

УДК 556.161:553.53

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ НА ГОДОВОЙ И СЕЗОННЫЙ СТОК В БАССЕЙНЕ РЕКИ БЕЛОЙ

© 2014 г. Л.Р. Загитова^{1,2}

¹ *Башкирский государственный аграрный университет, г. Уфа*

² *ФГУП «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», Башкирский филиал, г. Уфа*

Ключевые слова: антропогенные изменения стока, двойные интегральные линии, однородность гидрологических рядов, уравнение линейного тренда, метод водохозяйственного баланса, коэффициент внутригодовой зарегулированности стока.



Л.Р. Загитова

Проведено исследование антропогенных изменений гидрологических характеристик стока в бассейне р. Белой статистическими методами. Выполнены оценка влияния хозяйственной деятельности на величину годового стока и оценка роли прудов в перераспределении стока внутри года.

Во второй половине XX в. сток многих притоков р. Белой претерпел изменения, обусловленные хозяйственной деятельностью человека. Для определения степени изменений необходимо провести оценку однородности рядов стока, нарушение которой свидетельствует о существенности произошедших изменений. При наличии однородности ряда целесообразно оценить основную тенденцию в динамике гидрологического процесса с использованием линейного тренда. Метод водохозяйственного баланса и исследование внутригодовой зарегулированности стока подтверждают полученные статистическими расчетами выводы о возрастании роли прудов в перераспределении стока внутри года.

Исследование антропогенных изменений гидрологических характеристик с последующей их оценкой проводится в три основных этапа:

- 1) установление начала изменений водного режима;
- 2) определение существенности выявленных изменений;
- 3) количественная оценка этих изменений.

Водное хозяйство России № 5, 2014

Водное хозяйство России

На первом этапе используется метод двойных интегральных линий вкупе с анализом сведений о сроках ввода в эксплуатацию отдельных объектов и начале осуществления различных мероприятий, оказывающих влияние на водный режим, а также о темпах и масштабах развития хозяйственной деятельности на водосборе [1]:

$$\sum Q_{\text{год}} = f(t); \quad \sum Q_{\text{сез}} = f(\sum Q_{\text{год}}); \quad (1)$$

$$\sum Q_{\text{сез}} = f(t); \quad \sum Q_{\text{сез}} = f(\sum X), \quad (2)$$

где $\sum Q_{\text{год}}$ – интегральная сумма годовых расходов воды;

$\sum Q_{\text{сез}}$ – интегральная сумма расходов воды определенного сезона (летней межени, зимней межени, весеннего половодья);

$\sum X$ – интегральная сумма осадков за сезон;

t – число лет наблюдений.

Эти связи между двумя временными рядами позволяют определить начало изменений стоковых характеристик и оценить тенденцию этих изменений. При наличии связанных между собой двух временных рядов интегральная линия будет показывать случайные колебания рассматриваемых величин по обе стороны от прямой линии, определяющей общее направление. А при наличии нарушения связи между рядами интегральная линия показывает систематическое отклонение точек от первоначального направления. Такое отклонение может быть обусловлено влиянием антропогенных факторов, изменением местоположения пунктов наблюдений, а также сменной методики анализа.

Метод двойных интегральных линий применен для всех рек бассейна р. Белой, на которых имеются посты наблюдений за стоком. Одновременно изучен характер хозяйственной деятельности на водосборах исследуемых рек, вследствие чего выявлены основные антропогенные факторы, получившие наибольшее развитие – строительство прудов и водозаборы на орошение.

Так как изменений местоположения пунктов наблюдений и смены методики не произошло ни на одной из рек бассейна р. Белой, все выявленные нарушения в формировании стока следует объяснить воздействием антропогенных факторов.

Исследование влияния хозяйственной деятельности на величину годового стока при помощи двойных интегральных линий показывает, что для рек левобережной части среднего и нижнего течения р. Белой с конца 1960-х годов прослеживается тенденция к его снижению: реки Стерля (д. Отрадовка),

Уршак (с. Ляхово), Дема (д. Бочкарево), Чермасан (д. Новоюмраново), Сюнь (с. Миньярово). Следует отметить, что тенденция эта выражена слабо и свидетельствует о незначительности изменений годового стока.

Для стока весеннего половодья двойные интегральные линии не выявили каких-либо изменений, кроме р. Нугуш, на которой в 1967 г. построено Нугушское водохранилище. В результате его эксплуатации сток весеннего половодья р. Нугуш уменьшился на 42 %.

Заметные систематические отклонения точек от первоначального направления интегральной линии обнаружены при исследовании рядов стока летней межени рек Уршак, Дема, Чермасан, Сюнь. Связи вида

$$\sum Q_{\text{летн}} = f(t); \quad \sum Q_{\text{летн}} = f(\sum Q_{\text{год}}); \quad \sum Q_{\text{летн}} = f(\sum Q_{\text{летн}}) \quad (3)$$

для названных рек одинаковы и показывают тенденцию к увеличению стока за июль–август, начало которой приходится на конец 1960-х годов ($\sum X_{\text{летн}}$ – последовательно суммированные значения осадков летних месяцев).

Исследование антропогенных изменений стока проводили также для зимней межени. При этом оказалось, что связи вида

$$\sum Q_{\text{зимн}} = f(Q_{\text{год}}); \quad \sum Q_{\text{зимн}} = f(t) \quad (4)$$

показывают тенденцию стока за ноябрь–март к увеличению на реках Стерля, Уршак, Чермасан, Сюнь, Нугуш (хут. Андреевский). Кроме р. Нугуш, у которой интегральная линия зимней межени с 1967 г. резко увеличивает угол наклона к оси абсцисс, на остальных реках отклонения точек от первоначального направления приходятся на начало 1970-х годов.

На втором этапе исследования влияния антропогенных факторов на стоковые характеристики устанавливается существенность их изменений, выявленных на предыдущем этапе. Суть исследований заключается в анализе однородности гидрологических рядов с использованием критериев. В данной работе применен критерий Вилькоксона, выбор которого обусловлен его принадлежностью к непараметрическим критериям, что исключает необходимость определения типа кривой распределения исследуемых величин и ее параметров.

Применительно к годовому стоку метод не выявил нарушений однородности гидрологических рядов ни для одной из рассматриваемых рек, что свидетельствует о незначительности происшедших изменений. В таком случае, согласно принятой методике, целесообразно оценить основную тенденцию в динамике гидрологического процесса.

Для математического описания тенденции использован метод линейного тренда. Оказалось, что линейный тренд значений годового стока

Таблица 1. Уравнение линейного тренда годового стока

Река – пункт	Уравнение линейного тренда
р. Стерля – д. Отрадовка	$Y = 1,57 - 0,002t$
р. Уршак – с. Ляхово	$Y = 8,62 - 0,006t$
р. Дема – д. Бочкарево	$Y = 42,27 - 0,02t$
р. Сюнь – с. Миньярово	$Y = 15,80 - 0,15t$

Примечание: t – число лет наблюдений.

показывает его направленность в сторону уменьшения на следующих реках (табл. 1).

На остальных реках исследуемой территории линейный тренд не показывает тенденции изменения годового стока в каком-либо направлении, о чем свидетельствует коэффициент перед параметром t , стремящийся к нулю.

Применение рангового критерия Вилькоксона к анализу однородности рядов стока летней межени позволило определить, что нарушение имеет место для рек Уршак (с. Ляхово), Чермасан (д. Новоюмраново), Сюнь (с. Миньярово).

Таким образом, выдвинутая в результате графического анализа гипотеза об изменениях летнего меженного стока в сторону увеличения для указанных рек подтвердилась. Более того, факт нарушения однородности ряда свидетельствует о существенности суммарных изменений летнего стока на указанных створах и, следовательно, о невозможности его использования для статистических связей и получения расчетных расходов воды в исходном виде.

Что касается других рек, то изменения расходов воды летней межени не настолько велики, чтобы обнаружить их статистическим путем, в частности, критерием Вилькоксона. Уравнение линейного тренда для этих рек показывает тенденцию летнего меженного стока в среднем к повышению.

Критерий Вилькоксона выявил нарушение однородности рядов зимних расходов воды для рек Уршак (с. Ляхово), Чермасан (д. Новоюмраново), Сюнь (с. Миньярово), Дема (д. Бочкарево) и Нугуш (хут. Андреевский).

Сток зимней межени р. Стерля, для которой графический анализ показал направленность этой характеристики в сторону увеличения, был исследован для определения тенденции изменения с помощью метода линейного тренда. При этом оказалось, что зимний меженный сток этой реки имеет тенденцию в среднем к увеличению. Уравнение линейного тренда стока зимней межени р. Стерля (д. Отрадовка) имеет вид

$$Y = 1,27 + 0,004t. \quad (5)$$

На третьем этапе исследований антропогенных изменений стока проводят их количественную оценку. При этом используют различные методы, которые могут быть объединены в группы [2]: 1) статистические методы, устанавливающие связь между гидрологическими характеристиками и стокообразующими факторами в естественных условиях и переносящие установленные связи на период нарушений; 2) водобалансовые методы, учитывающие использование воды отдельными видами хозяйственной деятельности; 3) методы натурального математического моделирования.

Методы последней группы являются наиболее дорогостоящими и требуют большого количества исходных данных, в силу чего используются довольно редко. Наиболее часто в антропогенной гидрологии применяются методы первой и второй групп.

В основе статистических методов лежит гипотеза о постоянстве условий, определяющих статистические зависимости одной величины, принимаемой за независимую, от бесчисленного множества значений другой величины. Частной формой выражения статистических связей являются корреляционные, которые нашли широкое применение в решении задач, связанных с определением степени изменений стока под влиянием хозяйственной деятельности. Один из наиболее эффективных методов этой группы – метод восстановления стока по его зависимости от естественных стокообразующих факторов. Из второй группы методов наибольшего внимания заслуживает метод водного баланса речного водосбора. Сток при этом восстанавливается по уравнению водного баланса, включающему сведения о заборах и сбросах воды, сработке водохранилищ и прудов, а также о величине наблюдаемого стока.

Для количественной оценки изменений летнего и зимнего меженного стока рек Уршак, Дема, Чермасан, Сюнь, а также зимнего и весеннего стока р. Нугуш, на которых произошло нарушение однородности гидрологических рядов, использованы методы первой и второй групп.

Как известно, методы парной и множественной корреляции дают надежный результат только при достаточно больших объемах выборок, в связи с чем их применение для рассматриваемых рек оказалось нецелесообразным.

Для оценки среднего за период изменения меженного стока привлечена формула

$$K = \operatorname{tg}(\alpha) / \operatorname{tg}(\alpha_1), \quad (6)$$

где α и α_1 – углы наклона двойной интегральной кривой для периодов до и после изменения гидрологического режима соответственно. Результаты этой оценки приведены в табл. 2.

Сток весеннего половодья р. Нугуш уменьшился на 42 %. Поскольку однородность рядов меженного стока на указанных реках нарушена, с целью

Таблица 2. Результаты оценки увеличения меженного стока рек под воздействием антропогенных факторов

Река – пункт	Площадь водосбора, км ²	Средняя высота водосбора, м	Год начала увеличений	Размер увеличений, %	
				летний	зимний
р. Нугуш – хут. Андреевский	2870	546	1968	–	37
р. Уршак – с. Ляхово	3130	214	1972	45	36
р. Дема – д. Бочкарево	12 500	247	1969	55	39
р. Чермасан – д. Новоюмраново	3570	202	1971	61	55
р. Сюнь – с. Миньярово	4140	185	1970	59	57

его количественной оценки необходимо восстановить значения стока для периода с измененным режимом. Сделать это можно простым и удобным методом – путем экстраполяции первоначального направления интегральной линии до конца периода наблюдений. Значения стока, снятые с этой линии, будут представлять его восстановленные величины.

Среднее за период изменения увеличение летнего и зимнего меженного стока, а также стока весеннего половодья по отношению к восстановленному стоку, близко к значению изменения стока, полученному ранее через отношение тангенсов наклона интегральных линий до и после нарушения однородности ряда. Следовательно, подсчет значений восстановленного стока можно считать объективным.

Для количественной оценки антропогенных изменений летнего стока рек Уршак, Дема, Чермасан, Сюнь был использован также метод водохозяйственного баланса. Учитывая, что наиболее важными видами хозяйственной деятельности на водосборах рек Западной Башкирии являются пруды и заборы воды на орошение, составляем уравнение

$$W_{\text{восст}} = W_{\text{набл}} - (W_{\text{пруд}} - W_{\text{в/пруд}}) + W_{\text{в/русл}}, \quad (7)$$

где $W_{\text{восст}}$ – объем восстановленного стока;

$W_{\text{набл}}$ – объем наблюдаемого стока;

$W_{\text{пруд}}$ – суммарный полезный объем прудов;

$W_{\text{в/пруд}}$ – водозаборы из прудов;

$W_{\text{в/русл}}$ – водозаборы из руслового стока.

Составляющая уравнения $(W_{\text{пруд}} - W_{\text{в/пруд}})$ представляет величины сработки прудов, которые оказывают на сток регулирующее влияние,

способствуя его увеличению в период летней межени. Величины летних расходов воды рек Уршак, Дема, Чермасан, Сюнь, восстановленные по уравнению водного баланса, отличаются от величин, рассчитанных статистическим путем, но в целом они также показывают увеличение летних расходов воды. Расхождение цифровых значений, полученных этими двумя методами, образуется, как правило, в результате недостаточной точности сведений о заборах воды и объемах прудов. Поэтому для количественной оценки изменений стоковых характеристик целесообразнее использовать первый метод – статистический. Метод водного баланса можно применять для подтверждения направленности изменений водности рек.

В исследуемых речных бассейнах, занимающих равнинное левобережье р. Белой, влияние хозяйственной деятельности происходит в двух противоположных направлениях. С одной стороны, посредством изъятий из руслового стока антропогенный фактор уменьшает величину летнего стока, с другой – путем строительства регуляторов стока (прудов) увеличивает летний сток ниже по течению. Направленность изменений расходов воды июля–августа в сторону увеличения свидетельствует о том, что пруды оказывают на сток летней межени более существенное влияние, чем орошение. Начало тенденции увеличения приходится на конец 1960-х годов, т. е. на период интенсивного строительства прудов [3].

Возрастание роли прудов в перераспределении стока внутри года подтверждается графиками хода коэффициента внутригодовой зарегулированности стока. Коэффициент ϕ при этом представляет отношение базисного стока ко всему годовому стоку. В левобережье р. Белой ϕ неуклонно увеличивается, начиная с конца 1960-х годов. На реках, где активного прудового строительства не происходило (реки Ай, Сарс), ход ϕ имеет ровный характер.

Увеличение зимних расходов на реках западных районов Башкирии приходится на конец 1960 – начало 1970-х годов. В этот период в регионе интенсивно шло освоение орошаемых земель. Как известно, развитие орошения оказывает влияние на внутригодовое распределение стока. Сток, изъятый из русла в период вегетации, поступает в гидрографическую сеть в осенне-зимнее время, вследствие чего наблюдается увеличение расходов воды зимней межени [4].

Незначительная тенденция годового стока к уменьшению связана с ростом безвозвратных потерь стока, которые осуществляются в основном через продуктивное (транспирация) и непродуктивное испарение. Это вызвано увеличением испаряющих площадей – водного зеркала прудов, а также орошаемых земель. Кроме того, ежегодно из объема годового стока изымается определенная его часть для заполнения емкостей новых прудов, что сказывается на уменьшении годового стока.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дрозд В.В. Анализ однородности рядов речного стока: рекомендации. Минск: ЦНИИ-КИВР, 1985. 40 с.
2. Шикломанов И.А. Влияние хозяйственной деятельности на речной сток. Л.: Гидрометеоздат, 1989. 334 с.
3. Загитова Л.Р. Оценка антропогенных изменений водных ресурсов в ландшафтах Башкирского Предуралья / Сб. Перспективы агропромышленного производства регионов России в условиях реализации приоритетного национального проекта «Развитие АПК». Уфа: БГАУ, 2006. С. 77–78.
4. Пакали Э.В. Оценка влияния хозяйственной деятельности на минимальный и меженный сток на примере рек Северного склона Джунгарского Алатау / Тр. КазНИГМИ. Вып. 55. М.: Гидрометеоздат, 1980. С. 96–98.

Сведения об авторе:

Загитова Лариса Рашитовна, канд. геогр. наук, доцент, кафедра природообустройства, строительства и гидравлики, Башкирский государственный аграрный университет, 450001, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. 50 лет Октября, 34; ФГУП «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», Башкирский филиал (БашНИИВХ), 450097, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Бессонова, д. 27; e-mail: l_zagitova@mail.ru