

УДК 502/504: 551.585

EDN [QPABIR](#)



Оценка многолетней динамики стока реки Истры

Н.В. Муращенко

Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, 127550, Россия

*E-mail: splain75@mail.ru

Аннотация. Представлены результаты исследования многолетней динамики условно-естественного (восстановленного) стока реки Истры в створе Истринского гидроузла за 97-летний период (1914/1915-2010/2011 гг.). Для выполнения данного исследования по установлению закономерностей в динамике многолетних колебаний стока реки Истры, применяется метод линейного тренда (линейной регрессии). Для установления значимости полученного линейного тренда во временных рядах стока, использованы два критерия - критерий Стьюдента и коэффициент корреляции, устанавливающий статистическую связь между значениями характеристики стока и их порядковыми номерами. Оценка изменения нормы годового и сезонного стока р. Истры позволила установить следующие результаты. Увеличение нормы годового стока за 35-летний период (1976/1977-2010/2011 гг.) оценивается в 22% от среднего за предшествующий период (1914/1915-1975/1976 гг.). Значительные изменения наблюдаются в динамике стока зимней и летне-осенней межени. С середины 70-х годов XX века норма стока зимней межени увеличилась с 2,62 м³/сек до 4,75 м³/сек, т.е. на 2,13 м³/сек (81%). Сток весеннего половодья р. Истры имеет незначительную тенденцию к понижению среднемноголетнего значения стока, с 15,56 м³/сек до 14,45 м³/сек, что составляет 7% от нормы стока за предыдущий период. Происходящие изменения внутригодовой динамики речного стока Истры будет существенно влиять на управление поверхностными водными ресурсами Московцевской водохозяйственной системы.

Ключевые слова: норма стока, расход воды, линейный тренд, коэффициент корреляции.

Estimation of long-term dynamics of the runoff of the Istra River

N.V. Muraschenkova

Russian state agrarian university RGAU-MSHA named after C.A. Timiryazev, Moscow, 127550, Russia

*E-mail: splain75@mail.ru

Abstract. The results of a study of fluctuations in the conditionally natural (restored) flow of the Istra River at the site of the Istra hydroelectric complex over a 97-year period are presented. To perform this study to establish patterns in the dynamics of long-term fluctuations in the flow of the Istra River, the linear trend method is used. The increase in the annual flow rate over the past decades is estimated at 22% of the long-term average for the period up to 1975. Significant changes are observed in the runoff dynamics of the winter and summer-autumn low water periods. Since the 1975 of the 20th century, the winter low water flow rate has increased by 81%. The runoff rate of the spring period of recent years has decreased by 7% relative to the runoff rate of the period before 1975. The ongoing changes in the intra-annual dynamics of the Istra river runoff will significantly affect the management of surface water resources in the river basin.

Keywords: runoff rate, water discharge, linear trend, correlation coefficient.

1. Введение

Изучение пространственно-временных закономерностей речного стока является одной из наиболее важных проблем гидрологических исследований настоящего времени. Глобальное и региональное изменение среднемноголетней температуры воздуха привело к перераспределению во времени суммарных атмосферных осадков на территории бассейнов рек. Указанные изменения гидрометеорологических характеристик на территории речных бассейнов привели изменениям поверхностных водных ресурсов. В связи с этим, наиболее актуальными в настоящее время являются исследования, посвященные анализу гидрологических изменений во времени и в пространстве. В последние годы подобные исследования представлены многочисленными работами ряда авторов, изучающих вопросы изменения речного стока под влиянием как климатических, так и антропогенных факторов [3-13,15-18].

2. Постановка задачи (Цель исследования)

Основной целью исследования является оценка закономерностей временной изменчивости годового и сезонного стока реки Истры в створе Истринского гидроузла за 97-летний период (1914 - 2010 гг.). Установленные изменения многолетних колебаний речного стока Истры будут учитываться при получении прогнозных оценок характеристик стока необходимых при управлении водно-ресурсной системой Московского региона.

3. Методы и материалы исследования

Объектом исследования является бассейн реки Истры, расположенный на территории Московской области и имеющий площадь водосбора - 2050 км².

Река Истра – левый приток Москвы-реки, длиной 112 км. Берет начало в болотистом лесу в 2 км к востоку от станции Покровское Октябрьской железной дороги. Впадает в Москву-реку напротив села Знаменское, в 9 км восточнее г. Звенигорода [1-2,14]. Сток реки Истры зарегулирован, построенным в 1935 г. Истринским водохранилищем, которое является частью Москворецкой водохозяйственной системы.

В настоящей работе для оценки годовой и сезонной динамики стока использованы многолетние временные ряды годового и сезонного условно-естественного стока р. Истры в створе Истринского гидроузла за исследуемый период 1914-2010 гг. (n=97лет).

Анализ динамики среднегодовых и сезонных значений расходов воды реки Истры в створе Истринского гидроузла выполнен с использованием методики линейного тренда (уравнения линейной регрессии).

Значимость линейного тренда временных рядов среднегодовых и средних за весеннее половодье и межень расходов воды оценивается на основе критерия Стьюдента и коэффициента корреляции. Коэффициент корреляции вычисляется между значениями характеристики стока и их порядковыми номерами.

Проверка значимости линейного тренда исследуемых временных рядов расходов воды основана на выдвижении нулевой гипотезы по отношению к коэффициенту регрессии (a_1) и коэффициенту корреляции (r) по уравнению (1):

$$H_0: |a_1| = 0; \quad H_0: |r| = 0 \quad (1)$$

Для проверки нулевой гипотезы вычисляется выборочный критерий Стьюдента по уравнению (2):

$$t = \frac{|r|\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} \quad (2)$$

где r - коэффициент корреляции, вычисленный между значениями расходов воды и их порядковыми номерами, n - число лет наблюдений.

Линейный тренд временного ряда является статистически значимым, если выборочный критерий Стьюдента (расчетное значение) превышает его критическое значение (t_α) при уровне значимости критерия (α), т.е.

$$t > t_\alpha(\alpha; \nu = n - 2) \quad (3)$$

где t_α - критическое значение критерия Стьюдента при уровне значимости α и числе степеней свободы $\nu = n - 2$.

Выдвигаем нулевую гипотезу (1), задаем уровень значимости критерия равный 5%, а затем вычисляем расчетное значение критерия Стьюдента по зависимости (2). Сопоставив расчетное значение критерия Стьюдента с его критическим значением согласно выражению (3), принимаем или отбрасываем нулевую гипотезу, а, следовательно, и оценим значимость линейного тренда в рядах гидрологической информации.

4. Полученные результаты

Анализ многолетних изменений годового и сезонного стока р. Истры за разные периоды времени (1914/1915-1975/1976 и 1976/1977-2010/2011 гг.) позволил получить следующие результаты. Повышение нормы годового стока за современный 35-летний период (1976/1977-2010/2011 гг.) составляет 1,4 м³/с, т.е. сток увеличился на 22% по сравнению с нормой стока за период с 1914 по 1975 год.

В таблице 1 приведены среднемноголетние значения среднегодовых и сезонных расходов воды реки Истры в створе Истринского гидроузла за расчетные периоды. Рассматриваемый период с 1976/1977 и по настоящее время оценивается как современный климатический период (период нестационарного климата).

Таблица 1. Многолетние характеристики годового и сезонного условно-естественного стока (м³/сек) р. Истры за исследуемые периоды.

Период	Весенний сток (III-V)	Летне-осенний сток (VI-XI)	Зимний сток (XII-II)	Годовой сток (III-II)
1914/1915-2010/2011	5.2	4.5	3.4	6.9
1914/1915-1975/1976	15.6	3.6	2.6	6.4
1976/1977-2010/2011	14.5	6.0	4.8	7.8

Наибольший прирост среднемноголетних значений расходов воды наблюдается в изменении стока зимней и летне-осенней межени. С середины 70-х годов XX века среднемноголетний сток (норма) зимней межени увеличился с 2,62 м³/сек до 4,75 м³/сек, т.е. разность стока за два рассматриваемых периода составляет 2,13 м³/сек (81%). Сток весеннего половодья р. Истры имеет незначительную тенденцию к понижению среднемноголетнего значения с 15,56 м³/сек до 14,45 м³/сек ($\Delta=-1,11$ м³/сек), что составляет 7% от нормы стока за предыдущий период.

При оценке полученных результатов многолетних изменений среднегодовых и сезонных расходов воды реки Истры за 97-летний период выявлены следующие закономерности. На основе уравнения линейной регрессии получено, что увеличение среднемноголетнего значения среднегодовых расходов составляет около 2 м³/с за 97 лет, т.е. около 30% от его нормы стока. Приращение среднемноголетнего значения стока летне-осенней межени составляет 3,1 м³/с за 97 лет, т.е. сток увеличился на 69% от его нормы. Изменение стока зимней межени показало, что сток этого периода вырос в 1,2

раза относительно его нормы. В таблице 2 приведены результаты оценки линейных трендов временных рядов годового и сезонного стока р. Истры.

Таблица 2. Результаты оценки изменения среднегодовых и сезонных значений расходов воды реки Истры за 97-летний период (1914/15-2010/2011гг.).

Период	Уравнение тренда	Критерий Стьюдента	Коэффициент корреляции	Значимость тренда
Весеннее половодье	$Q_v = -0.0304 * t + 16.647$	1.78	-0.18	значим
Летне-осенняя межень	$Q_{л-о} = 0.0325 * t + 2.8604$	4.00	0.38	значим
Зимняя межень	$Q_z = 0.0438 * t + 1.2393$	10.41	0.73	значим
Год	$Q_g = 0.0196 * t + 5.9018$	3.07	0.30	значим

Статистический анализ временных рядов среднегодовых и средних сезонных расходов воды р. Истры позволил выявить наличие статистически значимых линейных трендов в исследуемых рядах наблюдений. Как показал расчет, расчетное значение критерия Стьюдента (t) превышает критическое значение критерия (t_{α}) при уровне значимости критерия (5%), равном 1,66.

Линейный тренд среднегодовых расходов воды реки Истры имеет положительное значение и скорость увеличения стока за каждые 10 лет равна 0,2 м³/с. Скорость изменения речного стока летне-осенней межени и зимней межени составляет соответственно 0,3 м³/с за 10 лет и 0,4 м³/с за 10 лет (тренды положительные). Линейный тренд ряда расходов воды весеннего половодья отрицательный и является значимым при 5% уровне значимости критерия. При 1% уровне значимости критерия Стьюдента не обнаруживается в рядах весеннего стока.

5. Выводы

Проведенный анализ многолетних изменений речного стока, как одного из элементов водного баланса речного бассейна позволяет сделать вывод о том, что на протяжении последних 40-50 лет происходит значительное изменение водности реки. Используемые для анализа данные условно-естественных (восстановленных) расходов воды реки Истры позволяют оценить влияние, прежде всего климатических факторов на

речной сток. Наблюдается повышение доли меженного стока в его среднегодовом объеме, при котором происходит преимущественно питание реки за счет подземных вод.

Список литературы

1. Вагнер Б.Б. Реки Московского региона / Б.Б. Вагнер, И.В. Клевкова. – М.: МГПУ, 2003. – 215 с.
2. Воды России (состояние, использование, охрана). 1996-2000 годы. – Екатеринбург: Изд-во РосНИИВХ, 2002. – 254 с.
3. Дробышева А.А. Ретроспективный анализ изменения загрязняющих веществ реки Москвы / А.А. Дробышева, Е.И. Кочурова // В сборнике: Экосистемные сервисы в условиях глобальных изменений. Сборник трудов, приуроченных к международной научно-практической конференции «Экосистемные сервисы в условиях глобальных изменений». – М.: ООО «Мегаполис». – С.33-35.
4. Исмайылов Г.Х. Оценка изменения и взаимосвязь элементов водного баланса бассейна реки Волги в условиях изменения климата / Г.Х. Исмайылов, Н.В. Муращенко // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2015. – №5. – С. 4 - 17.
5. Исмайылов Г.Х. Оценка изменчивости элементов водного баланса половодья и межени бассейна реки Волги / Г.Х. Исмайылов, Н.В. Муращенко // Природообустройство. – 2012. – № 3. – С. 64-69.
6. Исмайылов Г.Х. Цикличность многолетних колебаний годового и сезонного стока бассейна Верхнего Дона / Г.Х. Исмайылов, Н.В. Муращенко // В сборнике: Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2018, сборник статей по материалам международной научно-практической конференции/ под ред. Л.И. Лукиной, Н.А. Бежина, Н.В. Ляминой. – Севастополь: СевГУ, 2018. – С.494 - 498.
7. Исмайылов Г.Х. Межгодовая изменчивость элементов водного баланса бассейна реки Дон / Г.Х. Исмайылов, Н.В. Муращенко // Природообустройство. – 2012. – № 1. – С. 52-56.
8. Исмайылов Г.Х. Исследование временных закономерностей речного стока бассейна Верхнего Дона / Г.Х. Исмайылов, Н.В. Муращенко // Природообустройство. – 2019. – №1. – С. 35-40.

9. Исмаилов Г.Х. К теории и методологии формирования элементов водного баланса речного бассейна в условиях меняющегося климата / Г.Х. Исмаилов, Н.В. Муращенко // Экология. Экономика. Информатика. Сб. статей: в 2-х т. Т.1: Системный анализ и моделирование экономических и экологических систем. Вып.1. – Ростов н/Д: Изд-во ЮНЦ РАН, 2016. – С. 615-628.
10. Исмаилов Г.Х. Оценка цикличности многолетних колебаний годового стока реки Дон / Г.Х. Исмаилов, Н.В. Муращенко // Природообустройство. – 2010. – № 1. – С. 84-88.
11. Исмаилов Г.Х. Ретроспективный анализ и оценка изменчивости поверхностных водных ресурсов рек Москворецкой водохозяйственной системы / Г.Х. Исмаилов, Н.В. Муращенко // Природообустройство. – 2018. – № 3. – С. 15-22.
12. Исмаилов Г.Х. Оценка речного стока в бассейне реки Волги/ Г.Х. Исмаилов, Н.В. Муращенко // Природообустройство. – 2014. – № 2. – С. 65-69.
13. Исмаилов Г.Х. Методика оценки сложноформируемых элементов водного баланса (суммарного испарения и влагозапасов) речного бассейна / Г.Х. Исмаилов, Н.В. Муращенко, И.Г. Исмаилова // Природообустройство. – 2020. – № 5. – С. 88-95.
14. Либсон В.Я. По берегам Истры и ее притоков / В.Я. Либсон. – М.: Искусство, 1973. – 144 с.
15. Муращенко Н.В. Оценка динамики загрязняющих веществ в бассейне реки Москвы / Н.В. Муращенко // Материалы Международной научно-практической конференции «Перспективные технологии и материалы», Севастополь. – 2021. – С. 262-265.
16. Федотова О.А. Оценка изменения и прогноз речного стока частного водосбора Ивановского водохранилища / О.А. Федотова, Н.В. Муращенко // Мелиорация и водное хозяйство. – 2016. – № 5. – С.42-47.
17. Федотова О.А. Изменчивость сезонных элементов водного баланса бассейна Верхней Волги / О.А. Федотова, Н.В. Муращенко // Природообустройство. – 2015. – № 1. – С. 60-65.
18. Шикломанов И.А. Современные и перспективные изменения стока рек России под влиянием климатических факторов / И.А. Шикломанов, В.Ю. Георгиевский //

Водные ресурсы суши в условиях изменяющегося климата. – СПб: Наука, 2007. – С. 20-23.