

$$K_{г.в.} = \frac{C_{н} - C_{в}}{C_{в}}$$

где $K_{г.в.}$ – коэффициент геохимического воздействия искусственного водоема,

$C_{н}$ – концентрация элементов ниже водохранилища,

$C_{в}$ – концентрация элементов выше водохранилища.

Полученные коэффициенты позволяют оценить степень влияния водохранилищ на гидрохимический режим зарегулированных водотоков в зависимости от их гидроморфологических особенностей и конкретного сезона года. Так, согласно приведенным в таблице данным, наибольшее влияние на ионный состав воды исследуемых рек оказывает Вилейское водохранилище, имеющее меньший коэффициент условного водообмена по сравнению с водохранилищами Петровицкое и Вяча. В отношении ионов HCO_3^{3-} , Ca^{2+} и Mg^{2+} установлена тенденция к увеличению их концентраций в зимний период и период половодья. В первом случае, это объясняется преобладанием процессов деструкции вещества, накопленного в водохранилище, а во втором – смешением в водохранилище водных масс, сформированных в различные сезоны года, и их осреднением. На протяжении остального периода года концентрация этих ионов в речной воде на выходе из водохранилищ снижается по сравнению с их концентрацией во входных створах. В летний период это снижение обусловлено интенсивно идущим в водохранилищах процессом фотосинтеза, что сопровождается разложением ионов HCO_3^{3-} , а ионы Ca^{2+} активно потребляются водными организмами. Ионы Mg^{2+} входят в состав хлорофилла и играют важную роль в жизни водорослей, активно развивающихся в водохранилищах, что способствует снижению концентрации этого элемента. Концентрация ионов SO_4^{2-} , Cl^- , Na^+ и K^+ на протяжении всего года, как правило, оказывается более высокой в реке ниже плотины. Более значительное увеличение характерно для весенне-летнего периода, что указывает на приоритетную роль агротехногенного фактора в изменении концентраций этих элементов в воде зарегулированных рек ниже плотины. Как отмечается [5], увеличение концентрации этих элементов в природных водах является следствием влияния главным образом антропогенных источников.

Заключение

1. В зависимости от степени перераспределения речного стока в нижнем бьефе водохранилищ отмечается уменьшение годовой амплитуды колебаний минерализации воды до 2 и более раз, и смещение ее минимальной и максимальной величины на более поздние сроки: до 1–2 месяцев по сравнению с естественным режимом.

2. Создание водохранилищ не приводит к изменению существующего класса речных вод. Вместе с тем в речной воде ниже плотины водохранилищ отмечается уменьшение относительного содержания гидрокарбонатного иона и кальция, и увеличение сульфатных ионов, ионов хлора и натрия. Максимальное влияние искусственных водоемов на ионный состав зарегулированных рек характерно для весенне-летнего периода. Весной это обусловлено задержкой в водохранилище водных масс, сформированных в различные периоды года, а летом – активно идущими процессами фотосинтеза, повышенным биологическим потреблением элементов и агротехногенным использованием водосборных территорий.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Алекин, О.А. Руководство по химическому анализу вод суши / О.А. Алекин, А.Д. Семенов, Б.А. Скопинцев. – 3-е изд. – Л.: Гидрометеиздат, 1973. – 269 с.
2. Двуреченская, С.Я. Исследование изменчивости гидрохимического режима Новосибирского водохранилища / С.Я. Двуреченская // География и природ. ресурсы. – 2007. – № 4. – С. 74–79.
3. Денисова, А.И. Формирование гидрохимического режима водохранилищ Днепра и методы его прогнозирования / А.И. Денисова. – Киев: Наук. думка, 1979. – 290 с.
4. Знаменский, В.А. Гидрологические процессы и их роль в формировании качества воды / В.А. Знаменский. – Л.: Гидрометеиздат, 1981. – 248 с.
5. Кадацкая, О.В. Гидрохимическая индикация ландшафтной обстановки водосборов / О.В. Кадацкая. – Минск: Наука и техника, 1987. – 134 с.
6. Кирвель, И.И. Трансформация гидрохимического режима зарегулированных рек / И.И. Кирвель, М.С. Кукшинов // Природ. ресурсы. – 2007. – № 3. – С. 5–15.
7. Попов, А.Н. Прогноз минерализации воды строящегося Юмагзинского водохранилища / А.Н. Попов, Г.А. Оболдина // Вод. ресурсы. – 2005. – Т. 32, № 2. – С. 214–222.
8. Сороковикова, Л.М. Трансформация главных ионов и минерализации воды р. Енисей в условиях зарегулированного стока / Л.М. Сороковикова // Вод. ресурсы. – 1993. – № 3. – С. 320–325.
9. Тарасов, М.Н. Изменения гидрохимического режима рек при их зарегулировании водохранилищами и вопросы прогнозирования / М.Н. Тарасов, И.М. Павелко // Гидрохимические материалы: сб. науч. тр. / Гидрохим. ин-т. – М., 1969. – Т. 50: Химия природных вод, их загрязнение и самоочищение. – С. 47–56.

Материал поступил в редакцию 19.03.14

CHERVIL I.I., KUKSHINOV M.S. Methodical bases and experience of application of koefitsiyet of geohi-micheskogo of influence at the assessment of influence of artificial reservoirs on the mineralization and ionic composition of zareguli-rovannyh water of the rivers

The article deals with the problem of transformation of hydro chemical regime of rivers under influence of artificial reservoirs. The given results concern complex evaluation of influence of existing river reservoirs on mineralization and ionic structure of fluvial water. The researches have shown that in the downstream of the reservoirs levelling of seasonal distinctions in value of mineralization and the change of terms of extreme (minimal and maximal) values is marked.

УДК 556.5.01

Георгиади А.Г., Коронкевич Н.И., Зайцева И.С., Кашутина Е.А., Барабанова Е.А.

АНТРОПОГЕННЫЕ И КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ СТОКА В БАССЕЙНЕ ВОЛГИ

Введение. Соотношение вклада природных, в основном климатических, и антропогенных факторов в происходящие изменения стока Волги остается недостаточно изученным, несмотря на то, что соответствующие исследования велись и ведутся в Государственном гидрологическом институте (ГГИ), Институте водных проблем РАН, Институте

географии РАН, географическом факультете МГУ и в других организациях (Антропогенные воздействия..., 2003; Водные ресурсы..., 2008; Воропаев и др., 2003; Георгиади и др., 2012, 2013; Георгиевский, 2005; Джамалов и др., 2012; Зайцева, 1990; Коронкевич, 1990; Шикломанов, 1976, 1979; и др.). Недостаточная изученность во многом обусловлена

Георгиади А.Г., Коронкевич Н.И., Зайцева И.С., Кашутина Е.А., Барабанова Е.А., Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт географии Российской академии наук, Россия, г. Москва, e-mail: hydro-igras@yandex.ru.

тесным переплетением во влиянии на сток природных и антропогенных факторов, трудностью их разделения.

Концепция и основы методологии. Концепция исходит из двух независимых подходов. В одном из них интегральная оценка влияния рассматриваемых факторов стока, основанная на восстановлении естественного (точнее условно-естественного) годового и сезонного стока, исходит из регрессионных зависимостей указанных характеристик стока крупных рек и их притоков (рек-индикаторов климатических условий), находящихся в области формирования стока главной реки в ее замыкающем створе в условиях относительно малого антропогенного воздействия и сравнения восстановленного стока с фактическим. Такой подход использовался для решения различных задач (Георгиади, 1983; Зайцева, 1990; Христофоров, 1993 и др.) и, в том числе, для оценки антропогенных изменений прежде всего годового стока (Шикломанов, 1976; 1979).

Для восстановления годового стока и стока основных гидрологических сезонов Волги у Волгограда (зима, половодье, лето-осень) в качестве предикторов использовались Ока в створе Калуга, Вятка-Киров и Белая-Бирск.

Характер межбассейновой корреляции между многолетними рядами годового и сезонного стока Волги у Волгограда и рек-индикаторов за 1882–1935 гг. устойчив и показывает, что наиболее тесно сток главной реки связан со стоком Вятки и Белой. С другой стороны, корреляция между рядами стока этих рек-индикаторов существенно ниже. Особое положение занимает Ока в створе Калуга, сток которой наименее тесно связан как со стоком Волги, так и со стоком Вятки и Белой. Относительно слабая корреляция между стоком рек-индикаторов повышает надежность множественной регрессии, использованной для восстановления условно-естественного стока Волги у Волгограда.

Уравнения множественной линейной регрессии, связывающей сток Волги со стоком рек-индикаторов, характеризуются достаточно высокими коэффициентами множественной линейной корреляции, которые равняются для половодья 0,89, для стока летне-осеннего периода 0,86, для годового стока 0,85 и для зимнего стока 0,8.

Была оценена устойчивость параметров уравнения регрессии применительно к годовому стоку, в том числе на независимых данных. По результатам проведенного анализа можно говорить, что с наибольшей надежностью восстанавливается условно-естественный годовой сток Волги у Волгограда и сток половодья и летне-осеннего периода. Точность восстановления стока повышается при увеличении продолжительности периода осреднения, и уже для 10-летнего и более длительных периодов она значительно выше, чем для отдельных лет (Шикломанов И., 1979). Отметим, что при этом важно учитывать фазы повышения и снижения стока.

Другой подход, включающий целый комплекс методов, в основном балансовых, позволяет оценить влияние на сток отдельных антропогенных факторов и всего их комплекса.

Влияние на сток Волги различных водопотребителей после 1960 г. определялось по данным водохозяйственной статистики, содержащейся в различных справочниках. При этом безвозвратный расход находился по разнице водозабора и сброса сточных вод. До 1960-х – по косвенным данным (численности населения, индексам изменения отраслей хозяйства).

Влияние на сток водохранилищ оценено по данным ГГИ (Водные ресурсы..., 2008).

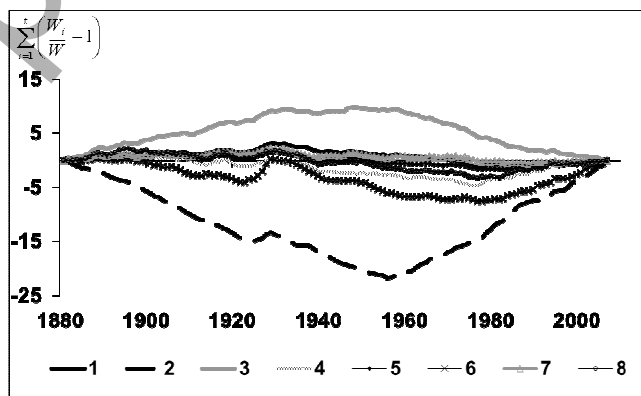
Гидрологическая роль неорошаемого земледелия рассчитывалась на основе воднобалансового метода (Коронкевич, 1990), осушения земель – метода О.М. Новикова, Д.С. Гончаровой (1978), эксплуатации леса и его восстановления – метода О.И. Крестовского (1986), урбанизированных площадей – усовершенствованного метода М.И. Львовича (1986) с учетом фактических площадей различных антропогенных воздействий на водосборе.

Для понимания многолетней динамики соотношения природных и антропогенных факторов в современных изменениях речного стока особый интерес представляют следующие периоды. С позиций воздействия климата – период теплого десятилетия в 1930–1940 гг., многолетние фазы снижения и повышения стока (ФСС и ФПС), по-

следняя из которых началась в 1970–1980 гг. и приурочена к периоду современного потепления климата (Георгиади и др., 2013). Обе эти аномалии охватили практически всю Русскую равнину. Относительно потепления климата, начавшегося с 1970–1980 гг., полагаем, что оно все же преимущественно природного происхождения, хотя с определенной долей антропогенного влияния. Поэтому изменения стока, обусловленные климатом, будем относить к природным. С позиций антропогенных воздействий выделим условно естественный период (до начала 1930 гг.), когда эти воздействия были относительно невелики, десятилетие с 1980 г. по 1990 г. – время наибольшей антропогенной нагрузки на водные ресурсы и современный период, начиная с 1990 г., характеризующийся резким ослаблением этой нагрузки на величину и режим стока. Кроме того, представляют интерес: период с конца XIX до начала 1960-х гг., принятый в свое время К.П. Воскресенским (1962) в качестве основного для исчисления нормы стока, а также период 1930–1980 гг., принятый в Государственном гидрологическом институте (Водные ресурсы..., 2008) в качестве современной нормы стока. В ряде случаев границы периодов могут быть несколько смещены, в том числе в отношении годовых и сезонных значений.

Особенности многолетних изменений фактического и условно-естественного стока

Многолетние фазы водности. Анализ разностно-интегральных кривых годового и сезонного стока (рис. 1) показывает, что антропогенные воздействия, определенные по разнице восстановленного и фактического стока, наиболее ощутимо сказываются на характере многолетних изменений стока зимы и половодья, тогда как изменения годового стока и стока летне-осеннего периода относительно менее заметны. Значения представленных на рис. 1 кривых рассчитываются на основе среднего многолетнего стока, определенного по данным за весь период наблюдений как для рядов фактического (состоящего из подпериодов с естественным и антропогенно-измененным стоком), так и для рядов восстановленного (по регрессионным связям с реками-индикаторами) стока.



Антропогенно-измененный сток: 1 – за год, 2 – зиму, 3 – половодье, 4 – лето-осень. Условно-естественный сток: 5 – за год, 6 – зиму, 7 – половодье, 8 – лето-осень

Рис. 1. Долговременные фазы многолетних изменений годового и сезонного стока Волги у Волгограда

Антропогенное воздействие приводит к большему размаху многолетних ритмов изменений стока зимней межени и весенне-летнего половодья, а также к смещению границ начала/окончания многолетних фаз снижения и повышения стока (в особенности зимой). Условно естественное и антропогенно-измененное семейства разностно-интегральных кривых позволяют выделить фазу существенного снижения годового стока и стока за основные сезоны года в 1930–1940 гг. и в фазу повышения стока в 1970–1980 гг. При этом ее начало для годового стока и стока различных сезонов варьирует в достаточно широких пределах.

Средние многолетние значения годового и сезонного стока в периоды (многолетние фазы) повышения и снижения стока Волги у Волгограда существенно отличаются между собой (табл. 1).

Таблица 1. Средний многолетний восстановленный (в числителе) и фактический (в знаменателе) сток Волги у Волгограда за избранные периоды, км³

Период, годы*	Сток			
	в среднем за год	XII-III	VIII-XI	IV-VII
1882-1929 Фаза повышения стока (ФПС1) в условиях слабого антропогенного воздействия	268/268	32/32	57/57	180/180
1930-1977 Фаза снижения стока (ФСС) при ощутимом антропогенном воздействии	241/228 1930-1977 гг.	27/44 1930-1978 гг.	52/54 1930-1989 гг.	164/135 1931-1977 гг.
1981-2007 Фаза современного повышения стока (ФПС2)	275/260 1981-2007 гг.	40/68 1979-2007 гг.	59/62 1997-2007 гг.	174/129 1983-2007 гг.
1930-1940 Экстремально маловодный период (ФСС)	215/210	23/25	44/45	147/142
1931-1980 Период нарастания антропогенного воздействия (ФСС)	243/231	27/45	50/52	164/134
1981-1990 Период максимального антропогенного воздействия (ФСС)	271/255	38/69	63/66	169/121
1991-2007 Период спада антропогенного воздействия (ФПС2)	278/263	42/66	60/63	177/133
1882-1960	257/254	29/32	54/54	173/168
1882-2007 Весь период наблюдений	259/252	32/45	55/57	172/151

* Указаны границы долговременных фаз для годового стока, для сезонов года они в ряде случаев значительно отличались, поэтому сток сезонного стока рассчитывался в пределах временных границ многолетних фаз, свойственных каждому из гидрологических сезонов. В результате сумма сезонных значений стока за каждую фазу не всегда равна годовому стоку

Анализ кривых нарастающих сумм отклонений фактического (наблюденного) годового и сезонного стока от восстановленного (условно-естественного) стока показывает динамику изменения интегрального эффекта антропогенного воздействия (рис. 2). Влияние антропогенного фактора в наибольшей степени сказывается на стоке половодья (объем суммарного снижения стока за период 1938-2005 гг., составил 2594 км³) и годовом стоке (суммарное снижение – 998 км³), тогда как зимний сток в общей сложности вырос на 1540 км³ (по балансу – как остаточный член – 1402 км³), а интегральный эффект антропогенного воздействия на сток за летне-осенний период (приведший к его росту) оказался относительно невелик (около 194 км³).

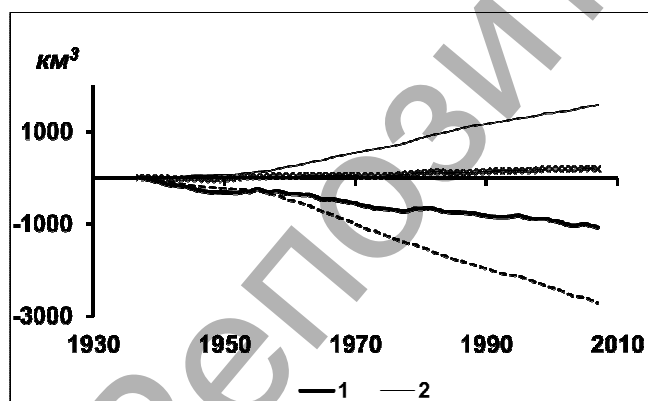


Рис. 2. Нарастающая сумма отклонений фактического годового и сезонного стока Волги у Волгограда от восстановленного (условно-естественного стока), км³

Динамика изменения антропогенного влияния на годовой и сезонный сток Волги у Волгограда характеризуется неравномерностью в многолетней ретроспективе и по сезонам года. В результате антропогенного воздействия границы долговременных фаз снижения и повышения стока смещаются на более ранние годы. Наиболее заметно это проявляется для зимнего стока, когда антропогенные факторы приводят к тому, что современная фаза долговременного повышения стока этого сезона начинается более чем на 20 лет раньше,

чем это могло быть в условно-естественной природной обстановке. Заметные антропогенные изменения проявляются в многолетних изменениях стока половодья, особенно начиная с 1980-х гг., когда направленность изменений условно-естественного и антропогенно-измененного стока стала противоположной. Антропогенные факторы практически не оказывают влияния на характер долговременных фаз годового стока и стока летне-осеннего периода.

Сравнивая между собой фактический средний многолетний годовой и сезонный сток за 1882–1929 гг. (принятый нами в качестве условно-естественного периода с относительно небольшим антропогенным влиянием) и восстановленный по уравнениям регрессии сток за 1930–2007 гг. можно оценить, какой вклад внесли изменения климата этого периода в изменение стока (табл. 2). Климатически обусловленное снижение годового стока, стока половодья и летне-осеннего стока составило соответственно 14, 13 и 3 км³, тогда как зимний сток практически не изменился, хотя в последние десятилетия наблюдается его заметное повышение. Воздействие антропогенного фактора также обусловило снижение годового стока такого же масштаба, как и изменение климата (на 13 и 14 км³ соответственно), однако оно привело к существенному повышению зимнего стока (на 21 км³), а также летне-осеннего стока (на 3 км³) за счет снижения стока половодья.

Оценка антропогенных воздействий на годовой сток, основанная на водохозяйственной статистике и воднобалансовых методах. Проанализируем теперь, что дают непосредственные оценки антропогенного воздействия на сток Волги у Волгограда.

Анализ водохозяйственной статистики, а также ориентировочных оценок за те годы, когда эта статистика отсутствовала, свидетельствует, что *безвозвратное водопотребление в водохозяйственном комплексе* (находимое в общем случае по разнице между водозабором и объемом сточных вод) возросло с 0,2–0,3% от среднего годового стока Волги в период условно естественного стока до 5–6% в период наибольшего антропогенного воздействия в середине 1980-х гг. В 1990–2005 гг. это воздействие снизилось в среднем в 1,3 раза, а в самые последние годы почти в 2 раза. *Потери водных ресурсов за счет дополнительного испарения с акватории водохранилищ и затопленных ими земель*, а также заполнения их объема, взяты

Таблица 2. Изменение стока, обусловленное климатическими изменениями и влиянием антропогенных факторов, км³/год-сезон

Период, годы*	Вид стока	Сезоны			
		в среднем за год	зима	лето-осень	половодье
1882-1929	условно-естественный (фактический)	268	32	57	180
1930-2007	условно-естественный (восстановленный по уравнениям регрессии)	254	32	54	167
1930-2007	антропогенно-измененный (фактический)	241	53	57	132

* см. примечание к табл. 1

из данных (Водные ресурсы..., 2008), а за ранние годы в гидрологическом ряду оценены по методике Государственного гидрологического института. Они возросли практически с нуля в период условно естественного стока до 8–9% от годового стока во время самого активного гидротехнического строительства в бассейне Волги в 1956–1960 гг., а сейчас составляют в среднем 2-3% стока Волги. Совместное воздействие традиционного водного хозяйства и водохранилищ привело к уменьшению стока Волги к 2005 г. по сравнению с условно естественным периодом почти на 480 км³.

Расчет изменения стока *мероприятиями агротехники* показал, что нарастание влияния этого фактора шло от практически нулевого в условно естественный период до 2–3% от стока Волги в 1980-е гг., а затем снизилось до 1–1,5% после 1990-х гг.

Осушение земель также имело незначительное применение в условно естественный период, но в дальнейшем (на уровне 1980-х гг.) привело к увеличению речного стока до 0,5–1% на уровне 1980-х гг. Сейчас темпы осушительных мелиораций резко снизились, а многие ранее осушенные земли пришли в запустение.

Оценка влияния *рубок леса и его восстановления* на речной сток показала, что в условно естественный период сток был повышенным из-за наличия в бассейне больших массивов перестойных лесов, испарение с которых было относительно невысоким. Последовавшие затем рубки леса и замена перестойных лесов более молодыми и продуктивными привели в целом к увеличению испарения и снижению стока. Этот процесс продолжается и сейчас, приводя к уменьшению стока Волги в среднем на 2%.

Урбанизация земель, напротив, способствует увеличению стока по сравнению с условно естественным периодом на 1,5–2%.

Таким образом, хозяйственная деятельность на водосборах разнонаправленно воздействует на годовой сток и в значительной мере приводит к взаимной компенсации, хотя в целом можно говорить о преобладании снижения стока в целом за период 1931–2005 гг. по сравнению с 1880–1930 гг. в размере 1,5–2%. Наибольший вклад в это снижение вносят неорошаемое земледелие (мероприятия по задержанию стока на сельскохозяйственных полях) и лесное хозяйство (в результате омоложения лесов и роста их биологической продуктивности).

Общее антропогенное уменьшение стока Волги, рассчитанное по воднобалансовым данным и данным водохозяйственной статистики за период с 1930 г. и по 2005 г., оценивается в 1090 км³ по сравнению с периодом до 1930 г.

Основной вклад в это снижение стока внесли безвозвратное изъятие вод на различные нужды, главным образом орошаемого земледелия, и влияние водохранилищ (потери на заполнение мертвого объема, особенно в 1950-е гг.) и на дополнительное испарение с акватории.

Сравнение результатов полученных оценок антропогенных изменений годового стока. Получены в целом близкие между собой значения суммарного антропогенного уменьшения годового стока Волги на 998/1090 км³ по сравнению с условно-естественным периодом, когда годовой сток Волги был равен 268 км³, т.е. примерно на 5% в среднем за год. В отдельные периоды и сезоны изменения были значительно больше, как и различия в результатах расчетов с восстановлением стока Волги по рекам-индикаторам климатических условий и с

использованием воднобалансовой и водохозяйственной информации. Например, в 1980-е гг. по первому из этих методов уменьшение стока оценено в 15 км³, а по второму – в 26 км³.

Имеются определенные различия с данными ГГИ (Водные ресурсы..., 2008) в результатах оценки антропогенных воздействий на сток Волги в отдельные периоды. Так, по нашим воднобалансовым и водохозяйственным расчетам, уменьшение стока в 1980-е гг. составило 26 км³/год, а по данным ГГИ – 19 км³/год. В начале 2000-х гг. соответственно 14 и 10 км³/год. Эти различия объясняются разными методическими подходами и принципиально не меняют общие выводы о соотношении гидрологической роли климатических и антропогенных факторов.

Заключение. На основе сравнения многолетней динамики восстановленного и антропогенно-измененного годового и сезонного стока Волги получены оценки суммарного антропогенного уменьшения ее стока за период интенсивного антропогенного воздействия. Влияние антропогенных факторов в наибольшей степени сказывается на стоке половодья (объем суммарного снижения стока составил более 2,5 тыс. км³), годовом (суммарное снижение – около 1 тыс. км³) и зимнем стоке, который вырос на более, чем 1,5 тыс. км³, а интегральный эффект антропогенного воздействия на сток летне-осеннего периода (приведший к его росту) оказался относительно невелик (около 200 км³). За рассматриваемый период антропогенное влияние составило 5% в среднем за год по сравнению с условно естественными условиями, достигая в отдельные более короткие отрезки времени 20-25%. В некоторые периоды и сезоны изменения были еще более значительны. Прежде всего, это относится к стоку весеннего половодья. При этом, расчеты антропогенного изменения годового стока Волги, полученные по разнице между восстановленным и фактическим стоком, дали довольно близкие итоговые результаты с оценкой, исходящей из непосредственного определения гидрологической роли каждого вида хозяйственной деятельности, хотя порой существенно отличались для отдельных периодов.

Климатически обусловленное снижение годового стока и стока половодья за период интенсивного антропогенного воздействия (1930–2007 гг.) по сравнению с условно-естественным периодом (1882–1929 гг.) составило в среднем за год примерно те же величины, что и воздействие антропогенных факторов. Вместе с тем, антропогенные факторы стали главной причиной существенного повышения зимнего и летне-осеннего стока.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, гранты 12-05-00838, 13-05-41437, 14-05-0076114.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Антропогенные воздействия на водные ресурсы России и сопредельных государств в конце XX столетия. – М.: Наука, 2003. – 367 с.
2. Водные ресурсы России и их использование. – СПб.: Государственный гидрологический институт, 2008. – 600 с.
3. Воропаев, Г.В. Проблемы управления водными ресурсами Арало-Каспийского региона / Г.В. Воропаев, Г.Х. Исмаилов, В.М. Федоров – М.: Наука, 2003. – 426 с.
4. Воскресенский, К.П. Норма и изменчивость годового стока рек Советского Союза. – Л.: Гидрометеиздат, 1962. – 546 с.

5. Георгиади, А.Г. Географический подход к предвычислению максимального весеннего стока. – М.: ИГ АН СССР, 1983. – 166 с.
6. Георгиади, А.Г. О соотношении природно-климатических и антропогенных факторов в многолетних изменениях речного стока // Вода и водные ресурсы: системообразующие функции в природе и экономике: труды Всероссийской научной конференции: сб. материалов / А.Г. Георгиади, Н.И. Коронкевич, Е.А. Кашутина, Е.А. Барабанова, И.С. Зайцева, С.В. Долгов – Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 2012. – С. 41–47.
7. Георгиади, А.Г. Климатические и антропогенные факторы в многолетних изменениях стока реки Волги / А.Г.Георгиади, Н.И. Коронкевич, И.С. Зайцева, Е.А. Кашутина, Е.А. Барабанова // Водное хозяйство России – 2013. – № 4. – С. 4–19.
8. Георгиевский, В.Г. Изменения стока рек России и водного баланса Каспийского моря под влиянием хозяйственной деятельности и глобального потепления: автореф. дис. ... д-ра геогр. наук. – СПб., 2005. – 39 с.
9. Джамалов, Р.Г. Формирование современных ресурсов поверхностных и подземных вод Европейской части России / Р.Г. Джамалов, Н.Л. Фролова, Г.Н. Кричевец, Т.И. Сафронова, М.Б. Киреева, М.И. Игонина // Водные ресурсы. – 2012. – Т. 39. – № 6. – С. 571–589.
10. Зайцева, И.С. Маловодные годы в бассейне Волги: природные и антропогенные факторы. – М.: Институт географии АН СССР, 1990. – 184 с.
11. Коронкевич, Н.И. Водный баланс Русской равнины и его антропогенные изменения. – М.: Наука, 1990. – 205 с.
12. Крестовский, О.И. Влияние рубок и восстановления лесов на водность рек. – Л.: Гидрометеоздат, 1986. – 189 с.
13. Львович, М.И. Вода и жизнь. – М.: Мысль, 1986. – 256 с.
14. Новиков, С.М. Прогноз изменений водных ресурсов крупных рек СССР под влиянием осушительных мелиораций / С.М. Новиков, Ж.С. Гончарова // Труды ГГИ. – 1978. – Вып. 255. – С. 54–68.
15. Христофоров, А.В. Надежность расчетов речного стока. – М.: Изд-во МГУ, 1993. – 166 с.
16. Шикломанов, И.А. Антропогенные изменения водности рек. – Л.: Гидрометеоздат, 1979. – 304 с.
17. Шикломанов, И.А. Гидрологические аспекты проблемы Каспийского моря. – Л.: Гидрометеоздат, 1976. – 79 с.

Материал поступил в редакцию 12.04.14

GEORGIADI A.G. KORONKEVICH N. I. ZAYTSEVA I.S. KASHUTINA E.A. BARABANOVA E.A. Anthropogenous and climatic changes of a drain in the basin of Volga

The calculations showed that assessment of human-induced changes of the Volga river annual runoff derived from the difference between the naturalized and the observed runoff, gave quite similar results with the estimation based on the direct determination of the hydrological role of each type of anthropogenic impact. The total anthropogenic reduction of the Volga river annual runoff was 998/1090 km³ compared to conventionally natural period in which the Volga annual runoff was equal to 268 km³, i.e. about 5% of mean annual runoff. In some periods, and season changes were much greater. The impact of anthropogenic factors determined decrease of annual runoff and runoff during flood of the same scale as the climate change impact in comparing with conventionally natural period, but it has led to a significant increase in the winter and the summer-autumn runoff.

УДК 504.45.58

Занкевич Д.Л., Романовский Ч.А.

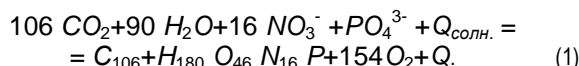
ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ВОДОХРАНИЛИЩ В БАСЕЙНЕ РЕКИ НЕМАН К АНТРОПОГЕННУМУ ЭВТРОФИРОВАНИЮ

Введение. Антропогенное эвтрофирование водоемов приводит к нарушению биологического равновесия: изменяется альгофлора (видовой состав водорослей), возрастает плотность популяций миксотрофных (сине-зеленых) видов, снижается плотность популяций зеленых водорослей – происходит так называемое «цветение» воды. В дальнейшем при отмирании этих видов снижается содержание кислорода в воде, повышается содержание сероводорода. Кроме того, сине-зелёные водоросли являются ядовитыми и выделяют токсины, отравляющие животный мир водоема [6].

Эвтрофирование – процесс обогащения водоемов питательными веществами – биогенными элементами, к которым относятся: азот, фосфор, углерод, кремний, железо и другие элементы биогенного происхождения.

Сопутствующими факторами, определяющими степень эвтрофирования, является температурный режим, освещенность, глубина водоема, интенсивность водообмена. Контролируют процесс фотосинтеза и интенсивность первичной продукции все перечисленные факторы, но лимитирующими являются соединения азота и, в первую очередь, фосфора, поскольку при достаточной обеспеченности этим элементом азот сине-зеленые водоросли могут усваивать из воздуха.

Связь процесса эвтрофирования поверхностных вод с обогащением их азотом и фосфором вытекает из схемы балансового уравнения фотосинтеза [6, 7, 11]:



Согласно закону действующих масс, увеличение концентрации в воде азота и фосфора ведет к повышению продуктивности фотосинтеза, что и ведет, в конечном счете, к повышающей уровень трофности водного объекта. Это положение подтверждено многочисленными натурными исследованиями и расчетами математических моделей [6, 11].

В начале XX-го века А.Тинеманом и Э.Науманом [5] для водной среды введено понятие «трофия» (от греческого *trophe* – питание, пища), которое и легло в основу классификации водоемов по степени их трофности. Соответственно выделяют три генетических типа: олиготрофные, мезотрофные и эвтрофные [11].

Уровень трофии водоема определяется отношением биомассы, продуцируемой в процессе фотосинтеза, к биомассе, подвергшейся деструкции за одинаковый промежуток времени (как правило, за год). Олиготрофные водоемы характеризуются низким уровнем первичной продукции и все образуемое органическое вещество последовательно, пропорционально его нарастанию утилизируется живыми организмами – бактериями, зоопланктоном, бентосом. В эвтрофных водоемах масса образуемого в результате фотосинтеза органического вещества преобладает над массой утилизированного в результате деструкционных процессов. Такое несбалансированное соотношение приводит к снижению содержания кислорода в воде, развитию анаэробных процессов разложения органики и, как след-

Занкевич Денис Леонидович, аспирант кафедры экологического мониторинга и менеджмента Международного государственного экологического университета им. А.Д. Сахарова.

Романовский Чеслав Адамович, кандидат биологических наук, доцент кафедры экологического мониторинга и менеджмента Международного государственного экологического университета им. А.Д. Сахарова.

Республика Беларусь, г. Минск, 220070, ул. Долгобродская, 23.