



НАУКИ О ЗЕМЛЕ

УДК 551.583

СОВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕРМИЧЕСКОГО РЕЖИМА ХОЛОДНОГО СЕЗОНА НА РОССИЙСКОМ ДАЛЬНЕМ ВОСТОКЕ

MODERN CHANGES IN THE THERMAL REGIME OF THE COLD SEASON IN THE RUSSIAN FAR EAST

М.В. Ушаков
M.V. Ushakov

Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н.А. Шило ДО РАН,
Россия, 685000, г. Магадан, ул. Портовая, 16

North-East Interdisciplinary Scientific Research Institute named after N.A. Shilo, Far East Branch of
Russian Academy of Sciences, 16 Portovaya St, Magadan, 685000, Russia

E-mail: mvilorich@narod.ru

Аннотация

В работе ставилась цель проанализировать климатические изменения продолжительности отопительного, зимнего периодов и средней температуры воздуха за эти периоды на территории Российского Дальнего Востока и дать прогнозные оценки изменений продолжительности отопительного периода в XXI веке. По рядам продолжительности зимнего и отопительного периодов были рассчитаны скользящие 30-летние средние (условные нормы). Сравнение условных норм продолжительностей зимнего и отопительного периодов, а также средних температур воздуха производилось за два 30-летия 1951–1980 и 1981–2010 гг. Анализ показал, что продолжительность зимнего и отопительного периодов уменьшилась на 4–10 дней, а средние температуры воздуха этих периодов повысились на 0.2–1.7°C. Получены формулы, по которым можно подсчитать условные нормы длительности отопительного периода при различных сценариях повышения среднегодовой температуры воздуха. Учет происходящих и будущих изменений термического режима позволит более взвешенно подходить к перспективному планированию работы отраслей экономики Дальнего Востока, повысить качество строительного проектирования, что особенно актуально в районах распространения многолетней мерзлоты.

Abstract

The aim of the work was to analyze the climatic changes in the duration of the heating season, the winter period and the mean air temperature over these periods in the Russian Far East and to provide predictive estimates of changes in the duration of the heating season in the 21st century. According to the series of the duration of the winter and heating periods, 30-year averages (nominal norms) were calculated. Comparison of the conventional norms for the duration of the winter and heating periods, as well as the average air temperatures, was carried out for two 30 years sections of 1951–1980 and 1981–2010. The analysis showed that the duration of the winter and heating periods decreased by 4–10 days, and the average air temperatures of these periods increased by 0.2–1.7°C. Formulas are obtained for calculating nominal norms for the duration of the heating period under different scenarios for increasing the average annual air temperature. Taking into account the current and future changes in the thermal regime will allow a more balanced approach to the prospective planning of the work of the Far Eastern economy, improve the quality of construction design, which is especially important in the areas of permafrost.

Ключевые слова: климатические изменения, температура воздуха, продолжительность зимнего и отопительного периодов, скользящее среднее

Key words: climatic changes, air temperature, duration of winter and heating periods, moving average



Введение

На социально-экономическое развитие тех или иных регионов Земли значительное влияние оказывает климат и его изменчивость. Особенно подвержены отрицательному влиянию холода территории, расположенные в субарктических и умеренных широтах (большие затраты на обогрев помещений и промышленного оборудования, трудности ведения сельского хозяйства, ограниченные сроки морской и речной навигации, дискомфортные условия труда и проживания и пр.).

Как известно, во второй половине XX века на планете начался процесс глобального потепления [Израэль и др., 2001; и др.], в том числе в Арктике и Северо-Восточной Азии [Пономарев и др., 2005; Оценочный, 2008; Векгуаев et. al., 2010; Катцов, Порфирьев, 2012; Цатуров, Клепиков, 2012; Сточкуте, Василевская, 2016]. В Оценочном докладе Росгидромета [Оценочный, 2008] говорится, что в течении XXI века средняя температура воздуха будет продолжать повышаться, наибольшего потепления следует ожидать в Сибири и в северных регионах России. Однако в работах [Доклад, 2012; Шерстюков, 2012; Ипполитов и др., 2014] показано, что значительные тренды потепления существуют для всех сезонов, кроме зимы, когда в отдельных регионах Северной Евразии проявляются обширные зоны с замедлением роста температур воздуха и даже с тенденцией похолодания. В 2015 году глобальное потепление достигло рекордных уровней в результате длительного повышения глобальных температур [Заявление, 2016].

В данной работе ставится цель проанализировать климатические изменения термического режима холодного сезона (продолжительности отопительного и зимнего периодов и средней температуры воздуха за эти периоды) на территории Российского Дальнего Востока и дать прогнозные оценки изменений продолжительности отопительного периода в XXI веке.

Климат Дальневосточного экономического района СССР был детально описан в [Климатические параметры ..., 1979]. В начале 80-х годов XX века в работе [Гневко, 1981] для территории всего Советского Союза были сформированы и обработаны многолетние ряды продолжительности отопительного периода.

подавляющая часть рассматриваемой территории расположена в зоне многолетней мерзлоты [Геокриология СССР, 1989], существование которой обусловлено прошлыми и современными климатическими условиями. Термические условия зимы характеризуются прежде всего длительными периодами низких температур, наблюдающихся одновременно на значительных территориях. Антициклонический тип погоды обуславливает зимой наиболее низкие температуры не только на севере, но и на юге. Только в южной половине о. Сахалина, п-ва Камчатки, а также на части побережья Охотского, Берингова и Японского морей зимой несколько теплее за счет проникающих сюда теплых воздушных масс. О суровости зим можно судить по табл.1

Таблица 1

Table 1

Температурные условия зимы [Климатические параметры ..., 1979] Temperature conditions of winter [Klimaticheskie parametry ..., 1979]

Город	Средний из абсолютных минимумов, °С	Абсолютный минимум, °С	Средний из абсолютных максимумов, °С
Якутск	-56	-63	-24
Магадан	-30	-36	-6
Хабаровск	-34	-43	-10
Владивосток	-25	-31	-0.6

Исходные материалы и методы

По многолетним массивам температур воздуха, взятым на официальном сайте Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации-Мирового центра данных, были рассчитаны ежегодные за 1951–2010 гг.

продолжительности периодов со среднесуточной температурой воздуха ниже 0°C (зимний период) и ниже 8°C (отопительный период), а также средние температуры воздуха за эти периоды в городах Якутск, Анадырь, Магадан, Петропавловск-Камчатский, Южно-Сахалинск, Хабаровск, Владивосток.

По рядам продолжительности зимнего периода были рассчитаны скользящие 30-летние средние температуры, т.н. «условные нормы». Для удобства анализа полученные ряды представим в отклонениях от условной нормы, рассчитанной за 1951-1980 гг.

$$dF_i = \tilde{F}_i - \tilde{F}_{1980} \quad (1)$$

где i – годы (1980, 1981, ..., 2009, 2010); \tilde{F}_{1980} – условная норма продолжительности зимнего периода на 1980 г. (то есть рассчитанная за 1951–1980 гг.), сут.; \tilde{F}_i – условная норма продолжительности зимнего периода по состоянию на i -й год, сут.

Аналогичным образом были получены ряды отклонений условных норм продолжительности отопительного периода от нормы, рассчитанной за 1951–1980 гг.

$$dH_i = \tilde{H}_i - \tilde{H}_{1980}. \quad (2)$$

По полученным рядам отклонений анализировались тенденции климатических изменений.

Сравнение условных норм продолжительностей зимнего и отопительного периодов, а также средних температур воздуха за эти периоды производилось за два 30-летия 1951–1980 и 1981–2010 гг.

Анализ результатов

На рисунке 1 представлены графики изменения отклонений условных норм продолжительности зимнего периода от условной нормы на 1980 г. Во всех городах отмечается статистически значимый тренд на сокращение зимнего периода. Сравнение условных норм, рассчитанных за периоды 1951–1980 и 1981–2010 гг., показало, что зимний период уменьшился на 4–10 суток (см. рис. 1), а средние показатели температуры воздуха этого периода повысились на 0.2–1.7°C (табл. 2).

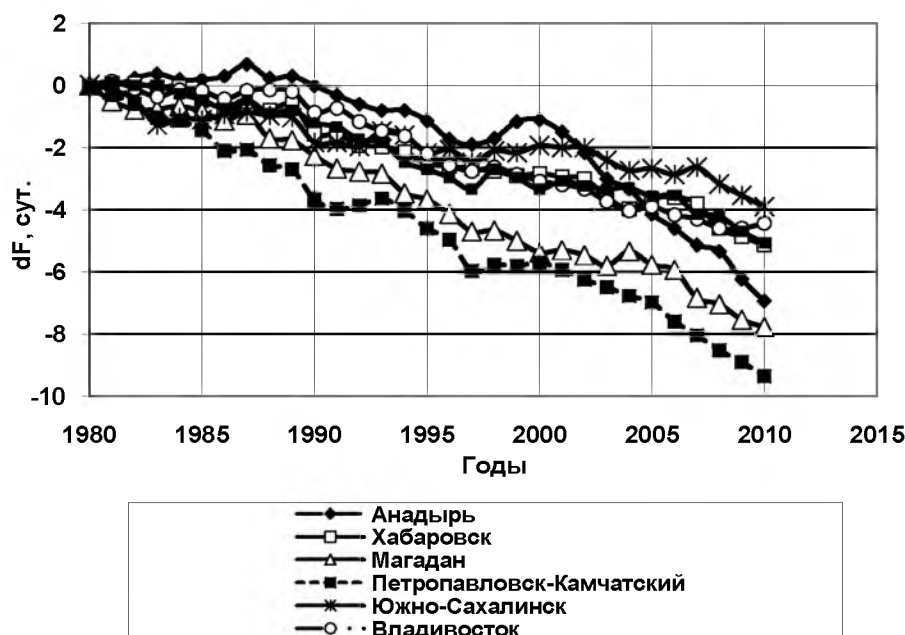


Рис. 1. Изменения отклонений условных норм продолжительности зимнего периода от условной нормы на 1980 г. в основных городах Дальнего Востока, рассчитанных по скользящей 30-летке

Fig. 1. Changes in the deviations of the nominal norms of the duration of the winter period from the nominal norm for 1980 in the main cities of the Far East, calculated on a sliding 30-year run

Таблица 2
Table 2

Климатические изменения температурного режима холодного сезона на территории Дальнего Востока
Climatic changes in the temperature regime of the cold season in the Far East

Город	Средняя продолжительность зимнего периода, сут. Средняя температура воздуха зимнего периода, °С		Средняя продолжительность отопительного периода, сут. Средняя температура воздуха отопительного периода, °С	
	за 1951–1980 гг.	за 1981–2010 гг.	за 1951–1980 гг.	за 1981–2010 гг.
Якутск	<u>216</u> -25.7	<u>211</u> -24.0	<u>255</u> -21.2	<u>250</u> -19.7
Анадырь	<u>241</u> -10.1	<u>234</u> -9.9	<u>311</u> -10.7	<u>301</u> -10.5
Магадан	<u>215</u> -11.2	<u>207</u> -10.6	<u>285</u> -7.4	<u>279</u> -6.8
Петропавловск-Камчатский	<u>162</u> -4.9	<u>152</u> -4.5	<u>260</u> -1.5	<u>255</u> -0.9
Южно-Сахалинск	<u>154</u> -8.7	<u>150</u> -7.9	<u>231</u> -4.4	<u>226</u> -3.8
Хабаровск	<u>160</u> -13.4	<u>155</u> -12.5	<u>211</u> -9.1	<u>205</u> -8.4
Владивосток	<u>136</u> -8.2	<u>132</u> -7.3	<u>203</u> -4.1	<u>199</u> -3.3

Аналогичный анализ был проведен и для продолжительности отопительного периода. Средняя продолжительность отопительного периода сократилась на 4–10 дней, а средние температуры воздуха повысились на 0.2–0.8°C (рис. 2, см. табл. 2).

Можно заметить, что в XXI веке уменьшение продолжительностей отопительного периода происходят интенсивнее, чем это происходило в 80–90-х годах предыдущего столетия, что согласуется с планетарной тенденцией потепления [Заявление ВМО ..., 2016].

Существуют различные сценарии повышения среднегодовой температуры воздуха в XXI веке [Фокин, Катцов, 2001; Бортковский и др., 2007; Булгаков и др., 2007; Dodd et. al., 2015]. Условные нормы продолжительности отопительного периода хорошо связаны с условными нормами среднегодовой температурой воздуха (табл. 3). По полученным формулам можно подсчитать продолжительности отопительного периода при различных сценариях повышения среднегодовой температуры воздуха в XXI веке (рис. 3). Как видно на этих графиках, наиболее чувствительны к изменениям климата гг. Анадырь, Петропавловск-Камчатский. Так, например, при повышении условной нормы среднегодовой температуры воздуха в г. Анадыре на 2°C продолжительность отопительного периода уменьшится на 21 день (табл. 4).

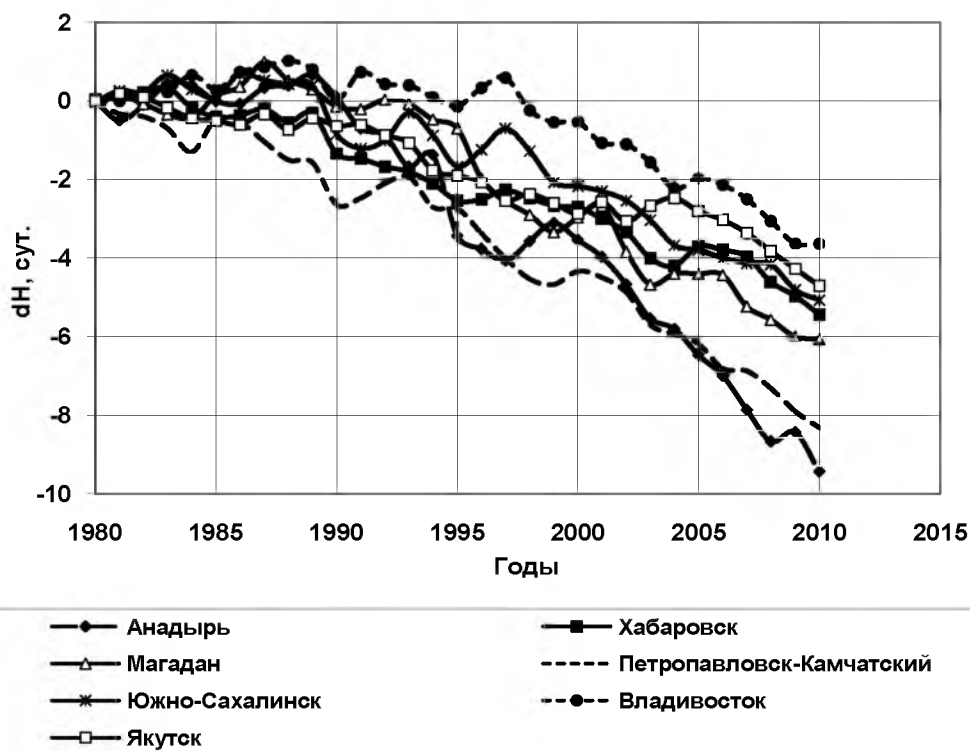


Рис. 2. Изменения отклонений условных норм продолжительности отопительного периода от условной нормы на 1980 г. в основных городах Дальнего Востока, рассчитанных по скользящей 30-летке

Fig. 2. Changes in the deviation of the nominal norms of the duration of the heating season from the nominal norm for 1980 in the main cities of the Far East, calculated on a sliding 30-year run

Таблица 3
Table 3

Уравнения связи условных норм продолжительности отопительного периода с условными нормами среднегодовых температур воздуха
Equations of the correlation of nominal norms for the duration of the heating season with nominal norms of mean annual air temperatures

Город	Уравнение	Коэффициент корреляции
Якутск	$\tilde{H} = 227.5 - 2.66\tilde{T}$	0.98
Анадырь	$\tilde{H} = 203.4 - 14.18\tilde{T}$	0.92
Магадан	$\tilde{H} = 258.0 - 7.95\tilde{T}$	0.96
Петропавловск-Камчатский	$\tilde{H} = 286.0 - 12.16\tilde{T}$	0.99
Южно-Сахалинск	$\tilde{H} = 248.2 - 7.99\tilde{T}$	0.95
Хабаровск	$\tilde{H} = 221.0 - 6.33\tilde{T}$	0.99
Владивосток	$\tilde{H} = 226.6 - 5.58\tilde{T}$	0.94

Примечание: \tilde{H} – условная норма продолжительности отопительного периода, рассчитываемая за 30 лет, сут.; \tilde{T} – условная норма среднегодовой температуры воздуха, рассчитываемая за 30 лет, °С.

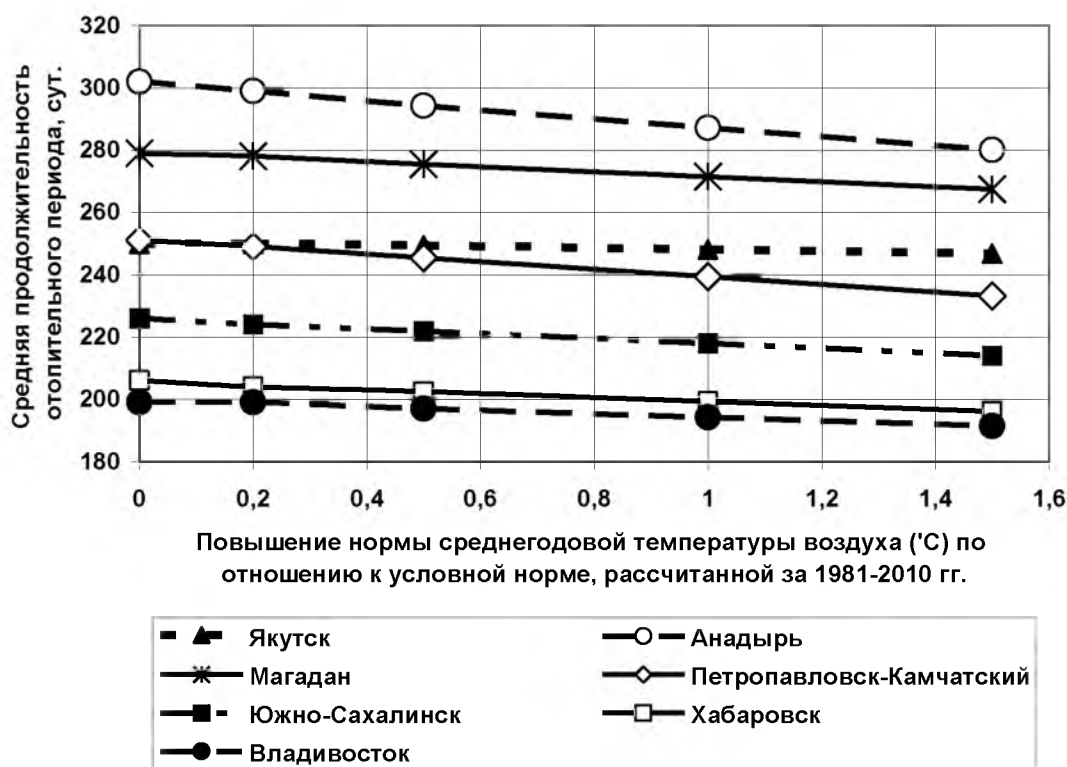


Рис. 3. Возможная продолжительность отопительного периода в основных городах Дальнего Востока при различных сценариях повышения среднегодовой температуры воздуха в XXI веке
 Fig. 3. Possible duration of the heating season in the main cities of the Far East under different scenarios for increasing the average annual air temperature in the 21st century

Таблица 4
 Table 4

Прогнозные оценки условных норм продолжительности отопительного периода к 2100 г. при различных сценариях повышения среднегодовой температуры воздуха по отношению к норме за 1981–2010 г.
Forecast estimates of nominal norm lengths of the heating period by 2100 under different scenarios for increasing the average annual air temperature in relation to the norm for 1981–2010

Город	Условная норма за 2071–2100 гг. при повышении среднегодовой температуры воздуха на			
	0.5 °C	1.0 °C	1.5 °C	2.0 °C
Якутск	249	248	247	245
Анадырь	294	287	280	273
Магадан	275	271	267	263
Петропавловск-Камчатский	245	239	233	227
Южно-Сахалинск	222	218	214	210
Хабаровск	202	199	196	193
Владивосток	197	194	191	189

Заключение

Современное глобальное потепление климата ощутимо сказалось на термическом режиме холодного сезона на территории Российского Дальнего Востока (продолжительность зимнего и отопительного периодов уменьшилась на 4–10 дней, а средние температуры воздуха этих периодов повысились на 0.2–1.7 °C). Получены



формулы, по которым можно подсчитать условные нормы длительности отопительного периода при различных сценариях повышения среднегодовой температуры воздуха.

Происходящие изменения термического режима позволяют не только экономить топливо для обогрева помещений и промышленного оборудования, но и сокращать выбросы ТЭЦ, ТЭС и котельными в атмосферу загрязняющих веществ, в том числе и парниковых газов, что уменьшает антропогенную нагрузку на окружающую среду.

Учет происходящих и будущих изменений термического режима позволит более взвешенно подходить к перспективному планированию работы отраслей экономики Дальнего Востока, повысить качество строительного проектирования, что особенно актуально в районах распространения многолетней мерзлоты.

Список литературы References

1. Бортковский Р.С., Егоров Б.Н., Катцов В.М., Павлова Т.В. 2007. Модельные оценки среднего газообмена между океаном и атмосферой в условиях современного климата и при его изменениях, ожидаемых в 21 веке. *Известия РАН. Физика атмосферы и океана*, 43 (3): 313–318.

Bortkovskij R.S., Egorov B.N., Katcov V.M., Pavlova T.V. 2007. Model estimates the average gas exchange between the ocean and the atmosphere in today's climate and its changes, expected in the 21st century. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*, 43 (3): 313–318. (in Russian)

2. Булгаков К.Ю., Мелешко В.П., Шпееров Б.Е. 2007. О чувствительности климата к удвоению концентрации CO_2 в атмосфере. *Труды Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова*, 556: 2–28.

Bulgakov K.Ju., Meleshko V.P., Shpeerov B.E. 2007. About the climate sensitivity to a doubling of CO_2 concentration in the atmosphere. *Trudy Glavnoj geofizicheskoy observatorii im. A.I. Voejkova*, 556: 2–28. (in Russian)

3. Геокриология СССР. 1989. Восточная Сибирь и Дальний Восток. М., Недра, 515.
Geokriologija SSSR [Geocryology USSR]. 1989. Eastern Siberia and the Far East. Moscow, Nedra, 1989. 515. (in Russian)

4. Гневко Г.Т. 1981. Средняя месячная температура воздуха и продолжительность отопительного периода с температурой воздуха ниже 8 градусов для экономических районов СССР. Часть II. Восточная Сибирь и Дальний Восток. Обнинск, ВНИИГМИ-МЦД, 99.

Gnevko G.T. 1981. Srednjaja mesjachnaja temperatura vozduha i prodolzhitel'nost' otopitel'nogo perioda s temperaturoj vozduha nizhe 8 gradusov dlja jekonomicheskij rajonov SSSR. Chast' II. Vostochnaja Sibir' i Dal'nij Vostok [The average monthly air temperature and the duration of the heating season with an air temperature below 8 degrees for the economic regions of the USSR. Part II. Eastern Siberia and the Far East]. Obninsk, VNIIGMI-MCD, 99. (in Russian)

5. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2011 год. 2012. М., Росгидромет, 83.

Report on the peculiarities of climate in the territory of the Russian Federation for 2011. 2012. Moscow, Rosgidromet, 83. (in Russian)

6. Заявление ВМО о состоянии глобального климата в 2015 году. ВМО-№1167. 2016. Женева, Publications Board World Meteorological Organization, 26.

WMO Statement on the state of the Global Climate in 2015. WMO-№1167. 2016. Zheneva, Publications Board World Meteorological Organization, 26. (in Russian)

7. Израэль Ю.А., Груза Г.В., Катцов В.М., Мелешко В.П. 2001. Изменение глобального климата. Роль антропогенных воздействий. *Метеорология и гидрология*, (5): 5–22.

Izrael' Ju.A., Gruza G.V., Katcov V.M., Meleshko V.P. 2001. Change in the global climate. The role of anthropogenic impacts. *Meteorologiya i Gidrologiya*, (5): 5–22. (in Russian)

8. Ипполитов И.И., Логинов С.В., Харюткина Е.В., Морару Е.И. 2014. Изменчивость климата Азиатской территории России в 1975–2012 годах. *География и природные ресурсы*, (4): 16–21.

Ippolitov I.I., Loginov S.V., Harjutkina E.V., Moraru E.I. 2014. Variability of the climate of the Asian territory of Russia in 1975–2012. *Geography and Natural Resources*, (4): 16–21. (in Russian)

9. Катцов В.М., Порфирьев Б.Н. 2012. Климатические изменения в Арктике: последствия для окружающей среды и экономики. *Арктика: экология и экономика*, 2 (6): 66–79.



Katcov V.M., Porfir'ev B.N. 2012. Climate change in the Arctic: implications for the environment and the economy. *The Arctic: ecology and economy*, 2 (6): 66–79. (in Russian)

10. Климатические параметры Сибирского и Дальневосточного экономических районов. 1979. Л., Гидрометеиздат, 390.

Klimaticheskie parametry Sibirskogo i Dal'nevostochnogo jekonomicheskikh rajonov [Climatic parameters of the Siberian and Far Eastern economic regions]. 1979. Leningrad, Gidrometeoizdat, 390. (in Russian)

11. Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. 2008. Т. 1. Изменение климата. М., Росгидромет, 277.

Assessment report on climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation. 2008. Vol. 1. Climate Change. Moscow, Rosgidromet, 277. (in Russian)

12. Пономарев В.И., Каплуненко Д.Д., Крохин В.В. 2005. Тенденции изменений климата во второй половине XX века в Северо-Восточной Азии, на Аляске и северо-западе Тихого океана. *Метеорология и гидрология*, (2): 15–26.

Ponomarev V.I., Kaplunencko D.D., Krohin V.V. 2005. Trends in climate change in the second half of the 20th century in Northeast Asia, Alaska and the Northwest Pacific. *Meteorologiya i Gidrologiya*, (2): 15–26. (in Russian)

13. Сточките Ю.В., Василевская Л.Н. 2016. Многолетние изменения температуры воздуха и почвы на крайнем северо-востоке России. *Географический вестник*, 2 (37): 84–96.

Stochkute Ju.V., Vasilevskaja L.N. 2016. Long-term changes in air and soil temperature in the Far North-East of Russia. *Geographicheskij Vestnik*, 2 (37): 84–96. (in Russian)

14. Фокин С.А., Катцов В. М. 2001. Модель общей циркуляции океана как компонент объединенной глобальной климатической модели ГГО. *Метеорология и гидрология*, (3): 5–18.

Fokin S.A., Katcov V. M. 2001. Model of the general circulation of the ocean as a component of the combined global climate model of GGO. *Meteorologiya i Gidrologiya*, (3): 5–18. (in Russian)

15. Цатуров Ю.С., Клепиков А.В. 2012. Современное изменение климата Арктики: результаты нового оценочного доклада Арктического совета. *Арктика: экология и экономика*, 4 (8): 76–81.

Caturon Ju.S., Klepikov A.V. 2012. Modern climate change in the Arctic: the results of the new assessment report of the Arctic Council. *The Arctic: ecology and economy*, 4 (8): 76–81. (in Russian)

16. Шерстюков Б.Г. 2012. Сезонные особенности изменений современного климата за 1976–2011 годы. В кн.: Анализ изменений климата и их последствий. Труды ВНИИГМИ-МЦД. Вып. 176. Обнинск: 3–12.

Sherstjukov B.G. 2012. Seasonal features of changes in the current climate for 1976–2011. In: Analiz izmenenij klimata i ih posledstvij [Analysis of climate change and its consequences]. Proceedings of VNIIGMI-WDC. Iss. 176. Obninsk: 3–12. (in Russian)

17. Bekryaev R.V., Polyakov I.V., Alexeev V.A. 2010. Role of Polar Amplification in Long-Term Surface Air Temperature Variations and Modern Arctic Warming. *Journal of Climate*, 23: 3888–3906.

18. Dodd E.M., Merchant C.J., Rayner N.A., Morice C.P. 2015. An investigation into the impact of using various techniques to estimate Arctic surface air temperature anomalies. *Journal of Climate*, 28 (5): 1743–1763.