

А.Н. Постников

**ОЦЕНКА РЕЧНОГО СТОКА
НА ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ
ПРИ ВОЗМОЖНЫХ ИЗМЕНЕНИЯХ КЛИМАТА**

A.N. Postnikov

**ESTIMATION OF RIVER RUNOFF OVER EUROPEAN RUSSIA
TERRITORY WITH POSSIBLE CHANGES IN CLIMATE**

На основе опубликованной ранее методики автора оценивается изменение среднего многолетнего значения (нормы) речного стока при возможных изменениях климата на Европейской территории России. Делается вывод о том, что даже при достаточно небольших изменениях норм атмосферных осадков ($\pm 10\%$) и температуры воздуха за теплый период года ($\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$) уменьшение нормы стока может составить примерно 30%. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 05-05 65041).

On the basis of the author's method published earlier, variations in of mean long-term value (rate) of river runoff when possible change in climate over European Russia is estimated. A conclusion is made that even with rather small changes in rate of precipitation ($\pm 10\%$) and air temperature for warm period of a year ($\pm 0,5^{\circ}\text{C}$) decrease in rate of runoff can be about 30%. The work was made with financial support of RFFR (grant 05-05 65041).

Климат любой территории подвергается изменениям с течением времени. Примерно до середины XX века считалось, что эти изменения могут происходить только под влиянием естественных причин. Однако в связи с последующим бурным развитием промышленности и техники, вызвавшим резкое увеличение объемов сжигаемого топлива, были выдвинуты гипотезы, согласно которым изменение климата может быть вызвано причинами антропогенного характера. Известно, что при сжигании топлива образуется углекислый газ, который, накапливаясь в атмосфере, вызывает так называемый парниковый эффект: углекислый газ беспрепятственно пропускает коротковолновую радиацию, идущую от Солнца, но задерживает длинноволновое излучение земной поверхности и атмосферного воздуха, направленное в космическое пространство, что способствует увеличению температуры в системе Земля – атмосфера. Последнее может приводить к существенным изменениям полей температуры воздуха и атмосферных осадков [Будыко, 1971]. Не исключено, что эти изменения климата уже начались.

В данной работе не указываются причины изменения климата в будущем, а просто предполагается, что такие изменения могут иметь место. Можно сказать, что изменения климата есть изменения среднесуточных значений (норм) гидрометеорологических величин. Например, осадков, температуры

воздуха и, как следствие, речного стока. Задача настоящей работы определяется так: оценить приращение нормы стока, если известны приращения осадков и температуры воздуха.

Известно, что уравнение водного баланса участка земной поверхности для среднесноголетних условий может быть записано в виде

$$X = E + Y, \quad (1)$$

где X , E и Y – соответственно нормы осадков, испарения и стока. Если величины X и E каким-либо способом определены, то из уравнения (1) можно найти величину Y . В работах автора [Постников, 1999, 2004] была предложена методика расчета нормы испарения по нормам осадков и среднесноголетней характеристики температуры воздуха за теплый период года (t). Содержание методики составляют следующие уравнения:

$$E = E_0 \frac{e^z - 1}{e^z}, \quad (2)$$

$$E_0 = 16,8 (0,8 + 0,011t) (90 - 52e^{0,11(6-t)}), \quad (3)$$

$$Z = \frac{X}{E_0} + \frac{1X^2}{2E^2}, \quad (4)$$

где E_0 – норма испаряемости.

Величина t в уравнении (3) определяется как сумма месячных норм температуры за теплый период года, деленная на 12. Вывод уравнений (2) и (3) дан в [Постников, 1999], здесь же только отметим, что он базируется на интегрировании дифференциальных уравнений, составленных на основе методов теплового баланса подстилающей поверхности и турбулентной диффузии. В работе [Постников, 2004] было показано, что на всей равнинной территории бывшего Советского Союза расчет испарения по методике дает удовлетворительные результаты. Средняя относительная погрешность расчета по сравнению с данными карты среднего годового испарения с поверхности суши [Рекомендации по расчету испарения с поверхности суши, 1976] составляет 5 %. Из уравнений (1) – (4) следует, что если известны, спрогнозированы или заданы величины X и E , то для любой из этих ситуаций можно определить величину Y .

В настоящей работе не были использованы результаты чьих-либо прогнозов температуры и осадков на будущее, а просто предполагалось, что по сравнению с нормами на современный уровень будет иметь место изменение норм температуры на $\pm 1^\circ$, а осадков на $\pm 10\%$. Автору представляется, что принятые отклонения от норм можно считать небольшими и в случае масштабных изменений климата достаточно правдоподобными хотя бы на первых их этапах. В результате сделанных предположений можно получить 9 вариантов

климата и для каждого из них определить норму стока, как это показано в качестве примера в табл. 1 для Московской области.

Таблица 1

Норма стока (а) и ее изменение (%) по сравнению с нормой на современном уровне (б) при заданных значениях X и t

а) сток, мм				б) сток, %			
	$t - 1^\circ$	t	$T + 1^\circ$		$t - 1^\circ$	t	$t + 1^\circ$
0,9X	203	163	134	0,9X	97	78	64
X	258	209	174	X	123	100	83
1,1X	316	261	219	1,1X	151	125	105

Аналогичные расчеты были проведены для всех административных областей и республик, расположенных на Европейской территории России (ЕТР). При определении величин t и X использовались данные из Справочника по климату СССР. Для каждой административной единицы данные по температуре за теплый период определялись по трем – пяти, а данные по осадкам со всеми поправками – по пяти – восьми станциям.

В табл. 2 приведены результаты расчета, осредненные по отдельным частям ЕТР.

Таблица 2

Изменение норм стока (% от N) при изменениях норм атмосферных осадков на $\pm 10\%$ и температуры воздуха на $\pm 1^\circ$

	$t - 1^\circ$	t	$t + 1^\circ$
0,9X	+7	-20	-38
	-4	-23	-36
	18	-25	-35
	$t - 1^\circ$	t	$t + 1^\circ$
X	+29		-22
	+22		-16
	+17		-13
1,1X	+52	+20	-3
	+52	+25	+6
	+51	+29	+13

Примечание. N – норма речного стока на современном уровне.

Числа в клетках таблицы (верхнее, среднее, нижнее) соответствуют изменениям стока в северной, центральной и южной частях ЕТР.

Данные таблицы показывают, что даже, казалось бы, небольшие изменения осадков и температуры могут привести к существенным колебаниям нормы стока. Особенно велики отклонения от N при росте температуры и уменьшении осадков ($t + 1^\circ$; 0,9X). Однако целесообразно обсудить, на самом ли деле принятое изменение величин X и t малы. Приведем следующие данные: нормы осадков и стока соответственно составляют в Вологодской области (север ЕТР) 710 и 230 мм; в Рязанской области (центр ЕТР) 650 и 145 мм; в Ростовской области (юг ЕТР) 550 и 60 мм. Отсюда следует, что предполагаемые приращения осадков относительно стока в названных областях составляют соответственно 31, 45 и 92 %.

Теплый период года на большей части ЕТР продолжается 7 месяцев (апрель – октябрь). Изменения на $\pm 1^\circ$ величины t означает увеличение или уменьшение суммы среднемесячных температур за теплый период на 12° . Отсюда можно заключить, что ориентировочно норма температуры каждого месяца

теплого периода изменится на $\pm \frac{12^\circ}{7} = \pm 1,7^\circ$, что, несомненно, окажет заметное

влияние на величину испарения, а значит, и стока. Таким образом, на первый взгляд безобидно малые изменения величин X и t при их анализе оказываются весьма существенными и поэтому способными вызывать значительные изменения стока.

Автору представляется, что полученные результаты можно считать интересными и полезными, поскольку они позволяют получить представление о возможных значениях ресурсов речного стока при различных сценариях климата в будущем. Однако, какие же варианты климата в будущем наиболее вероятны для ЕТР? Вероятнее всего в будущем на ЕТР следует ожидать потепления. При этом, по-видимому, будут возрастать как зимние, так и летние температуры воздуха. В этом случае не только при уменьшении, но и при сохранении осадков на современном уровне будет иметь место существенное уменьшение стока и только при росте осадков в центральной и южной частях ЕТР произойдет незначительное его увеличение (см. табл. 2). Однако что же вероятнее всего будет происходить с осадками при росте температуры? При устойчивом глобальном потеплении, по-видимому, как арктический, так и полярный фронты будут смещаться к северу от современного положения. Это значит, что траектории атлантических циклонов, зародившихся в зоне полярного фронта, будут, как правило, проходить севернее современных траекторий.

Автором была предпринята попытка выяснить, не связаны ли между собой водность Волги у г. Волгограда и местоположение центра исландского минимума (и.м.) атмосферного давления, который является статистическим результатом преобладания здесь циклонов. За период с 1892 по 1990 г. за каждую зиму определялись средние значения широты и долготы и.м., по которым затем были определены средние зимние значения широты (φ) и долготы (λ) за указанный период. При этом значения средних координат составили: $\varphi = 61,7^\circ$ с.ш.; $\lambda = 26,6^\circ$ з.д.

Водность Волги за каждый год оценивалась в двух градациях: больше и меньше нормы. Широта и долгота и.м. оценивались также в двух градациях: больше и меньше среднемноголетних значений. Выяснилось, что в 71 % случаев знаки отклонений от своих средних у стока Волги и широты и.м. не совпадают: при повышенном стоке и.м. расположен южнее, а при пониженном – севернее своего среднего положения. Между водностью Волги и долготой и.м. связи не установлено.

При потеплении климата средняя широта и.м., в силу сказанного выше, будет больше современной средней его широты, что обусловит снижение

нормы стока Волги по сравнению с ее нормой на современном этапе. Сток Волги является хорошим показателем (индикатором) увлажненности ЕТР, во всяком случае, ее центральной и южной частей. Поэтому мы вправе предположить, что при потеплении на ЕТР должно произойти уменьшение атмосферных осадков и речного стока. О снижении последнего при принятых нами изменениях осадков и температуры воздуха ориентировочное представление дает вариант с координатами $(t + 1^\circ; 0,9X)$, при котором уменьшение стока будет составлять более 30 % от нормы на современном уровне.

В табл. 3 приведены оценки изменений нормы стока относительно нормы на современном уровне при изменении осадков на $\pm 10\%$, а температуры воздуха на $\pm 0,5^\circ$ относительно современных норм. Данные этой таблицы показывают, что даже при менее значительном потеплении вариант с координатами $(t + 0,5^\circ; 0,9X)$ дает 30 %-ное снижение стока на всей ЕТР.

Таблица 3

Изменение норм стока (% от N) при изменениях норм атмосферных осадков на $\pm 10\%$ и температуры воздуха на $\pm 0,5^\circ$

	$t - 1^\circ$	t	$t + 1^\circ$
0,9X	-6	-19	-29
	-15	-23	-30
	-19	-25	-31
X	+14		-12
	+10		-9
	+8		-7
1,1X	+34	+20	+6
	+38	+25	+15
	+39	+29	+20

Прежде чем перейти к краткому заключению, хотелось бы сделать небольшое отступление. Установленную зависимость между знаком водности Волги и широтой и.м., по-видимому, можно использовать для разработки простой методики прогноза водности (больше или меньше нормы) Волги в текущем году. На самом деле, если среднее за зиму значение широты и.м. получать в оперативном режиме, то по этим данным в начале весны можно давать прогноз знака водности Волги в данном году. Оправдываемость таких прогнозов, составляющую 71 %, можно улучшить учетом еще одного стокообразующего фактора – показателя увлажненности бассейна Волги за предыдущую осень. В качестве такого показателя можно попробовать принять осенние осадки в бассейне.

Возвращаясь к основной теме работы, в заключение отметим, что использованная методика позволяет на аналитическом уровне рассматривать имитации различных климатических сценариев, в результате чего могут быть оценены водные ресурсы территории (области, республики, речного бассейна и др.) в изменившихся условиях. Проведенные оценки показали, что в условиях

изменяющегося климата в случае потепления возможно существенное уменьшение водных ресурсов на ЕТР.

Литература

1. Будыко М.И. Климат и жизнь. – Л.: Гидрометеиздат, 1971. – 427 с.
2. Постников А.Н. К оценке среднееголетних значений суммарного испарения с поверхности суши на основе уравнений связи // Труды РГГМУ. 1999. Вып. 123, с. 141–152.
3. Постников А.Н. Формула для расчета среднего годового испарения с поверхности суши и радиационного баланса увлажненной поверхности // Проблемы современной гидрологии. Сборник научных трудов гидрологического факультета РГГМУ. 2004, с. 143–153.
4. Рекомендации по расчету испарения с поверхности суши. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 96 с.