

УДК 551.482.214

© 1991 г.

БОЙЧЕНКО В. К., ГРИГОРЬЕВ В. Т.

К МЕТОДИКЕ РАСЧЕТА ПОСТУПЛЕНИЯ СПАВ В ИВАНЬКОВСКОЕ ВОДОХРАНИЛИЩЕ

Статистический анализ данных натуральных наблюдений за содержанием СПАВ в воде Иваньковского водохранилища позволил выявить ряд закономерностей пространственно-временной динамики их поступления в водоем.

Предложенный метод может быть использован для оценки загрязнения природных вод другими химическими веществами антропогенного происхождения, в том числе в водных объектах, расположенных в других регионах, с учетом местных условий и особенностей.

В СССР и за рубежом продолжается рост использования детергентов — синтетических моющих средств. Достаточно отметить, что в СССР их производство увеличилось с 1960 г. более чем в 50 раз и достигло в 1986 г. 1193 тыс. т [14]. В рецептуре синтетических моющих средств, выпускаемых в СССР, преобладают анионные СПАВ, характеризующиеся, как правило, низкой биологической разлагаемостью [16]. Поэтому СПАВ входят в группу наиболее распространенных в природных водах загрязняющих веществ и проблемы, связанные с охраной от них водных объектов, приобрели за последнее время особую остроту и актуальность. Для их решения создан Международный комитет по детергентам; в ряде стран, в том числе и в СССР, функционируют национальные комитеты по ПАВ, принимающие участие в работе этой международной организации [13].

Основной источник поступления СПАВ в водные объекты — хозяйственно-бытовые сточные воды, в том числе и прошедшие полную биологическую очистку, эффективность которой 48—80, а в зимний период — лишь 20% [1, 6, 23]. Известно также, что некоторые СПАВ способны оказывать отрицательное влияние на процессы биологической очистки сточных вод в результате стабилизации коллоидных суспензий и смывания биопленки с поверхности загрузки фильтров [10, 20, 22]. Наиболее глубокая очистка сточных вод от СПАВ достигается на фильтрах с активированным углем, после которых их содержание в воде снижается до 0,002—0,007 мг/л [12].

Следует отметить, что большинство СПАВ обладает чрезвычайно широким диапазоном отрицательного влияния на организм человека, качество природных вод и водные экосистемы [5—9, 11, 13, 20]. Прежде всего они придают воде стойкие специфические запахи и привкусы, а некоторые могут стабилизировать неприятные запахи, обусловленные другими соединениями [13, 20].

Одним из основных физико-химических свойств СПАВ является их высокая пенообразующая способность. Возникающий на поверхности воды слой пены затрудняет тепломассообмен водоема с атмосферой, нарушает кислородный режим и процессы самоочищения [13, 15]. Важная особенность СПАВ — влияние на стабильность некоторых химических компонентов. В частности, в [13] показана способность СПАВ эмульгировать нефть и повышать устойчивость ее водной эмульсии, вследствие

чего замедляются процессы самоочищения воды от нефтепродуктов. Кроме того, СПАВ несколько тормозят распад канцерогенных веществ, угнетают процессы биохимического потребления кислорода, аммонификации и нитрификации [4, 21].

Немаловажная роль принадлежит СПАВ в перераспределении в водной среде пестицидов, нефтепродуктов, тяжелых металлов, патогенных бактерий и вирусов.

Имеются сведения, что СПАВ могут способствовать повышению эпидемической опасности воды. В частности, СПАВ стимулируют размножение сальмонелл и шигелл: их количество в хозяйственно-бытовых сточных водах в течение 2—3 сут увеличивается на 2—4 порядка от исходного. Кроме того, вирулентность некоторых сальмонелл и шигелл увеличивается соответственно в 3,6—5,8 и в 2,4—4 раза. В [19] показано, что поступление СПАВ в организм животных с водой приводит к более тяжелому течению инфекционного процесса, значительному снижению летальной дозы микробов и ускорению гибели животных.

Наряду с эффектом стимуляции размножения патогенной и санитарно-показательной микрофлоры некоторые СПАВ могут угнетать развитие многих грамотрицательных микробов, замедляя тем самым процессы бактериальной минерализации загрязняющих веществ [17, 20].

Изучение деструкции СПАВ в водных экосистемах показывает, что основную роль в этих процессах играет сапрофитная микрофлора воды [17]. Многие СПАВ довольно медленно разлагаются в водной среде, особенно в зимний период, распространяясь от источников загрязнения реки на сотни километров [13]. Так, установлено, что такой детергент, как сульфанол, при концентрации 0,5, 5 и 10 мг/л подвергается полному распаду к 15—30-му дню эксперимента [17]. Некоторыми исследователями показано, что перифитон макрофитов способствует повышенной деструкции СПАВ [3]. Например, эпифитная микрофлора роголистника снижает содержание СПАВ в воде за 10 сут на 39,5, а кувшинки белой — на 73%.

При подготовке для хозяйственно-питьевых целей вода практически не очищается от СПАВ, в связи с чем их следы обнаруживаются в воде многих городских водопроводов [13, 18].

Таким образом, приведенные данные говорят о том, что в биологическом отношении СПАВ являются довольно «жесткими» химическими веществами, поэтому особую актуальность представляют исследования по выявлению закономерностей загрязнения СПАВ водных объектов хозяйственно-питьевого назначения, в частности Ивановского водохранилища — основного источника водоснабжения г. Москвы.

Ранее выполненные на этом водоеме исследования показали, что хотя содержание СПАВ в воде ниже ПДК, в суммарном показателе загрязнения воды веществами, лимитируемыми по органолептическому признаку вредности, на долю СПАВ приходится ~40% [2].

В настоящей работе приводится анализ результатов многолетних натурных наблюдений за содержанием СПАВ в воде Ивановского водохранилища по следующим створам: речной участок, пос. Мигалово (выше жилой зоны Калинина); участок р. Тверца (ТЭЦ-3); устьевая зона р. Тверца; участки Ивановского водохранилища — пос. Эммаус (ниже Калинина) и с. Городня.

Массив данных состоял из 560 измерений содержания СПАВ и температуры воды. При их обработке использовались величины расходов воды по створу у пос. Старица, который расположен наиболее близко к расчетному створу у пос. Мигалово и где систематические измерения ведутся с 1923 г. Для створа р. Тверца (выше ТЭЦ-3) величины расходов воды брались по створу у пос. Медное. Такая привязка к постоянным

гидрологическим постам позволит в перспективе иметь систематическую и надежную информацию о расходах воды.

При изучении загрязненности водных объектов многие исследователи исходят из предположения, что между гидрохимическими показателями качества воды и ее расходом существует определенная зависимость, которую можно установить по результатам статистического анализа данных наблюдений. Получение таких зависимостей позволяет выявить в заданном створе реки для некоторого показателя качества воды x функциональную связь вида

$$x=f(x_i, Q, M, G, r, \dots), \quad (1)$$

где x_i — показатель качества воды в расположенном выше створе, Q — расход воды, M, G — метеорологический и геологический факторы, r — самоочищающая способность водоема.

Практический интерес представляет получение таких статистических зависимостей, которые имели бы вид простых формул, связывающих характеристику загрязнения воды с параметрами Q и M из (1), температурой воды T_w как одного из основных факторов, интенсифицирующих биохимические процессы.

Исследования корреляционной связи между содержанием СПАВ в воде в створе у пос. Мигалово, x_1 и модульным коэффициентом расходов воды $K_1=Q_{ст}/\bar{Q}_1$ (\bar{Q}_1 — средний многолетний расход воды для створа у пос. Старица, равный 158 м³/с) показывают, что изменение содержания СПАВ хорошо аппроксимируется уравнением вида

$$x_1 = cK_1 e^{-aK_1}, \quad (2)$$

где c и a — коэффициенты (c , мг/л). Из всех рассмотренных в программе поиска типов нелинейных уравнений связи формула (2) имеет наименьшую величину ϵ по критерию выбора: $\epsilon = \min\{\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3, \dots, \epsilon_n\}$, где ϵ — множество минимальных абсолютных ошибок для n аппроксимирующих уравнений.

Корреляционное отношение η в (2) равно 0,74, остаточная дисперсия $\sigma_{ост}^2 = 0,0018$. Такое большое значение $\sigma_{ост}^2$ дает основание предполагать, что для описания изменения содержания СПАВ в воде одного параметра K_1 недостаточно. Расчет распределения СПАВ по сезонам года по (2) дает наименьшее значение $\sigma_{ост}^2 = 0,0008$ для ледоставного периода и в половодье, т. е. для условий с одинаковой температурой воды, с коэффициентами $c=0,2$ мг/л и $a=0,33$.

Как показывает анализ сезонного хода концентрации СПАВ в воде по отдельным годам, максимальные величины их содержания в период весеннего половодья колеблются в достаточно широком диапазоне и их вариации в основном обусловлены водностью, дружностью или растянутостью весны.

В уравнении вида (2) максимум значения x_1 достигается при $K_1=1/a$, т. е. определяется отношением показателей степени при степенной и показательной функциях, точнее, изменением коэффициента a . В связи с этим была рассмотрена зависимость a от фактора M , который находится по формуле

$$M = \left(\frac{T'_a S'}{\bar{T}_a \bar{S}} \right), \quad (3)$$

где T'_a — среднедекадная температура воздуха 3-й декады марта для г. Калинина; \bar{T}_a — норма температуры воздуха 3-й декады марта для данной станции ($\bar{T}_a = -3,1^\circ \text{C}$); S' — запасы снега для верхневолжского участка по отдельным годам; \bar{S} — норма снеготпасов для этого региона ($\bar{S} = 116$ мм).

График $a_M=f(M)$ приведен на рис. 1. Данная связь аппроксимирована зависимостью

$$a_M=0,087M+0,289 \quad (4)$$

с коэффициентом корреляции, равным 0,88. Чем меньше значение M в (3), которое получается при $T_a'/\bar{T}_a \leq 0$ (когда средняя температура воздуха 3-й декады марта положительна), и больше величины отношения S'/\bar{S} , тем меньше величина a_M (что характерно для условий дружной

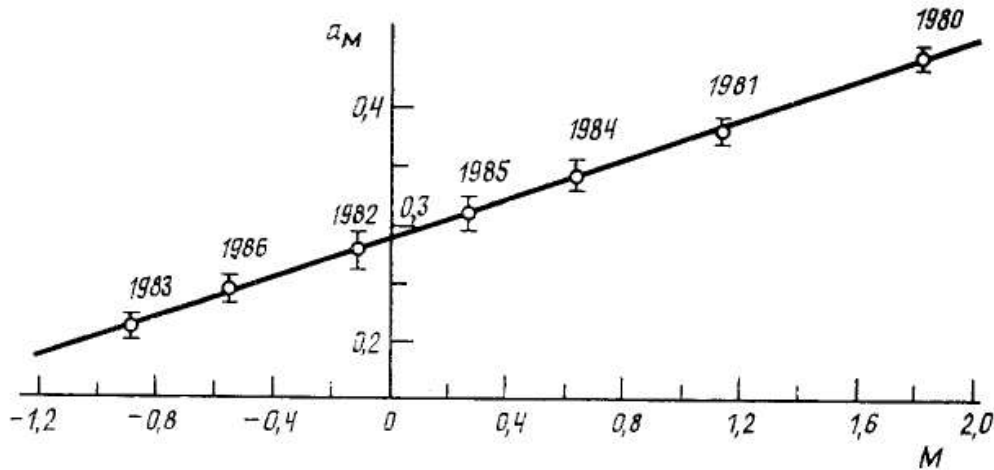


Рис. 1. Зависимость коэффициента a_M от параметра M (точки — осредненные данные натуральных измерений с доверительными интервалами за отдельные годы)

многоводной весны) и соответственно выше пики значения x_1 в (2). И, наоборот, чем выше значение M при $T_a'/\bar{T}_a > 0$, когда $T_a' < 0^\circ \text{C}$ (что наиболее вероятно для условий холодной растянутой весны), тем больше a_M и соответственно меньше величина максимума содержания СПАВ в весеннем половодье.

С учетом (4) для уравнения (2) получаем $\eta=0,87$ и $\sigma_{\text{ост}}^2=0,00016$. Последнюю можно считать вполне удовлетворительной для исследуемого ряда натуральных данных, который имеет следующие статистические характеристики: среднее содержание СПАВ $\bar{x}_1=0,085$ мг/л и среднеквадратичное отклонение 0,036.

В результате биохимических процессов в водоеме происходит деструкция органического вещества. В качестве одного из основных параметров, обуславливающих скорость протекания этого процесса, использовалась температура воды. Было рассмотрено влияние температурного режима водного объекта на изменчивость величины c в уравнении (2). Указанная эмпирическая зависимость аппроксимирована формулой вида

$$c_T = \frac{0,2}{1 + bT_w^4}, \quad \eta = 0,82, \quad (5)$$

где 0,2 мг/л — значение c_T при $T_w \approx 0^\circ \text{C}$; b — коэффициент, равный $7,78 \cdot 10^{-6} \text{C}^{-4}$. Из рис. 2 видно, что только при $T_w = 8^\circ \text{C}$ величина c_T начинает уменьшаться, а при $T_w \approx 19^\circ \text{C}$ снижается почти вдвое.

С учетом (4) и (5) уравнение (2) в итоге запишется в следующем виде:

$$x_1 = c_T K_1 e^{-a_M K_1}. \quad (6)$$

Здесь $\eta=0,85$ и $\sigma_{\text{ост}}^2=0,00022$. С учетом ошибок промежуточных расчетов такая величина остаточной дисперсии вполне удовлетворительно соответствует полученной ранее величине $\sigma_{\text{ост}}^2=0,00016$.

Сравнение расчетных значений содержания СПАВ для створа у пос. Мигалово с натурными данными показывает, что уравнение типа (6) довольно хорошо описывает динамику сезонного изменения содержания СПАВ в водном объекте (рис. 3).

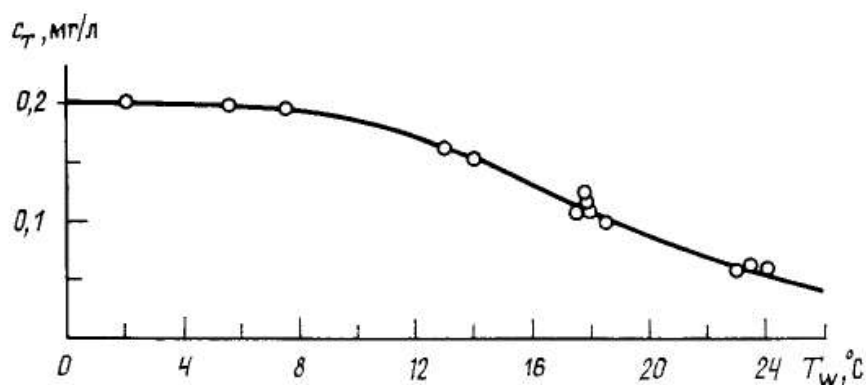


Рис. 2. Зависимость коэффициента c_T от T_w

Для описания сезонного изменения концентрации СПАВ в воде р. Тверца в створе выше ТЭЦ-3 были рассчитаны соотношения содержания СПАВ в данном створе x_2 и в створе у пос. Мигалово за одни и те же даты в виде

$$A_1 = \frac{x_2}{x_1} \quad (7)$$

и рассмотрена зависимость A_1 от отношений соответствующих значений модульных коэффициентов расходов воды

$$\frac{K_2}{K_1} = \frac{Q'_{ТВ}/\bar{Q}_2}{Q'_{СТ}/\bar{Q}_1} = \frac{Q'_{ТВ}}{Q'_{СТ}} \frac{\bar{Q}_1}{\bar{Q}_2} \quad (8)$$

На графике, приведенном на рис. 4, параллельно оси абсцисс проведена линия, соответствующая значению равных величин расходов воды для указанных створов $Q'_{ТВ}/Q'_{СТ}=1$. При этом отношение модульных коэффициентов расходов воды

$$\frac{K_2}{K_1} = \frac{\bar{Q}_1}{\bar{Q}_2} = \frac{158}{42,7} \approx 3,7.$$

Ввиду того что общее содержание СПАВ в воде названных выше створов различается, отношение одинаковых величин концентраций СПАВ по (7) пересекает линию $K_2/K_1=3,7$ не при $A_1=1$, а при $A_1=1,12$. Если же рассмотреть отношение средних величин содержания СПАВ в воде двух створов $A' = \frac{\bar{x}_2}{\bar{x}_1} = \frac{0,096}{0,085} = 1,13$, то оно фактически соответствует значению A_1 , определенному графическим методом.

Подставив в уравнение (6) полученное значение A_1 и $K_1=K_2/3,7$, получим формулу для описания сезонного хода содержания СПАВ в воде р. Тверца (створ ТЭЦ-3) в виде

$$x_2 = 1,12c_T \left(\frac{K_2}{3,7}\right) e^{-a_M \left(\frac{K_2}{3,7}\right)} \quad (9)$$

с $\eta=0,82$. Сравнение рассчитанных по формуле (9) и натуральных данных по СПАВ для этого створа дает удовлетворительное совпадение (табл. 1).

Ошибка расчета распределения содержания СПАВ в воде на исследуемом участке реки по формуле (6) составляет 5,2%. Таким образом,

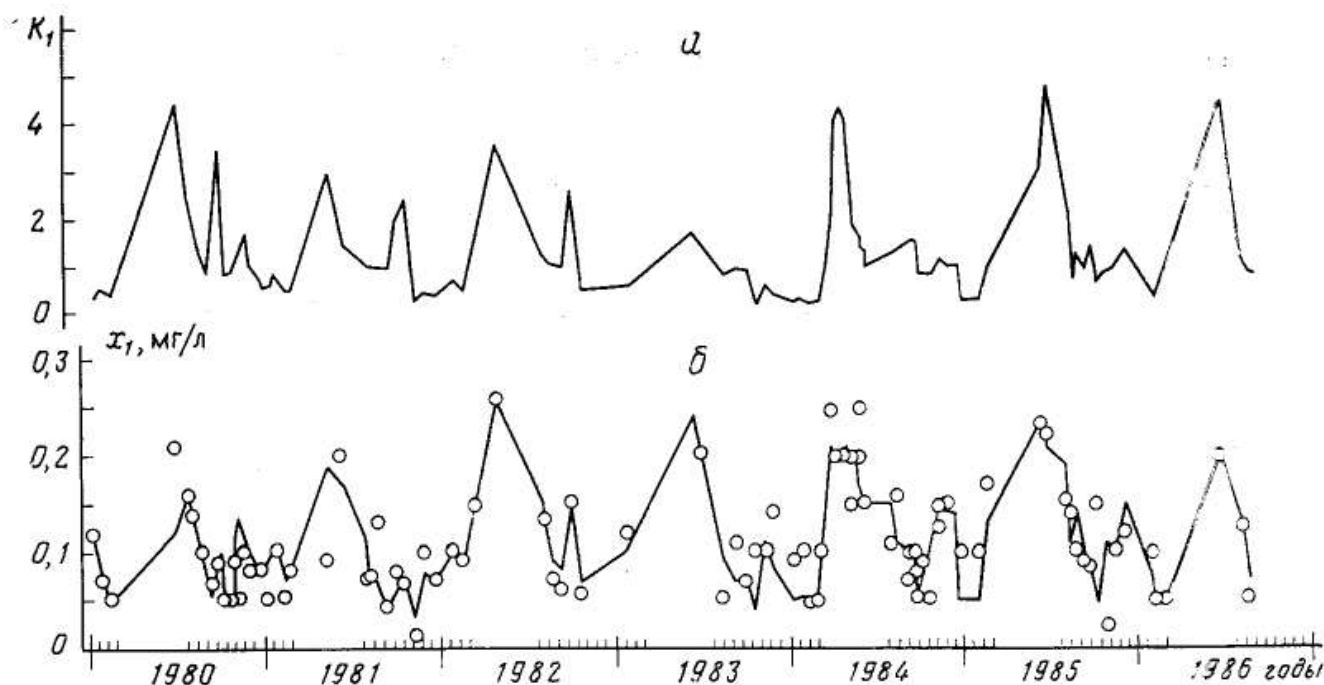
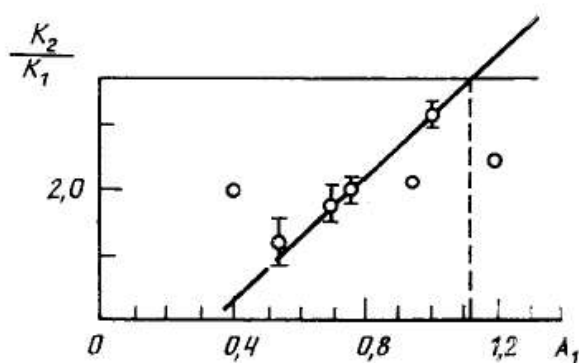


Рис. 3. Временной ход изменения модульного коэффициента расходов воды (а) и содержание СПАВ в воде в створе у пос. Мигалово (б), рассчитанное по (6), в сравнении с данными натуральных измерений (точки)

Рис. 4. Сопоставление отношений A_1 содержания СПАВ в воде в районе створа ТЭЦ-3 (р. Тверца) и в створе у пос. Мигалово, а также соответствующих значений модульных коэффициентов расходов воды K_2/K_1



уравнение (9) можно применять для расчета сезонного изменения содержания СПАВ в воде рек в общем виде:

$$x = A' c_T \left(\frac{K'}{D_Q} \right) e^{-a_M \left(\frac{K'}{D_Q} \right)}, \quad (10)$$

где A' — соотношение средних многолетних концентраций СПАВ в изучаемом створе водотока и в створе, для которого установлена зависимость вида (6); K' — модульный коэффициент расходов воды изучаемого створа реки, D_Q — отношение норм расходов воды изученного \bar{Q} и изучаемого \bar{Q}' створов реки.

После того как были установлены закономерности сезонного изменения содержания СПАВ в воде для входных речных участков в районе Калининского промышленного узла, для выявления влияния последнего определялись отношения значений концентраций СПАВ во входном (пос. Мигалово) и замыкающем створах реки (пос. Эммаус) $A_2 = x_3/x_1$ и зависимость их от условий водности на входном участке, которая оценивалась соотношением

$$K_\Sigma = \frac{Q'_{CT} + Q'_{TB}}{\bar{Q}_1 + \bar{Q}_2}$$

Осредненные величины A_2 для одинаковых значений K_Σ с доверительными интервалами приведены на рис. 5. Данная зависимость аппроксими-

Измеренные (числитель) и расчетные (знаменатель) величины содержания СПАВ в воде р. Тверца (створ ТЭЦ-3) в 1984—1985 гг.

Дата отбора проб	Содержание СПАВ, мг/л	Дата отбора проб	Содержание СПАВ, мг/л	Дата отбора проб	Содержание СПАВ, мг/л	Дата отбора проб	Содержание СПАВ, мг/л
1984		1984		1984		1985	
27.III	$\frac{0,05}{0,04}$	14.IV	$\frac{0,15}{0,17}$	18.VII	$\frac{0,05}{0,05}$	5.II	$\frac{0,04}{0,04}$
29.III	$\frac{0,10}{0,05}$	16.IV	$\frac{0,15}{0,15}$	20.VII	$\frac{0,05}{0,03}$	12.III	$\frac{0,19}{0,05}$
31.III	$\frac{0,10}{0,05}$	18.IV	$\frac{0,15}{0,13}$	30.VII	$\frac{0,04}{0,04}$	21.IV	$\frac{0,21}{0,23}$
2.IV	$\frac{0,10}{0,09}$	20.IV	$\frac{0,20}{0,13}$	17.IX	$\frac{0,02}{0,07}$	12.V	$\frac{0,20}{0,16}$
4.IV	$\frac{0,15}{0,16}$	14.V	$\frac{0,01}{0,16}$	20.IX	$\frac{0,05}{0,05}$	21.V	$\frac{0,23}{0,10}$
6.IV	$\frac{0,25}{0,22}$	9.VII	$\frac{0,05}{0,05}$	24.IX	$\frac{0,10}{0,10}$	11.VI	$\frac{0,10}{0,11}$
8.IV	$\frac{0,15}{0,23}$	10.VII	$\frac{0,10}{0,06}$	26.IX	$\frac{0,10}{0,09}$	9.VII	$\frac{0,02}{0,07}$
10.IV	$\frac{0,20}{0,20}$	12.VII	$\frac{0,05}{0,05}$	22.X	$\frac{0,05}{0,05}$	20.VII	$\frac{0,06}{0,06}$
12.IV	$\frac{0,10}{0,19}$	17.VII	$\frac{0,10}{0,06}$	11.XI	$\frac{0,10}{0,10}$	10.IX	$\frac{0,07}{0,06}$
						8.X	$\frac{0,06}{0,07}$
						20.XI	$\frac{0,07}{0,07}$

мирована уравнениями вида

$$A_2 = \frac{1}{0,23 K_{\Sigma} + 0,326}, \quad \eta = 0,92. \quad (11)$$

Анализ уравнения (11) и данных натурального измерения показывает, что при $K \geq 2,93$ величина $A_2=1$, т. е. содержание СПАВ ниже города пренебрежимо мало по сравнению с его поступлением в водохранилище, тогда как величина $Q_{\text{стр}'}$ притока практически втрое больше его средней многолетней величины (рис. 5). С уменьшением K_{Σ} величина A_2 растет и при $K_{\Sigma}=0,21$ (что соответствует расходу воды 95%-ной обеспеченности на створах у пос. Старица и р. Тверца) значение $A_2 \approx 2,67$, т. е. содержание СПАВ в воде в створе у пос. Эммаус при этих условиях превышает соответствующие значения его в створе у пос. Мигалово в 2,67 раза. Если проэкстраполировать соотношение (11) до величины $K_{\Sigma}=0$, то получим $A_2 \approx 3,07$, что показывает «вклад» Калининского промышленного узла в загрязнение водоема СПАВ, который в среднем в 3 раза превышает содержание СПАВ в воде данного участка.

Значение $A_2=1,79$, рассчитанное по (11) при $K_{\Sigma}=1$, довольно удовлетворительно согласуется с экспериментальными данными отношения средних величин содержания СПАВ в воде рассматриваемых створов $A_2' = \bar{x}_3 / \bar{x}_1 \approx 1,71$ (здесь $\bar{x}_3 = 0,145$ и $\bar{x}_1 = 0,085$ мг/л).

Химический сток СПАВ на верхнем участке Иваньковского водохранилища

Ствол	Химический сток СПАВ, т/сут	\bar{x} , мг/л	σ_x , мг/л
Пос. Мигалово	1,16	0,085	0,036
Р. Тверца (ТЭЦ-3)	0,35	0,096	0,053
Устье р. Тверца	—	0,106	0,053
Пос. Эммаус	2,51	0,145	0,059
С. Городня	0,86	0,050	0,010

Хорошую количественную информацию о содержании СПАВ в воде на верхнем участке водохранилища можно получить по распределению его средних величин на исследуемых участках. Из-за неоднородности динамического ряда и малой выборки натуральных данных по содержанию СПАВ в воде, приводимых в литературе, средние значения не соответствуют возможному истинному значению средней генеральной совокупности ряда. Для определения наиболее достоверных величин, близких к среднему значению генеральной совокупности, были построены эмпирические кривые распределения СПАВ и получены их теоретические

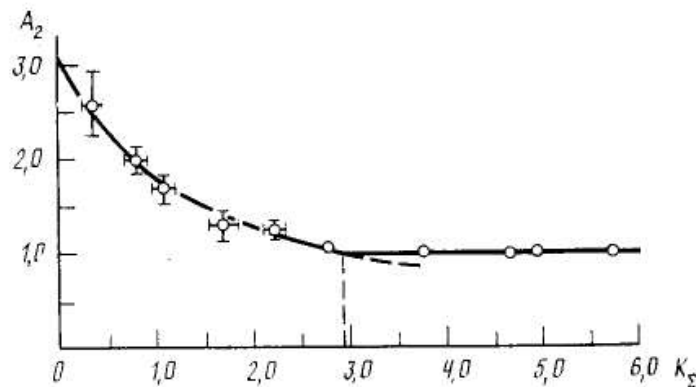


Рис. 5. Зависимость отношения A_2 содержания СПАВ в воде в створах у поселков Эммаус и Мигалово от безразмерного параметра расходов воды K_2 в створах у поселков Старица и Медное (р. Тверца)

значения, которые оказались близкими к нормальному распределению. Из построенных кривых распределений были рассчитаны средние и среднеквадратичные отклонения значений концентраций СПАВ на исследуемых участках водохранилища. Результаты расчетов приведены в табл. 2.

Как уже указывалось, среднее содержание СПАВ в створе у пос. Эммаус в 1,7 раза больше, чем в створе у пос. Мигалово, а в створе у с. Городня — почти в 3 раза меньше, чем в створе у пос. Эммаус. По-видимому, это объясняется усилением процесса деструкции СПАВ на участке водохранилища от пос. Эммаус до с. Городня.

Помимо расчетов, приведенных выше, был проанализирован весь ряд натуральных данных по СПАВ в створах у поселков Мигалово и Эммаус за 1979—1986 гг., чтобы выявить тенденцию их увеличения или уменьшения за этот период. Анализ проводился для трех интервалов величин модульного коэффициента расходов воды: 0,2—0,75, 0,75—1,3 и 1,3—2,2 по фазочастотному критерию знаков разностей Валлиса и Мура. Значения интервалов выбраны, исходя из водности соответствующей группы лет, при этом за расчетное распределение маловодного года принимали среднее

Критерий t_{ϕ} для разных интервалов величин модульного коэффициента расходов воды на верхнем участке Ивановского водохранилища

Ствол	Интервалы модульного коэффициента	Критерий t_{ϕ}	Ствол	Интервалы модульного коэффициента	Критерий t_{ϕ}
Пос. Мигалово	0,2—0,75	2,76	Пос. Эммаус	0,2—0,75	2,51
	0,75—1,3	2,96		0,75—1,3	1,71
	1,3—2,2	1,23		1,3—2,2	1,23

распределение лет обеспеченности $>67\%$, для многоводного $<33\%$ и среднего по водности года $33\% < p < 67\%$.

Для проверки нулевой гипотезы было рассчитано фактическое значение критерия

$$t_{\phi} = \frac{\left| h - \frac{2n-7}{3} \right| - 0.5}{\sqrt{\frac{16n-29}{90}}}, \quad (12)$$

где h — число фаз, n — длина ряда. В табл. 3 приведены значения t_{ϕ} динамического ряда величин СПАВ для створов у поселков Мигалово и Эммаус.

Теоретическое значение этого критерия равно 1,96. Нулевая гипотеза отвергается лишь для интервалов 0,2—0,75 и 0,75—1,3 в створе у пос. Мигалово и 0,2—0,75 в створе у пос. Эммаус.

После этого весь ряд концентрации СПАВ для выбранных интервалов разделили на три группы по критерию Кокса и Стюарта и рассчитали фактическое значение критерия по формуле

$$t_{\phi} = \frac{\left| I - \frac{n}{6} \right| - 0.5}{\sqrt{\frac{n}{12}}}, \quad (13)$$

где I — число знаков разности.

Для створов у поселков Мигалово и Эммаус на интервале модульного коэффициента 0,2—0,75 характерно увеличение содержания СПАВ в воде со следующими значениями t_{ϕ} по (13): пос. Мигалово — 1,86, что соответствует вероятности $p=0,058$; пос. Эммаус — 1,99 ($p=0,046$).

Таким образом, тенденция возрастания содержания СПАВ в воде в створе у пос. Мигалово наблюдается на 6%-ном, а створе у пос. Эммаус — на 5%-ном уровне.

Описанный подход и методика статистического анализа данных натурных наблюдений позволяют выявить ряд закономерностей пространственно-временной динамики поступления СПАВ в Ивановское водохранилище. Существенную роль в изменении уровня загрязнения водохранилища СПАВ играют гидрометеорологические условия. Наиболее неблагоприятными, критическими для водоема являются маловодные годы и периоды с низкими температурами воды. В маловодные годы наблюдается возрастание содержания СПАВ не только на выходе из Калининского промышленного узла, но и во входных створах. Поэтому реализация случая повторения маловодных лет может иметь очень нежелательные последствия для качества воды Ивановского водохранилища.

Принципы предложенного метода могут быть использованы для оцен-

ки загрязнения природных вод другими химическими веществами антропогенного происхождения, в том числе на водных объектах, расположенных в иных регионах, с учетом местных условий и особенностей.

Список литературы

1. Блюх С. С. К вопросу о загрязнении воды канцерогенными веществами//Гигиена и санитария. 1965. № 4. С. 87—89.
2. Бойченко В. К., Иванов К. А. Гигиеническая эффективность водоохраных мероприятий в зоне Иваньковского водохранилища//Изучение динамических процессов в геосистемах. М.: Моск. филиал Геогр. о-ва СССР, 1980. С. 80—85.
3. Брагинский Л. П., Перевозченко И. И., Калинин К. П., Пищолка Ю. К. Биологические факторы деградации пестицидов и детергентов (СПАВ) в водной среде//Самоочищение и биоиндикация загрязненных вод. М.: Наука, 1980. С. 98—108.
4. Велдре И. А., Итра А. Р., Паальме Л. П. Экспериментальное изучение влияния детергентов на стабильность бенз(а)пирена//Гигиена и санитария. 1977. № 3. С. 89—90.
5. Волощенко О. И., Медяник И. А. Гигиена и токсикология бытовых химических веществ. Киев: Здоров'я, 1983. 142 с.
6. Григорьева Л. В. Санитарная бактериология и вирусология синтетических моющих средств. Киев: Здоров'я, 1980. 160 с.
7. Ильин И. Е. Изучение токсичности продуктов трансформации поверхностно-активных веществ, образующихся в процессе хлорирования воды//Гигиена и санитария. 1980. № 2. С. 11—14.
8. Ильин И. Е. Распределение химических веществ в поверхностном слое водоемов//Гигиена и санитария. 1984. № 1. С. 19—22.
9. Ильин И. Е. Изучение опасности перераспределения загрязнений химической и биологической природы//Гигиена и санитария. 1986. № 6. С. 8—11.
10. Квитницкая Н. Н. Санитарная охрана водоемов//Оздоровление воздушного и водного бассейнов городов. Киев: Здоров'я, 1968. С. 40—43.
11. Королев А. А., Богданов М. В., Витвицкая Б. Р. Гигиеническая оценка продуктов деструкции поверхностно-активных веществ при озонировании воды//Гигиена и санитария. 1975. № 1. С. 16—20.
12. Костовецкий Я. И., Омелянец Н. И., Толстопятова Г. В. Гигиена доочистки сточных вод. Киев: Здоров'я, 1977. 128 с.
13. Можжев Е. А. Загрязнение водоемов поверхностно-активными веществами. М.: Медицина, 1976. 96 с.
14. Народное хозяйство СССР за 70 лет. М.: Финансы и статистика, 1987. 766 с.
15. Новиков Г. В., Дударев А. Я. Санитарная охрана окружающей среды современного города. Л.: Медицина, 1978. 216 с.
16. Рапопорт К. А., Маркова З. С., Пылева З. А. и др. Гигиеническая характеристика рецептурного состава синтетических моющих и чистящих средств и их регламентация//Гигиена и санитария. 1984. № 6. С. 23—25.
17. Санитарная микробиология эвтрофных водоемов. Киев: Здоров'я, 1985. 222 с.
18. Сергеев Е. П., Можжев Е. А. Санитарная охрана водоемов (научные, методические и практические аспекты). М.: Медицина, 1979. 152 с.
19. Сидоренко Г. И., Багдасарьян Г. А., Талаева Ю. Г. Гигиенические аспекты изучения биологического загрязнения окружающей среды//Гигиена и санитария. 1980. № 5. С. 6—9.
20. Ставская С. С. Биологическое разрушение анионных ПАВ. Киев: Наук. думка, 1981. 114 с.
21. Трикуленко В. И. Биологическое действие ряда новых детергентов и уровень их безвредности при поступлении в водоемы//Гигиена и санитария. 1978. № 3. С. 14—18.
22. Химия окружающей среды/Под ред. Бокриса Дж. О. М. М.: Химия, 1982. 672 с.
23. Шандала М. Г., Костовецкий Я. И., Булгаков В. В. Охрана и оздоровление окружающей среды в условиях научно-технической революции. Киев: Здоров'я, 1982. 224 с.

ИВП АН СССР

Поступила в редакцию
12.07.89