Сравнительная оценка экологической опасности поверхностных стоков с промышленных площадок и городских территорий

ГОРДИН И. В., доктор техн. наук
Центр «Росэкология» Российской Академии наук, Москва
КИРПИЧНИКОВА Н. В., инж.
Институт водных проблем Российской Академии наук, Москва

По мере сокращения сброса производственных и хозяйственно-бытовых сточных вод непрерывно возрастает удельный вес такого источника загрязнения природных вод, как поверхностный смыв с городских территорий, промышленных площадок, сельскохозяйственных объектов. Для выбора оптимальной стратегии водоохраны принципиально важно иметь количественные оценки интенсивности поверхностного смыва.

С этой целью проведены экспериментальные исследования на площади водосбора источника водоснабжения г. Москвы — Иваньковского водохранилища, в частности на территории Конаковской ГРЭС и прилегающих к ней городских территориях. В соответствии с экспликацией промплощадки суммарной площадью 110 га поверхностный сток поступает или на очистные сооружения, или в сбросной канал и через Мошковический залив в Волгу, или непосредственно в Волгу. Обследование показало, что поверхностный смыв загрязняющих веществ уходит с площадки четырьмя потоками.

Первый, наименее организованный,— склоновый сток непосредственно с берега Волги, пересекающий автодорогу, параллельную главному корпусу ГРЭС. В сильный дождь загрязняющие вещества (по взвешенным веществам и нефтепродуктам это прослеживается визуально) смываются через густую сеть ручейков напрямую в Волгу. Однако поскольку смыв происходит в районе береговых насосных станций, дождевые и талые сточные воды закачиваются с волжской водой в систему технического водоснабжения ГРЭС и не представляют экологической опасности для Иваньковского водохранилища.

Второй поток идет по ливневому коллектору № 1 в том же направлении, что и неорганизованный склоновый сток волжского берега, и представляет собой дренажный канал с нефтеловушкой.

Третий поток также идет по дренажному каналу, но по направлению к главному сбросному каналу ГРЭС. Будем рассматривать этот сток как ливневый коллектор № 2. Этот поток подвергается очистке в двух нефтеловушках сбросного канала, что в значительной степени снижает его экологическую опасность для Мошковического залива.

Четвертый поток — наиболее загрязненный, поскольку формируется на территории, включающей площадку мазутохранилища. Учитывая глубокую очистку этого потока, им можно пренебречь в сравнении с практически неочищаемыми потоками ливневых коллекторов № 1 и 2. Таким образом, главную экологическую опасность для Волги представляют эти два коллектора. Именно на них были проведены основные экспериментальные исследования.

Экспедиция работала с 25 сентября по 6 октября 1990 г., зарегистрировав гидрографы и полютографы (по нефтепродуктам) в замыкающих створах обоих дренажных каналов от трех достаточно сильных дождей. Измерение расходов воды производилось гидрометрическими вертушками и поплавками. Плювиограф был установлен непосредственно на площадке ГРЭС, непрерывные плювиограммы перестроены в гиетографы.

Результаты измерения расхода воды и концентрации нефтепродуктов (с отбором проб каждые 15 мин) представлены в графическом виде на рис. 1—3.

Выполним интегральные оценки по всем трем дождям:

$$H=\int_{t_{н1}}^{t_{к1}} a_1(t)\,dt+\int_{t_{н2}}^{t_{к2}} a_2(t)\,dt+\int_{t_{н3}}^{t_{к3}} d_3(t)\,dt; \qquad (1)$$

$$V=\int_{t_{н1}}^{t_{к1}} Q_1(t)\,dt+\int_{t_{н2}}^{t_{к2}} Q_2(t)\,dt+\int_{t_{н3}}^{t_{к3}} Q_3(t)\,dt; \qquad (2)$$

$$M=\int_{t_{н1}}^{t_{к1}} Q_1(t)C_1(t)\,dt+\int_{t_{н2}}^{t_{к2}} Q_2(t)C_2(t)\,dt+\int_{t_{н3}}^{t_{к3}} Q_3(t)C_3(t)\,dt, \qquad (3)$$

Результаты расчета для обоих коллекторов приведены в табл. 1.

Проведем экстраполяцию полученных результатов на весь период снеготаяния и дождей. Для этого обратимся к помесячным характеристикам выпадения осадков в г. Конаково. По данным Госкомгидромета среднемноголетние стокообразующие осадки составляют 773 мм. Проэкстраполируем наши оценки выноса загрязняющих веществ с площадки ГРЭС пропорционально отношению годовых стокообразующих осадков к сумме осадков за время эксперимента. Получим коэффициент пересчета $k=34{,}2$. Рассчитаем прогнозную оценку годового выноса нефтепродуктов с площадки ГРЭС через два ливне-

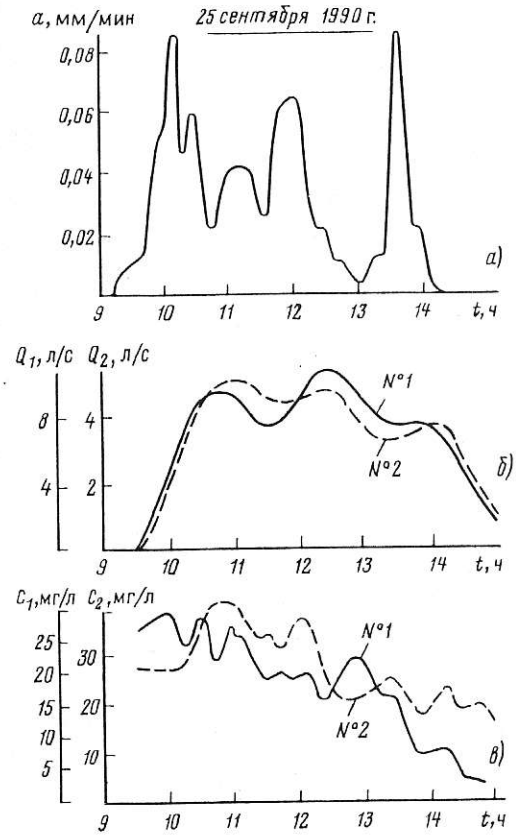

Рис. 1. Гиетограф (*а*), гидрографы (*б*) и полютографы нефтепродуктов (*в*) ливневых коллекторов № 1 и 2 промплощадки ГРЭС 25 сентября 1990 г.

вых коллектора:

$$M_{\text{ГРЭС}} = (M_1 + M_2)k = 12{,}2 \times 34{,}2 = 417 \text{ кг/год.}$$

Предлагаемая методика получения интегральных оценок выноса загрязняющих веществ с промплощадок могла бы дать более точный результат, если провести серию экспериментов, охватывающую пять — десять дождей. Но, учитывая сложность организации и проведения экспериментов, мы не видим перспективы более точных оценок поверхностного смыва промплощадок, чем оценки, ориентирующиеся на три достаточно характерных дождя.

Таблица 1

Ливневый коллектор	Дата эксперимента	Слой дождя H, мм	Объем стока V, м³	Масса нефтепродуктов M, кг
№ 1	25.09.90	11,6	135,5	5,0
	01.10.90	6,1	60,3	2,6
	06.10.90	4,9	49,2	0,6
	По всей серии экспериментов	22,6	245,0	8,2
№ 2	25.09.90	11,6	67,0	2,5
	01.10.90	6,1	27,4	1,2
	06.10.90	4,9	18,7	0,3
	По всей серии экспериментов	22,6	113,1	4,0

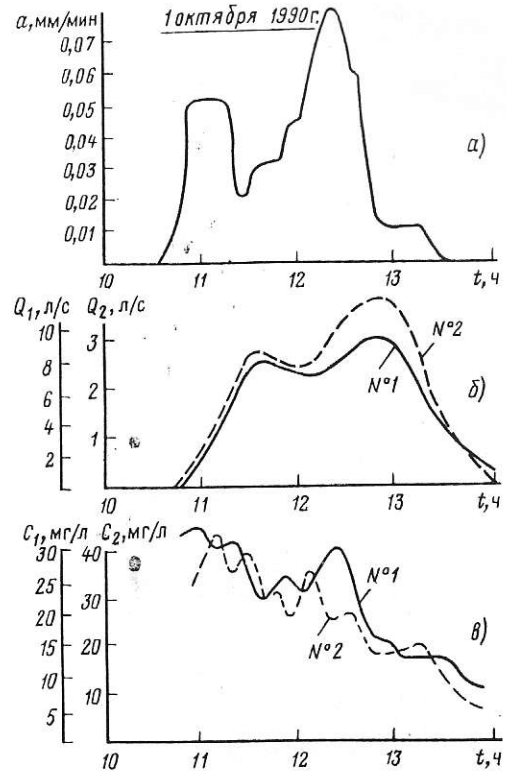

Рис. 2. Гиетограф (*а*), гидрографы (*б*) и полютографы нефтепродуктов (*в*) ливневых коллекторов № 1 и 2 промплощадки ГРЭС 1 октября 1990 г.

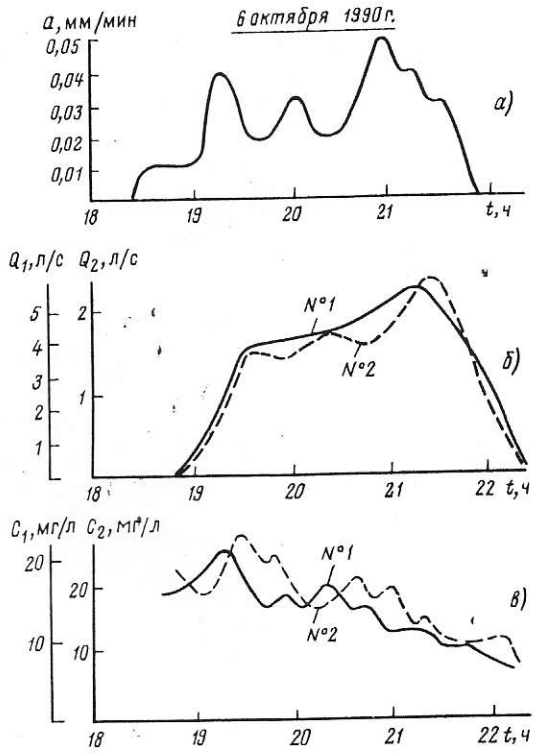

Рис. 3. Гиетограф (*а*), гидрографы (*б*) и полютографы нефтепродуктов (*в*) ливневых коллекторов № 1 и 2 промплощадки ГРЭС 6 октября 1990 г.

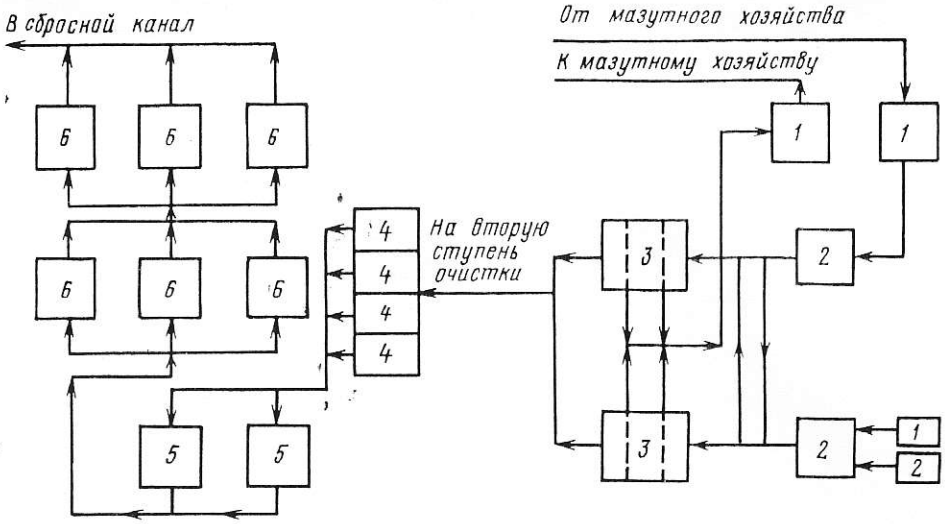

Рис. 4. Схема очистки поверхностного стока площадки ГРЭС:
1 — автоматические дренажные системы; *2* — резервуары по 600 м^3; *3* — нефтеловушки; *4* — резервуары по 80 м^3; *5* — механические фильтры; *6* — фильтровальные автоматические установки

Поскольку конечной целью экспериментальных исследований является получение модулей поверхностного смыва, приведем результаты расчетов по территории Конаковской ГРЭС (110 га).

Для нефтепродуктов в соответствии с вышеприведенными экспериментальными данными

$$M_{нфпр}=417/110=3{,}8 \text{ кг/(год·га)}.$$

На основе результатов измерений по взвешенным (166,2 т/год) и органическим (19,1 т/год) веществам, проводимым одновременно с химанализами по нефтепродуктам, получаем:

$$M_{взв}=166{,}2/110=1511 \text{ кг/(год·га)};$$

$$M_{орг}=19{,}1/110=174 \text{ кг/(год·га)}.$$

Перейдем к анализу потока, проходящего очистные сооружения производственно-дождевой канализации. В настоящее время очистка поверхностного стока площадки ГРЭС осуществляется по схеме рис. 4. Планируется реконструкция очистных сооружений. Однако, ужесточая требования к степени очистки поверхностных сточных вод промплощадок, необходимо оценивать экологический эффект этих мероприятий на фоне других источников поверхностного смыва (близлежащих предприятий, прилегающих городских территорий). Это исключительно важный аспект повышения комплексности программ водоохранных мероприятий.

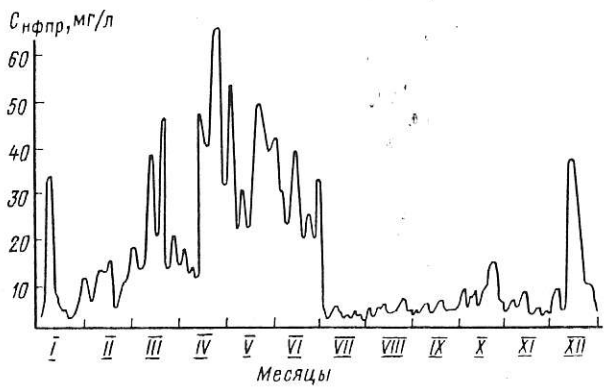

Рис. 5. Сезонные колебания концентрации нефтепродуктов на входе очистных сооружений производственно-дождевой канализации промплощадки ГРЭС

График колебаний содержания нефтепродуктов на входе очистных сооружений за 1988 г. представлен на рис. 5. На графике прослеживается влияние февральской оттепели и интенсивного смыва в апреле—мае. Но в целом сезонный фактор поверхностного смыва почти не заметен, что убеждает в решающей роли производственных сточных вод, канализованных в автоматические дренажные системы ГРЭС. Подтверждением этого служат и измерения их расходов (рис. 6).

Проведен детальный статистический анализ ежедневных данных по остаточной загрязненности сточных вод на выходе очистных сооружений ГРЭС с 1986 по 1990 г. Анализ показывает, что фильтровальная станция в последние годы (после ряда усовершенствований) стабильно обеспечивает очистку до 0,1—0,2 мг/л остаточного содержания нефтепродуктов. Это в 2—4 раза выше ПДК. Чтобы выдержать требуемый норматив ПДК (0,05 мг/л), необходимо провести значительную реконструкцию станции. Соответствующие технологические схемы существуют, но их реализация в привязке к фильтровальной станции Конаковской ГРЭС потребует больших капитальных и эксплуатационных затрат. С учетом удорожания и дефицита стройматериалов, металлоконструкций и особенно химических реагентов модернизация станции явится для ГРЭС серьезным организационно-техническим мероприятием.

Оценим водоохранную эффективность этого мероприятия на фоне действия других неконтролируемых источников загрязнения интересующего участка Иваньковского водохранилища. Начнем с сопоставления экологической опасно-

моделировать объект исследования как депрессию диаметром 25 м и глубиной 0,1 м.

Результаты наблюдений, выполненных по тому же регламенту, что и вышеописанный, представлены на рис. 7. При сопоставлении полютографов двух изученных депрессий видно, что совершенно аналогичная динамика формирования качества воды сочетается здесь с огромной разницей в абсолютных значениях концентрации нефтепродуктов.

По нашему мнению, главным фактором при этом выступает глубина депрессии. При глубине 0,1 м «мойка» более загрязненных деталей автомашин происходит в режиме смыва разбрызгиванием, а при глубине 0,4 м идет «мойка» с погружением.

В целом проведенное исследование свидетельствует о большой экологической опасности неорганизованной «мойки» автомобилей в депрессиях разбитых дорог. Определим, сколько нефтепродуктов накапливается для Волги только в одной депрессии на территории города. В соответствии с рис. 7 принимаем, что к концу сезона дождей в первой депрессии содержится 5000 мг/л нефтепродуктов, а во второй — 300 мг/л. Объем первой равен $10 \times 5 \times 0{,}4 = 20$ м^3, второй — $(3{,}14 \times 25^2/4) \times 0{,}1 = 49$ м^3. Следовательно, масса нефтепродуктов в первой депрессии — 5000×20 м$^3 = 100$ кг, во второй — $300 \times 49 = 14{,}7$ кг.

За весь сезон снеготаяния и дождей каждая депрессия поставляет в ливневую канализацию или непосредственно в Волгу не менее пяти—десяти таких порций. Это значит, что лишь один локальный дефект автодороги с параметрами, близкими к первой депрессии, способен «снять» с автотранспорта и «передать» Волге около 1 т нефтепродуктов.

В экстраполяционных расчетах по всем автодорогам города нельзя, конечно, ориентироваться на уникальные параметры (прежде всего — глубину) исследованной депрессии. Даже второй объект исследования, мощность которого как источника загрязнения на порядок меньше, был выбран для эксперимента в виду своей исключительности.

Если говорить о наиболее подходящих для экстраполяционных расчетов параметрах процесса «мойки» автомобилей в депрессиях дорожного полотна, то можно сделать следующие визуальные оценки. Учитывая среднюю плотность автодорог в черте города, среднюю интенсивность движения автотранспорта, считаем, что на каждый гектар городской территории приходится площадь автодорожных депрессий, эквивалентная примерно 1/5 площади того скопления луж, которое исследовалось около автобусной остановки. Следовательно, по результатам наших экспериментов и дополняющих их визуальных оценок, можно говорить о модуле поверхностного смыва, связанного с дефектностью автодорог города, равном около 30 кг/га в год. Данный пример свидетельствует, насколько неразрывны проблемы благоустройства городских территорий водосбора и снижения экологической опасности смыва загрязняющих веществ в Волгу.

Одновременно с исследованиями непосредственно на городских территориях водосбора последние изучались и по характеристикам ливнеспусков дождевой канализации. Приведем результаты экспериментов на трех типичных фрагментах территории г. Твери. Выбранные фрагменты дождевой канализации охватывают все многообразие ливнеспусков города по площади канализования, длине коллектора, степени загрязненности территории и др.

Наблюдения на ливнеспусках проводились в период интенсивного снеготаяния в городе, которое было вызвано одной из характерных оттепелей зимне-весеннего сезона 1990 г. — с 21.02 по 01.03. В этот период на каждом из ливнеспусков проводились ежедневные замеры расхода воды, концентрации взвешенных веществ и нефтепродуктов. Результаты измерений приведены в табл. 2.

По расходу воды и концентрации веществ рассчитано их произведение G, г/с, характеризующее массовый вынос из коллекторов дождевой канализации. Результаты расчетов представлены в табл. 3.

Для экстраполяции полученных результатов на всю дождевую канализацию города основные параметры были предварительно приведены к 1 м погонной длины коллектора. Результаты интегрирования объемов воды и масс загрязнителей, а также удельные показатели, приведенные к 1 м погонной длины, даны в табл. 4.

Перейдем к экстраполяции результатов на всю канализационную сеть г. Твери. Общая длина коллекторов дождевой канализации города равна 136 600 м. Следовательно, объем талого стока, сошедшего за данную оттепель со всей канализованной территории города, можно считать равным

Таблица 2

Дата	Ливнеспуск № 1			Ливнеспуск № 2			Ливнеспуск № 3		
	Q, л/с	Нефтепродукты, мг/л	Взвешенные вещества, мг/л	Q, л/с	Нефтепродукты, мг/л	Взвешенные вещества, мг/л	Q, л/с	Нефтепродукты, мг/л	Взвешенные вещества, мг/л
21.02	2,5	23,8	1255	6,1	76,6	7328	12,4	62,2	8245
22.02	5,0	19,7	1008	10,4	41,5	5342	28,1	70,5	8874
23.02	6,8	16,2	926	17,6	64,4	6153	36,8	77,4	8461
24.02	7,9	9,9	646	23,5	52,2	4834	44,3	40,6	6215
25.02	4,8	16,5	656	21,6	37,8	3672	39,1	24,4	3181
26.02	2,3	11,2	611	18,2	24,4	2581	27,7	18,2	1912
27.02	2,0	17,4	448	11,8	19,3	1002	21,2	21,1	1217
28.02	0,6	8,7	99	5,6	13,4	482	9,8	15,7	814
01.03	—	—	—	2,1	11,2	118	4,1	16,3	301

Таблица 3

Дата	Ливнеспуск № 1		Ливнеспуск № 2		Ливнеспуск № 3	
	Нефтепродукты, г/с	Взвешенные вещества, г/с	Нефтепродукты, г/с	Взвешенные вещества, г/с	Нефтепродукты, г/с	Взвешенные вещества, г/с
21.02	0,06	3,14	0,47	44,70	0,77	102,24
22.02	0,10	5,04	0,43	55,57	1,98	249,37
23.02	0,11	6,30	1,13	108,30	2,85	311,36
24.02	0,08	5,10	1,23	113,61	1,80	275,35
25.02	0,08	3,15	0,82	79,32	0,95	124,38
26.02	0,03	1,40	0,44	46,97	0,50	52,98
27.02	0,03	0,90	0,23	11,83	0,45	25,82
28.02	0,01	0,06	0,08	2.75	0,15	7,98
01.03	—	—	0,02	0,25	0,07	1,23

Таблица 4

Характеристики стока	Ливнеспуск № 1	Ливнеспуск № 2	Ливнеспуск № 3
Объем воды, $м^3$	2756,2	10108,8	19310,4
Количество нефтепродуктов, кг	42,5	419,0	822,5
Количество взвешенных веществ, т	2,17	40,03	99,42
Средняя концентрация, мг/л:			
нефтепродуктов	15,4	41,4	42,6
взвешенных веществ	786,5	3959,8	5148,6
Объем воды, отнесенный к 1 м погонной длины, $м^3/м$	18,2	12,3	7,9
Количество нефтепродуктов, отнесенное к 1 м погонной длины, кг/м	0,28	0,51	0,34
Количество взвешенных веществ, отнесенное к 1 м погонной длины, кг/м	14,4	48,6	40,8

$$V=\frac{18,2+12,3+7,9}{3}\times 136\,600=12,8\times 136\,600=$$

$$=1\,748\,480\ м^3.$$

Расчет массы веществ, сошедшей с города через ливнеспуски, можно выполнить двумя способами. Сначала рассчитаем массовый вынос через средние концентрации загрязняющих веществ. В соответствии с табл. 4 средняя концентрация взвеси в талом стоке

$$\bar{C}_{взв}=(786,5+3959,8+5148,6)/3=3298\ мг/л.$$

Средняя концентрация нефтепродуктов

$$\bar{C}_{нфпр}=(15,4+41,4+42,6)/3=33,1\ мг/л.$$

Умножая эти концентрации на объем стока со всей канализованной территории города, получаем суммарный вынос за рассматриваемую оттепель:

$$M_{взв}=1\,748\,480\ м^3\times 3298\ г/м^3=5766\ т;$$

$$M_{нфпр}=1\,748\,480\ м^3\times 33,1\ г/м^3=57,9\ т.$$

Второй способ расчета базируется на показателях удельного массового выноса, приведенных в табл. 4.

Для взвешенных веществ

$$M_{взв}=\frac{14,4+48,6+40,8}{3}\times 136\,600=34,6\ кг/м\times$$

$$\times 136\,600\ м=4726\ м.$$

Для нефтепродуктов

$$M_{нфпр}=\frac{0,28+0,51+0,34}{3}\times 136\,600=0,38\ кг/м\times$$

$$\times 136\,600\ м=51,5\ т.$$

В качестве окончательных оценок массового выноса примем усредненные значения:

$$M_{взв}=(5766+4726)/2=5246\ т;$$

$$M_{нфпр}=(57,9+51,5)/2=54,7\ т.$$

По нашим наблюдениям весь талый и дождевой смыв всех загрязняющих веществ с территории города произошел за два паводка, эквивалентных вышеописанному. Следовательно, годовой смыв с канализованной территории города можно оценить следующими значениями:

$$M_{взв}=5246\times 2=10\,492\ т;$$

$$M_{нфпр}=54,7\times 2=109,4\ т.$$

Таким образом, мы можем перейти к оценкам модулей поверхностного смыва для канализованной части города. В соответствии с экспликацией г. Твери площадь городской застройки составляет 3920 га, автомагистралей — 1000 га. Промплощадки г. Твери канализуются через собственные ливнеспуски. Следовательно, в городе канализовано 4920 га. Отсюда модули поверхностного годового смыва канализованных территорий, включающих только городскую застройку и автомагистрали, равны:

$$\mu_{взв}=10\,492\ т/4920\ га=2,13\ т/га=2130\ кг/га;$$

$$\mu_{нфпр}=109,4\ т/4920\ га=0,022\ т/га=22\ кг/га.$$

Взвешенные вещества и нефтепродукты принято считать главными компонентами поверхностного смыва с городских территорий. Однако, оценивая опасность неконтролируемых источников для Иваньковского водохранилища, нельзя было обойти вниманием и такой важный показатель, как содержание в поверхностном стоке органических и биогенных веществ. Поэтому во всех экспериментах параллельно с анализами на взвешенные вещества и нефтепродукты проводились с частотой примерно в 2 раза меньшей анализы на ХПК (химическая потребность кислорода), азот и фосфор.

Обобщенные результаты исследований по двум городам водосбора Иваньковского водохранилища приведены в табл. 5. В нижней строке

Таблица 5

Объект исследования	Экспериментальные модули смыва загрязняющих веществ с городских территорий водосбора, кг/(га·год)				
	Взвешенные вещества	Нефтепродукты	Органические вещества по ХПК	Азот	Фосфор
г. Тверь	2130	22	585	30	1,5
г. Конаково	3290	30	720	—	—
Средний модуль смыва с городских территорий	2710	26	653	30	1,5

таблицы даны усредненные модули смыва, которые мы принимаем за окончательные оценки для всех урбанизированных территорий интересующего водосбора.

Усредняя экспериментальные модули смыва, мы абстрагируемся от дифференциации модулей как по сезонам смыва (талые — дождевые), так и по характеру поступления в водоем (смыв с неканализованных территорий — смыв через ливнеспуски). Это, несомненно, вынужденная агрегация оценок, продиктованная невозможностью на данном этапе исследований организовать комплекс экспериментов, охватывающих на достаточном количестве объектов все сезонные фазы поверхностного смыва на протяжении нескольких лет.

Вместе с тем нам представляется, что и более детальные исследования не дадут достаточно оснований для устойчивой дифференциации характеристик поверхностного смыва, поскольку в этом процессе слишком велико влияние множества трудноучитываемых случайных факторов.

Ориентируясь на модуль поверхностного смыва нефтепродуктов с городских территорий водосбора, равный 30 кг/(год·га), рассчитаем смыв нефтепродуктов с поверхности сопоставляемого с площадкой ГРЭС фрагмента территории г. Конаково: 30 кг/(год·га)×110 га=3300 кг/год. Следовательно, с территории ГРЭС выносится нефтепродуктов в 5,2 раза меньше, чем с равной по площади городской территорий.

При этом надо заметить, что получающийся модуль смыва нефтепродуктов с площадки ГРЭС — 5,8 кг/(год·га) — несколько завышен, поскольку включает производственные сточные воды, попадающие в автоматические дренажные системы ГРЭС.

Проведенное исследование показывает, что при всей прогрессивности мероприятий по совершенствованию очистных сооружений производственно-дождевой канализации промплощадок их не следует рассматривать как первоочередные в тех многочисленных ситуациях, когда на водосборе действуют мощные неконтролируемые источники неочищаемого поверхностного смыва.

Исследования поверхностного смыва загрязняющих веществ были проведены также на промплощадках вагоностроительного завода (регистрация смыва от трех дождей суммарным слоем 16 мм летом 1989 г.), экскаваторного завода (в снеготаяние 1989 г.), хлебокомбината (в снеготаяние 1989 г.), комбината «Искож» (в снеготаяние 1989 г.). Результаты расчетов модулей смыва по основным площадкам приведены в табл. 6.

Таблица 6

Объект исследования	Экспериментальные модули смыва загрязняющих веществ с промплощадок водосбора, кг/(га·год)		
	Взвешенные вещества	Нефтепродукты	Органические вещества (по ХПК)
Полиграфкомбинат «Детская литература»	1070	13,5	290
Конаковская ГРЭС	1511	5,8	174
Вагоностроительный завод	2030	32,1	1240
Экскаваторный завод	3150	43,5	1512
Хлебокомбинат	1980	21,8	670
Комбинат «Искож»	1115	15,2	453
Средний модуль смыва с промышленных территорий	1810	22,0	723

Таблица 7

Источник загрязнения	Основные составляющие поступления загрязняющих веществ на водосбор Иваньковского водохранилища, т/год			
	Органические вещества (по ХПК)	Нефтепродукты	Азот	Фосфор
Контролируемые источники	5 510	123	1748	328
Городские, поселковые территории, промплощадки	43 455	4224	966	49
Сельскохозяйственные территории	33 500	—	7412	1255
Суммарное значение	82 465	4347	10 126	1632

Организуя эксперименты на ряде предприятий водосбора Иваньковского водохранилища, мы пытались охватить наиболее характерные промплощадки. Их совокупность дает представление о степени загрязненности промышленных территорий водосбора, степени оснащенности предприятий очистными сооружениями ливневой канализации, степени эффективности этих сооружений.

Очень важно подчеркнуть то обстоятельство, что модули смыва загрязняющих веществ с промплощадок в отличие от городских территорий определяются не только загрязненностью территорий и гидрометеорологическими факторами, но и фактором очистки дождевых и талых сточных вод.

Как следует из данных табл. 6, площадка Конаковской ГРЭС является самой чистой из исследованных на водосборе Иваньковского водохранилища. Площадки вагоностроительного и экскаваторного заводов загрязнены нефтепродуктами сильнее, чем городские территории. Но в среднем модуль смыва с промплощадок — 22 кг/(год·га) — ниже модуля смыва с городских территорий.

Интересные результаты дает сопоставление мощности контролируемых источников загрязнения (среди которых, как известно, главное внимание уделяется промышленным сточным водам) с неконтролируемыми источниками (включая поверхностный смыв с промплощадок, городских территорий, сельхозугодий и животноводческих объектов). Результаты такого сопоставления для водосбора Иваньковского водохранилища представлены в табл. 7.

Из приведенных результатов становится очевидным, насколько важен аспект сравнительной экологической опасности различных источников загрязнения.

Допустим, что при разработке очередной водоохранной программы разработчики ориентируются только на контролируемые источники

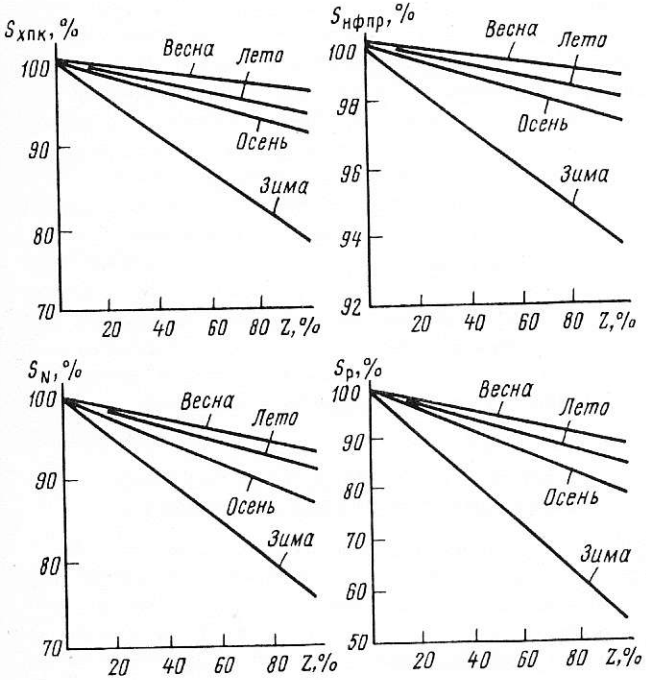

Рис. 8. Процентное снижение общего загрязнения Иваньковского водохранилища органическими веществами (*а*), нефтепродуктами (*б*), азотом (*в*) и фосфором (*г*) по мере увеличения степени сокращения контролируемого сброса

загрязнения водохранилища. Степень радикальности программы будем измерять степенью сокращения контролируемого сброса.

Остающийся после реализации программы контролируемый сброс определим по формуле

$$G_{контр.\ пр} = G_{контр} - zG_{контр},$$

где $G_{контр}$ — современный контролируемый сброс; z — степень его сокращения, принимающая значения от 0 до 1.

Соответствующее этим мероприятиям снижение общего уровня загрязненности водосбора определится из выражения

$$S = \frac{(1-z)G_{контр} + G_{неконтр}}{G_{контр} + G_{неконтр}},$$

где $G_{неконтр}$ — сохраняющееся неконтролируемое поступление загрязняющего вещества.

Выражающие конечную экологическую эффективность водоохранных программ зависимости $S(z)$ представлены на рис. 8.

Таким образом, видно, что водоохранные программы, игнорирующие неконтролируемые источники загрязнения, не способны существенно улучшить качество воды по важнейшим гидрохимическим показателям. Необходимы программы, в которых первоочередными являются мероприятия по сокращению поверхностного смыва загрязняющих веществ с водосборной площади.