

17. Report of a Workshop on Predictability & Limits-To-Prediction in Hydrologic Systems Nation. Acad. Press, Washington, D.C. 2002.138p.

18. *Ehret, U., Gupta, H. V., Sivapalan, M., Weijs, S. V., Schymanski, S. J., Blöschl, G., Gelfan, A. N et al.*. (2014) Advancing catchment hydrology to deal with predictions under change, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 18, 649-671, doi:10.5194/hess-18-649-2014.

19. *Кляцкин В.И.* Стохастические уравнения глазами физика (Основные положения, точные результаты и асимптотические приближения). М.: Физматлит, 2001, 528 с.

20. *Фролов А.В.* Динамико-стохастические модели многолетних колебаний гидрологических процессов. М., Наука, 2007.

21. *Музылев С.В. Привальский В.Е. Раткович Д.Я.* Стохастические модели в инженерной гидрологии. М.: Наука, 1982, 184 с.

22. *Кучмент Л. С., Гельфан А.Н.* Динамико-стохастические модели формирования речного стока. М. Наука, 1993. 104 с.

23. *Gelfan A. N.* (2006) Physically based model of heat and water transfer in frozen soil and its parametrization by basic soil data./ In: M. Sivapalan et al. (Eds) Predictions in Ungauged Basins: Promises and Progress. Proceedings of symposium S7 held during the Seventh IAHS Scientific Assembly at Foz do Iguazu, Brazil, April 2005. IAHS Publ., 303, pp. 293-304.

24. *Гельфан А.Н.* Динамико-стохастическое моделирование формирования талого стока. – М.: Наука, 2007. 294 с.

ОСОБЕННОСТИ МНОГОЛЕТНИХ ИЗМЕНЕНИЙ РЕЧНОГО СТОКА ВОЛГИ И ДОНА ПОД ВЛИЯНИЕМ КЛИМАТИЧЕСКИХ И АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ⁶

Георгиади А.Г., Коронкевич Н.И., Барабанова Е.А.,
Вишневская И.А., Зайцева И.С., Долгов С.В.,
Кашутина Е.А., Ясинский С.В.
Институт географии РАН, г. Москва
hydrology-igras@yandex.ru

Введение. Рассмотрены произошедшие в период инструментальных наблюдений и вероятные в будущем изменения речного стока в бассейнах рек Волги и Дона, обусловленные климатически-

⁶Работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований в рамках грантов №13-05-41437, №14-05-00761 и №15-05-04207.

ми и социально-экономическими факторами. При этом большое внимание уделено методологии и основанным на ней оценкам долговременных изменений речного стока в течение более чем столетнего периода (начиная с конца XIX до начала XXI века).

Выбранные в качестве основного объекта исследований бассейны рек Волги и Дона исторически играют очень важную роль в жизни нашего государства, и в ходе хозяйственного освоения они подвергались существенным антропогенным преобразованиям. Причем условия формирования стока и характер антропогенного воздействия на водные ресурсы в этих бассейнах существенно различаются.

Основная цель работы – исследовать долговременные тенденции произошедших изменений стока в бассейнах рассматриваемых рек. Развивается концепция долговременных фаз повышения и снижения стока и влияния на них антропогенных факторов и рассмотрены основы подхода к оценке вклада климатических и антропогенных факторов в наблюдаемых изменениях годового и сезонного стока.

Методические основы. Концепция исследования современных изменений стока исходит из двух независимых подходов [1, 2]. В одном из них интегральная оценка влияния природно-климатических и антропогенных факторов стока основана на восстановлении естественного (точнее условно-естественного) годового и сезонного стока. Оно проводится с помощью регрессионных связей указанных характеристик стока крупных рек и их притоков (рек-индикаторов климатических изменений), находящихся в области формирования стока главной реки в условиях относительно небольшого антропогенного воздействия, и сравнения восстановленного стока с фактическим. Другой подход, включающий в основном балансовые методы и данные водохозяйственной статистики, позволяет оценить влияние на сток отдельных антропогенных факторов и всего их комплекса. В результате применения этих двух подходов получены в целом близкие между собой значения суммарного антропогенного уменьшения годового стока Волги и Дона по сравнению с условно-естественным периодом [2].

Подход к исследованию долговременных фаз многолетних изменений годового и сезонного стока рек, обусловленных изменениями климата и антропогенных воздействий, основан на использовании разностно-интегральных кривых, восстановлении рядов ус-

ловно-естественных годового и сезонного стока и сравнительном анализе долговременных фаз изменения условно-естественного (восстановленного) и антропогенно-измененного (фактического) стока. Он позволяет исследовать многолетнюю динамику вклада природно-климатических и антропогенных факторов в наблюдаемые изменения стока [1-4].

Многолетняя динамика соотношения природных и антропогенных факторов в современных изменениях речного стока исследуется для набора периодов, отличающихся между собой особым характером природно-климатических условий и динамики антропогенных воздействий. С этих позиций интерес представляют следующие периоды. С позиций воздействия климата – период теплого десятилетия в 1930–1940 гг., многолетние фазы повышения (ФПС) и снижения (ФСС) стока, последняя из которых, начавшаяся в 1970–1980 гг., приурочена к периоду современного потепления климата.

С позиций антропогенных воздействий выделяются условно естественный период (окончание которого условно отнесено к 1930 г.), когда эти воздействия были относительно невелики, 1980-ые гг. – время наибольшей антропогенной нагрузки на водные ресурсы (за исключением изъятия воды на заполнение водохранилищ) и период, начиная с 1991 г., характеризующийся резким ослаблением этой нагрузки на сток.

Влияние климатических факторов. Начиная с конца XIX до начала XXI века условно-естественный годовой и сезонный сток (восстановленный на основе регрессионных связей с реками-индикаторами климатических условий) характеризовался сменой долговременных фаз их повышения и снижения продолжительностью, достигавшей почти 90 лет. Наиболее выражены такие фазы в многолетних изменениях стока половодья, зимы и лета-осени. При этом фазы изменений зимнего стока и стока летне-осеннего периода весьма синхронны между собой, тогда как фазы многолетних изменений стока половодья противоположны им. Указанные фазы годового стока (который включает в себя генетически разнородные гидрологические сезоны года) сильно «зашумлены» более короткопериодными ритмами и, поэтому гораздо менее выражены.

Многолетние долговременные фазы изменения восстановленного речного стока приурочены к соответствующим фазам изменения температуры воздуха и атмосферных осадков. Начало последней многолетней фазы изменений восстановленного стока сопряже-

но с начавшимся в 1970–1980 гг. современным потеплением климата. До этого преобладала долговременная фаза понижения температуры воздуха и уменьшения атмосферных осадков. Отметим, что период инструментальных наблюдений за характеристиками водного режима рек на основной массе гидрометрических станций на Русской равнине до 1970–1980 гг. относился именно к этой фазе изменений климата. При этом долговременная фаза потепления климата последних десятилетий сопровождается ростом зимнего и летне-осеннего стока Дона и Волги. На Волге годовой сток и сток половодья в этот период также повышался, тогда как на Дону происходило их снижение.

Разница среднемноголетнего условно-естественного стока Волги и Дона между долговременными фазами его повышения и снижения достигает соответственно для годового стока более 10%, стока половодья 10 и 50%, зимнего стока около 50% и 100%, а летне-осеннего стока 25 и 50%.

Влияние антропогенных факторов. Антропогенное воздействие на сток и Волги и Дона имело место в течение всего периода инструментальных наблюдений. Но до начала 1930 гг. оно было сравнительно невелико. Начиная с 1930-х гг. в том и другом бассейнах оно становится существенным, причем состав антропогенных факторов различался. В обоих бассейнах в числе основных факторов фигурировали гидротехническое воздействие, водопотребление на различные нужды, неорошаемое земледелие с комплексом агротехнических и агролесомелиоративных приемов (в основном в лесостепной и степной зонах), рост урбанизированных площадей. В бассейне Дона практически можно пренебречь влиянием таких факторов, получивших большое развитие в бассейне Волги, как лесное хозяйство, осушительные мелиорации. В обоих бассейнах влияние на сток отдельных факторов было неоднозначно, но большая их часть способствовала его уменьшению в отличие, например, от роста урбанизированных площадей, приводящего к увеличению стока. В целом же комплекс антропогенных факторов в обоих бассейнах приводил к уменьшению годового речного стока, причем размер этого уменьшения соизмерим в отдельные периоды с изменениями стока, обусловленными климатическими трансформациями.

С 1930 г. по 2005 г. сток Волги под влиянием комплекса антропогенных факторов снизился более чем на 1 тыс. км³ (на 1044 км³

при расчете по уравнению регрессии и на 1090 км^3 по воднобалансовому методу и данным водохозяйственной статистики) или в среднем за год на 5% по отношению к восстановленному условно-естественному стоку за 1880-2005 гг. При расчете по уравнению регрессии весеннее половодье снизилось более, чем на 2600 км^3 , зимний сток возрос почти на 1500 км^3 , а сток летне-осенней межени – почти на 200 км^3 . Уменьшение годового стока Волги на 1090 км^3 , рассчитанное балансовым методом, складывалось из разнонаправленных воздействий: уменьшение на 1375 км^3 , из которых на долю безвозвратных изъятий при водопотреблении приходится 34%, водохранилищ – 30%, лесохозяйственной деятельности, результатом которой стало омоложение лесов и рост из биологической продуктивности и испарения, а также неорошаемого земледелия – по 18%, и увеличение стока на 285 км^3 под влиянием урбанизации (197 км^3) и осушения земель (88 км^3).

Уменьшение годового стока Дона у Раздорской за это же время оценивается на основании уравнения регрессии на 196 км^3 (в среднем на 7,5% в год) при уменьшении стока половодья на 340 км^3 и увеличении стока межени, в основном летне-осенней, на 144 км^3 . Уменьшение годового стока во всем бассейне Дона составило в результате воднобалансовых расчетов 352 км^3 (13,5% в среднем за год). Оно на 58% сформировалось в результате влияния водопотребления, в основном орошаемым земледелием, на 24% за счет водохранилищ и 18% – неорошаемого земледелия. Влияние комплекса указанных факторов в сторону уменьшения фактически больше приблизительно на 100 км^3 , на которые сток возрос в результате увеличения площади урбанизированных земель.

В целом можно констатировать нарастание антропогенных воздействий во времени на речной сток в бассейнах рек Волги и Дона, продолжавшееся вплоть до начала 1990-х гг., после чего выявилась тенденция снижения этого воздействия, главным образом, со стороны водопотребления и неорошаемого земледелия.

Важно также отметить, что интегральное воздействие антропогенных факторов (главным образом регулирование стока водохранилищами), оцененное на основе нарастающих сумм разницы между восстановленным и фактическим стоком, приводит к значительному смещению начала последней долговременной фазы изменений стока на более ранние годы, что наиболее заметно для зимнего, летне-осеннего стока и стока половодья.

Соотношение климатических и антропогенных изменений стока. Соотношение изменений стока (за весь период интенсивных антропогенных воздействий в 1930–2006 гг., а также в течение долговременных фаз похолодания 1930-1980 гг. и потепления 1981-2006 гг.), обусловленных климатическими и антропогенными факторами, весьма различно применительно к стоку за год и основные его сезоны (см. рис. 1).

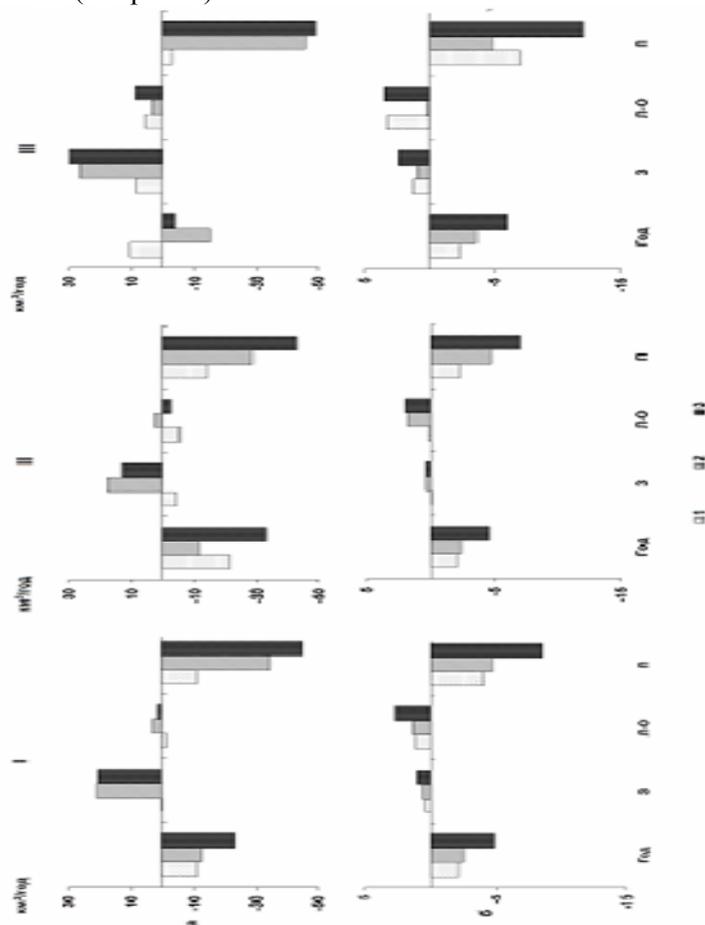


Рис. 1. Климатические и антропогенные изменения стока Волги у Волгограда - (а) и Дона у Раздорской - (б) за периоды 1930-2006 гг.: (I) 1930-1980 гг., (II) 1981-2006 гг., (III) по сравнению с 1891-1929 гг.; 1- климатические; 2 - антропогенные; 3 - суммарные изменения стока; 3 - зима; Л-О - лето-осень; П - половодье

Заключение. Развитие методических основ исследования современных изменений стока видится в совершенствовании комплекса методов, включающего наряду с методами восстановления стока с помощью рек-индикаторов климатических изменений и воднобалансовых оценок (для чего крайне актуальна реанимация работы воднобалансовых станций), математические модели водного цикла, регрессионные связи стока с его климатическими факторами, а также методы расчета трансформации гидрографов стока. Такой комплексный подход позволит получить достаточно надежные оценки на основе взаимного контроля их результатов.

Литература

1. Георгиади А.Г., Коронкевич Н.И., Милюкова И.П., Кислов А.В., Анисимов О.А., Барабанова Е.А., Кашутина Е.А., Бородин О.О. Сценарная оценка вероятных изменений речного стока в бассейнах крупнейших рек России. Часть 1. Бассейн реки Лены. М.: Макс Пресс, 2011. – 179 с.

2. Георгиади А.Г., Коронкевич Н.И., Милюкова И.П., Кашутина Е.А., Барабанова Е.А. Современные и сценарные изменения речного стока в бассейнах крупнейших рек России. Часть 2. Бассейны рек Волги и Дона: – М.:МАКС Пресс, 2014. – 214 с.

3. Андреев В.Г. Гидрологические расчеты при проектировании малых и средних гидроэлектростанций. Гидрометеиздат, Л.; 1957. – 524 с.

4. Кузин П.С. Циклические колебания стока рек Северного полушария. Л.: Гидрометеиздат, 1970. 179 с.

ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ БАССЕЙНА Р. АМУР И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ, ДИНАМИКА, ПРОГНОЗ

Горбатенко Л.В.,

Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, г. Владивосток
glv@tig.dvo.ru

Управление водными ресурсами, как совокупность процессов планирования, организации, контроля их использования и охраны, требует оценки как самого ресурса, так и параметров водопользования. Систематизация основных показателей временной динамики водопользования, сопряженный их анализ, в том числе в комплексе