

УДК 556.16.06
М.В. Ушаков

Пространственно-временные колебания стока весеннего половодья на реках Верхней Колымы

ФГБУН «Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н.А. Шило»
Дальневосточного отделения РАН, г. Магадан, Российская Федерация
e-mail: mvilorich@narod.ru

Аннотация. Изучены пространственно-временные колебания суммарного слоя стока рек Верхней Колымы за период весеннего половодья. В пространственном распределении отмечается увеличение слоя стока с северо-запада на юго-восток, что согласуется с распределением максимальных запасов воды в снежном покрове. Временные колебания хорошо коррелированы по площади. Спектральный анализ ряда суммарного слоя притока к водохранилищам каскада ГЭС на реке Колыме за период половодья выявил цикличность с периодами 2 и 6 лет. Многолетние колебания слоев стока могут рассматриваться как сложный Марковский процесс. Ряды слоев стока не имеют трендов, однако имеются тренды на повышение в колебаниях максимальных снеговых запасов и температуры воздуха в период прохождения половодья. На основе скользящей регрессии получен удовлетворительный метод долгосрочного прогноза притока воды к каскаду водохранилищ на р. Колыме. Успешность проверочных прогнозов составила 80,6%.

Ключевые слова: весеннее половодье, слой стока, каскад водохранилищ, тренд, спектральный анализ, долгосрочный прогноз, корреляционная матрица

Введение

В умеренных и северных широтах России важную роль в жизни рек и общества занимает весеннее половодье. Водные ресурсы Верхней Колымы используются в горной промышленности, энергетике, коммунальном хозяйстве, судоходстве, рыболовстве. В период прохождения половодья не редки случаи наводнений. На р. Колыме работает каскад из двух ГЭС, для которых были созданы два водохранилища (Табл. 1). Поэтому понятна необходимость изучения пространственно-временных колебаний стока рек за период половодья. Актуальность работы обусловлена еще и наблюдающимся потеплением климата на Земле [9; 13; 4], которое ощутимо сказывается и на гидрологическом режиме рек [24, 20; 22].

Таблица 1.

Характеристики водохранилищ на р. Колыме

Площадь водосбора, км ²	Расстояние плотины от устья, км	Полный объем, км ³	Средний напор, м
Колымское водохранилище			
61500	1850	14,4	112
Усть-Среднеканское водохранилище			
37600	1677	5,44	55,0

Цель данной работы получить представление о пространственно-временных колебаниях стока за период половодья и разработать метод долгосрочного прогноза притока воды за этот период к каскаду водохранилищ на р. Колыме. Пространственно-временным колебаниям стока на реках Верхней Колымы за различные фазы водного режима и их прогнозам посвящено ряд работ [21; 11; 14; 15].

Под Верхней Колымой понимается водосборная площадь р. Колымы до плотины Усть-Среднеканской ГЭС. Рассматриваемая территория расположена в зоне сплошного распространения многолетней мерзлоты [2], которая прерывается таликами, приуроченными к поймам рек [5; 3].

В теплую часть года протекает основная масса воды 90-99%. В период весеннего половодья в реках протекает 30-40% годового стока [10]. В июле-сентябре наблюдается летняя межень, прерываемая дождевыми паводками. С октября по май, малые реки и ручьи полностью промерзают.

Весеннее половодье главным образом формируется тальми водами и атмосферными осадками выпадающими в период его прохождения, а также термическими условиями в период снеготаяния. Максимум снегонакопления приходится на вторую, третью декаду апреля.

Материалы и методы

Для исследования были выбраны шесть пунктов, на которых еще продолжаются наблюдения за речным стоком (Табл. 2, Рис. 1). Данные о слоях стока за период весеннего половодья взяты из [7] и Гидрологических ежегодников Государственного водного кадастра за 1981–2016 гг. Данные о слоях притока воды к каскаду водохранилищ на р. Колыме заимствованы из Фонда научно-оперативных материалов по гидрологическим прогнозам Колымского УГМС.

Статистические параметры рассчитывались в соответствии с рекомендациями, изложенными в [12]. Оценка внутрирядной однородности производилась по критериям Стьюдента и Фишера. Отношение коэффициента асимметрии к коэффициенту вариации (C_S/C_V) определялось по критерию $n\omega^2$ [18].

Таблица 2.

Статистические параметры слоя стока к каскаду водохранилищ на
р. Колыме за период весеннего половодья

№№ по рис. 1	Река – пункт (площадь водосбора, км ²)	Длина ряда, лет	Среднее, мм	σ , мм	C_V	C_S/C_V	Однородность по	
							среднему	дисперсии
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Талок – устье (65,2)	49	51	43,4	0,85	4	да	нет
2	Контактный – Нижний (21,3)	69	101	48,5	0,48	2	да	да
3	Омчак – Омчак (151)	46	100	62,0	0,62	2	да	да

Продолжение таблицы 2.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
4	Детрин – устье р. Омчука (3490)	61	114	67,3	0,59	2	да	да
5	Ягодный – в 3,4 км от устья (100)	57	93	48,4	0,52	1,5	да	да
6	Плотина Усть-Среднеканской ГЭС (99400)	83	104*	45,0	0,43	2,5	да	да

Примечание: 1. σ – среднеквадратичное отклонение; C_V – коэффициент вариации; C_S – коэффициент асимметрии.
2. * – слой притока.

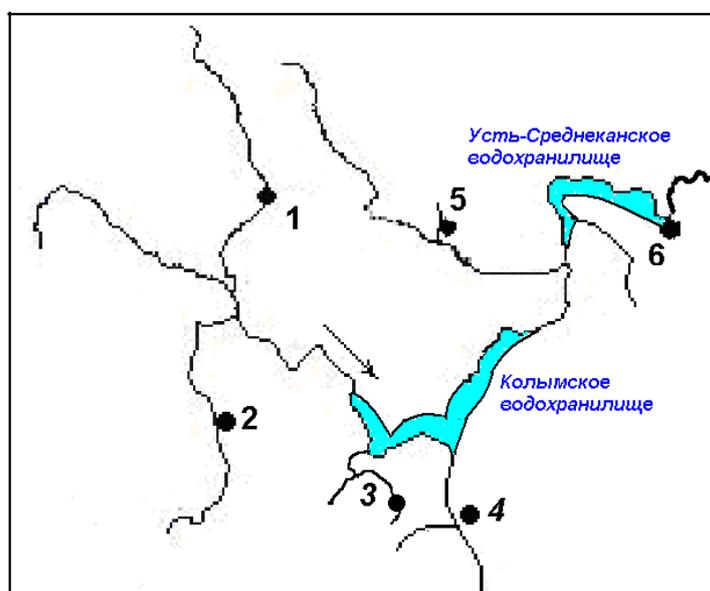


Рис. 1. Схема гидрологических постов, изучающих сток, на реках Верхней Колымы.

Ряд притока воды к каскаду ГЭС на р. Колыме как самый длинный (83 года) был подвергнут спектральному анализу. Спектральная функция рассчитывалась по известной формуле [17]

$$S(T) = 1/2\pi + \sum_{\tau=1}^m [(0,54 + 0,46 \cos(\pi\tau / m))r(\tau) \cos(2\pi\tau / T)] / \pi, \quad (1)$$

где T – период ($T = 1, 2, \dots, m$ лет); τ – сдвиг по времени с дискретностью 1 год; m – максимальный сдвиг по τ ($m = n/2$ лет); $r(\tau)$ – ординаты автокорреляционной функции.

Погодичные величины средневзвешенных максимальных в году запасов воды в снежном покрове на водосборной площади каскада водохранилищ считались по формуле

$$S = 0,26S_1 + 0,22S_2 + 0,35S_3 + 0,17S_4, \quad (2)$$

где S_1, S_2, S_3, S_4 – максимальные снегозапасы на метеорологических станциях Сусуман, Бохапча, Кулу, Усть-Омчуг.

В работе анализировались взаимные корреляционные функции связи слоя притока и различных индексов атмосферной циркуляции, электронная база которых имеется на сайте Центра предсказания климата США [23]. Как было установлено выше, слой стока не имеет тренда, однако имеются тренды в колебаниях снеговязов и средней температуры воздуха в период половодья (Рис. 2), что говорит о нестационарности условий формирования стока. В такой ситуации для долгосрочного прогноза притока можно использовать метод скользящей регрессии, как это было сделано, например, в [16]. Суть этого метода заключается в том, что по скользящей обучающей выборке ежегодно уточняются коэффициенты уравнения регрессии [6].

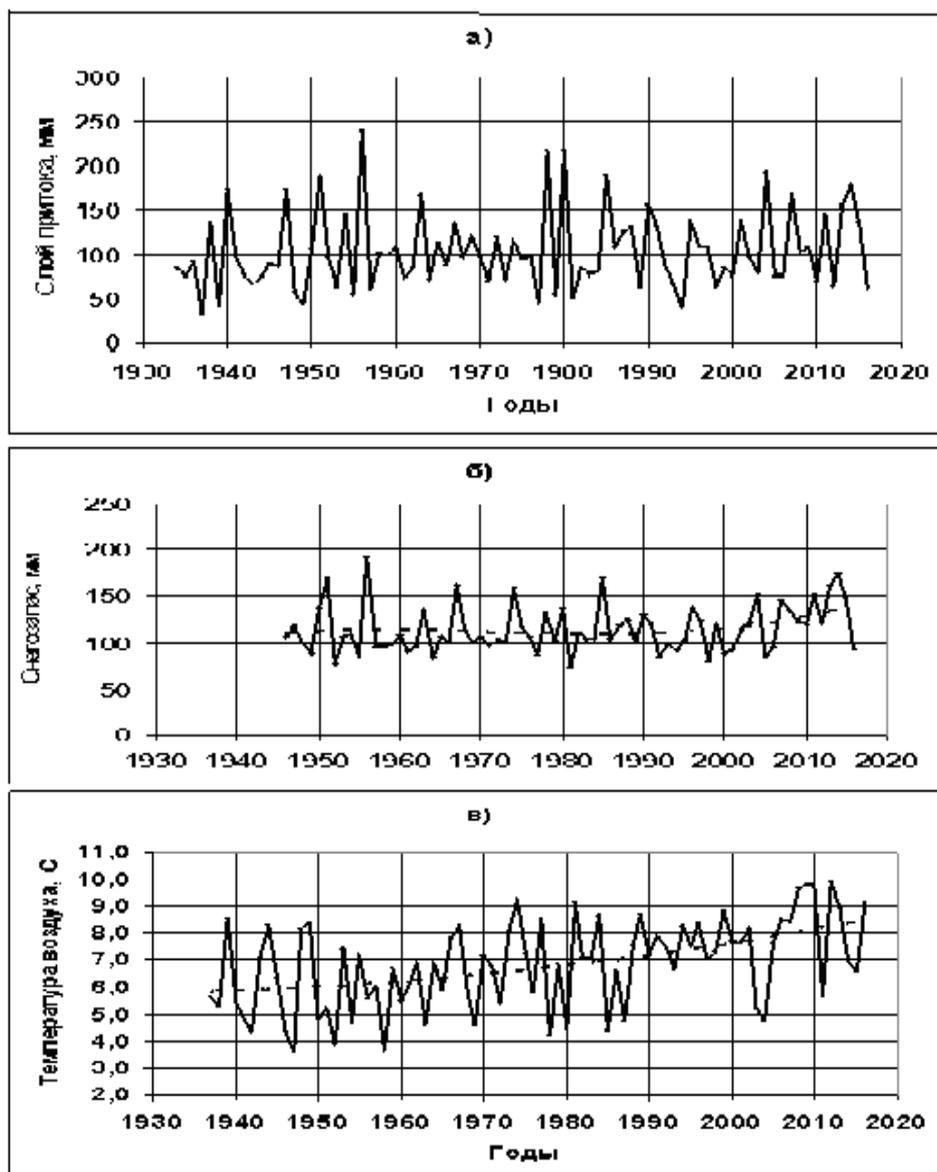


Рис. 2. Многолетние флуктуации притока воды к каскаду водохранилищ за период половодья (а), максимальных запасов воды в снежном покрове (б), средней температуры воздуха в г. Сусумане за май-июнь (в). Пунктиром проведены линии тренда.

Многолетние данные о температуре воздуха и количестве осадков получены в электронной базе данных на сайте Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации–Мирового центра данных [1].

Результаты и их обсуждение

Нормы слоев стока за период весеннего половодья на реках Верхней Колымы лежат в пределах 51–114 мм (Табл. 2, Рис. 3). Пространственное распределение слоя стока согласуется с увеличением максимальных за зиму снегозапасов с северо-запада на юго-восток [10].

В многолетнем ходе слою стока половодья довольно хорошо связаны между собой (Табл. 3) за исключением руч. Талок, сток которого формируется главным образом с заболоченной местности. Можно сделать вывод, что колебания стока представляют собой реализацию одного случайного процесса.

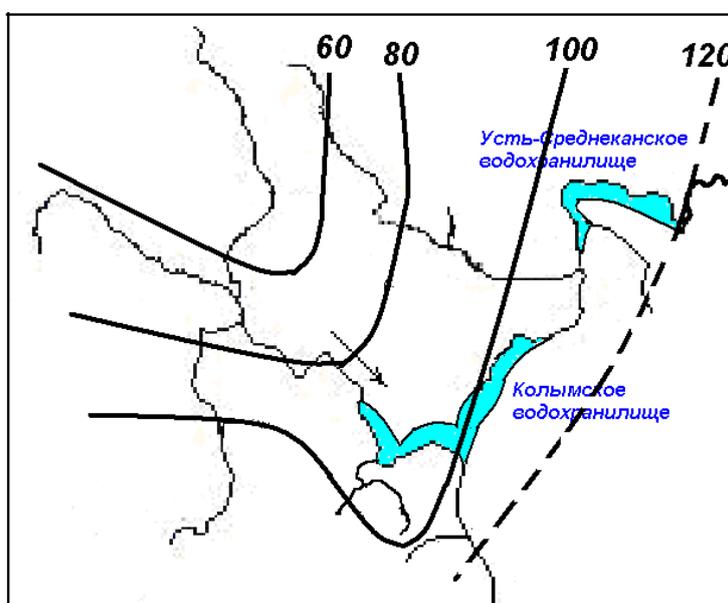


Рис. 3. Слой стока весеннего половодья на реках Верхней Колымы (мм).

Таблица 3

Корреляционная матрица слоя стока за период весеннего половодья

Река – пункт	Талок – устье	Контактовый – Нижний	Омчак – Омчак	Детрин – устье р. Омчука	Ягодный – в 3,4 км от устья	Плотина Усть-Среднеканской ГЭС
Талок – устье	1	0,48	0,36	0,08	0,27	0,44
Контактовый – Нижний	0,48	1	0,63	0,60	0,51	0,68
Омчак – Омчак	0,36	0,63	1	0,45	0,43	0,59
Детрин – устье р. Омчука	0,08	0,60	0,45	1	0,51	0,77
Ягодный – в 3,4 км от устья	0,27	0,51	0,43	0,51	1	0,63
Плотина Усть-Среднеканской ГЭС	0,44	0,68	0,59	0,77	0,63	1

Пространственная корреляционная функция не имеет определенных закономерностей (Рис. 4.).

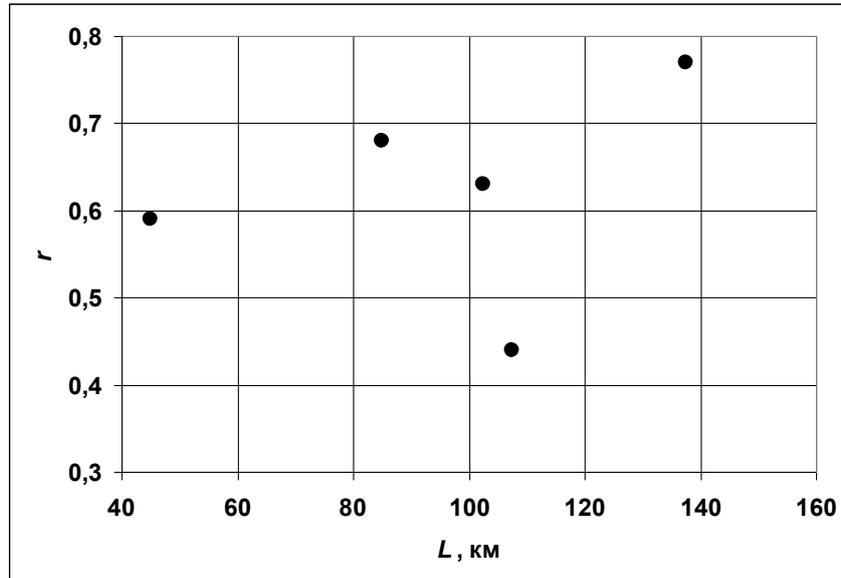


Рис. 4. Пространственная корреляционная функция $r(L)$, рассчитанная относительно створа Плотины Усть-Среднеканской ГЭС.

Спектральная функция притока с уровнем значимости 5% имеет гармоники на периодах 2 и 6 лет (Рис. 5.). Из этого можно сделать вывод, что многолетние колебания стока рек Верхней Колымы за период половодья и притока воды в водохранилища могут представлять из себя сложную цепь Маркова [17].

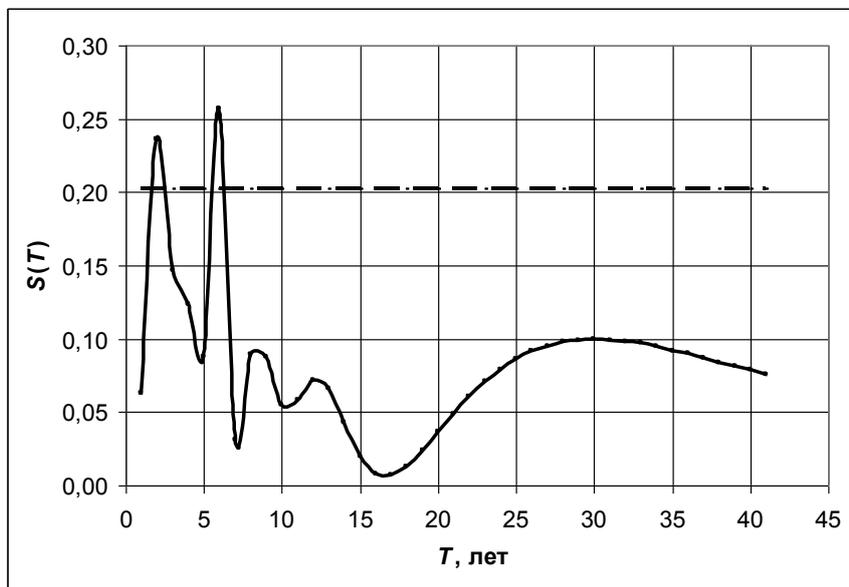


Рис. 5. Спектрограмма притока воды к Колымскому каскаду ГЭС за период весеннего половодья. Пунктирной линией обозначен доверительный уровень при уровне значимости 5%.

Слой притока воды к водохранилищам за период половодья хорошо связан со средневзвешенными по водосборной площади максимальными запасами воды в снежном покрове — коэффициент корреляции $r = 0,77$ (Рис. 6).

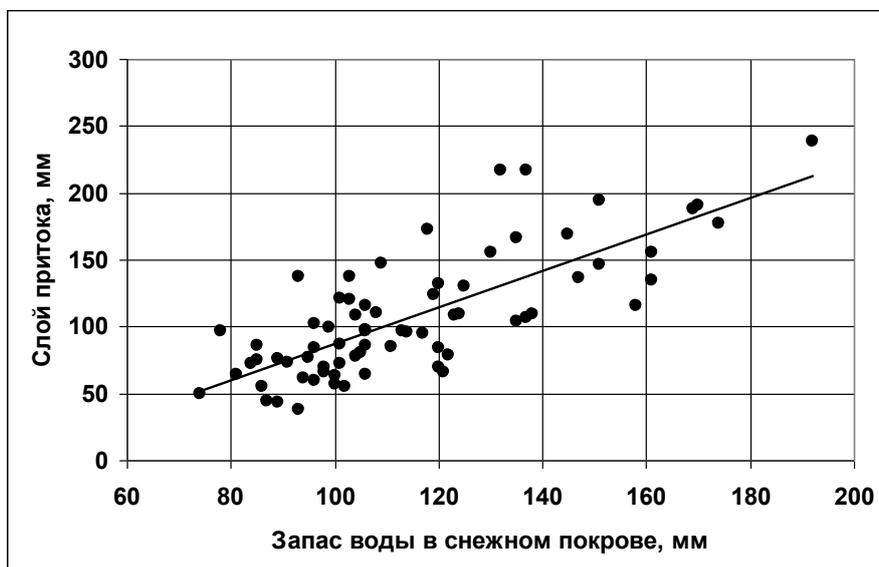


Рис. 6. Связь слоя притока воды к каскаду водохранилищ за период половодья с максимальными за зиму снегозапасами.

Анализ взаимных корреляционных функций выявил приемлемый предиктор — полярно-евразийский индекс за октябрь с временным лагом 6 лет (Табл. 4). Отобранный индекс связан с повышенным фоном температуры воздуха в Восточной Сибири [19]. Этот индекс, вероятно, как-то связан с количеством осадков и температурными условиями в период половодья, а лаг в 6 лет — с 6-летним циклом притока.

Таблица 4.

Матрица коэффициентов корреляции

Переменные	Приток, мм	Снегозапасы, мм	Полярно-евразийский индекс
Приток, мм	1	0,77	-0,41
Снегозапасы, мм	0,77	1	-0,23
Полярно-евразийский индекс	-0,41	-0,23	1

Попытка подключить показатель осенней увлажненности водосбора (приток за сентябрь предыдущего года) не привела к ожидаемому эффекту.

Учитывая происходящие климатические изменения, было получено прогностическое уравнение по скользящей обучающей выборке длиной 30 лет

$$h_i = a_i T_i + b_i P_{i-6} + c_i, \quad (3)$$

где a_i , b_i , c_i — коэффициенты скользящей регрессии (ежегодно меняются); S_i — средневзвешенные снегозапасы в год i ; P_{i-9} — полярно-евразийский индекс за октябрь в год $i-6$.

Параметры скользящей регрессии в уравнении (3) приведены в Табл. 5. Оправдываемость проверочных прогнозов составила 80,6%, отношение стандартного отклонения прогнозируемого ряда к среднеквадратичной ошибке прогнозов $\sigma/S=0,62$. В соответствии с [8] данный метод является удовлетворительным.

Таблица 5.
Проверочные прогнозы слоя притока к каскаду водохранилищ на р. Колыме за период весеннего половодья. Допустимая ошибка $\sigma_{\text{доп}} = 0,674\sigma = 30$ мм

Год	R	a	b	c	Факт, мм	Прогноз, мм	Ошибка, мм	Прогноз оправдался
1986	0,84	1,3	-14,2	-39,5	108	100	-8	да
1987	0,79	1,22	-14,4	-31,4	123	150	27	да
1988	0,79	1,2	-13,0	-28,4	129	127	-2	да
1989	0,79	1,22	-12,8	-31,0	62	87	25	да
1990	0,79	1,23	-13,1	-33,2	155	157	2	да
1991	0,8	1,23	-13,0	-33,3	131	114	-17	да
1992	0,8	1,25	-12,7	-34,3	85	63	-22	да
1993	0,79	1,21	-12,6	-29,3	66	80	14	да
1994	0,79	1,2	-12,4	-29,8	38	58	20	да
1995	0,8	1,23	-13,9	-34,0	136	83	-53	нет
1996	0,77	1,22	-12,8	-31,3	108	117	9	да
1997	0,77	1,19	-13,4	-28,4	108	107	-1	да
1998	0,78	1,34	-12,6	-43,5	64	50	-14	да
1999	0,79	1,31	-12,6	-39,5	83	112	29	да
2000	0,79	1,31	-13,1	-41,4	76	62	-14	да
2001	0,79	1,29	-12,9	-38,7	137	84	-53	нет
2002	0,77	1,2	-14,4	-26,7	96	117	21	да
2003	0,78	1,21	-14,7	-29,7	79	115	36	нет
2004	0,76	1,18	-15,2	-27,3	193	174	-19	да
2005	0,8	1,4	-13,3	-50,4	75	72	-3	да
2006	0,82	1,37	-14,8	-46,6	76	98	22	да
2007	0,82	1,42	-13,9	-52,4	168	144	-24	да
2008	0,81	1,47	-12,6	-56,8	103	157	54	нет
2009	0,82	1,29	-12,4	-40,7	107	133	26	да
2010	0,81	1,27	-11,3	-38,2	69	123	54	нет
2011	0,78	1,22	-6,7	-36,4	145	147	2	да
2012	0,77	1,21	-6,8	-35,3	65	117	52	нет
2013	0,74	1,21	-5,6	-35,6	154	165	11	да
2014	0,75	1,15	-6,0	-29,4	176	163	-13	да
2015	0,78	1,19	-5,3	-32,8	135	156	21	да
2016	0,74	1,12	-4,3	-25,1	61	84	23	да

Примечания: R — общий коэффициент корреляции; a , b , c — коэффициенты скользящей регрессии.

Надо заметить, при использовании скользящей регрессии проверочные прогнозы на независимом материале невозможны, поскольку происходит ежегодное уточнение параметров прогностического уравнения.

Выводы

Сток рек Верхней Колымы за период весеннего половодья увеличивается в направлении на юго-восток, что согласуется с распределением максимальных запасов воды в снежном покрове.

Многолетние колебания стока могут рассматриваться как сложный Марковский процесс с гармониками на периодах 2 и 6 лет.

Ряды стока не имеют трендов, однако имеются тренды на повышение в колебаниях максимальных снегозапасов и температуры воздуха за период половодья. Учитывая это, на основе скользящей регрессии получен удовлетворительный метод долгосрочного прогноза притока воды к каскаду водохранилищ на р. Колыме. Успешность проверочных прогнозов составила 80,6%.

Литература

1. ВНИИГМИ-МЦД. [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://meteo.ru/data> – дата обращения: 12.01.2018.
2. Геокриология СССР. Восточная Сибирь и Дальний Восток / Под ред. Э.Д. Ершова. М.: Недра, 1989. 515 с.
3. Глотов В.Е., Глотова Л.П. Общие закономерности подземного питания рек на Северо-Востоке России // Известия Самарского научного центра РАН, 2015. Т. 17, №6. С. 63–69.
4. Заявление ВМО о состоянии глобального климата в 2015 году. ВМО-№1167. Женева, Publications Board World Meteorological Organization, 2016, 26 с.
5. Калабин А.И. Вечная мерзлота и гидрогеология // Тр. ВНИИ-1. Т. 18. Магадан: ВНИИ-1, 1960. 472 с.
6. Лукашин Ю.П. Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования временных рядов. М.: Финансы и статистика, 2003. 416 с.
7. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Т. I, вып. 17. Л.: Гидрометеиздат, 1985. 429 с.
8. Наставление по службе прогнозов. Разд. 3. Ч. I. Служба гидрологических прогнозов. Прогнозы режима вод суши.: Гидрометеиздат, 1962. 193 с.
9. Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Т. 1: Изменение климата. М.: Росгидромет, 2008. 277 с.
10. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 19. Северо-Восток. Л., Гидрометеиздат, 1969. 282 с.
11. Соколов О.В., Ушаков М.В. Учет климатических изменений при прогнозировании притока воды в Колымское водохранилище на май // Труды ГГО. Вып. 566. 2012. С. 289–297.
12. СП 33-101-2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. М.: Госстрой России, 2004. 74 с.
13. Сточките Ю.В., Василевская Л.Н. Многолетние изменения температуры воздуха и почвы на Крайнем Северо-Востоке России // Географический вестник, 2016, №2 (37), С. 84–96.

14. Ушаков М.В. Методика прогноза притока воды к Колымскому водохранилищу на год и результаты ее оперативных испытаний // Информационный сборник Гидрометцентра России. 2008. №35. С. 146–148.
15. Ушаков М.В. О результатах производственных испытаний методики прогноза притока воды в Колымское водохранилище на третий квартал, июль и сентябрь месяцы // Информационный сборник Гидрометцентра России. 2010. №37. С. 77–83.
16. Ушаков М.В. Методика прогноза дат вскрытия верхнего судоходного участка р. Колыма в условиях нестационарности // Вестник Северо-Восточного научного центра ДВО РАН. 2018, №1. С. 49–55.
17. Шелутко В.А. Статистические модели и методы исследования многолетних колебаний стока. Л.: Гидрометеиздат, 1984. 160 с.
18. Шелутко В.А. Численные методы в гидрологии. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 239 с.
19. Barnston A.G., Livezey R.E. Classification, Seasonality and Persistence of Low-Frequency Atmospheric Circulation Patterns. Monthly Weather Review. 1987, vol. 11. No. 6. P. 1083–1126.
20. Gartsman B.I., Lupakov S.Yu. Effect of Climate Changes on the Maximal Runoff in the Amur Basin: Estimation Based on Dynamic–Stochastic Simulation. Water Resources, 2017, vol. 44(5), P. 697–706.
21. Lobanov S.A., Ushakov M.V. The river water resources of the Magadan region and their long-term variability // Geography and natural resources, 2008, Vol. 29. No 3. P. 247–250.
22. Mikhailov V.N., Mikhailova M.V. Natural and Anthropogenic Long-Term Variations of Water Runoff and Suspended Sediment Load in the Huanghe River // Water Resources, 2017, Vol. 44, No. 6, P. 793–807, DOI: 10.1134/S0097807817060057.
23. US Climate Prediction Center. URL: <http://ftp.cpc.ncep.noaa.gov/> – date of the application 06.08.2019.
24. Woo M., 1990. Consequences of Climatic Change for Hydrology in Permafrost Zones. Journal of Cold Regions Engineering, Vol. 4, No. 1, P. 15-20.

M.V. Ushakov

***Space-temporary oscillations of the spring
flood runoff on the rivers of the Upper Kolyma***

Northeastern Integrated Research Institute. N.A. Shilo,
Far Eastern Branch, RAS, Magadan, Russian Federation
e-mail: mvilorich@narod.ru

Abstract. *The space-temporal fluctuations of the total runoff layer of the Upper Kolyma rivers during the spring flood were studied. The spatial distribution shows an increase in the runoff layer from northwest to southeast, which is consistent with the distribution of the maximum water reserves in the snow cover. Temporal fluctuations are well correlated on area. A spectral analysis of a series of the total inflow layer to the reservoirs of the hydroelectric power station cascade on the Kolyma River during the flood period revealed a cyclical pattern with periods of 2 and 6 years. Long-term fluctuations of runoff layers can be considered as a complex Markov process. The rows of runoff layers have no trends, however, there are trends towards an increase in fluctuations in maximum snow reserves and air temperature during floods. On the basis of rolling regression, a satisfactory method was obtained for a long-term forecast of*

water inflow to the cascade of reservoirs on the Kolyma River. The success of verification forecasts was 80.6 %.

Keywords: *spring flood, runoff layer, cascade of reservoirs, trend, spectral analysis, long-term forecast, correlation matrix*

Reference

1. VNIIGMI-MCD [RIHMI-WDC]. URL: <http://meteo.ru/data> – date of the application 01/12/2018]. (in Russian).
2. Geokriologija SSSR. Vostochnaja Sibir' i Dal'nij Vostok [Geocryology of the USSR. Eastern Siberia and the Far East] / ed. by Je.D. Ershov. M., Nedra, 1989, 516 p. (in Russian).
3. Glotov V.E., Glotova L.P. Obshhie zakonomernosti podzemnogo pitaniya rek na Severo-Vostoke Rossii [General patterns of underground river nutrition in the North-East of Russia] // Bulletin of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 2015. Vol. 17, No. 6. S. 63–69. (in Russian).
4. WMO statement on the status of the global climate in 2015. WMO-No. 1167. Geneva, Publications Board World Meteorological Organization, 2016, 26 s. (in Russian).
5. Kalabin A.I. Vechnaja merzlota i gidrogeologija [Permafrost and hydrogeology]. Proceedings VNII-1. T. 18. Magadan: VNII-1, 1960. 472 s. (in Russian).
6. Lukashin Ju.P. Adaptivnye metody kratkosrochnogo prognozirovaniya vremennyh rjadov [Adaptive methods of short-term time series forecasting]. Moscow: Finansy i statistika (Publ.), 2003, 416 s. (in Russian).
7. Long-term data on the regime and resources of land surface water. Vol. I, Iss. 17, Leningrad., Gidrometeoizdat, 1985, 429 s. (in Russian).
8. Nastavlenie po sluzhbe prognozov. Razd. 3. Ch. I. Sluzhba gidrologicheskikh prognozov. Prognozy rezhima vod sushi [Manual on service forecasts. Section. 3. Part I. Service hydrological forecasts. Forecasts regime of surface waters]. Leningrad: Gidrometeoizdat (Publ.), 1962, 193 s. (in Russian).
9. Ochenochnyj doklad ob izmenenijah klimata i ih posledstvijah na territorii Rossijskoj Federacii [Assessment Report on climate change and their impact on the territory of the Russian Federation]. Vol. 1: Climate change. Moscow: Rosgidromet (Publ.), 2008, 277 s. (in Russian).
10. Resursy poverhnostnyh vod SSSR. T. 19. Severo-Vostok [Surface Water Resources of the USSR Vol. 19. North-East.] Leningrad, Gidrometeoizdat, 1969, 282 s. (in Russian).
11. Sokolov O.V., Ushakov M.V. Uchet klimaticheskikh izmeneniy pri prognozirovanii pritoka vody v Kolymaskoe vodokhranilishche na may [Accounting for climate change in the prediction of water inflow into the reservoir Kolyma for May]. Trudy GGO, 2012, Issue 566, S. 289–297. (in Russian).
12. SP 33-101-2003. Opredelenie osnovnykh raschetnykh gidrologicheskikh kharakteristik [Rulebook 33-101-2003. Determination of basic the calculated of hydrological characteristics]. Gosstroy Rossii (Publ.), Moscow, 2004, 74 s. (in Russian).
13. Stochkute Ju.V., Vasilevskaja L.N. Mnogoletnie izmenenija temperatury vozduha i pochvy na Krajnem Severo-Vostoke Rossii [Long-term changes in air and soil

- temperature in the Far North-East of Russia]. *Geograficheskij vestnik*, 2016, No. 2(37), S. 84–96. (in Russian).
14. Ushakov M.V. Metodika prognoza pritoka vody k Kolymскому водохранилищу на год i rezultaty ee operativnyh ispytanij [The methodology for predicting water inflow to the Kolyma reservoir for a year and the results of its operational tests]. *Informacionnyj sbornik Gidrometcentra Rossii*. 2008. No. 35. S. 146–148. (in Russian).
 15. Ushakov M.V. O rezultatah proizvodstvennyh ispytanij metodiki prognoza pritoka vody v Kolymское водохранилище na tretij kvartal, ijul' i sentjabr' mesjacy [About the results of production tests of the methodology for predicting water inflow into the Kolyma reservoir for the third quarter, July and September]. *Informacionnyj sbornik Gidrometcentra Rossii*. 2010. No 37. S. 77–83. (in Russian).
 16. Ushakov M.V. Metodika prognoza dat vskrytija verhnego sudohodnogo uchastka r. Kolyma v uslovijah nestacionarnosti [Methodology for predicting the dates of opening of the upper shipping section of the river. Kolyma under non-stationary conditions]. *Vestnik Severo-Vostochnogo nauchnogo centra DVO RAN*. 2018, No. 1. S. 49–55. (in Russian).
 17. Shelutko V.A. Statisticheskie modeli i metody issledovanija mnogoletnih kolebanij stoka [Statistical models and research methods for long-term flow fluctuations]. L.: Gidrometeoizdat, 1984. 160 s. (in Russian).
 18. Shelutko V.A. Chislennye metody v gidrologii [Numerical methods in hydrology]. L.: Gidrometeoizdat, 1991. 239 s. (in Russian).
 19. Barnston A.G., Livezey R.E. Classification, Seasonality and Persistence of Low-Frequency Atmospheric Circulation Patterns. *Monthly Weather Review*. 1987, vol. 11. No. 6. P. 1083–1126.
 20. Gartsman B.I., Lupakov S.Yu. Effect of Climate Changes on the Maximal Runoff in the Amur Basin: Estimation Based on Dynamic–Stochastic Simulation. *Water Resources*, 2017, vol. 44(5), P. 697–706.
 21. Lobanov S.A., Ushakov M. V. The river water resources of the Magadan region and their long-term variability // *Geography and natural resources*, 2008, Vol. 29. No 3. P. 247–250.
 22. Mikhailov V.N., Mikhailova M.V. Natural and Anthropogenic Long-Term Variations of Water Runoff and Suspended Sediment Load in the Huanghe River // *Water Resources*, 2017, Vol. 44, No. 6, P. 793–807, DOI: 10.1134/S0097807817060057.
 23. US Climate Prediction Center. URL: <http://ftp.cpc.ncep.noaa.gov/>. – date of the application 06.08.2019].
 24. Woo M., 1990. Consequences of Climatic Change for Hydrology in Permafrost Zones. *Journal of Cold Regions Engineering*, Vol. 4, No. 1, P. 15–20.

Поступила в редакцию 29.10.2019 г.