

Терешина Мария Алексеевна, Юмина Наталья Михайловна
МГУ им. М.В. Ломоносова

Введение. В период XX-XXI вв количественные и качественные изменения стока рек приобрели ранее невиданные темпы. Прямое и косвенное воздействие человеческой деятельности на водосборах рек привело к значительному переформированию водного баланса многих водных объектов, и процесс этот продолжается до сих пор. Результаты регулирования стока и климатических изменений проявляются на различных объектах по-разному, что часто делает задачу изучения многолетних колебаний стока и прогноза их возможных нарушений сложной и требующей многофакторного подхода.

Объектом данного исследования был выбран бассейн реки Вилюй, охватывающий территорию площадью более 140 тыс. км². На этой территории, характеризующейся суровым резко континентальным климатом и сплошным распространением многолетних мерзлых пород, представлены как горные, так и равнинные условия, имеются участки с различной густотой и конфигурацией речной сети. Это делает бассейн Вилюя интересным объектом для изучения проявлений различных факторов формирования стока.

На самом Вилюе расположен каскад Вилюйских ГЭС – уникальное гидротехническое сооружение, функционирующее в условиях многолетней мерзлоты. Водохранилища осуществляют многолетне-сезонное регулирование стока реки, что приводит к значительным изменениям во внутригодовом распределении ее стока, общий же объем стока ввиду природных условий остается почти неизменным [3, 4].

Климатические изменения на территории бассейна Вилюя выражены достаточно ярко. За последние несколько десятилетий в рядах среднегодовой температуры воздуха, наблюдаемой на метеостанциях данного региона, наблюдается повышение на 1 – 1,5 °С, отмечено увеличение годовых сумм осадков. Согласно оценкам климатических экспертов, к концу XXI века возможно увеличение среднегодовой температуры воздуха на 2 – 6 °С по сравнению с климатической нормой, возможен рост годовых сумм осадков до 30% с увеличением доли осадков, выпадающих в холодный период года [2].

Материалы и методы исследований. В ходе работы были рассмотрены ряды многолетних колебаний нормы максимального, минимального и годового стока 18 речных бассейнов в пределах бассейна Вилюя, характеризующихся различным географическим положением и размерами и расположенных равномерно по выбранной территории (рис. 1). Использовались данные наблюдательной сети Росгидромета до 2013 года, длина рядов наблюдений на выбранных постах составила от 38 до 86 лет. Длина рядов позволила провести стандартный статистический анализ многолетних колебаний стока: оценить их стационарность и однородность, выделить периоды нарушения однородности и произвести количественную оценку вызванных ими изменений. Оценка однородности рядов стока производилась с применением двухвыборочных статистических критериев с разбиением рядов на две-три части. Для всех постов было выбрано разбиение на периоды до и после середины 1980-х гг – дата, после которой наиболее заметны климатические изменения на территории бассейна и отмечено нарушение однородности. Для двух гидрологических постов, расположенных на самом Вилюе ниже водохранилищ (Сунтар и Хатырык-Хомо), разбиение проводилось по трем периодам: до середины 1960-х гг (до начала заполнения

водохранилищ), с 1960-х по середину 1980-х гг (до начала заметных климатических изменений) и после середины 1980-х (современный период).



Рисунок 1. Выбранные пункты гидрометеорологических наблюдений

Результаты исследования. Проведенный статистический анализ показал значительные изменения стока рек бассейна Вилюя, связанные как с регулированием стока, так и с климатическими изменениями в пределах бассейна.

Антропогенное воздействие на сток Вилюя. Возведение на Вилюе каскада водохранилищ привело к переформированию внутригодового стока реки. При незначительных дополнительных потерях на испарение и инфильтрацию [1] годовой сток реки остался неизменен. Годовой гидрограф реки оказался сильно сглажен: средний максимальный расход воды весеннего половодья снизился на посту Сунтар на 50%, на посту Хатырык-Хомо – на 35%; дисперсия максимального стока снизилась на 50%. Среднее значение минимального летне-осеннего расхода воды не претерпело статистически значимых изменений, однако снизилась его изменчивость: дисперсия минимального стока на посту Сунтар уменьшилась на 70%. Устья реки (Хатырык-Хомо) этот эффект почти не достигает из-за влияния впадающих в среднем течении Вилюя многоводных притоков.

Климатические изменения стока. Стабильное увеличение в бассейне Вилюя всех рассматриваемых характеристик стока с середины 1980-х годов при взгляде на графики многолетних колебаний стока можно отметить невооруженным глазом. Нарушение однородности рядов метеовеличин и рядов стока отмечается на суммарно-интегральных кривых в примерно одинаковый период времени для всех рассматриваемых пунктов наблюдений. Выделенные нарушения однородности характеристик стока представлены в таблице 1. Среднее увеличение нормы годового стока составило 20 – 30%, в отдельных бассейнах достигая 50% и более. Максимальный сток рек увеличился на 20 – 55%, для двух постов также отмечено значительное увеличение его дисперсии. Также для ряда водосборов можно отметить смещение дат прохождения максимальных расходов половодья на более ранние даты в результате более раннего таяния снежного покрова. Изменения нормы минимального стока отмечены только для пяти постов, увеличение составило до 75%.

Таблица 1. Выявленные статистически достоверные изменения характеристик стока рек бассейна Вилюя после 1987 г.

Река	Пост	Среднегодовой сток		Максимальный сток		Минимальный сток	
		<i>m</i>	<i>D</i>	<i>m</i>	<i>D</i>	<i>m</i>	<i>D</i>
Вилюй	Усть-Амбардах	+32%		+22%		+57%	
	Чернышевский	+24%					
	Сюльдюкар	+33%				+74%	
	Сунтар	+34%				+37%	
	Хатырык-Хомо	+31%		+37%			
Чуркуо	Лавинда			+25%			
Чона	Чона						
Ичода	Майский						
Батыр	Ясный			+21%			
Кемпендяй	Кемпендяй	+47%		+53%		+75%	
Ыгыатта	Хампа	+57%					
Марха	Шалагонцы	+20%		+54%	+200%		
	Чумпурук	+16%		+25%			
	Малыкай	+22%		+26%	+59%	+35%	
Моркока	Хабардино	+28%					
Чилии	Чилии						
Чай	Чай						

Картографически все бассейны были выделены в три района, в пределах которых отмечается синфазность многолетних колебаний стока и схожий характер проявления климатических изменений.

Также была проведена попытка связи годового стока выбранных рек с метеорологическими факторами. Для большей части выбранных водосборов были составлены эмпирические зависимости нормы годового стока со среднегодовой температурой воздуха, суммой положительных температур и суммами осадков, рассчитанными по данным шести метеостанций. Несмотря на достаточно высокие коэффициенты множественной корреляции (более 0,7), составленные методики расчета не показали достаточной эффективности (величина S/σ почти во всех случаях оказалась выше 0,8), однако при дальнейшей работе возможно составить более удачные методики расчета.

Выводы:

- в результате регулирования стока Вилюя каскадом водохранилищ заметно снизился максимальный сток реки, уменьшилась изменчивость минимального стока; годовой сток изменений не претерпел;
- с середины 1980-х гг в рядах метеовеличин на метеостанциях бассейна и в рядах характерных расходов воды на выбранных гидрологических постах отмечается нарушение однородности, вызванное глобальными изменениями климата;

- климатические изменения привели к направленному увеличению годового, максимального и минимального стока для всех выбранных водосборов, в большинстве случаев обнаруживаемому статистическими критериями;
- изменения стока неоднородны по территории бассейна, в его пределах можно выделить три района с различными темпами изменений;
- построена связь годового стока рек с метеоэлементами, однако методика не обладает достаточной эффективностью и требует доработки.

Список литературы

1. *Магрицкий Д.В.* Антропогенные воздействия на сток рек, впадающих в моря Российской Арктики // Водные ресурсы. Т. 35 № 1, 2008, с. 3–16.
2. IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.
3. *Berezovskaya S., Yang D., Hinzman L.* Long-term annual water balance analysis of the Lena River // Global and Planetary Change, 48, 2005, p. 84 – 95
4. *Ye B., Yang D., Kane D.L.* Changes in Lena River streamflow hydrology: Human impacts versus natural variations // Water Resources Research, 39(7), 1200, 2003