

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ

(ОТДЕЛЬНЫЙ ОТТИСК)

1

МОСКВА · 1988

УДК 551.482.214

ИССЛЕДОВАНИЕ СВЯЗИ МИНЕРАЛИЗАЦИИ С ВОДНЫМ И ТЕРМИЧЕСКИМ РЕЖИМАМИ ВОДОЕМА НА ПРИМЕРЕ ВЕРХНЕГО УЧАСТКА ИВАНЬКОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

ГРИГОРЬЕВА И. Л., ГРИГОРЬЕВ В. Т.

К числу важнейших характеристик химического состава воды водохранилищ относятся ее минерализация и содержание главных ионов, на которые оказывают влияния многочисленные факторы. Строго однозначно распределить эти факторы по их значимости довольно трудно, так как весьма разнообразны особенности формирования химического состава воды водохранилищ в различных физико-географических условиях. Тем не менее очевидно, что во всех случаях одно из первых мест среди этих факторов занимают гидрохимические характеристики вод основной реки, на которой сооружается водохранилище. Вопрос о связи минерализации и водного режима рек достаточно исследован [1—13]. Анализ этих работ показывает, что к настоящему времени проведено много исследований, посвященных выявлению связей между расходами воды и гидрохимическими параметрами. Результаты этих исследований иногда противоречивы, разными исследователями используются для описания этих связей различные типы уравнений или одинаковые по виду уравнения с разными коэффициентами. В расчетных схемах связи минерализации и расхода воды пользуются в основном следующими типами уравнений [1—13]:

$$\Sigma u = a + \frac{b}{Q}; \quad (1)$$

$$\Sigma u = aQ^b; \quad (2)$$

$$\Sigma u = ae^{bQ}; \quad (3)$$

$$\Sigma u = ab^Q; \quad (4)$$

$$\Sigma u = \frac{aQ + b}{mQ + d}, \quad (5)$$

где Q — расход воды, м³/с; Σu — значения минерализации, мг/л; a, b, m, d — члены уравнения (1) — (5).

Существование такого количества аппроксимирующих уравнений затрудняет их практическое применение. В то же время очевидно, что в количественном описании сезонного изменения минерализации в водохранилище учет одного водного режима недостаточен. В зависимости $\Sigma u = f(Q)$ целесообразно учитывать температуру воды T_w , являющуюся одним из основных факторов, интенсифицирующих химические и биохимические процессы в водоеме. Такой учет позволяет надеяться на получение более универсальной зависимости вида $\Sigma u = f(Q, T_w)$.

Предположение о существовании определенной зависимости между распределением минерализации и температурным режимом вод водохранилища было сделано на основе анализа результатов гидрологических исследований Иваньковского водохранилища в 1981 г. Во время этих исследований на восьми створах проводились измерения скоростей течения и температуры воды. Выполнялся также отбор проб воды для гидрохимических определений.

В исследовании были использованы данные натуральных измерений на двух створах в г. Калинин в 1975—1982 гг.: 2,5 км выше вагонного завода (в дальнейшем «вход»); 1,5 км ниже керамического завода («выход»).

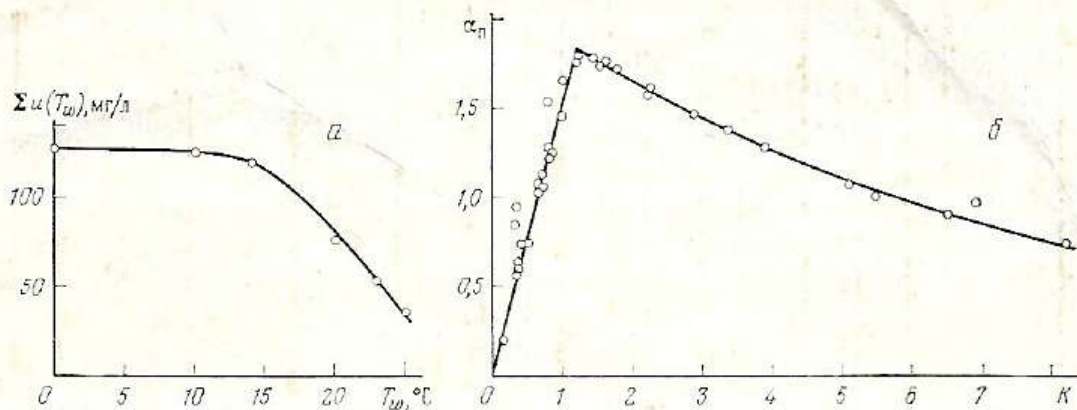


Рис. 1. Зависимость значения $\Sigma u(T_w)$ от температуры воды T_w и коэффициента α_n от модульного коэффициента расхода воды K :
a — значение, учитывающее влияние термического режима водохранилища в (11);
б — коэффициент, учитывающий влияние характера фаз водного режима в (11)

Расстояние между створами составляет 14 км. Всего анализировано 115 наблюдений за минерализацией Σu , расходом Q и температурой воды T_w . Расчеты проводились на ЭВМ ЕС-1060.

В отличие от работ [1—13] в данном исследовании использовались наблюдения за ледоставный период, что позволило рассмотреть на «выходе» зависимость распределения минерализации от модульного коэффициента расхода воды $K = Q_{\text{вых}}/Q_0$, где $Q_{\text{вых}}$ — расход реки при котором определена минерализация воды; Q_0 — среднемноголетний расход в том же створе реки ($Q_0 = 182 \text{ м}^3/\text{с}$), при одинаковой температуре воды $T_w \approx \approx 0,0^\circ \text{C}$ и избежать по возможности влияния внешних условий.

Эта зависимость хорошо аппроксимируется уравнением типа (1):

$$\Sigma u_{\text{вых}}^{T_w \approx 0^\circ} = \frac{\Sigma u(T_w)}{K} + 115, \quad (6)$$

где $\Sigma u(T_w)$ — переменный коэффициент, зависящий от температуры воды, его значение в (6) равно 127 мг/л для $T_w \approx 0,0^\circ \text{C}$. Зависимость (6) имеет достаточно высокий коэффициент корреляции $r = 0,94$; остаточная дисперсия, характеризующая вариацию признака $\Sigma u_{\text{вых}}$ за счет влияния всех факторов (кроме K), равна 142,4.

Если описывать все данные по минерализации в рассматриваемом створе уравнением (6), то величина остаточной дисперсии увеличивается приблизительно в 3 раза ($\sigma_{\text{ост}}^2 = 443,6$). Поэтому в дальнейших расчетах при рассмотрении всего массива данных с учетом термического режима и фаз водного режима водохранилища по возможности стараемся приблизиться к значению остаточной дисперсии 142,4.

Чтобы выделить количественную характеристику влияния температурного фактора на распределение минерализации, пронормируем эмпирические данные по минерализации в исследуемом створе ($\Sigma u_{\text{вых}}$) при температурах воды больше 0°C на величину $\Sigma u_{\text{вых}}^{T_w \approx 0^\circ}$, рассчитанную по (6) при известных значениях модульного коэффициента расхода воды K . Результаты нормированы в виде отношения

$$\Sigma u_{\text{вых}} / \Sigma u_{\text{вых}}^{T_w \approx 0^\circ}. \quad (7)$$

Такое нормирование показало, что при модульных коэффициентах расхода воды, меньших 2,5, значения отношения (7) ниже единицы. Это подтверждает высказанное ранее предположение о влиянии температурного фактора на распределение минерализации в водоеме.

С учетом отношения (7) был сделан анализ значений $\Sigma u(T_w)$ в уравнении (6) и его зависимости от температуры воды (рис. 1, *a*). Эта зависимость аппроксимирована уравнением

$$\Sigma u(T_w) = 127e^{-aT_w^5}. \quad (8)$$

где a — коэффициент регрессии, равный $0,137 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-5}$. Зависимость (8) характеризуется коэффициентом корреляции $r=0,9$.

Как видно из рис. 1, a , значение $\Sigma u(T_w)$ начинает быстро уменьшаться при температуре воды $T_w \geq 13^\circ\text{C}$. Этот факт объясняется, по-видимому, изменением условий водного питания реки и водохранилища, поступлением слабоминерализованных болотных вод, а также усилением биохимических процессов.

Подставляя уравнение (8) в уравнение (6), получим

$$\Sigma u_{\text{вых}} = \frac{\Sigma u(T_w)}{K} + 115. \quad (9)$$

Использование уравнения (9) для расчета распределения минерализации в исследуемом створе дает значение остаточной дисперсии $\sigma_{\text{ост}}^2 = 221,1$ и $r=0,73$.

Исследование сезонного изменения минерализации по данным собственных измерений, а также по данным других авторов показывает, что в период подъема половодья до определенного его уровня наблюдается повышение минерализации; при дальнейшем увеличении объема воды в связи с поступлением слабоминерализованных вод происходит ее резкое уменьшение. Для учета влияния характера фаз водного режима на распределение минерализации был определен безразмерный коэффициент $\alpha_{\text{п}} = \frac{\Sigma u_{\text{вых}} - 115}{\Sigma u_{\text{вых}}^{\text{р}} - 115}$ с учетом температуры воды при известных значе-

ниях модульного коэффициента расхода воды, где $\Sigma u_{\text{вых}}^{\text{р}}$ рассчитывалась по уравнению (9).

Зависимость коэффициента $\alpha_{\text{п}}$, учитывающего влияние характера фаз водного режима на распределение минерализации, от модульного коэффициента расхода воды K приведена на рис. 1, б. Она аппроксимирована следующей формулой:

$$\alpha_{\text{п}} = \begin{cases} 1,53K & \text{при } K \leq 1,2 \\ e^{(0,764-0,13K)} & \text{при } K > 1,2 \end{cases} \quad (10)$$

и характеризуется коэффициентом корреляции $r=0,84$.

Используя уравнения (9) и (10), получим зависимость для описания распределения минерализации в исследуемом створе:

$$\Sigma u_{\text{вых}} = \frac{\Sigma u(T_w) \alpha_{\text{п}}}{K} + 115, \quad (11)$$

которая характеризуется коэффициентом корреляции $r=0,86$, остаточной дисперсией $\sigma_{\text{ост}}^2 = 150,2$. С учетом промежуточных ошибок вычислений можно считать, что данное значение $\sigma_{\text{ост}}^2$ удовлетворяет оценке остаточной дисперсии, сделанной в начале расчетов ($\sigma_{\text{ост}}^2 = 142,4$). Ошибка оценки коэффициента корреляции уравнения (11) составляет 3,9%.

Обычно используемые при описании распределения минерализации уравнения типа (1) — (5) при уменьшении расходов воды дают значения $\Sigma u \rightarrow \infty$. В отличие от них уравнение (11) дает известное максимально возможное значение минерализации в расчетном створе при уменьшении расхода воды. В данном случае ее величина равна $381,71 \text{ мг/л}$ при $Q_{\text{вых}} = 34,1 \text{ м}^3/\text{с}$ и $T_w \approx 0,0^\circ\text{C}$. Как показал дальнейший анализ, значение расхода $Q_{\text{вых}} = 34,1 \text{ м}^3/\text{с}$ близко к расходу воды 95%-ной обеспеченности на данном створе.

На рис. 2, б приведен гидрограф, построенный по значениям ежемесячных расходов воды за 1975—1982 гг., а также ход среднемесячных значений температуры, минерализации воды $\Sigma u_{\text{вых}}$ за этот же период и приведена кривая хода $\Sigma u_{\text{вых}}^{\text{р}}$, рассчитанная по формуле (11). Этот рисунок показывает хорошее согласование теоретических расчетов с натурными данными. Из этого рисунка также четко видно, что примерно при одинаковых расходах воды $Q_{\text{вых}} \approx 200 \text{ м}^3/\text{с}$ максимум минерализации в июне меньше максимума в сентябре. Это еще раз показывает немало-

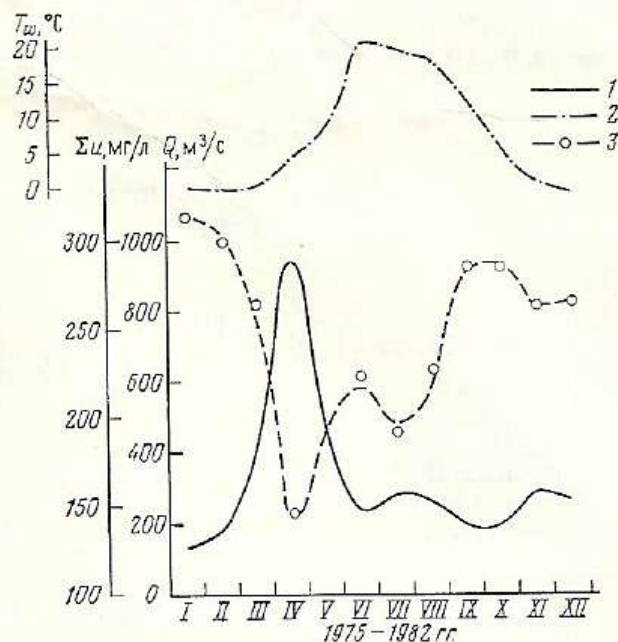


Рис. 2. Сравнение расчетных значений $\Sigma u_{\text{вых}}^p$ по (11) с натурными данными $\Sigma u_{\text{вых}}$ (на выходе) при разных значениях расхода и температуры воды:
 1 — расход воды $Q_{\text{вых}}$, м³/с; 2 — температура воды T_w , °С;
 3 — рассчитанные значения минерализации $\Sigma u_{\text{вых}}^p$; точки — натурные данные по минерализации $\Sigma u_{\text{вых}}$, мг/л

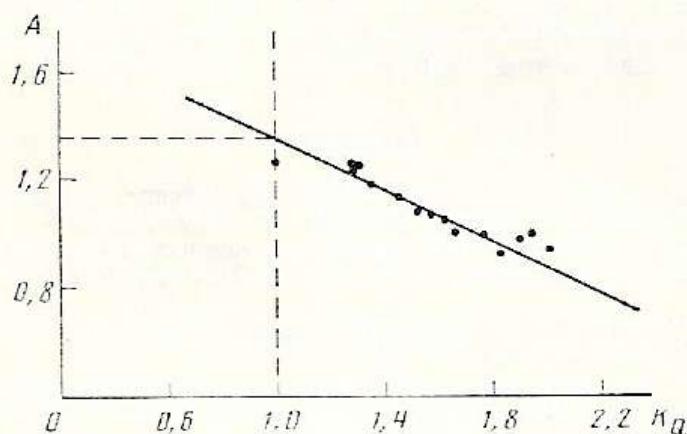


Рис. 3. Зависимость безразмерного параметра A для ледоставного периода от отношения соответствующих расходов воды K_Q

важную роль термического режима в распределении минерализации.

Чтобы проверить правильность сделанных нами выводов и возможность использования формулы (11) для расчетов минерализации воды других створов, выбирались значения минерализации на выходе и входе ($\Sigma u_{\text{вх}}$) в ледоставный период и находились их отношения:

$$A = \Sigma u_{\text{вых}} / \Sigma u_{\text{вх}},$$

а также отношения соответствующих расходов воды:

$$K_Q = Q_{\text{вых}} / Q_{\text{вх}}.$$

Далее строился график, у которого по оси ординат откладывались значения K_Q , а по оси абсцисс — значения A (рис. 3). На пересечении выравненного значения A с линией $K_Q = 1$ нашли величину $A = 1,36$. Это указывает на то, что на выходе в этот период вода более минерализована, чем на входе (в 1,36 раза).

Затем рассматривалась зависимость минерализации от модульного коэффициента расхода воды на входе во время ледостава

$$\Sigma u_{\text{вх}}^{T_w \approx 0^\circ} = \frac{93}{K} + 85. \quad (12)$$

Эта зависимость характеризуется коэффициентом корреляции $r=0,96$. Расчет по формуле (9) с использованием коэффициента $A=1,36$ дает уравнение

$$\Sigma u_{\text{вх}}^{T_w \approx 0^\circ} = \frac{\Sigma u_{\text{вых}}^{T_w \approx 0^\circ}}{1,36} = \frac{\frac{127}{K} + 115}{1,36} = \frac{93,4}{K} + 84,6,$$

которое практически совпадает с уравнением (12).

Таким образом, уравнение (11) с использованием коэффициента A можно применять для расчета минерализации воды на других участках водохранилища. Общая форма этого уравнения имеет вид

$$\Sigma u = \frac{1}{A} \left(\frac{\Sigma u (T_w) \alpha_{\text{п}}}{K} + 115 \right).$$

Для расчета по данной формуле необходимо определить только коэффициент A (рис. 3), если помимо данных по минерализации в ледоставный период имеются значения соответствующих расходов воды. В случаях когда отсутствуют данные по расходу воды, A можно определить как среднюю вариационного ряда из отношения

$$\Sigma u_{\text{вых}}^{T_w \approx 0^\circ} / \Sigma u',$$

где $\Sigma u_{\text{вых}}^{T_w \approx 0^\circ}$ — значения минерализации, мг/л, рассчитываемые по формуле (11) с известными расходами воды; $\Sigma u'$ — минерализация воды в расчетном створе в ледоставный период.

Литература

1. Авдеев Н. Я., Рогожкин В. И. Аналитическое выражение зависимости минерализации воды от ее расхода в реках // Гидрохим. материалы. 1955. Т. 23. С. 39—47.
2. Алекин О. А. К изучению количественных зависимостей между минерализацией, ионным составом и водным режимом рек СССР // Тр. ГГИ. 1950. Вып. 25 (79). С. 25—39.
3. Алмазов А. И. О связи между гидрохимическим и гидрологическим режимами рек // Докл. АН УССР. 1952. № 3. С. 208—212.
4. Блинов Л. К. О некоторой зависимости минерального состава речной воды от гидрологических факторов // Метеорология и гидрология. 1946. № 6. С. 43—50.
5. Бочков Н. М. Водная среда и изменения ее качества при регулировании стока как фактор водохозяйственного расчета // Тр. 1 совещ. по регулированию стока. М.: Изд-во АН СССР, 1946. С. 215—227.
6. Буркальцева М. А. К методике построения зависимости для подсчета химического стока горных рек // Вопр. гидрологии. 1965. Вып. 2. С. 119—125.
7. Воронков П. П. Основы расчета изменений минерализации воды водохранилищ волжской системы // Тр. ГГИ. 1951. Вып. 33 (87). С. 26—42.
8. Знаменский В. А. Гидрохимические процессы и их роль в формировании качества воды. Л.: Гидрометеиздат, 1981. 240 с.
9. Манихин В. И., Коновалов Г. С., Коробейникова Н. Д. Гидрохимический режим р. Белой и соотношение главных источников ее питания // Гидрохим. материалы. 1977. Т. 66. С. 46—56.
10. Пиварелис В. П. Естественный химизм вод потоков как мера их расходов воды // Тр. Центр. ин-та экспериментальной гидрологии и метеорологии. 1935. Вып. 2 (44). С. 126—147.
11. Усович Н. А. Исследование зависимостей между минерализацией и водностью рек БССР // Водное хозяйство Белоруссии. Минск: Наука и техника, 1966. С. 301—308.
12. Фадеев В. В., Тарасов М. П., Павелко В. Л. Исследование взаимосвязи между минерализацией, ионным составом и водным режимом рек в условиях избыточного увлажнения // Гидрохим. материалы. 1971. Т. 56. С. 19—30.
13. Фадеев В. В., Тарасов М. П., Павелко В. Л. Связь между гидрохимическим и водным режимом равнинных и горных рек СССР // Тр. IV Всесоюз. гидрологического съезда. Т. 9. Л.: Гидрометеиздат, 1976. С. 198—213.