

ВЛИЯНИЕ ВОДОХРАНИЛИЩ НА ТЕРМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ РЕК СРЕДНЕЙ АЗИИ

Вопрос о негативном (для орошения) влиянии водохранилищ на термический режим рек неоднократно поднимался в печати.

К настоящему времени накоплены материалы наблюдений, позволяющие дать объективную оценку этому процессу, выявить общие для региона закономерности изменения температуры воды в нижних бьефах водохранилищ.

Исследований по изменению термического режима водных масс в нижних бьефах водохранилищ и по длине рек сравнительно немного [2-5].

Во всех этих работах изменения термического режима рек оценивались путем сопоставления температуры воды в створе в естественных условиях и в период эксплуатации водохранилищ. Такой прием не совсем правомерен, так как изменение термического режима реки в нижнем бьефе водохранилищ в период их эксплуатации может быть вызвано естественными колебаниями климата и, как следствие, температуры воды.

Использование коэффициента трансформации температуры воды (t_k), равного отношению средней за расчетный период температуры в нижнем и в верхнем створах (t_b) также не дает истинной картины влияния водохранилищ на термику рек.

Этот коэффициент показывает, как температура воды в нижнем створе изменилась относительно верхнего. Однако, эти изменения могут быть связаны с широтной и вертикальной зональностью. Если нижний створ расположен южнее верхнего, то в среднем за год температура воды в нем увеличивается; при северной ориентации потока наблюдается обратная картина. На горных реках температура воды в нижнем бьефе всегда выше, чем в верхнем (табл. 1).

В свете сказанного, в чистом виде влияние водохранилищ на температуру воды можно оценить, лишь сопоставляя прирост или

уменьшение температуры (Δt) в период эксплуатации водохранилища относительно естественных условий.

Таблица 1

Средняя многолетняя температура воды в верхних и нижних бьефах водохранилищ на условно-естественном уровне

Водохранилище	бьеф	I	II	III	IV	V	VI
Токтогульское	верхний	0,1	0,2	3,4	10,3	13,5	15,0
	нижний	0,3	0,4	4,6	11,4	14,0	15,7
Нурекское	верхний	1,0	2,4	6,7	10,0	11,7	13,1
	нижний	2,0	4,0	8,1	11,5	13,2	14,4
Тямяуьнское	верхний	2,5	4,9	9,0	15,4	20,5	23,7
	нижний	1,6	4,0	8,2	14,7	20,1	23,6
Чарвакское	верхний	0,2	1,2	4,3	8,3	10,1	11,2
	нижний	1,6	1,8	4,5	7,8	10,6	11,8
Кайраккумское	верхний	2,1	4,5	9,1	14,1	17,5	19,6
	нижний	1,6	3,8	8,3	13,4	18,5	21,5
Андижанское	верхний	0,3	1,3	3,5	10,5	14,6	15,9
	нижний	3,3	3,9	8,0	12,3	15,0	17,3
Чардаринское	верхний	3,5	6,9	10,9	15,1	19,1	21,3
	нижний	1,8	5,0	9,8	15,4	20,4	24,3

Водохранилище	бьеф	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Токтогульское	верхний	16,8	17,2	14,4	9,5	3,9	0,7
	нижний	17,7	18,4	16,1	11,5	6,0	1,8
Нурекское	верхний	13,8	13,8	11,9	9,6	6,4	2,7
	нижний	15,0	14,9	13,4	11,2	7,6	4,8
Тямяуьнское	верхний	24,8	23,2	19,7	14,2	7,8	4,0
	нижний	24,9	23,3	19,4	13,6	7,1	3,2
Чарвакское	верхний	13,6	14,6	12,1	8,4	4,0	1,1
	нижний	13,5	14,3	12,4	9,2	6,0	3,5
Кайраккумское	верхний	21,8	22,1	19,1	13,6	7,8	4,5
	нижний	23,7	22,7	19,6	14,3	8,4	3,5
Андижанское	верхний	17,4	17,6	14,1	9,0	3,8	1,4
	нижний	19,1	19,0	16,5	12,7	8,7	4,9
Чардаринское	верхний	24,4	25,0	20,3	15,0	8,5	4,3
	нижний	26,0	25,0	20,9	15,0	8,8	3,3

Для этой цели воспользуемся уравнением регрессии, связывающим температуру в верхних и нижних створах реки в естественных условиях:

$$t_n = at_v + b, \quad (1)$$

где t_n и t_v - средняя месячная температура в нижнем и верхнем створах исследуемого участка реки; a и b - коэффициенты уравнения.

Уравнение (1) используется для восстановления t_n в период эксплуатации водохранилища по значениям t_v .

Тогда изменение температуры воды в нижнем створе, связанное с влиянием водохранилища, будет равно

$$\Delta t = t_{n.v.} - t_{n.ф.}, \quad (2)$$

где Δt - изменение температуры воды в нижнем бьефе водохранилища в среднем за расчетный период; $t_{n.v.}$ и $t_{n.ф.}$ - восстановленное по (1) и фактически зафиксированное значение температуры воды за тот же период.

Использование метода предполагает наличие параллельных наблюдений в верхнем и нижнем створах реки как в период эксплуатации водохранилища, так и в естественных условиях.

По этому признаку были выбраны семь крупных водоемов, которые представляют весь диапазон крупных русловых водохранилищ Средней Азии по морфометрическим и высотным характеристикам.

Сведения о средней месячной температуре воды приняты по данным створов, приведенных в табл. 2. Как правило, верхние створы расположены достаточно далеко от водохранилищ. Однако, это обстоятельство не должно существенно сказаться на результатах расчетов, поскольку температура воды в верхнем створе используется в качестве индекса, а не как абсолютная величина.

Температура воды в верхнем бьефе Нурекского водохранилища в 1968-1975 годах характеризовалась створом Комсомолабад, а в 1976-1986 годах - створом Чорсада. Створы расположены на расстоянии 16 км, что в условиях горного потока не может существенно сказаться на температуре воды. В связи с этим данные наблюдений по ним объединены в один ряд.

В естественных условиях связь значений средних месячных

температур воды в верхних и нижних створах реки неоднозначна. В связи с этим уравнения регрессии $t_n = f(t_v)$ строились для отдельных сезонов (табл. 3), выявленных предварительно по графикам связи температуры в верхнем и нижнем створах. В пределах выбранных сезонов эти связи линейны.

Таблица 2

Характеристики исследованных русловых водохранилищ

Водохранилище и река, на которой оно расположено	Расстояние от устья реки, км	Длина водохранилища, км	Периоды осреднения, годы		Средние за период эксплуатации		
			условно-естественный	эксплуатации водохранилища	объем, км ³	площадь, км ²	относительная глубина
Кайраккумское, Сырдарья	1961	60	1954-1958	1959-1990	2,38	370,7	0,82
Чардарьинское, Сырдарья	1633	80	1962-1966	1967-1990	3,02	566,7	0,60
Токтогульское, Нарын	141	65	1964-1973	1974-1985	8,97	194,5	8,45
Андижанское, Карадарья	140	14,4	1970-1976	1978-1990	0,81	29,4	8,15
Чарвакское, Чирчик	152	22	1964-1970	1971-1990	1,01	26,4	12,0
Тюямунское, Амударья	452	80	1952-1979	1980-1990	1,08	257,0	0,58
Нурекское, Вахш	263	70	1968-1971	1972-1988	8,34	85,5	21,8

Уравнения регрессии $t_n = f(t_v)$ характеризуются, как правило, высокими коэффициентами корреляции, и погрешности расчета средних месячных величин по ним лишь в отдельных случаях превы-

Таблица 3

Параметры уравнений связи температуры воды в верхнем (х) и нижнем (у) бьефах русловых водохранилищ на условно-естественном уровне

Водохранилище	сезон	R	S	σ_x	σ_y	A	B	$x(t_n)$	$y(t_n)$
Нурекское	III-IX	0.99	0.3	2.4	2.4	0.95	1.88	11.6	12.9
	X - II	0.93	1.2	3.4	3.3	0.90	2.13	4.7	6.3
Тяньмун-ское	I - IX	0.99	0.8	5.3	5.4	1.01	-0.93	8.6	7.8
	V - VII	0.97	0.5	2.0	2.2	1.05	-1.26	23.0	22.9
	VIII-IX	0.94	0.7	1.9	2.1	1.03	-0.61	21.5	21.4
	X - XII	0.99	0.6	4.4	4.6	1.02	-0.91	8.9	8.2
Чарвакское	I - III	0.94	0.5	1.9	1.5	0.76	1.21	2.1	2.8
	IV - VI	0.71	1.6	1.5	2.3	1.14	-1.18	9.8	10.1
	VII-IX	0.88	0.5	1.3	1.0	0.65	4.74	13.4	13.4
	X - XII	0.92	0.9	2.9	2.3	0.76	2.89	4.9	6.6
Токтогуль-ское	I - III	0.97	0.5	1.6	2.2	1.32	0.12	1.3	1.9
	IV - VI	0.98	0.4	2.0	1.9	0.91	1.92	12.9	13.7
	VII-VIII	0.86	0.4	0.8	0.8	0.85	3.58	17.0	18.0
	IX - X	0.98	0.5	2.5	2.3	0.89	3.25	11.9	13.8
	XI - XII	0.97	0.6	1.7	2.3	1.28	0.87	2.3	3.8
Андижан-ское	III-V	0.98	0.6	4.8	3.0	0.61	5.94	10.0	12.0
	VI - X	0.94	0.8	3.4	2.4	0.69	6.77	14.8	16.9
	XI - II	0.90	1.1	1.6	2.5	1.39	2.90	1.9	5.6
Кайрак-кумское	XII-IV	0.99	0.6	4.4	4.4	1.01	-0.86	6.9	6.2
	V - IX	0.90	0.9	1.9	2.1	0.98	1.54	20.0	21.2
	X - XI	0.98	0.6	2.9	3.0	1.01	0.52	10.7	11.3
Чардарин-ское	XII- V	0.98	1.4	5.7	6.8	1.16	-2.40	9.6	8.7
	VI - VII	0.87	0.5	2.4	1.0	0.37	16.7	23.0	25.1
	VIII- XI	0.99	0.8	6.0	6.0	0.98	0.5	17.3	17.5

Примечание: R - сводный коэффициент корреляции, S - погрешность уравнения регрессии, σ_x , σ_y - средние квадратические отклонения средних месячных температур воды в верхнем и нижнем бьефах водохранилища, A - угловой коэффициент в уравнении регрессии, B - свободный член в уравнении регрессии, $x(t_n)$, $y(t_n)$ - средние многолетние температуры воды в верхнем и нижнем бьефах водохранилища.

шают 1° (табл. 3). Надо полагать, что погрешность расчета средних годовых температур меньше средних месячных.

Полученные уравнения регрессии использованы для восстановления средней месячной температуры воды в нижних бьефах водохранилищ в период их эксплуатации. Затем по выражению (2) получены средние многолетние значения изменения температуры (Δt) в нижних бьефах, связанные с работой водохранилищ (табл. 4).

Таблица 4

**Изменение средней многолетней температуры воды Δt
в нижних бьефах русловых водохранилищ
относительно естественного периода**

Водохранилище	Изменение температуры в среднем за			
	1971 - 1975	1976 - 1980	1981 - 1985	1986 - 1990
Нурекское	2,34*	2,04	2,14	2,45*
Чарвакское		0,46*	0,68	0,66
Токтогульское		-0,30*	0,19	-
Андижанское		-0,41*	-1,38	-0,71
Тюямуюнское			-0,81*	-0,84
Кайраккумское	-1,03	-1,33	-0,65	-0,58
Чардаринское	-0,90	-1,46	-1,83	-1,22

Примечание. * - менее пяти лет наблюдений,
прочерк - отсутствие данных.

Среднее многолетнее изменение температуры воды (Δt) в нижнем бьефе водохранилища связано с его морфометрическими характеристиками уравнениями

$$\Delta t = 0,03H_{cp} - 1,19. \quad (3)$$

$$\Delta t = 0,11W + 0,11H_0 - 1,36, \quad (4)$$

где Δt - среднее годовое изменение температуры воды (в граду-

сах) в нижнем бьефе водохранилища по сравнению с естественными условиями: $H_{ср}$, H_0 и W - осредненные за год средняя и относительная глубина и объем водохранилища связаны уравнением

$$H_0 = H_{ср} / \sqrt[3]{F} . \quad (5)$$

где F - средняя за год площадь водного зеркала водохранилища.

Для минимизации случайных погрешностей расчетов все параметры уравнений получены по скользящим трехлетиям.

Уравнения (3), (4) найдены по 84 числам ряда с коэффициентами корреляции 0,82 и 0,83 и стандартной ошибкой 0,5° и выражают общие для региона закономерности влияния водохранилищ на среднюю годовую температуру воды.

Мелководные (равнинные) водохранилища способствуют понижению средней годовой температуры воды в нижнем бьефе по сравнению с естественными условиями на 0,7-1,2°, глубоководные - повышению на 2,0°.

С ростом объема и относительной глубины водохранилища возрастает его тепляющий эффект. Амплитуда между максимальными положительным (Нурекское) и отрицательным (Чардаринское) изменениями годовой температуры воды в нижнем бьефе в отдельные периоды колеблется в пределах 3,5-4,0° (табл. 4). Столь существенные различия могут быть связаны не только с объемом водной массы в водохранилище, но и его географическими координатами - Нурекское водохранилище расположено существенно южнее Чардаринского.

Кайраккумское и Тюямуюнское водохранилища характеризуются практически равными величинами Δt , несмотря на различия в широтах. Снижение температуры воды за счет Чардаринского водохранилища более существенно, чем расположенного севернее Тюямуюнского (табл. 4), несмотря на практическое равенство температуры воздуха. Сказанное подтверждается уравнениями (3-4). Следовательно, морфометрические особенности водохранилищ оказывают большее влияние на температуру воды в нижнем бьефе, чем географическое положение водоема.

Наиболее существенное влияние водохранилища оказывают на

внутригодовой ход температуры воды. Горные водохранилища (НПУ на высотах более 800 м) понижают температуру воды относительно естественного периода с марта по июль (в Токтогульском до августа) и повышают с августа по февраль.

Максимальное (среднее многолетнее) понижение температуры достигает 4-6° в Андижанском и Токтогульском водохранилищах и 2° в Чарвакском и Нурекском (рис. 1).

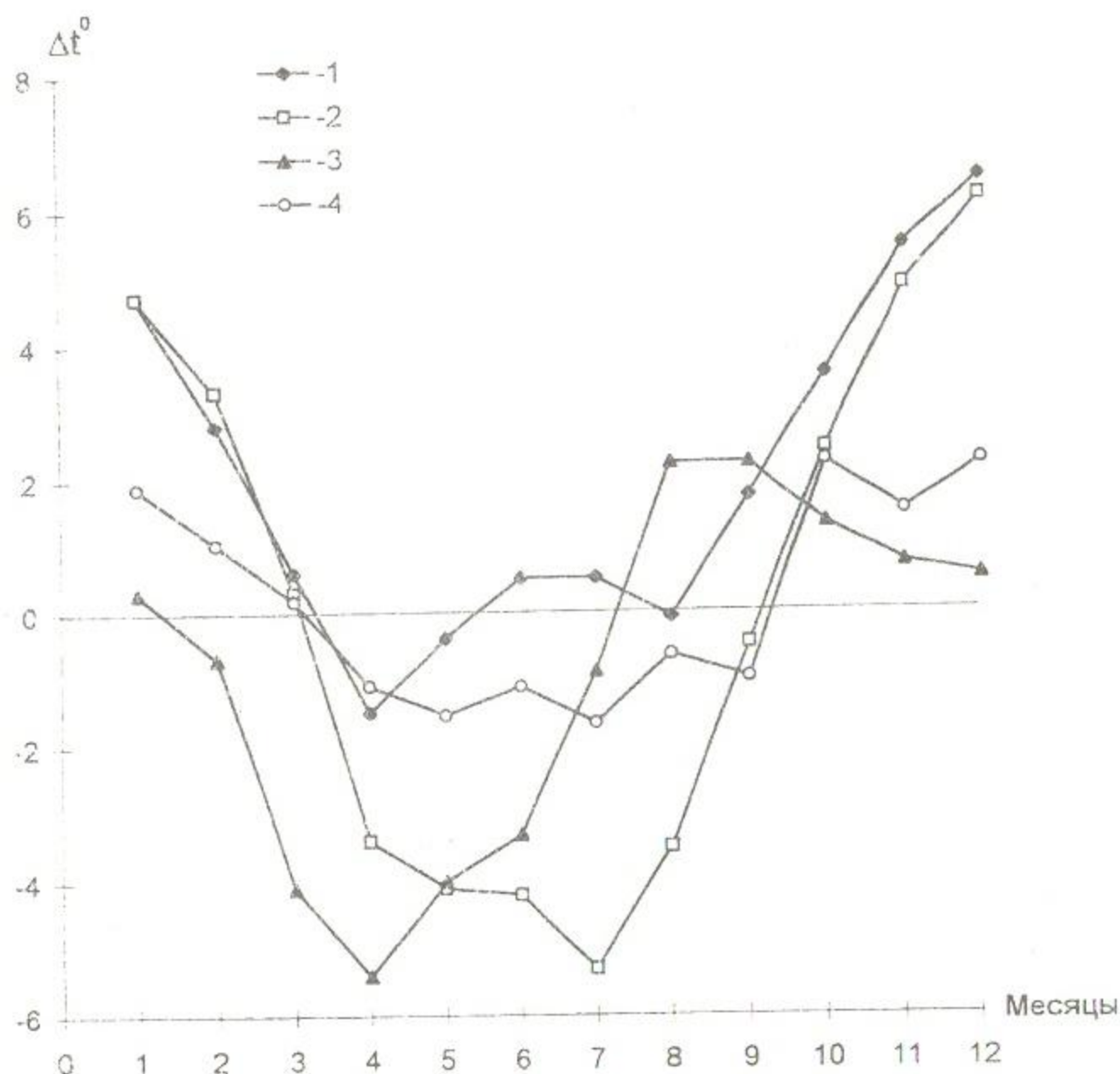


Рис. 1. Внутригодовой ход антропогенных изменений температуры воды в нижних бьефах горных водохранилищ (средний за период эксплуатации). 1 - Нурекское, 2 - Токтогульское, 3 - Андижанское, 4 - Чарвакское.

Максимальное повышение температуры наблюдается в декабре. В этот период температура воды в нижнем бьефе возрастает на 3–8° в зависимости от увеличения объема водохранилищ (рис. 1).

Амплитуда антропогенных изменений температуры воды внутри года велика – от 5° в Чарвакском до 12,6° в Токтогульском водохранилищах.

В нижних бьефах равнинных водохранилищ преобладают отрицательные изменения температуры воды. Максимальное понижение ее в нижнем бьефе наблюдается в марте-апреле, а повышение – в июне-июле (рис. 2).

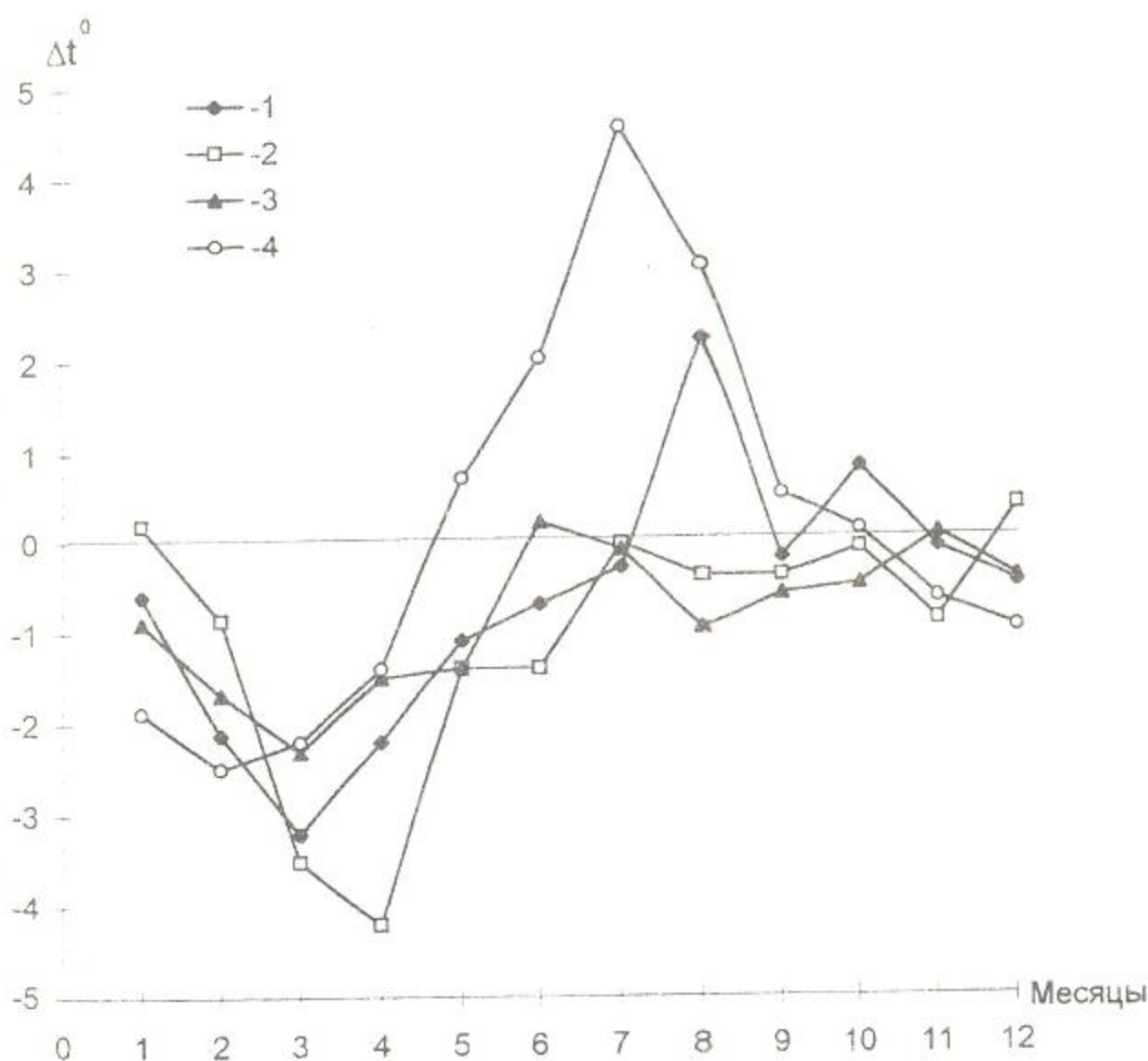


Рис. 2. Внутригодовой ход антропогенных изменений температуры воды в нижних бьефах равнинных водохранилищ (средний за период эксплуатации). 1 – Тюямунское, 2 – Чардаринское, 3 – Кайраккумское (за 1960–1980 годы), 4 – Кайраккумское (за 1981–1990 годы).

По мере увеличения объема водохранилища возрастает максимальное среднее месячное значение Δt . При этом на равнинных водохранилищах, характеризующихся существенно меньшей по сравнению с горными относительной глубиной, максимальный прирост температуры на $2-3^\circ$ меньше, чем в горных (рис. 3).

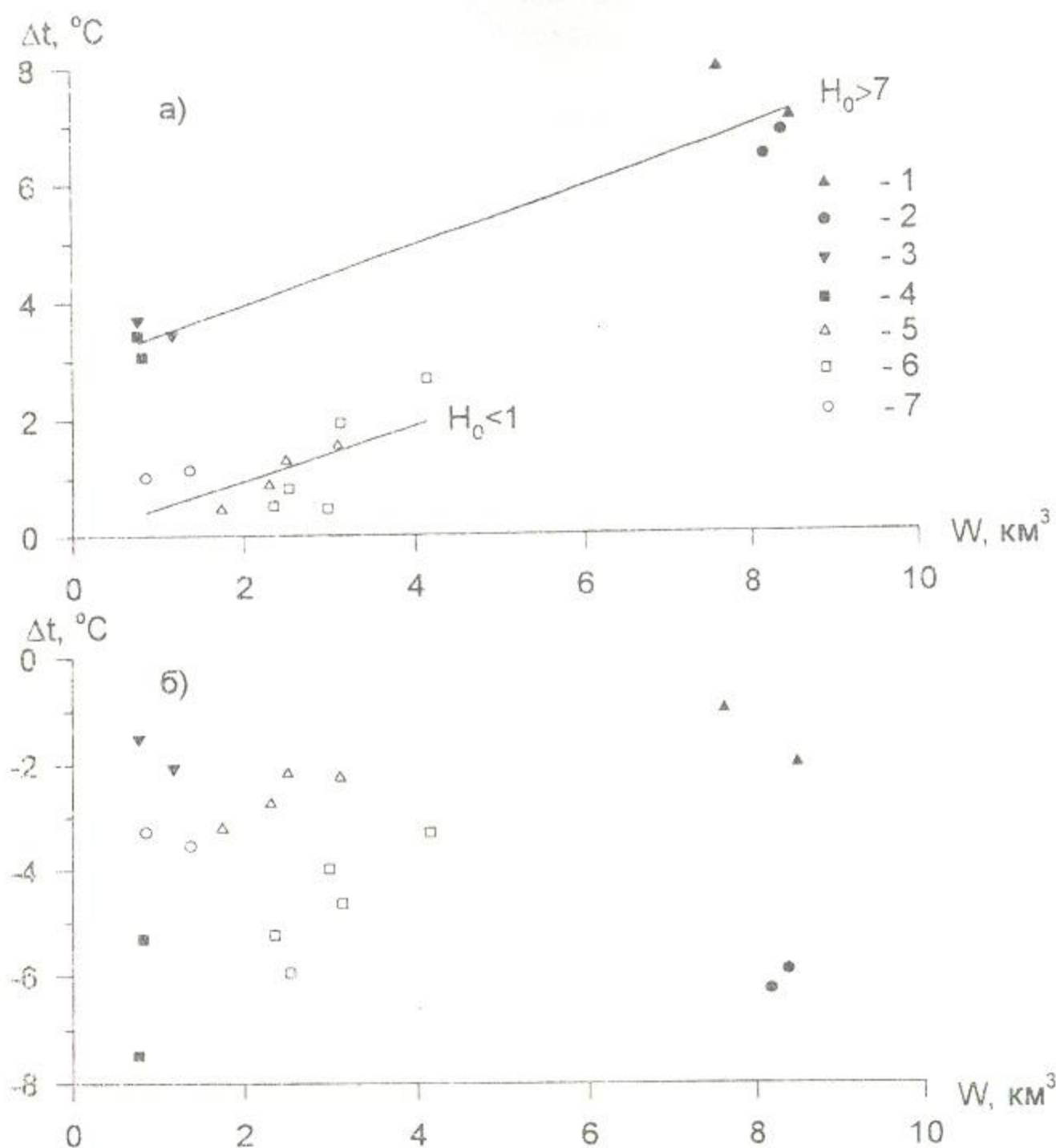


Рис. 3. Зависимость максимального повышения (а) и понижения (б) средней месячной температуры воды в нижнем бьефе водохранилищ от их объема (среднее за 5 лет). 1 - Токтогульское, 2 - Нурекское, 3 - Чарвакское, 4 - Андижанское, 5 - Кайраккумское, 6 - Чардаринское, 7 - Тюмююнское.

Максимальное понижение (по сравнению с естественными условиями) температуры воды в нижних бьефах равнинных (мелководных) водохранилищ существенно меньше, чем в горных — 4,4–7,0°. Аналогичные оценки приводятся для Волги [3–4], Дона [3] и Енисея [1].

В целом для Среднеазиатского региона наблюдается тенденция к росту амплитуды изменения внутри года средней месячной температуры воды в нижних бьефах водохранилищ с увеличением их объема и глубины. Коэффициент корреляции связи $A = f(W)$ равен 0,68, а $A = f(H_{ср}) = 0,60$.

Чем больше объем водохранилища или его средняя глубина, тем больше разница между максимальным положительным и отрицательным изменением температуры воды в его нижнем бьефе (относительно естественного уровня).

Влияние водохранилищ на изменение средней месячной температуры воды в нижних бьефах исследовалось дифференцированно для равнинных и горных водохранилищ.

В качестве аргументов использованы средние за месяц морфометрические характеристики водохранилищ — объем и относительная глубина. Последняя характеризует форму чаши водохранилища. При равных средних глубинах она тем больше, чем меньше площадь водной поверхности.

Регрессионный анализ показал, что в нижних бьефах горных водохранилищ изменения температуры воды практически в течение всего года определяются их морфометрическими характеристиками. Лишь в переходный период (апрель, октябрь) связь $\Delta t = f(W, H_0)$ нарушена.

В зимние месяцы (ноябрь–февраль) изменение температуры определяется, главным образом, объемом водохранилищ, а в летнее время возрастает роль относительной глубины.

На равнинных водохранилищах связь $\Delta t = f(W, H_0)$ выражена существенно хуже, и уравнения регрессии получены лишь для отдельных месяцев (табл. 5).

Уравнения $\Delta t = f(W, H_0)$ позволяют проанализировать влияние объема и относительной глубины водохранилища на изменения температуры воды в нижнем бьефе (табл. 6, 7).

Уравнения регрессии связи Δt с морфометрическими характеристиками водохранилищ

Месяц	R	S	t^0	W	h_0	Уравнение
Горные водохранилища						
Январь	0,92	1,06	2,87	4,06	10,7	$\Delta t = 0,59W + 0,09H_0 - 0,48$
Февраль	0,95	0,70	1,66	3,93	10,7	$\Delta t = 0,49W + 0,10H_0 - 1,31$
Март	0,74	1,50	-1,35	4,00	11,5	$\Delta t = 0,36W + 0,12H_0 - 4,20$
Апрель	0,53	-	-3,52	4,00	11,6	-
Май	0,74	1,31	-3,17	4,20	11,7	$\Delta t = -0,03W + 0,23H_0 - 6,29$
Июнь	0,87	0,93	-2,67	4,47	11,8	$\Delta t = -0,16W + 0,31H_0 - 5,65$
Июль	0,94	0,73	-2,07	4,51	11,6	$\Delta t = -0,49W + 0,31H_0 - 3,43$
Август	0,90	1,13	-0,25	4,12	10,9	$\Delta t = -0,64W + 0,21H_0 + 0,03$
Сентябрь	0,73	1,16	1,21	3,99	10,3	$\Delta t = -0,38W + 0,11H_0 + 1,57$
Октябрь	0,48	-	2,48	3,86	10,4	-
Ноябрь	0,82	1,20	3,25	4,08	10,6	$\Delta t = 0,36W + 0,10H_0 + 0,69$
Декабрь	0,97	0,66	3,43	4,09	10,7	$\Delta t = 0,68W + 0,07H_0 - 0,12$
Равнинные водохранилища						
Январь	0,75	0,74	-0,30	2,47	0,66	$\Delta t = 0,94W + 0,84H_0 - 3,19$
Февраль	0,63	-	-1,28	2,90	0,68	-
Март	0,51	-	-3,27	3,39	0,68	-
Апрель	0,77	1,04	-3,56	3,36	0,69	$\Delta t = -0,80W + 7,22H_0 - 5,53$
Май	0,13	-	-1,73	3,29	0,68	-
Июнь	0,64	-	-0,98	2,71	0,65	-
Июль	0,56	-	-0,26	1,89	0,61	-
Август	0,51	-	-0,59	1,12	0,57	-
Сентябрь	0,68	-	-0,91	1,07	0,57	-
Октябрь	0,58	-	-0,38	1,38	0,61	-
Ноябрь	0,82	0,47	-0,81	1,83	0,64	$\Delta t = 0,52W + 4,79H_0 - 4,84$
Декабрь	0,83	0,49	-0,07	2,17	0,66	$\Delta t = 1,05W + 1,33H_0 - 3,24$

П р и м е ч а н и е: Δt - изменение средней месячной температуры воды в нижнем бьефе, R - сводный коэффициент корреляции, S - погрешность уравнения регрессии, t^0 - средняя за расчетный период температура воды в нижнем бьефе, W - объем водохранилища за тот же период, h_0 - относительная глубина.

С ноября по февраль горные водохранилища оказывают обогревающее воздействие на водную массу в нижнем бьефе. Оно возрастает до декабря, а затем постепенно снижается и в марте становится отрицательным.

В пределах каждого месяца увеличение температуры воды в нижнем бьефе водохранилища относительно естественного уровня тем больше, чем больше его объем и относительная глубина.

В апреле, независимо от морфометрических характеристик водохранилищ, температура воды в нижних бьефах уменьшается по сравнению с естественными условиями на $3,5^{\circ}$.

В последующие месяцы горные водохранилища охлаждают температуру воды в нижних бьефах с постепенно снижающейся интенсивностью (табл. 5). Понижение температуры тем существеннее, чем больше объем водохранилища.

При равных объемах водохранилищ охлаждающий их эффект тем больше, чем меньше относительная глубина. Следовательно, наибольшие изменения температуры следует ожидать в водохранилищах с плоской чашей, то есть с большей площадью водного зеркала.

В зимние месяцы изменения температуры в нижних бьефах водохранилищ связаны, главным образом, с их объемом, а в летние — с глубиной (табл. 6).

Влияние морфометрических характеристик равнинных водохранилищ можно проследить лишь в отдельные месяцы (табл. 7). В ноябре мелководные водохранилища ($H_0 < 0,5\text{ м}$) понижают температуру воды, охлаждающий эффект понижается с увеличением объема водохранилища. Относительно глубокие водоемы в этот период повышают температуру воды в нижнем бьефе. В декабре-январе охлаждающий эффект при малых объемах и глубинах переходит в тепляющий по мере роста последних. В апреле температура воды в нижних бьефах уменьшается в мелководных водоемах и увеличивается в глубоководных (табл. 7).

В январе и декабре изменения температуры воды в нижних бьефах связаны, главным образом, с объемом водохранилищ, а в апреле и ноябре возрастает роль относительной глубины.

Влияние водохранилищ на температуру воды в нижнем бьефе ("температурный эффект") прослеживается на большом расстоянии от плотины. По данным Е. А. Леонова [3-4], влияние крупных русловых водохранилищ на изменение термического режима рек просматривается на расстоянии 200-500 км, а средних и мелких — на 20-30 км.

Изменение средней месячной температуры воды в нижних
бьефах горных водохранилищ в зависимости от их
объема (W) и относительной глубины (H_0)

H_0 , м	Изменение Δt в зависимости от объема					Амплитуда Δt в принятом диапазоне	
	1	5	7	9	11	W	H_0
Я н в а р ь							
5	0.6	2.9	4.1	5.3	6.5	5.9	1.3
10	1.0	3.4	4.6	5.7	6.9		
20	1.9	4.3	5.5	6.6	7.8		
Ф е в р а л ь							
5	-0.3	1.6	2.6	3.6	4.6	4.9	1.5
10	0.2	2.1	3.1	4.1	5.1		
20	1.2	3.1	4.1	5.1	6.1		
М а р т							
5	-3.2	-1.8	-1.1	-0.4	0.4	3.6	1.8
10	-2.5	-1.2	-0.5	0.2	1.0		
20	-1.4	0	0.7	1.4	2.2		
М а й							
5	-5.2	-5.3	-5.4	-5.4	-5.5	0.3	3.5
10	-4.0	-4.1	-4.2	-4.3	-4.3		
20	-1.7	-1.8	-1.9	-2.0	-2.0		
И ю н ь							
5	-4.3	-4.9	-5.2	-5.5	-5.9	1.6	4.6
10	-2.7	-3.4	-3.7	-4.0	-4.3		
20	0.3	-0.2	-0.6	-0.9	-1.2		
И ю л ь							
5	-2.2	-4.2	-5.1	-6.1	-7.1	4.9	4.5
10	-0.8	-2.8	-3.7	-4.7	-5.7		
20	2.3	0.4	-0.6	-1.6	-2.6		
А в г у с т							
5	0.4	-2.1	-3.4	-4.7	-6.0	6.4	3.2
10	1.5	-1.1	-2.4	-3.6	-4.9		
20	3.6	1.0	-0.2	-1.5	-2.8		
С е н т я б р ь							
5	1.7	0.2	-0.5	-1.3	-2.1	3.8	1.7
10	2.3	0.8	0	-0.8	-1.5		
20	3.4	1.9	1.1	0.4	-0.4		
Н о я б р ь							
5	1.6	3.0	3.7	4.4	5.2	3.6	1.4
10	2.0	3.5	4.2	4.9	5.6		
20	3.0	4.5	5.2	5.9	6.6		
Д е к а б р ь							
5	0.9	3.6	5.0	6.4	7.7	6.8	1.1
10	1.3	4.0	5.3	6.7	8.1		
20	2.0	4.7	6.0	7.4	8.8		

**Изменение средней месячной температуры воды
в нижних бьефах равнинных водохранилищ в
зависимости от их объема (W) и
относительной глубины (H_0)**

H ₀ , м	Изменение Δt в зависимости от объема					Амплитуда Δt в принятом диапазоне	
	0,5	1	2	3	5	W	H ₀
Я н в а р ь							
0,5	-2,3	-1,8	-0,9	0	1,9	4,2	0,5
1,0	-1,9	-1,4	-0,5	0,5	2,4		
А п р е л ь							
0,5	-2,3	-2,7	-3,5	-4,3	-5,9	3,6	3,6
1,0	1,3	0,9	0,1	-0,7	-2,3		
Н о я б р ь							
0,5	-2,2	-1,9	-1,4	-0,9	0,2	2,4	2,4
1,0	0,2	0,5	1,0	1,5	2,5		
Д е к а б р ь							
0,5	-2,1	-1,5	-0,5	0,6	2,7	4,8	0,6
1,0	-1,4	-0,9	0,2	1,2	3,3		

А. Б. Авакян [1] утверждает, что "температурный эффект" Красноярского гидроузла распространяется на 700-800 км от плотины. Протяженность "температурного эффекта" водохранилища в условиях аридного климата исследовалась на примере Сырдарьи в створах кишл. Каль и Акджар. До 1974 года оба створа находились в естественных условиях; в 1974 году началось заполнение Токтогульского, а в 1978 - Андижанского водохранилищ.

Изменения средней месячной температуры воды Сырдарьи в створах кишл. Каль, Акджар в период заполнения и эксплуатации водохранилищ относительно естественных условий получено по выражению (2).

Восстановление температуры воды в исследуемых створах осуществлено по уравнениям регрессии $t_n = f(t_v)$, полученным в ес-

естественных условиях. В качестве верхнего створа использован г. Учтерек на р. Нарын.

Расчеты показывают, что "температурный эффект" водохранилища распространяется вниз по реке в более сглаженном виде. Так, повышение температуры воды в нижнем бьефе Токтогульского водохранилища на $5-6^{\circ}$ относительно естественного уровня сопровождается ее повышением в створах Каль и Акджар, соответственно, на $1-2^{\circ}$.

Аналогично, при повышении температуры воды в нижнем бьефе Токтогульского водохранилища на 6° , в нижележащих створах она понижается на $2-3^{\circ}$. Эффект влияния Токтогульского водохранилища распространяется не менее, чем на 210 км (кишл. Акджар).

Выводы

Разработана методика объективной оценки влияния водохранилищ на температуру воды в реках.

Среднее многолетнее изменение температуры воды в нижнем бьефе водохранилища определяется его средней глубиной. Мелководные водохранилища способствуют понижению средней годовой температуры воды в нижнем бьефе по сравнению с естественными условиями на $0,7-1,2^{\circ}$, а глубоководные - повышению до 2° .

Горные водохранилища оказывают тепляющее воздействие на воду в реке с сентября по февраль, а в остальное время - охлаждающее. На равнинных водохранилищах практически в течение всего года температура воды в нижнем бьефе ниже, чем в естественных условиях.

Разница между максимальными положительным и отрицательным изменением температуры воды в нижнем бьефе водохранилища тем больше, чем больше его объем.

Средние месячные изменения температуры воды в нижних бьефах водохранилищ определяются их объемом и относительной глубиной. В летнее время возрастает роль относительной глубины, а в зимнее - объема.

Влияние водохранилищ на температурный режим рек распространяется в более сглаженном виде вниз по ее течению.

Список литературы:

1. А в а к я н А. Б. и др. Влияние водохранилищ на окружающую среду / А. Б. Авакян, Н. В. Буторин, С. Л. Вендров / Преобразование водного баланса под влиянием хозяйственной деятельности. - Л.: Гидрометеиздат, 1976. - С. 6-17.
2. А л м а з о в А. М. и др. Гидрохимия Днепра, его водохранилищ и притоков / А. М. Алмазов, А. И. Денисова, Ю. Г. Майстренко, Е. П. Нахшина - Киев, 1967. - 316 с.
3. Л е о н о в Е. А. Изменение термического режима рек под влиянием хозяйственной деятельности // Тр. ГГИ. - 1977. - Вып. 239. - С. 49-77.
4. Л е о н о в Е. А. Изменение температуры воды крупных рек под влиянием хозяйственной деятельности // Исследования формирования речного стока и его расчеты. - Л.: ЛГМИ. - 1981. - Вып. 76 - С. 107-116.
5. О р л о в И. А. Расчет изменения температуры воды р. Енисей на участке Туруханск - Игарка в летний период под влиянием Туруханской ГЭС // Вопросы гидрологии суши. - Л.: Гидрометеиздат, 1982. - С. 189-193.