

ОПТИМИЗАЦИЯ ПУНКТОВ НАБЛЮДЕНИЙ НА РЕКАХ БЕЛАРУСИ

А. А. Волчек, доктор географических наук

Брестский государственный технический университет,
г. Брест, Беларусь

Аннотация

Приведены результаты исследований по определению оптимального количества гидрологических постов наблюдений за различными видами стока рек Беларуси. Показано, что количество станций наблюдений за стоком является достаточным для решения тех или иных водохозяйственных и гидрологических задач. В то же время количество гидрологических постов наблюдений за годовым стоком минимально допустимо. Исследования по оптимальному количеству постов на реках Беларуси до и после современных климатических изменений и начала активной антропогенной деятельности свидетельствуют о том, что количество постов наблюдений за стоком должно быть большим. Показано, что в маловодные годы количество гидрологических постов наблюдений за зимним стоком недостаточно.

Ключевые слова: сток, гидропост, пространственные корреляционные функции, оптимизация, минимальная площадь.

Abstract

A. A. Volchak

OPTIMIZATION OF OBSERVATION POINTS ON THE RIVERS OF BELARUS .

Today the reduction of hydrological posts of supervision over a flow in the territory of Belarus is observed. Researches have shown that the quantity of hydrological posts existing today is sufficient, but the quantity of stations of supervision over an annual flow comes nearer to a critical minimal value and the further reduction of quantity of hydrological posts in the territory of Belarus is inadmissible. The analysis has shown that the required least quantity of hydrological posts should be more. Researches of optimization of quantity of stations of supervision over a flow during the shallow-flowing and full-flowing periods testify that the quantity of hydrological posts corresponds to available quantity practically for all kinds of a flow except for quantity of stations of supervision over a winter flow in shallow-flowing years.

Keywords: runoff gauging stations, the spatial correlation function, optimization, minimum area.

Введение

На территории Беларуси насчитывается более 20 тыс. рек и ручьев. Поэтому для объективной оценки водных ресурсов с требуемой точностью необходимо определенное количество гидрологических постов. Проблема усугубляется тем, для различных видов стока требуется различное количество гидропостов. Тем не менее в количество станций наблюдения за стоком воды рек Беларуси в последнее время существенно

сократилось. Существует несколько причин закрытия постов: снижение финансирования, выход из строя гидрометрического оборудования, достигнутая удовлетворительная гидрологическая изученность территории.

Цель настоящей работы – определение необходимого количества гидропостов на реках Беларуси для объективной оценки различных видов стока.

Методика оптимизации режимной гидрологической сети

Метод оптимизации гидрологической сети основан на определении трех критериев, оказывающих влияние на оптимальное количество станций наблюдений за стоком [1].

Первый из критериев – это критерий репрезентативности $A_{\text{репр}}$. Он вытекает из условия зональности изменения стока. По мере уменьшения площади водосбора увеличивается роль

азональных факторов (глубина эрозионного вреза русел, наличие карста, степень дренирования подземных вод и т. п.), поэтому площадь, охватываемая одним гидрологическим постом, не должна быть слишком малой, чтобы азональные факторы не приобрели степень преобладающих над общими зональными закономерностями формирования стока [2]. Таким образом, репрезентативный критерий $A_{\text{репр}}$ ограничивает снизу $A_{\text{опт}}$ – оптимальную площадь, приходящуюся на один гидрологический пост, то есть $A_{\text{репр}} < A_{\text{опт}}$.

Вторым критерием является градиентный критерий $A_{\text{град}}$, определяемый из следующей формулы [1]:

$$A_{\text{град}} \geq \frac{8\sigma_0^2}{(\text{grad}Q)^2} (\bar{Q})^2, \quad (1)$$

σ_0 – погрешность определения нормы стока; $\text{grad}Q$ – градиент стока; \bar{Q} – средняя норма стока.

Погрешность определения нормы стока равна

$$\sigma_0 = \frac{C_v}{\sqrt{N}}, \quad (2)$$

C_v – коэффициент вариации стока; N – количество лет наблюдений [2].

С помощью градиентного критерия устанавливается минимальная площадь, приходящаяся на один гидрологический пост. Он определяется физико-географическими условиями местности и характеризует надежность информации о пространственно-временных изменениях колебаний речного стока. Располагать гидрологические посты чаще, чем требует этот критерий, экономически нецелесообразно, то есть $A_{\text{град}} \leq A_{\text{опт}}$.

Результаты исследования оптимизации режимной гидрологической сети Беларуси

В первую очередь было исследовано оптимальное количество гидрологических постов наблюдения за значениями годового стока рек Беларуси. Для нахождения репрезентативного критерия $A_{\text{репр}}$ использовалась методика, основанная на критерии однородности Стьюдента [4]. Исследования показали, что репрезентативная площадь, приходящаяся на один гидрологический пост наблюдения за ве-

Третий критерий – это корреляционный критерий $A_{\text{корр}}$. Его использование обусловлено методом гидрологической аналогии, когда данные о неизученном водном объекте получают исходя из данных об объекте, аналогичном исследуемому по гидрогеологическим и гидрометеорологическим условиям формирования речного стока. Корреляционный критерий определяется следующим образом [1]:

$$A_{\text{корр}} \leq \frac{\sigma^4}{\alpha^2 C_v^2}, \quad (3)$$

где σ – относительная случайная ошибка определения стока по гидрометрическим данным, в первом приближении равная 0,05; $\alpha = 1/L_0$ (L_0 – радиус корреляции стока, то есть расстояние, при котором пространственная корреляционная функция (ПКФ) проходит через ноль [3]).

Корреляционный критерий определяет верхнюю границу расчетной оптимальной площади гидрологического поста, то есть $A_{\text{опт}} \leq A_{\text{корр}}$.

Оптимальная площадь, приходящаяся на один гидрологический пост, должна находиться в следующем диапазоне:

$$A_{\text{репр}} < A_{\text{град}} \leq A_{\text{опт}} \leq A_{\text{корр}}. \quad (4)$$

Если приведенное выше соотношение между критериями не выполняется, то рекомендуется при $A_{\text{репр}} < A_{\text{корр}} < A_{\text{град}}$ использовать соотношение $A_{\text{корр}} < A_{\text{опт}} < A_{\text{град}}$ [1].

Оптимальное число режимных гидрологических станций для территории определяется по формуле

$$n_{\text{опт}} = \frac{A}{A_{\text{опт}}}, \quad (5)$$

где A – общая площадь территории.

личинами годового стока, для территории Беларуси составляет 374 км².

Градиентный критерий $A_{\text{град}}$ находился исходя из значений среднегодовых норм стока исследуемых рек и значений градиентов стока. Для нахождения параметров, входящих в формулу (1), были построены карты коэффициента вариации и модуля стока. Таким образом, рассчитанное значение градиентного

критерия для территории Беларуси составило 1739 км².

Расчет корреляционного критерия $A_{\text{корр}}$ основан на нахождении радиуса корреляции стока L_0 . Для его определения построена ПКФ годового стока $r(l)$, где r – коэффициент парной корреляции, l – расстояние между водосборами.

Радиус корреляции для территории Беларуси составил 688 км, а соответствующее значение корреляционного критерия $A_{\text{корр}} = 1218$ км².

При соотношении $A_{\text{репр}} < A_{\text{корр}} < A_{\text{град}}$ оптимальная площадь, приходящаяся на один гидрологический пост, находится из соотношения $A_{\text{репр}} < A_{\text{опт}} < A_{\text{град}}$.

Если исходить из градиентного критерия (5), то общее число режимных стоковых постов для территории Беларуси равно

$$N_{\text{опт}} = \frac{A}{A_{\text{град}}} = \frac{207600}{1739} \approx 119.$$

Если исходить из корреляционного критерия, тогда оптимальное количество гидрологических станций наблюдения за значениями годового стока равно

$$N_{\text{опт}} = \frac{A}{A_{\text{корр}}} = \frac{207600}{1218} \approx 170.$$

Дальнейшее исследование проводилось для экстремальных значений стока: максимального весеннего половодья, минимального летне-осеннего и минимального зимнего. Для максимального стока значение репрезентативного критерия $A_{\text{репр}} = 969$ км², значение градиентного критерия $A_{\text{град}} = 3297$ км². Радиус корреляции при построении ПКФ максимального стока рек Беларуси равен 1140 км. Значение корреляционного критерия $A_{\text{корр}} = 97$ км².

При исследовании минимальных видов стока получены следующие результаты. Для минимального летне-осеннего стока: $A_{\text{репр}} = 363$ км², $A_{\text{град}} = 2812$ км², $A_{\text{корр}} = 847$ км². Для минимального зимнего стока значения репрезентативного, градиентного и корреляционного критериев соответственно равны 567, 2166 и 5154 км². При нахождении корреляционных критериев $A_{\text{корр}}$ строились графики ПКФ минимального летне-осеннего и минимального зимнего стока рек Беларуси. Расчет корреляционного критерия $A_{\text{корр}}$ основан на нахождении радиуса корреляции стока L_0 . Для его определения построена ПКФ годового стока $r(l)$, где r – коэффициент парной корреляции, l – расстояние между водосборами, приведенная на рис. 1.

Значения необходимого наименьшего и наибольшего количества станций наблюдений за годовым, максимальным и минимальными видами стока приведены в табл. 1.

Таблица 1. Наименьшее и наибольшее количество гидрологических постов для территории Беларуси

Количество гидрологических постов	Вид стока			
	годовой	максимальный	минимальный летне-осенний	минимальный зимний
наименьшее	119	63	74	40
наибольшее	170	2138	245	96

Существующая на территории Беларуси гидрологическая сеть в целом соответствует необходимому количеству гидрологических постов для объективной оценки измерения максимального и минимального летне-осеннего видов стока. Для измерения минимального зимнего стока количество станций превышает максимально необходимое значение.

Значения наименьшего и наибольшего количества гидрологических постов наблюдений за максимальным стоком сильно отличаются ввиду больших значений коэффициентов вариации и модуля стока, вводящих в расчетные формулы

для определения корреляционного и градиентного критериев соответственно.

Что касается годовых значений стока рек Беларуси, то количество станций наблюдений за ним приближается к критической минимальной отметке. Дальнейшее уменьшение количества гидрологических постов на территории страны недопустимо ввиду определяющего значения среднегодового стока в гидрологических и агротехнических расчетах, гидротехническом строительстве и других отраслях народного хозяйства [5].

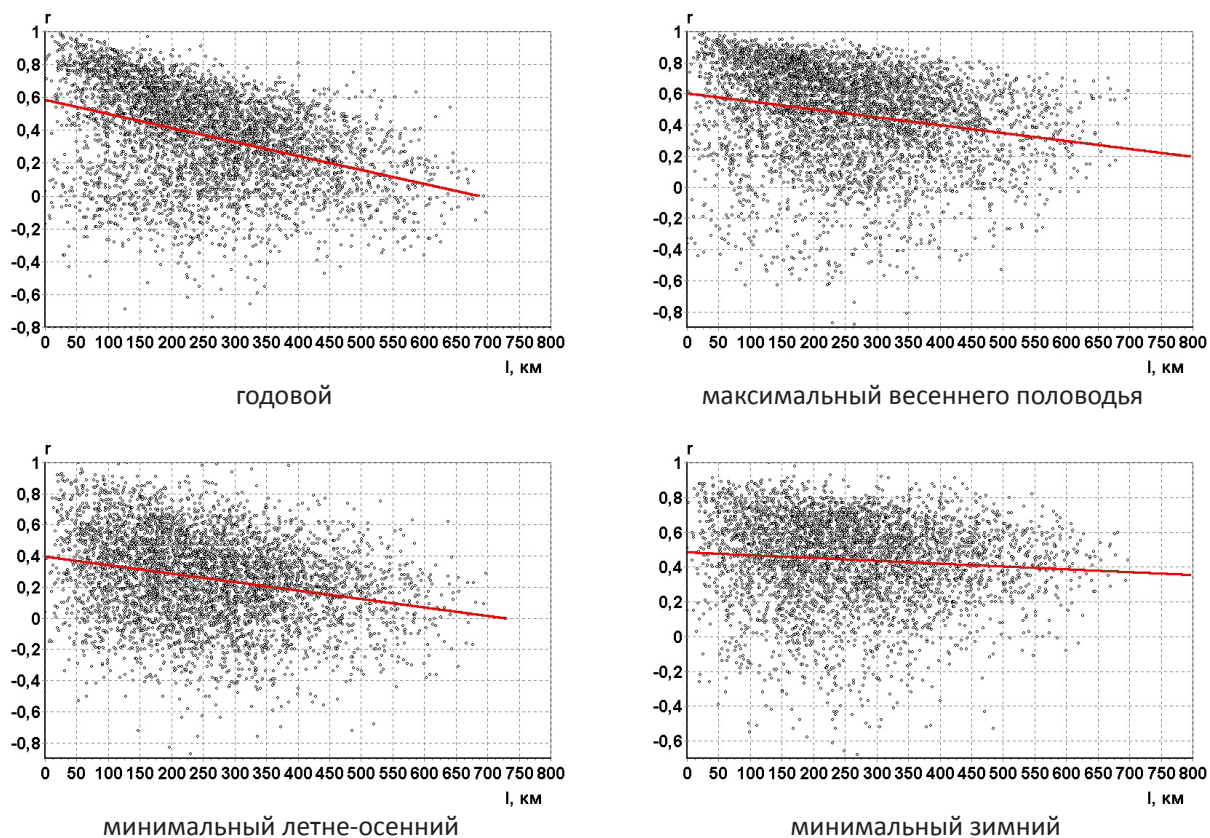


Рис. 1. ПКФ различных видов стока рек Беларуси

Рассмотрим две части исследуемых рядов стока рек Беларуси: время до начала периода современного потепления климата и интенсивной мелиорации (I) и последующий период после принятия Государственной программы развития мелиорации (1965 г.) (II). Для нахождения корреляционного критерия построены

ПКФ стока рек Беларуси для двух периодов [6] и найдены соответствующие радиусы корреляции, (табл. 2). Значения репрезентативного, градиентного и корреляционного критериев для двух частей исследуемых рядов также приведены в табл. 2.

Таблица 2. Значения критериев для двух периодов формирования стока рек Беларуси

Период	Вид стока	Радиус корреляции L_0 , км	Значения критериев, км ²		
			$A_{\text{репр}}$	$A_{\text{град}}$	$A_{\text{корр}}$
I	годовой	1185	1480	2574	4809
	максимальный	1294	760	11682	92
	минимальный летне-осенний	1372	1040	3375	2550
	минимальный зимний	4833	1290	1850	12405
II	годовой	657	363	1835	1425
	максимальный	1248	969	4380	186
	минимальный летне-осенний	685	374	3081	924
	минимальный зимний	2885	567	2710	3868

Значения наименьшего и наибольшего количества станций наблюдений за различными видами стока для двух исследуемых периодов приведены в табл. 3. Необходимое наименьшее количество гидрологических постов наблюдений за различными видами стока для периодов

до и после потепления климата и начала активной антропогенной деятельности должно быть увеличено. Требуемое наибольшее количество постов в зависимости от вида стока должно быть или большим, или меньшим. Количество станций наблюдения за значениями годового стока

рек Беларуси должно быть большим, при этом оно не сильно отличается от существующего на сегодняшний день количества гидрологических постов на территории страны.

Далее исследовано оптимальное количество станций наблюдений за стоком в многоводные и маловодные периоды для соответ-

ствующих видов стока рек Беларуси. Значения радиусов корреляции стока рек Беларуси, репрезентативного, градиентного и корреляционного критериев для маловодных и многоводных периодов исследуемых рядов приведены в табл. 4.

Таблица 3. Наибольшее и наименьшее количество гидрологических постов для двух периодов формирования стока рек Беларуси

Период	Вид стока	Количество гидрологических постов	
		наименьшее	наибольшее
I	годовой	43	81
	максимальный	18	2248
	минимальный летне-осенний	62	81
	минимальный зимний	17	112
II	годовой	113	146
	максимальный	47	1114
	минимальный летне-осенний	67	225
	минимальный зимний	54	77

Таблица 4. Значения критериев для маловодных и многоводных периодов

Период	Вид стока	Радиус корреляции L_0 , км	Значения критериев, км ²		
			$A_{репр}$	$A_{град}$	$A_{корр}$
маловодный	годовой	569	374	2772	2565
	максимальный	1013	969	4470	182
	минимальный летне-осенний	495	340	5075	1033
	минимальный зимний	470	492	1694	750
многоводный	годовой	453	410	3492	857
	максимальный	609	969	23201	159
	минимальный летне-осенний	530	313	2303	607
	минимальный зимний	1264	363	4554	1668

Таблица 5. Наименьшее и наибольшее количество гидрологических постов для маловодных и многоводных периодов

Период	Вид стока	Количество гидрологических постов	
		наименьшее	наибольшее
маловодный	годовой	75	81
	максимальный	46	1138
	минимальный летне-осенний	41	201
	минимальный зимний	123	277
многоводный	годовой	59	242
	максимальный	9	1307
	минимальный летне-осенний	90	342
	минимальный зимний	46	124

Значения наименьшего и наибольшего количества постов наблюдений за различными видами стока для маловодных и многоводных периодов приведены в табл. 5. В различные по водности периоды количество гидрологических постов соответствует имеющемуся ко-

личеству практически для всех видов стока. Исключение составляют лишь маловодные периоды для минимального зимнего стока, что свидетельствует о недостаточном количестве станций наблюдений за зимним стоком в маловодные годы.

Выводы

Исследования количества гидрологических постов, необходимых для наблюдения за различными видами речного стока рек Беларуси, позволили сделать вывод об оптимальном количестве гидрологических постов на территории страны. Но в случае наблюдения за годовым стоком количество существующих гидрологических постов является минимально допустимым и уменьшение их количества недопустимо. Ис-

следования влияния современного изменения климата и начала активной антропогенной деятельности показали увеличение минимально необходимого количества гидрологических постов. При изучении маловодных и многоводных периодов различных видов стока рек Беларуси выявлено несоответствие существующего количества гидропостов наблюдений за зимним стоком требуемому в маловодные годы.

Библиографический список

1. Карасев, И. Ф. О принципах размещения и перспективах развития гидрологической сети / И. Ф. Карасев // Тр. ГГИ. – 1968. – Вып. 164. – С. 3 – 36.
2. Коваленко, В. В. Оптимизация режимной гидрологической сети на основе стохастической модели формирования речного стока / В. В. Коваленко, И. И. Пивоварова. – СПб. : Изд-во РГГМУ, 2000. – 43 с.
3. Логинов, В. Ф. Водный баланс речных водосборов Беларуси / В. Ф. Логинов, А. А. Волчек. – Минск : Тонпик, 2006. – 160 с.
4. Гайдукова, Е. В. Оптимизация режимной гидрологической сети в условиях изменения климата [Электронный ресурс] / Е. В. Гайдукова, В. А. Хаустов // Исследовано в России. – 2004. – Режим доступа: <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2004/138.html>. – Дата доступа: 19.11.2019.
5. Водные ресурсы Беларуси и их прогноз с учетом изменения климата / А. А. Волчек [и др.] ; под общ. ред. А. А. Волчек, В. Н. Корнеева. – Брест : Альтернатива, 2017. – 228 с.
6. Оптимизация режимной гидрологической сети Беларуси / В. Ф. Логинов [и др.] // Природопользование : сб. науч. тр. / Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т проблем использования природ. ресурсов и экологии; под ред. И. И. Лиштвана, В. Ф. Логинова. – Минск, 2006. – Вып. 12. – С. 51–57.

Поступила 26 октября 2020 г.