



УДК 556.06

**КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ РЕЖИМА ФОРМИРОВАНИЯ ПРИТОКА  
ВОДЫ В КОЛЫМСКОЕ ВОДОХРАНИЛИЩЕ**  
**CLIMATE CHANGE REGIME OF FORMATION OF WATER INFLOW IN THE  
KOLYMA RESERVOIR**

**М.В. Ушаков<sup>1</sup>, Л.С. Лебедева<sup>2</sup>**  
**M.V. Ushakov<sup>1</sup>, L.S. Lebedeva<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н.А. Шило ДО РАН, Россия, 685000, г. Магадан, ул. Портовая, 16

<sup>2</sup> Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, Россия, 677010, г. Якутск, ул. Мерзлотная, 36

<sup>1</sup> 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,

<sup>2</sup> Permafrost Institute named after P.I. Mel'nikov, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, 36 Merzlotnaya St, Yakutsk, 677010, Russia

E-mail: mvilorich@narod.ru; lyudmilaslebedeva@gmail.com

**Аннотация.** Во второй половине XX века и в начале текущего столетия на планете наблюдаются глобальные климатические изменения, которые особенно ощутимо проявляются в Арктике и Северо-Восточной Азии. В работе ставилась цель выяснить, какие произошли изменения в режиме формирования притока воды в Колымское водохранилище в течение последних шестидесяти лет. Анализ многолетних рядов по речному стоку и притоку воды к Колымскому водохранилищу показал, что за последние 30 лет годовой приток увеличился на 14%. Притоки за май, август и сентябрь выросли на 37, 31 и 38% соответственно. Увеличение притока в другие месяцы статистически не значимо. Прослеживается тенденция на увеличение максимального стока весеннего половодья и дождевых паводков. Причинами этих изменений явилось современное потепление климата.

**Résumé.** In the second half of the 20th century and the beginning of this century, the planet global climate changes have been observed, which particularly significantly occur in the Arctic and North-East Asia. Our aim was to find out what has been a change in the regime of formation of water inflow in the Kolyma Reservoir over the last sixty years. As long arrays monthly values of water inflow into the Kolyma reservoir was calculated moving 30-year average (conditional rules). Similarly, the conditional norms were calculated on the basis of monthly air temperatures and monthly sums of precipitation at the meteorological station Susuman located in the basin of the Kolyma hydroelectric dam. Analysis of long-term series on river flow and water inflow has shown that over the past 30 years the annual inflow increased by 14%. Inflows for May, August and September grew by 37, 31 and 38%, respectively. Increased inflows were not statistically significant in the other months. There is a tendency to increase the maximum flow of the spring flood and storm floods. The reasons for these changes was the current climate warming.

**Ключевые слова:** приток воды к водохранилищу, Колымская ГЭС, изменение климата, скользящие средние.

**Key words:** water inflow to reservoir, Kolyma power plant, climate change, moving averages.

## Введение

На Северо-Востоке России на р. Колыме в 4 км выше устья р. Бохаччи функционирует Колымская ГЭС. Для более эффективного регулирования речного стока гидроэнергетикам необходимы актуальные сведения о величинах притока воды к водохранилищам ГЭС, в то числе и прогнозы притока на различные календарные периоды [Крицкий, Менкель, 1982; Резниковский, Великанов и др., 1989].

Во второй половине XX века и в начале текущего столетия на планете наблюдаются глобальные климатические изменения [Пономарев и др., 2005], которые особенно ощутимо проявляются в Арктике и Северо-Восточной Азии [Цатуров, Клепиков, 2012; Катцов, Порфирьев, 2012; Векрюев et al, 2010; Dodd et al, 2015]. Имеющиеся оценки гидрологической реакции речных бассейнов на изменения климата противоречивы. Выявлена тенденция к увеличению годового стока воды



крупных рек Северной Евразии [Lammers et al, 2001; Shiklomanov, Lammers, 2013]. Установлено, что сток многих северных рек увеличивается в зимний период. Прогнозируется, что в будущем речной сток в Арктическом регионе будет увеличиваться [Shiklomanov, Lammers, 2013]. В ряде работ было показано, что водность р. Колымы увеличилась в мае из-за совместного влияния работы Колымской ГЭС и потепления климата [Соколов, Ушаков, 2012; Ушаков, 2013]. Появление осенних ледовых явлений и установление ледостава на р. Колыме стали происходить значительно позже, а вскрытие раньше [Ушаков, 2013]. Зафиксирован тренд на увеличение минимального летне-осеннего стока рек бассейна Верхней Колымы [Ушаков, 2015].

В данной работе ставится цель выяснить, какие произошли изменения в режиме формирования притока воды в Колымское водохранилище в течение последних шестидесяти лет.

Водосборная площадь Колымского водохранилища равна 61500 км<sup>2</sup>. Характерной особенностью рассматриваемой территории является холодный и относительно сухой климат [Север Дальнего Востока, 1970; Вокарь и др., 1990]. За период 1955–2014 гг. среднемноголетняя температура воздуха на метеостанции Сусуман составляет –12.4°С, а количество осадков равно 278 мм. Многолетнемерзлые породы распространены повсеместно [Романовский и др., 1989]. В долинах водотоков имеются сквозные гидрогенные и гидрогеогенные талики [Глотов и др., 2011; Glotov et al, 2015].

Внутригодовое распределение стока рек отличается значительной неравномерностью. В теплую часть года (май–октябрь) протекает основная масса воды (94–99%), в зимние месяцы сток незначителен или вовсе отсутствует [Ресурсы ..., 1969]. Приток воды к водохранилищу Колымской ГЭС во втором квартале составляет 45% годового объема (рис. 1). Он формируется главным образом тальми водами. Весеннее половодье начинается в первой половине мая и заканчивается во второй половине июня – начале июля. Гидрограф половодья характеризуются зачастую пилообразной формой. Волна половодья нередко сливается с последующими дождевыми паводками. Дождевые паводки проходят в период середина июня – сентябрь. Как правило, в среднем за год наблюдается от одного–двух до трех–пяти паводков.

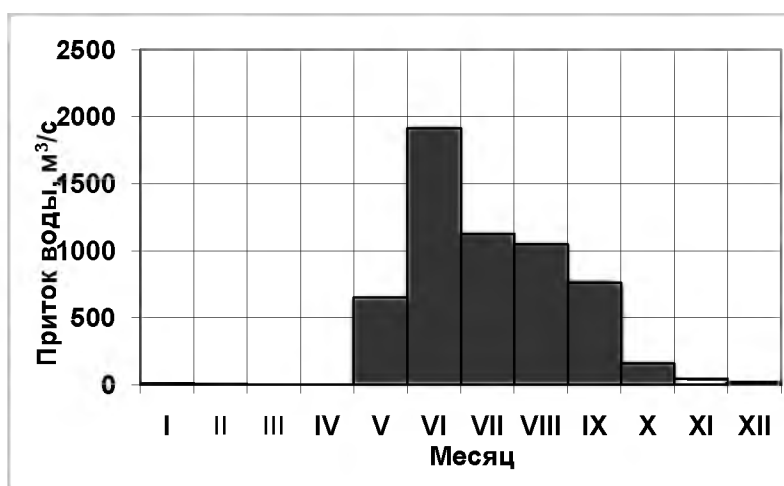


Рис. 1. Среднемноголетнее внутригодовое распределение притока воды к водохранилищу Колымской ГЭС

Fig. 1. Mean intra-annual distribution of water inflow to the reservoir of Kolyma hydroelectric power

Наименьшие расходы воды за период открытого русла могут наблюдаться в любой летний месяц, преимущественно во второй половине лета и перед появлением на реке осенних ледовых явлений. Зимняя межень наблюдается со второй половины октября до начала мая.

### Материал и методы исследования

Многолетние ряды по речному стоку рек и притоку воды к водохранилищу Колымской ГЭС были предоставлены отделом гидрологии Колымского управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Приток воды к Колымскому водохранилищу был рассчитан по ежедневным расходам воды гидрологических постов в бассейне водохранилища, а также с использованием данных по суточному стоку воды через плотину (сток через турбины, холостые сбросы, фильтрация через плотину, протечки). Электронные массивы данных о температуре воздуха (1937–2014 гг.) и атмосферных осадках (1966–2014 гг.) находятся на сайте Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации – Мирового центра данных (ВНИИГМИ-МЦД) [ВНИИГМИ-МЦД, 2016]. Информация об осадках анализировалась с 1966 г. Такой период обусловлен тем, что до 1966 года в наблюдениях за осадками, по крайней мере, трижды была нарушена однородность рядов: а) в 30-е годы прошлого столетия произвели массовый перенос станций на открытое место, репрезентативное для ряда элементов, но не для осадков; б) в начале 50-х годов массовое нарушение однородности вызвано сменой прибора, был установлен осадкомер с защитой Третьякова; в) с января 1966 года поправка на смачивание стала вводиться непосредственно на станции. После 1966 года никаких изменений в методиках измерений и обработки не происходило, поэтому ряды сумм осадков можно считать однородными [ВНИИГМИ-МЦД, 2016].

По данным гидрологических постов, расположенных в бассейне Колымского водохранилища, а также был проведен анализ климатических изменений максимального стока весеннего половодья и дождевых паводков.

По многолетним массивам месячных значений притока воды в Колымское водохранилище были рассчитаны скользящие 30-летние средние («условные нормы», рис. 2). Аналогичным образом были рассчитаны скользящие 30-летние средние среднемесячных температур воздуха и месячных сумм атмосферных осадков на метеостанции в г. Сусумане, находящейся в бассейне водохранилища Колымской ГЭС.

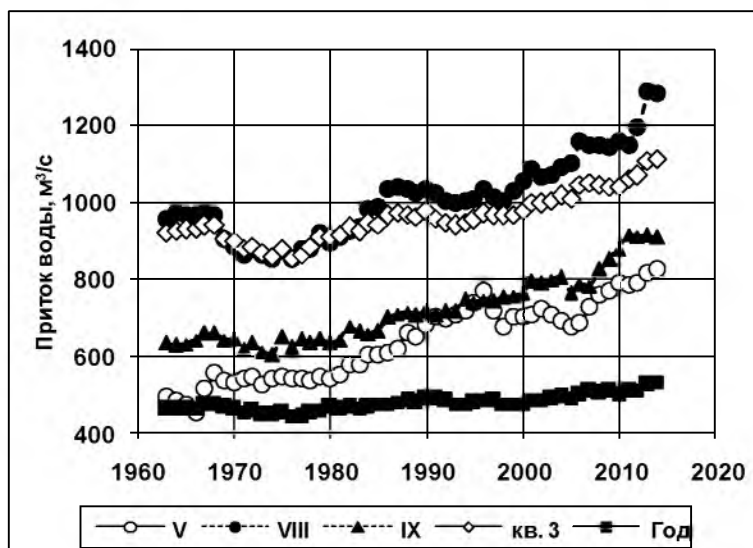


Рис. 2. Многолетняя динамика скользящих 30-летних средних притока воды в Колымское водохранилище за май (V), август (VIII), сентябрь (IX), третий квартал (кв. 3) и год

Fig. 2. Long-term dynamics of moving 30-year average water inflows in Kolyma Reservoir in May (V), August (VIII), September (IX), third quarter (кв. 3) and year (Год)

Оценка однородности рядов производилась по критерию Стьюдента с уровнем значимости 5%.



**Результаты и их обсуждение**

В работе М.В. Ушакова [2016] был проведен анализ климатических изменений в Магаданской области который показал, что продолжительность зимнего сезона, когда среднесуточные температуры воздуха устойчиво стоят ниже 0°C, в г. Сусумане уменьшилась на 6 дней. Средняя температура воздуха за октябрь–апрель, а также наименьшая среднесуточная температура повысились на 2°C (табл. 1).

Таблица 1  
Table 1

**Климатические изменения условных норм гидрометеорологических характеристик по двум 30-летним периодам (средние значения)  
Climate change conditional norms of hydrometeorological characteristics of the two 30-year periods (average)**

Календарный период	Температура воздуха в г. Сусумане, °С		Атмосферные осадки в г. Сусумане, мм		Приток воды в Кольимское водохранилище, м³/с	
	1955–1984 гг.	1985–2014 гг.	1955–1984 гг.	1985–2014 гг.	1955–1984 гг.	1985–2014 гг.
Год	-13.1	-11.7*	281	292	466	531*
Май	2.1	3.0*	19.0	13.4*	599	823*
Август	10.2	10.5	55.9	67.0*	980	1280*
Сентябрь	2.1	2.6*	30.4	36.5*	655	907*
Октябрь–апрель	-28.2	-26.2*	71.8	72.6	-	-
Наименьшая среднесуточная	-58.1	-56.1				
Суточный максимум, обеспеченностью 1%			38	47*		

Примечание: \* – статистически значимое изменение.

Анализ среднемесячных температур воздуха за май–сентябрь за 1955–1984 и 1985–2014 гг., показал, что в мае, августе и сентябре отмечается статистически значимый тренд на повышение (см. табл. 1).

Сравнивая суммы атмосферных осадков за октябрь–апрель, рассчитанных по периодам 1966–1995 и 1985–2014 гг., можно сказать, что они практически не изменились, в теплую часть года месячные суммы осадков в мае уменьшились, а в августе и сентябре увеличились (см. табл. 1). Важной характеристикой для расчета максимальных расходов дождевых паводков является суточный максимум осадков вероятностью превышения 1%, который вырос на 24% (см. табл. 1).

Выросли максимальные расходы и слои стока весеннего половодья, однако эта тенденция прослеживается не везде (табл. 2). Но уверенно повысились максимальные расходы и слои стока дождевых паводков.

Таблица 2  
Table 2

**Климатические изменения условных норм гидрологических характеристик по двум 30-летним периодам (средние значения)  
Climate change conditional norms hydrological characteristics of the two 30-year periods (average)**

Река – пункт	Максимальный расход воды весеннего половодья, м³/с		Слой сток за половодье, мм		Максимальный расход воды дождевого паводка, м³/с		Слой сток за паводок, мм	
	1955–1984 гг.	1985–2014 гг.	1955–1984 гг.	1985–2014 гг.	1955–1984 гг.	1985–2014 гг.	1955–1984 гг.	1985–2014 гг.
1	2	3	4	5	6	7	8	9



Окончание таблицы 2

End of table 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
руч. Талок – г. Сусуман	3.20	4.09*	39	64*	6.21	8.41*	17	37*
руч. Контактный – Нижний	3.38	3.81*	97	111*	7.46	8.95*	35	45*
р. Омчак – п. Омчак	20.4	23.2	102	107	33.6	36.1*	35	56*
р. Детрин – устье р. Омчука	346	316	120	115	406	440*	38	80*
р. Омчук – п. Усть-Омчуг	61.3	82.0*	81	120*	90.4	130*	31	49*

Примечание: \* – статистически значимое изменение.

Ряды притока воды в Колымское водохранилище за май, август, сентябрь и год имеют статистически значимые тренды на повышение, что отчетливо видно по кривым скользящих средних (см. рис. 2). Сравнение условных норм притока, рассчитанных за два смежных 30-летних периода (см. табл. 1), показало, что годовой приток увеличился на 14%, притоки за май, август, сентябрь выросли на 37, 31 и 38% соответственно. В остальные месяцы приток увеличился незначительно.

Приток воды за май зависит главным образом от интенсивности снеготаяния, то есть от режима поступления тепла на водосбор, и от суммы осадков за зимний период. Коэффициенты корреляции составляют 0.59 и 0.51 соответственно (табл. 3). Количество осадков за май не имеет существенного влияния на значение притока воды. Температуры воздуха в г. Сусумане в мае повысились на 0.9°C, зимние осадки практически не изменились (см. табл. 1). Следовательно, причиной увеличения притока в мае является потепление.

Таблица 3

Table 3

**Корреляционная матрица связи притока воды в Колымское водохранилище в мае со среднемесячной температурой воздуха в мае, суммами осадков за май и октябрь–апрель в г. Сусумане**  
**Correlation matrix of water flow to the Kolyma Reservoir in May, with average monthly air temperature in May amounts of precipitation in May and October–April in Susuman town**

Характеристика	$Q_V$	$T_V$	$P_V$	$P_{X-IV}$
$Q_V$	1	0.59	0.18	0.51
$T_V$		1	0.07	0
$P_V$			1	0
$P_{X-IV}$				1

Примечание:  $Q_V$  – приток воды в мае;  $T_V$  – средняя температура воздуха в мае;  $P_V$  – сумма осадков в мае;  $P_{X-IV}$  – сумма зимних осадков (за октябрь–март).

В августе и сентябре на 20% увеличилось количество атмосферных осадков, в результате чего произошло возрастание нормы притока воды в эти месяцы (см. табл. 1).

Таким образом, повышение температур воздуха и увеличение атмосферных осадков привело к росту годового притока воды к водохранилищу Колымской ГЭС.

Существуют различные сценарии повышения среднегодовой температуры воздуха в XXI веке [Фокин, Катцов, 2001; Бортковский и др., 2007; Булгаков и др., 2007]. Условные нормы притока воды в Колымское водохранилище связаны с



условными нормами среднегодовой температуры воздуха в г. Сусумане, рассчитанными за 30 лет (табл. 4). Коэффициент корреляции составляет от 0.89 до 0.96.

Таблица 4  
Table 4

**Уравнения связи условных норм притока воды в Колымское водохранилище с условными нормами среднегодовой температуры воздуха в г. Сусумане, рассчитанных за 30 лет**  
**The equations of correlations of conditional norms inflow in Kolyma Reservoir with conditional rules mean annual air temperature in the town of Susuman calculated for 30 years**

Приток за	Уравнение	Коэффициент корреляции
май	$\overline{Q}_{30} = 161.1\overline{T}_{30} + 2697$	0.93
август	$\overline{Q}_{30} = 176.8\overline{T}_{30} + 3260$	0.93
сентябрь	$\overline{Q}_{30} = 149.8\overline{T}_{30} + 2629$	0.96
год	$\overline{Q}_{30} = 31.84\overline{T}_{30} + 881.5$	0.89

Примечание:  $\overline{Q}_{30}$  – условная норма притока воды, м<sup>3</sup>/с, сут.;  $\overline{T}_{30}$  – условная норма среднегодовой температуры воздуха, °С.

Пользуясь формулами, приведенными в таблице 3, можно рассчитать условные нормы притока воды в Колымское водохранилище при различных сценариях повышения среднегодовой температуры воздуха. Так, например, если к 2100 г. среднегодовая температура повысится на 1°С, то норма притока воды в мае увеличится на 150 м<sup>3</sup>/с (на 18%).

**Заключение**

Анализ временных рядов месячного притока воды в Колымское водохранилище показал, что за последние 30 лет годовой приток увеличился на 14%. Притоки за май, август и сентябрь выросли на 37, 31 и 38% соответственно. Увеличение притока в другие месяцы статистически не значимо. Прослеживается тенденция на увеличение максимального стока весеннего половодья и дождевых паводков. Причинами этих изменений явилось современное потепление климата.

Происходящие климатические изменения необходимо учитывать при долгосрочном прогнозировании притока воды в Колымское водохранилище.

Благодарности

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 16-35-50061.*

**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.
2. 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)
3. Булгаков К.Ю., Мелешко В.П., Шпееров Б.Е. 2007. О чувствительности климата к удвоению концентрации CO<sub>2</sub> 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<sub>2</sub> concentration in the atmosphere. *Trudy Glavnoj geofizicheskoj observatorii im. A.I. Voejkova*, 556: 2–28. (in Russian)

3. Вокарь М.А. и др. 1990. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Сер. 3. Ч. 1–6. Вып. 33. Магаданская область, Чукотский автономный округ Магаданской области. Л., Гидрометеиздат, 566.

Vokar' M.A. et al. 1990. Nauchno-prikladnoj spravocchnik po klimatu SSSR. Ser. 3. Ch. 1–6. Вып. 33. Magadanskaja oblast', Chukotskij avtonomnyj okrug Magadanskoj oblasti [Scientific and Applied Climate Handbook. Series 3. Part 1–6. Vol. 33. Magadan Region, Chukotka Autonomous District of Magadan Region]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 566. (in Russian)

4. Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации (ВНИИГМИ-МЦД). 2016. Электронный ресурс. URL: <http://meteo.ru> (дата обращения 13 января 2016).

All-Russian Scientific Research Institute of Hydrometeorological Information (VNIIGMI-MCD). 2016. Available at: <http://meteo.ru> (accessed 13 January 2016). (in Russian)

5. Глотов В.Е., Глотова Л.П., Ушаков М.В. 2011. Аномальные изменения режима водного стока реки Колымы в зимнюю межень. *Криосфера Земли*, XV (1): 52–60.

Glotov V.E., Glotova L.P., Ushakov M.V. 2011. Abnormal changes of water flow regime of the Kolyma River in winter time. *Earth Cryosphere*, XV (1): 52–60. (in Russian)

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

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

7. Крицкий С.Н., Менкель М.Ф. 1982. Гидрологические основы управления водохозяйственными системами. М., Наука, 271.

Krickij S.N., Menkel' M.F. 1982. Gidrologicheskie osnovy upravlenija vodohozjajstvennymi sistemami [Hydrological water systems management basics]. Moscow, Nauka, 271. (in Russian)

8. Куприянов В.В. (ред.). 1969. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 19. Северо-Восток. Л., Гидрометеиздат, 284.

Kuprijanov V.V. (red.). 1969. Resursy poverhnostnyh vod SSSR. T. 19. Severo-Vostok [Surface water resources of the USSR. Vol. 19. Northeast]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 284. (in Russian)

9. 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., Kaplunenko D.D., Krohin V.V. 2005. Trends in climate change in the second half of the XX century in the North-East Asia, Alaska and the northwest Pacific. *Russian Meteorology and Hydrology*, (2): 15–26. (in Russian)

10. Резниковский А.Ш., Великанов, М.А., Костина И.Г. и др. 1989. Гидрологические основы гидроэнергетики. М., Энергоатомиздат, 263.

Reznikovskij A.Sh., Velikanov, M.A., Kostina I.G. et al. 1989. Gidrologicheskie osnovy gidrojenergetiki [Hydrological foundations of hydropower]. Moscow, Jenergoatomizdat, 263. (in Russian)

11. Романовский Н.Н., Гаврилов А.В., Зайцев В.Н. и др. 1989. Геокриология СССР. Восточная Сибирь и Дальний Восток. М., Недра, 515.

Romanovskij N.N., Gavrilov A.V., Zajcev V.N. et al. 1989. Geokriologija SSSR. Vostochnaja Sibir' i Dal'nij Vostok [Geocryology of USSR. Eastern Siberia and the Far East]. Moscow, Nedra, 515. (in Russian)

12. Соколов О.В., Ушаков М.В. 2012. Учет климатических изменений при прогнозировании притока воды в Колымское водохранилище на май. *Труды Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова*, 566: 289–297.

Sokolov O.V., Ushakov M.V. 2012. Accounting for climate change in the prediction of water inflow in the Kolyma reservoir in May. *Trudy Glavnoj geofizicheskoj observatorii im. A.I. Voejkova*, 566: 289–297. (in Russian)

13. Ушаков М.В. 2013. Влияние Колымской ГЭС и климатических изменений на гидрологический режим р. Колыма. *Вестник Северо-Восточного научного центра ДВО РАН*, (2): 20–24.

Ushakov M.V. 2013. Influence of the Kolyma hydroelectric power and climate change on the hydrological regime of the river Kolyma. *Bulletin of the North-East Scientific Center, Russia Academy of Sciences Far East Branch*, (2): 20–24. (in Russian)

14. Ушаков М.В. 2015. Характер многолетних колебаний минимального месячного стока Верхней Колымы за летне-осенний период (на примере притока воды к водохранилищу



Колымской ГЭС). В кн.: Научное обеспечение реализации «Водной стратегии Российской Федерации на период до 2020 г.». Т. 1. Петрозаводск, Карельский научный центр РАН: 206–210.

Ushakov M.V. 2015. The nature of long-term fluctuations of the minimum monthly runoff for the Verhnjaja Kolyma summer-autumn period (on an example of the flow of water to the reservoir Kolymskoj Hydroelectric power plant). *In: Nauchnoe obespechenie realizacii "Vodnoj strategii Rossijskoj Federacii na period do 2020 g."*. Т. 1 [Scientific support of implementation of the "Water Strategy of the Russian Federation for the period till 2020". Vol. 1]. Petrozavodsk, Karelian Research Centre of RAS: 206-210. (in Russian)

15. Ушаков М.В. 2016. Характер современного потепления климата в Магаданской области. *Вестник Северо-Восточного научного центра ДВО РАН*, (2): 29–33.

Ushakov M.V. 2016. The character of of modern global warming in the Magadan region. *Bulletin of the North-East Scientific Center, Russia Academy of Sciences Far East Branch*, (2): 29-33. (in Russian)

16. 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. Ocean general circulation model as a component of integrated global climate model Main Geophysical Observatory. *Russian Meteorology and Hydrology*, (3): 5–18. (in Russian)

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

Caturov Ju.S., Klepikov A.V. 2012. Sovremennoe izmenenie klimata Arktiki: rezul'taty novogo ocenochного doklada Arkticheskogo soveta [Modern climate change in the Arctic: results of a new assessment report of the Arctic Council]. *Arctic: ecology and economy*, (4): 76–81. (in Russian)

18. Шило Н.А. (ред.). 1970. Север Дальнего Востока. М., Наука, 487.

Shilo N.A. (red.). 1970. Sever Dal'nego Vostoka [North of Far-East]. Moscow, Nauka, 487. (in Russian)

19. 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.

20. 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: 1743–1763.

21. Glotov V.E., Glotova L.P., Ushakov M.V. 2015. Groundwater Resources in the Kolyma River Valley and Their Changes Caused by the Operation of the Kolyma Hydropower Plant. *Water Resources*, 42 (7): 869–875.

22. Lammers R.B., Shiklomanov A.I., Vorosmarty C.J., Fekete B.M., Peterson B.J. 2001. Assessment of contemporary Arctic river runoff based on observational discharge records. *Journal of Geophysical Research*, 106 (D4): 3321–3334.

23. Shiklomanov A.I., Lammers R.B. 2013. Changing Discharge Patterns of High-Latitude Rivers. *In: Climate Vulnerability: Understanding and Addressing Threats to Essential Resources*. Elsevier: 161–175.