. 5в, г). Таким образом, когда ОЦ находится вне Охотского моря, а высотный гребень с Тихого океана располагается в пределах моря, то наблюдается восточный вынос теплых океанических масс в область тропосферной ложбины. В этом случае тихоокеанский гребень выступает в роли блокирующего механизма для продвижения приземных циклонов в северную часть Охотского моря.

Заключение

Показано, что положение минимума геопотенциала H_{500} над центральным районом второго естественно синоптического района определяет распределение воздушных масс и формирование экстремальной температуры воздуха. Коэффициент K показывает степень сжатия эллипса к большой оси, а угол наклона большой оси эллипса определяется x_+ , y_+ .

В годы локализации минимума геопотенциала H_{500} над Охотским морем происходит формирование экстремально низкой температуры воздуха в области минимума и связанной с ним глубокой ложбины. В этом случае ось эллипса повернута либо по часовой стрелке (на северо-запад), либо против часовой стрелки (на северо-восток).

Характеристики эллипсов, построенных в окрестностях минимума геопотенциала, вне пределов Охотского моря значительно отличаются от характеристик эллипсов над Охотским морем. Сильное сжатие, определяемое коэффициентом K , отмечается при ослаблении интенсивности дальневосточной ложбины. В этом случае наблюдается вынос теплых океанических воздушных масс в Охотское море.

Механизм формирования экстремально высокой температуры воздуха у земли связан со смещением ОЦ из района Охотского моря либо на континентальные районы восточной Азии, либо в восточную часть центрального района. Вторжение тихоокеанских гребней на Охотское море вызывает смещение ОЦ, а значит, и очага холода из пределов Охотского моря.

Положение минимума H_{500} и характеристики эллипсов в окружности центра могут использоваться при анализе причин резких изменений температуры воздуха и ледообразования в Японском и Охотском морях.

Список литературы

1. Архангельский В.Л. Зимний охотоморский циклон – сезонный центр действия атмосферы // Метеорология и гидрология. 1959. № 4. С. 21-25.
2. Бережная Т.В., Голубев А.Д., Паришина Л.Н. Аномальные гидрометеорологические явления на территории Российской Федерации в январе 2015 г. // Метеорология и гидрология. 2015. № 4. С. 107-111.
3. Бережная Т.В., Голубев А.Д., Паришина Л.Н. Аномальные гидрометеорологические явления на территории Российской Федерации в январе 2019 г. // Метеорология и гидрология. 2019. № 5. С. 122-126.
4. Богдановская Т.В., Богдановский А.А. Изменчивость положения центров действия атмосферы Азиатско-Тихоокеанского региона и их вклад в формирование аномалий температуры воздуха Сахалина // Гидрометеорологические и экологические условия дальневосточных морей: оценка воздействия на морскую среду: Темат. вып. ДВНИГМИ, № 3. Владивосток: Дальнаука, 1999. С. 26-33.
5. Василевская Л.Н., Журавлева Т.М., Манько А.Н. Сезонные и многолетние изменения параметров Сибирского антициклона // Труды ДВНИГМИ. 2002. Вып. 150. С. 87-102.
6. Дашко Н.А., Варламов С.М. Оценка изменений характеристик центров действия атмосферы азиатско-тихоокеанского региона в течение 20-го столетия и их влияние на циркуляцию над Японским морем // Труды ДВНИГМИ. 2000. № 3. С. 10-25.
7. Смолянкина Т.В. Многолетняя изменчивость аномалий давления, широты и долготы центров действия атмосферы Азиатско-Тихоокеанского региона // Гидрометеорологические процессы на шельфе: оценка воздействия на морскую среду: Темат. вып. ДВНИГМИ. Владивосток: Дальнаука, 1999. С. 10-16.
8. Шатилина Т.А., Анжина Г.И. Особенности атмосферной циркуляции и климата на Дальнем Востоке в начале 21 века // Известия ТИНРО. 2008. Т. 152. С. 225-239.
9. Шатилина Т.А., Цициашвили Г.Ш., Радченкова Т.В. Изменчивость режима тропосферной ложбины у Восточного побережья Азии и климатические экстремумы в период 1980–2017 гг. // Метеорология и гидрология. 2019. № 8. С. 102-106.

References

1. Arhangel'skij V.L. Zimnij ohotomorskij ciklon - sezonnyj centr dejstvija atmosfery. *Meteorologiya i Gidrologiya* [Russ. Meteorol. Hydrol.], 1959, no. 4, pp. 21-25 [in Russ.].
2. Berezhnaja T.V., Golubev A.D., Parshina L.N. Anomal'nye gidrometeorologicheskie javlenija na territorii Rossijskoj Federacii v janvare 2015 g. *Meteorologiya i Gidrologiya* [Russ. Meteorol. Hydrol.], 2015, no. 4, pp. 107-111 [in Russ.].
3. Berezhnaja T.V., Golubev A.D., Parshina L.N. Anomal'nye gidrometeorologicheskie javlenija na territorii Rossijskoj Federacii v janvare 2019 g. *Meteorologiya i Gidrologiya* [Russ. Meteorol. Hydrol.], 2019, no. 5, pp. 122-126 [in Russ.].
4. Bogdanovskaja T.V., Bogdanovskij A.A. Izmenchivost' polozhenija centrov dejstvija atmosfery Aziatsko-Tihookeanskogo regiona i ih vklad v formirovanie anomalij temperatury vozduha Sahalina. Gidrometeorologicheskie i jekologicheskie uslovija dal'nevostochnyh morej: ocenka vozdejstvija na morskiju sredu. *Russ. Tematicheskij vypusk DVNIGMI*. Vladivostok: Dal'nauka publ., 2000, no. 3, pp. 26-33 [in Russ.].

5. Vasilevskaja L.N., Zhuravleva T.M., Man'ko A.N. Sezonnye i mnogoletnie izmenenija parametrov Sibirskogo anticiklona. *Russ. Proceedings of DVNIGMI*, 2002, is. 150, pp. 87-102 [in Russ.].

6. Dashko N.A., Varlamov S.M. Ocenka izmenenij harakteristik centrov dejstvija atmosfery aziatsko-tihookeanskogo regiona v techenie 20-go stoletija i ih vlijanie na cirkuljaciju nad Japonskim morem. *Russ. Proceedings of DVNIGMI*. Vladivostok: Dal'nauka publ., 2000, no. 3, pp. 10-25 [in Russ.].

7. Smoljankina T.V. Mnogoletnjaja izmenchivost' anomalij davlenija, shiropy i dolgoty centrov dejstvija atmosfery Aziatsko-Tihookeanskogo regiona. Gidrometeorologicheskie processy na shel'fe: Ocenka vozdejstvija na morskiju sredu. *Russ. Tematicheskij sbornik. Proceedings of DVNIGMI*. Vladivostok: Dal'nauka publ., 1999, pp. 10-16 [in Russ.].

8. Shatilina T.A., Anzhina G.I. Features of atmospheric and climate in the Far East in the beginning of 21 Century. *Russ. Izv. TINRO*, 2008, vol. 152, pp. 225-239 [in Russ.].

9. Shatilina T.A., Ciciashvili G.Sh., Radchenkova T.V. Variability of the tropospheric col regime at the Eastern Asia coast and climatic extremes in the period 1980-2017. *Meteorologiya i Gidrologiya [Russ. Meteorol. Hydrol.]*, 2019, no. 8. pp. 102-106 [in Russ.].

*Поступила 21.04.2021; одобрена после рецензирования 14.09.2021;
принята в печать 28.09.2021.*

*Submitted 21.04.2021; approved after reviewing 14.09.2021;
accepted for publication 28.09.2021.*