

2. Встовская Т.Н., Коропачинский И.Ю. Древесные растения Центрального сибирского ботанического сада. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2005. – 235 с.
3. Некрасов В.И. Естественный и искусственный отбор в интродукции древесных растений // Лесоведение. – 1991. – № 1. – С. 63–66.
4. Царев А.П., Погиба С.П., Тренин В.В. Селекция и репродукция лесных древесных пород. – М.: Логос, 2002. – 520 с.
1. Bulygin N.E., YArmishko V.T. Dendrologiya. – М.: Lesn. prom-st', 2001. – 528 s.
2. Vstovskaya T.N., Koropachinskij I.Yu. Drevesnye rasteniya Central'nogo sibirskogo botanicheskogo sada. – Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2005. – 235 s.
3. Nekrasov V.I. Estestvennyj i iskusstvennyj otbor v introdukcii drevesnyh rastenij // Lesovedenie. – 1991. – № 1. – S. 63–66.
4. Carev A.P., Pogiba S.P., Trenin V.V. Selekcija i reprodukcija lesnyh drevesnyh porod. – М.: Logos, 2002. – 520 s.

Literatura

УДК 630*116.2(571.53+571.54)

Д.А. Прысов, А.В. Мусохранова

ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ГОДОВОЙ СТОК РЕК КРИОЛИТОЗОНЫ СРЕДНЕЙ СИБИРИ*

D.A. Prysov, A.V. Musokhranova

THE INFLUENCE OF CLIMATIC FACTORS ON THE ANNUAL FLOW OF THE RIVERS OF THE PERMAFROST ZONE OF SIBERIA

Статья посвящена вопросу о влиянии климатических факторов на годовой сток рек. Актуальность результатов изучения годового стока рек криолитозоны Средней Сибири обусловлена масштабами и интенсивностью проявления последствий климатических изменений для гидрологического режима территорий распространения вечной мерзлоты. Целью исследования является анализ зависимости изменения годового стока рек криолитозоны Средней Сибири от климатических факторов. Были использованы фондовые материалы Управления гидрометеорологической службы – данные многолетних наблюдений за стоком на гидрологических постах и атмосферными осадками на метеостанциях исследуемого района, а также использовались справочные данные. Длительность рядов наблюдений на отдельных объектах составляет более 50 лет и включает годы с различной гидроклиматической обстановкой. При обработке и анализе данных при построении зависимости годового стока рек от климатических факторов использовался метод множественного регрессионного анализа. Проведено исследование годового стока рек на территории девяти

водосборных бассейнов криолитозоны Средней Сибири. Были получены уравнения, отражающие зависимость годового стока рек от комплекса гидро-климатических параметров. Несмотря на то, что роль климатических факторов в формировании годового стока криолитозоны является ведущей, другие факторы, такие как лесная растительность, почвы, размеры и геологические особенности водосборов, также имеют большое значение. Анализ гидрологических моделей свидетельствует о том, что их годовой сток достоверно связан с комплексом гидроклиматических параметров. Для всех водотоков увеличение стока связано с ростом годовой величины атмосферных осадков и снижается с ростом майских температур воздуха. Увеличение годового стока также связано с ростом температуры воздуха в июне и сентябре, что косвенно свидетельствует о том, что в формировании стока рек определенное участие принимает мерзлотная влага периодически оттаивающих верхних горизонтов почв.

Ключевые слова: годовой сток, климатические факторы, криолитозона Средней Сибири.

*Работа выполнена при поддержке гранта правительства РФ № 14.В25.31.0031.

The article is devoted to the question of the influence of climatic factors on the annual flow of the rivers. The relevance of the results of the examination of the annual rivers runoff in the permafrost zone of Central Siberia due to the scale and intensity of impacts of climate change on the hydrological regime of the territories of permafrost. The aim of the study was to analyze the dependence of changes of annual runoff of rivers of the permafrost zone of Central Siberia from climatic factors. Stock materials of the hydro meteorological service administration were used – they were long-term observations of runoff at hydrological stations and the precipitation at the meteorological stations of the study area and reference data. The duration of observations at individual facilities is more than 50 years and includes years with different hydro-climatic setting. In the processing and analysis of data for construction of the dependence of the annual runoff from climatic factors was used the method of multiple regression analysis. A study of the annual flow of rivers on the territory of the nine catchments in the permafrost zone of Middle Siberia was performed. Equations reflecting the dependence of annual runoff of rivers from the complex hydro-climatic parameters were obtained. Despite the fact that the role of climatic factors in the formation of annual runoff in the cryolithic zone is leading, other factors such as forest vegetation, soils, sizes and geological features of the watershed, are also important. Analysis of hydrological models suggests that their annual runoffs are strongly associated with a complex of hydro-climatic parameters. For all watercourses, increased runoff was associated with the increase in annual values of precipitation and decreases with increasing may temperatures. The increase in annual runoff is also associated with the growth of air temperature in June and September, which indirectly indicates that in the formation of the river flow a certain part adopts cryogenic moisture of periodically thawed upper soil horizons.

Key words: annual flow, climatic factors, permafrost zone of Central Siberia.

Введение. В формировании гидрологического режима участвует сложный комплекс разнообразных физико-географических условий. На первом месте среди этих факторов стоит кли-

мат. Климат определяет приходную часть водного баланса (осадки, снежный покров) и потенциальные возможности расходования почвенной влаги на испарение и транспирацию. Климат влияет на сток и через почвенный покров, и через растительность, благодаря тому, что их генетические свойства также связаны с климатом [5].

По имеющимся оценкам, глобальное изменение климата будет наиболее интенсивным в области высоких широт северного полушария и вызовет заметные изменения вечной мерзлоты (ее таяние). Более высокая температура воздуха как в зимний, так и в летний период будет способствовать увеличению температуры мерзлых грунтов и более глубокому сезонному протаиванию. Впоследствии произойдет сокращение площади распространения приповерхностной вечной мерзлоты, часть ее перейдет в реликтовую форму, а там, где она сохранится, увеличится глубина сезонного протаивания. Большинство прогнозов по моделям теории климата предсказывает более сильное потепление высоких широт северного полушария по сравнению с другими регионами мира [12]. Аналогичный вывод следует и из анализа данных наблюдений [1, 10, 13, 14]. Важным регулятором таких изменений является вечная мерзлота.

В криолитозоне Средней Сибири вопрос о влиянии климатических факторов на годовой сток рек изучен в меньшей степени, поэтому данная научная статья посвящена этому вопросу.

Актуальность результатов изучения годового стока рек криолитозоны Средней Сибири обусловлена масштабами и интенсивностью проявления последствий климатических изменений для гидрологического режима территорий распространения вечной мерзлоты.

Цель исследований: проанализировать зависимость изменения годового стока рек криолитозоны Средней Сибири от климатических факторов.

Объекты и методы исследований. Для изучения влияния климатических факторов на годовой сток рек криолитозоны Средней Сибири были выбраны девять водосборных бассейнов. Рассматривая расположение бассейнов исследуемых рек на территории Средней Сибири, мы придерживались лесорастительного райониро-

вания А.И. Короткова [3]. Водосборные бассейны четырех рек – Курейки, Горбиачина, Гравийки и Советской речки – расположены в зоне лесотундр и северных редколесий на плато Путорана. Реки Турухан, Ерачимо и Тембенчи принадлежат бассейну реки Нижняя Тунгуска, их бассейны находятся в зоне северной тайги. Водосборные бассейны Подкаменной Тунгуски и Таймуры охватывают значительную часть Среднесибирского плоскогорья, в зональном отношении – это средняя тайга. Характеристика водосборных бассейнов исследуемых рек представлена в таблице 1.

Источником питания исследуемых рек являются талые воды сезонных снегов, дождевые и подземные воды. Кроме того, в пределах водосборов присутствует многолетняя мерзлота, которая непосредственным образом влияет на годовой сток, а именно в формировании стока определенное участие принимает мерзлотная влага периодически оттаивающих верхних горизонтов почв [7, 9].

Для анализа годового стока рек криолитозоны Средней Сибири были использованы фондовые материалы Управления гидрометеорологической службы – данные многолетних наблюдений за стоком на гидрологических постах и атмосферными осадками на метеостанциях исследуемого района [15], а также использовались справочные данные [8]. Длительность рядов наблюдений на отдельных объектах составляет более 50 лет и включает годы с различной гидроклиматической обстановкой.

При обработке и анализе данных при построении зависимости годового стока рек от климатических факторов использовался метод множественного регрессионного анализа [6].

Результаты исследований и их обсуждение. В результате обработки данных для каждого из водосборных бассейнов были получены уравнения, отражающие зависимость годового стока рек от комплекса гидроклиматических параметров. Полученные зависимости приведены в таблице 2.

Таблица 1

Характеристика рек криолитозоны Средней Сибири

Река	Местоположение гидропоста	Общая длина, км	Метеостанция	Длительность наблюдений	Площадь водосбора, км ²
Горбиачин	Горбиачин	239	Игарка	1982–2000 гг. (18 лет)	6250
Таймура	Кербо	454	Ванавара	1975–1993гг. (18 лет)	32500
Турухан	Фактория Янов Стан	639	Туруханск	1968–1993, 1994–2012 (42 года)	35800
Советская речка	пос. Советская Речка	98	Туруханск	1975–2012 (37 лет)	1820
Тембенчи	Тембенчи	574	Ванавара	1967–1994 (27 лет)	21600
Гравийка	Игарка	45	Игарка	1940–1993 (53 года)	337
Ерачимо	Большой Порог	218	Туруханск	1968–2012 44 года	9140
Курейка	Курейская ГЭС	888	Туруханск	1968–1998 (30 лет)	44700
Подкаменная Тунгуска	Фактория Кузьмовка	1865	Ванавара	1983–2012 (29 лет)	240000

Модели годового стока

№ п/п	Река	Уравнение	R ²	G	F
1	Горбиачин	$Y = -517.5 + 0.69 X_j + 2.9 X_t + 5.7 T_7$	0.84	46.3	28.1
2	Таймура	$Y = -250.5 + 0.50 X_t + 10.6 T_7 + 0.57 X_8$	0.73	27.7	13.7
3	Турухан	$Y = 115.3 + 0.39 X_j + 0.53 X_t - 2.69 T_{(5+6)}$	0.45	44.0	10.9
4	Советская речка	$Y = 157.9 + 0.26 X_j + 0.41 X_t - 10.1 T_5$	0.30	46.6	4.9
5	Тембенчи	$Y = -447.7 + 1.5 X_t + 32.0 T_7 + 1.7 X_9$	0.57	55.5	10.6
6	Гравийка	$Y = 62.7 + 0.50 X_j + 1.1 X_t - 12.2 T_5$	0.46	76.7	14.3
7	Ерачимо	$Y = 154.5 + 0.37 X_p + 0.58 X_j - 10.1 T_5$	0.46	57.5	11.4
8	Курейка	$Y = -6.3 + 0.9 X_j + 9.4 T_9 + 0.00108 (X_p X_t)$	0.63	60.4	15.1
9	Подкаменная Тунгуска	$Y = 51.3 + 0.15 X_j + 0.41 X_t - 3.2 T_5$	0.70	19.4	20.3

Примечание: Y – годовой сток, мм; X_j – годовое количество жидких атмосферных осадков, мм; X_t – годовое количество твердых атмосферных осадков, мм; X_p – сток предыдущего года, мм; T_5, T_6, T_7, T_9 – среднемесячная температура воздуха соответственно в мае, июне, июле и сентябре, °C; X_8, X_9 – среднемесячные осадки соответственно в августе и сентябре, мм; R^2 – коэффициент множественной детерминации; G – стандартная ошибка уравнения; F – критерий Фишера.

Анализ гидрологических моделей свидетельствует о том, что сток рек достоверно связан с комплексом гидроклиматических параметров. Для данных водотоков увеличение стока связано с ростом годовой величины атмосферных осадков и снижается с ростом майских температур воздуха (Турухан, Советская, Ерачимо, Гравийка и Подкаменная Тунгуска). Для четырех рек – Тембенчи, Таймура, Горбиачин и Курейка – увеличение годового стока связано также с ростом июньских и сентябрьских температур воздуха, что косвенно свидетельствует о том, что в формировании стока этих рек определенное участие принимает мерзлотная влага периодически оттаивающих верхних горизонтов почв.

Анализ уравнений (1) и (2) свидетельствует о том, что годовой сток рек Горбиачина и Таймура возрастает с ростом жидких и твердых атмосферных осадков, июньских температур воздуха и августовских осадков. Увеличение стока с повышением температур воздуха в конце лета связано с оттаиванием верхних горизонтов мерзлотных почв (рис. 1) [2; 4; 7; 11].

По структуре полученных моделей (3), (4), (6) и (9) можно констатировать, что зависимость стока от климатических параметров имеет сложный характер. Для данных водотоков увеличение стока связано с ростом годовой величины жидких и твердых атмосферных осадков.

На водосборах этих рек наблюдается снижение стока с понижением майских температур воздуха, что связано, по-видимому, с ростом эвапотранспирации в весенний период (рис. 2) [2].

Анализ уравнения (7) свидетельствует о том, что годовой сток реки Ерачимо возрастает с ростом жидких атмосферных осадков и стока предыдущего года (рис. 3). Наиболее интенсивное возрастание наблюдается до значений, соответствующих величине стока предыдущего года, – 500–650 мм. Дальнейшее увеличение стока предыдущего года в меньшей степени сказывается на увеличении стока текущего года. Это может быть связано с влагоемкостью почв, которая определяет особенности консервации влаги, поступившей на водосбор в предшествующем году, и обеспечивает возможность ее участия в формировании стока последующего года. Снижение стока в мае объясняется эвапотранспирацией в весенний период.

Анализ модели (8) свидетельствует о том, что годовой сток реки Курейка возрастает с ростом жидких атмосферных осадков, сентябрьских температур воздуха, суммы стока предыдущего года и твердых осадков (рис. 4). В подзоне лесотундры, где распространены вечно мерзлотные почвы, в формировании годового стока определенное участие принимает мерзлотная влага периодически оттаивающих в весенне-летний период верхних горизонтов почв.

Об этом свидетельствует увеличение годового стока при повышении температуры в конце летнего периода, особенно отчетливо эта тенденция проявляется при сочетании повышенных

температур воздуха с выпадением жидких атмосферных осадков, проникающих к горизонту промерзания и вызывающих подтаивание мерзлоты [7].

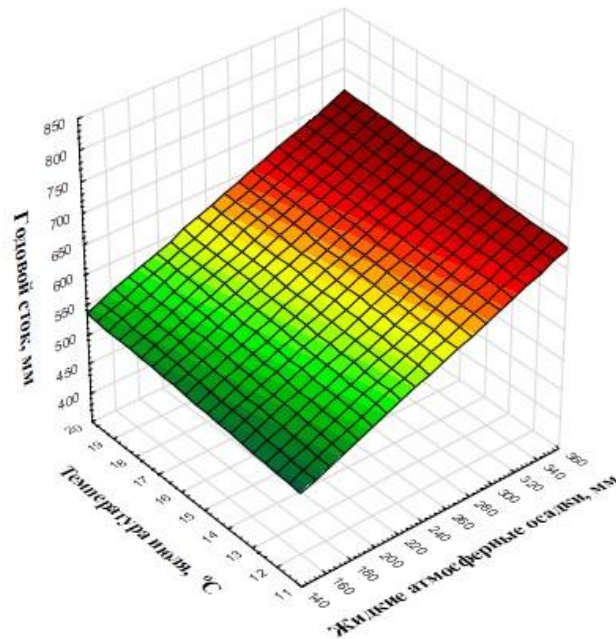


Рис. 1. Зависимость годового стока реки Горбиачин от количества жидких атмосферных осадков и июльских температур воздуха

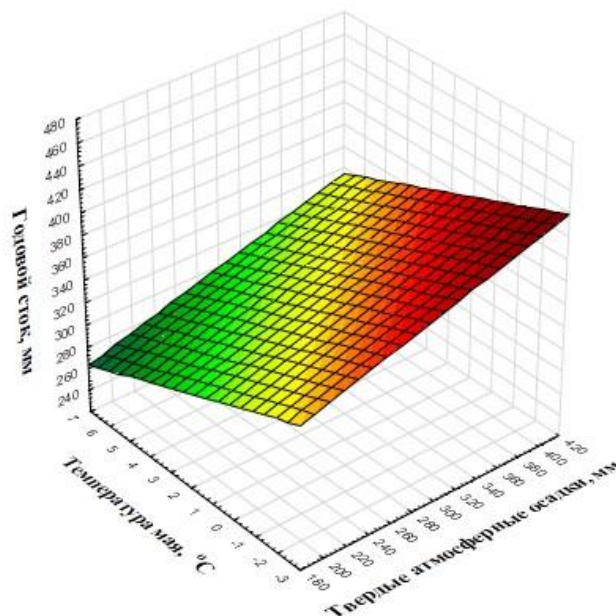


Рис. 2. Зависимость годового стока реки Советская речка от количества твердых атмосферных осадков и майских температур воздуха

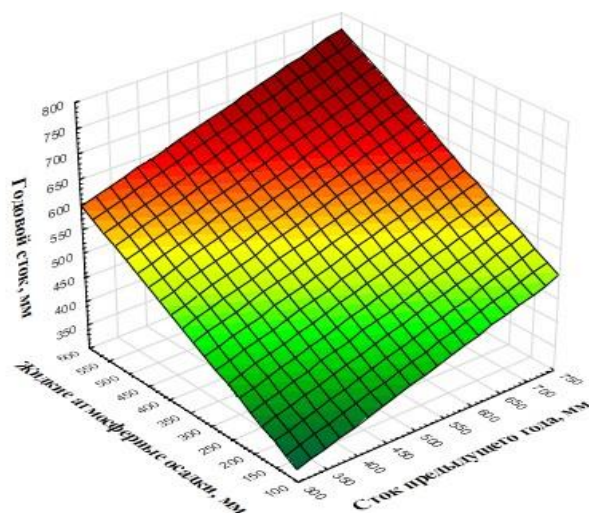


Рис. 3. Зависимость годового стока реки Ерачимо от стока предыдущего года и жидких атмосферных осадков

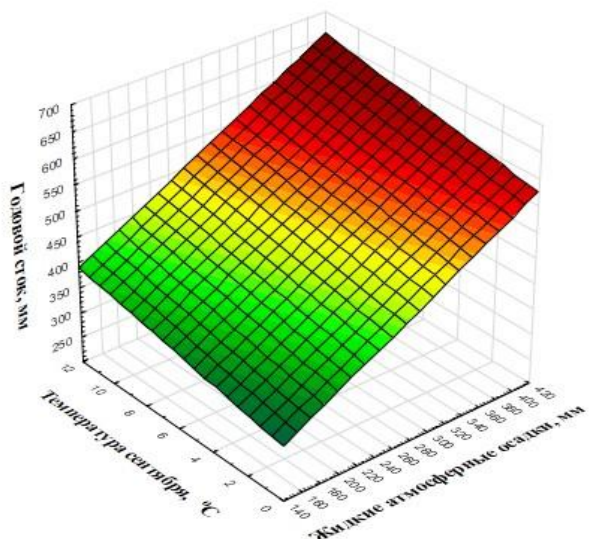


Рис. 4. Зависимость годового стока реки Курейка от количества жидких атмосферных осадков и сентябрьских температур воздуха

Заключение. Полученные результаты свидетельствуют о том, что годовой сток рек криолитозоны Средней Сибири достоверно связан с комплексом гидроклиматических параметров.

При анализе общих климатических закономерностей формирования стока рек в криолитозоне Средней Сибири необходимо отметить следующие тенденции. Роль жидких и твердых атмосферных осадков как фактора формирова-

ния стока возрастает от зоны тайги к зоне лесотундры, а роль летних температур, наоборот, снижается. На севере в условиях короткого и прохладного лета тепловая энергия в основном расходуется на таяние снежного покрова, прогревание и оттаивание верхних почвенных горизонтов. В этих условиях тепловой энергии недостаточно для того, чтобы обеспечить высокую испаряемость и существенно перераспределить

расходную составляющую водного баланса в пользу испарения, доля стока при любых наблюдаемых значениях метеозлементов существенно превышает долю, приходящуюся на испарение.

Литература

1. Анисимов О.А., Поляков В. К прогнозу изменения температуры воздуха для первой четверти XXI столетия // Метеорология и гидрология. – 1999. – № 2. – С. 25–31.
2. Влияние лесистости и климатических факторов на годовой сток рек Прииссыкулья / А.А. Онучин, К.К. Гапаров, Н.А. Михеева [и др.] // Лесоведение. – 2008. – № 6. – С. 42–52.
3. Коротков И.А. Лесорастительное районирование России и республик бывшего СССР // Углерод в экосистемах лесов и болот России. – Красноярск: Изд-во ИЛ СО РАН, 1994. – С. 29–47.
4. Лесогидрологические последствия рубок в условиях средней Сибири / А.А. Онучин, Т.А. Буренина, Н.В. Зирюкина [и др.] // Сибирский лесной журнал. – 2014. – № 1. – С. 110–118.
5. Львович М.И. Человек и воды. Преобразование водного баланса и речного стока. – М.: Географиз, 1963. – 567 с.
6. Львовский Е.Н. Статистические методы построения эмпирических уравнений. – М.: Высш. шк., 1988. – 239 с.
7. Онучин А.А. Влагооборот горных лесов Сибири: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. – Красноярск: Изд-во ИЛ СО РАН, 2003. – 42 с.
8. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 16, вып. 1–3. – Л.: Гидрометеиздат, 1973. – 724 с.
9. Средняя Сибирь. – М.: Наука, 1964. – 480 с.
10. Anisimov O.A. Predicting patterns of near-surface air temperature using empirical data // Climatic Change. – 2001. – №. 50. – P. 297–315.
11. Climatic and geographic patterns of river runoff formation in Northern Eurasia / A.A. Onuchin, H. Balzter, H. Borisova [et al.] // Adv. Water Res. – 2006. – V. 29. – №. 9. – P. 1314–1327.
12. Cubasch U., Meehl G.A. 2001. Projections of future climate change, in Climate Change 2001:

The Scientific Basis. Contribution of Working group I to the Third Assessment Report of the Inter-governmental Panel on Climate Change. Y.D. J.T. Houghton, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, C.A. Johnson. (Eds.). Cambridge University Press: P. 525–582.

13. Folland C.K., Karl T.R. 2001. Observed climate variability and change, in Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Y.D. J.T. Houghton, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, C.A. Johnson. (Eds.). Cambridge University Press: Cambridge. P. 99–181.
14. Observational evidence of recent change in the northern high-latitude environment / M.C. Serreze, J.E. Walsh, F.S. Chapin [et al.] // Climatic Change. – 2000. – №. 1–2. – P. 159–207.
15. URL: <http://meteo.krasnoyarsk.ru> (дата обращения 25.09.2013).

Literatura

1. Anisimov O.A., Polyakov V. K prognozu izmeneniya temperatury vozduha dlya pervoy chetverti XXI stoletiya // Meteorologiya i gidrologiya. – 1999. – № 2. – S. 25–31.
2. Vliyaniye lesistosti i klimaticheskikh faktorov na godovoy stok rek Priissykkul'ya / A.A. Onuchin, K.K. Gaparov, N.A. Miheeva [i dr.] // Lesovedenie. – 2008. – № 6. – S. 42–52.
3. Korotkov I.A. Lesorastitel'noe rajonirovanie Rossii i respublik byvshego SSSR // Uglerod v ehkositemah lesov i bolot Rossii. – Krasnoyarsk: Izd-vo IL SO RAN, 1994. – S. 29–47.
4. Lesogidrologicheskie posledstviya rubok v usloviyah srednej Sibiri / A.A. Onuchin, T.A. Burenina, N.V. Ziryukina [i dr.] // Sibirskij lesnoj zhurnal. – 2014. – № 1. – S. 110–118.
5. L'vovich M.I. CHelovek i vody. Preobrazovanie vodnogo balansa i rechnogo stoka. – M.: Geografiz, 1963. – 567 s.
6. L'vovskij E.N. Statisticheskie metody postroeniya ehmpiricheskikh uravnenij. – M.: Vyssh. shk., 1988. – 239 s.
7. Onuchin A.A. Vлагооборот gornyh lesov Sibiri: avtoref. dis. ... d-ra biol. nauk. – Krasnoyarsk: Izd-vo IL SO RAN, 2003. – 42 s.

8. Resursy poverhnostnykh vod SSSR. T. 16, vyp. 1–3. – L.: Gidrometeizdat, 1973. – 724 s.
9. Srednyaya Sibir'. – M.: Nauka, 1964. – 480 s.
10. Anisimov O.A. Predicting patterns of near-surface air temperature using empirical data // Climatic Change. – 2001. – №. 50. – R. 297–315.
11. Climatic and geographic patterns of river runoff formation in Northern Eurasia / A.A. Onuchin, N. Balzter, N. Borisova [et al.] // Adv. Water Res. – 2006. – V. 29. – №. 9. – P. 1314–1327.
12. Cubasch U., Meehl G.A. 2001. Projections of future climate change, in Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Y.D. J.T. Houghton, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, C.A. Johnson. (Eds.). Cambridge University Press: P. 525–582.
13. Folland C.K., Karl T.R. 2001. Observed climate variability and change, in Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Y.D. J.T. Houghton, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, C.A. Johnson. (Eds.). Cambridge University Press: Cambridge. P. 99–181.
14. Observational evidence of recent change in the northern high-latitude environment / M.C. Serreze, J.E. Walsh, F.S. Chapin [et al.] // Climatic Change. – 2000. – №. 1–2. – P. 159–207.
15. URL: <http://meteo.krasnoyarsk.ru> (data obrashcheniya 25.09.2013).