

Алефтин Николаевич
КОЛОБАЕВ,
доктор технических наук,
профессор кафедры
"Водоснабжение и водоотведение"
Белорусского национального
технического университета

Ольга Константиновна
НОВИКОВА,
аспирант
Белорусского национального
технического университета

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА ДОЖДЕВЫХ И ТАЛЫХ ВОД С ТЕРРИТОРИИ ПРЕДПРИЯТИЙ ПРИ ИХ ОТВЕДЕНИИ И ОЧИСТКЕ

MECHANISM OF RAIN AND MELTED WATER QUALITY FORMATION ON THE TERRITORY OF INDUSTRIAL PLANTS AND ITS APPLICATION IN WATER DISPOSAL AND TREATMENT

В статье рассмотрены особенности формирования качества дождевых и талых вод с территории промышленных предприятий. Приведена качественная и количественная характеристика выноса загрязняющих веществ с поверхностным стоком с площадок. Даны рекомендации по учету закономерностей формирования качества дождевых и талых вод с территории этих предприятий при проектировании и строительстве (реконструкции) систем ливневой канализации и эксплуатации очистных сооружений.

The article deals with the aspects relating to the rain and melted water quality formation on the territory of industrial plants. The qualitative and quantitative characteristic of the polluting substances carried out from the industrial area by surface runoff has been given. The recommendations on taking account of the mechanism of rain and melted water quality formation when designing and building (reconstructing) storm water sewerage systems and purification plants are presented.

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы во всех странах мира особое внимание уделяется строительству сооружений по отведению и очистке поверхностного стока с урбанизированных территорий, который подразделяется на сток с селитебной территории и сток с территории промышленных предприятий. Схемы водоотведения, параметры и степень очистки поверхностных сточных вод в значительной степени зависят от их загрязненности. В настоящей статье рассматриваются менее изученные вопросы количественной оценки загрязненности дождевых и талых вод с территорий промышленных предприятий, которая необходима как для проектирования (реконструкции) систем ливневой канализации и очистных сооружений, так и для установления допустимой антропогенной нагрузки на экологическое состояние природных водных объектов.

Поверхностный сток с площадок промышленных предприятий имеет, как правило, более сложный состав, чем с селитебной территории города. Так, например, качество дождевых и талых вод с территории предприятий машиностроения в значительной степени зависит от следующих факторов:

— вида выпускаемой продукции (только предприятия ПО "Гомсельмаш", одного из крупнейших производителей сельскохозяйственной техники в Европе, производят различные виды комбайнов, косилки, запасные части и детали к жаткам и комбайнам, прицепы к легковым автомобилям, навесные замки и другие товары народного потребления);

— наличия разнородных производств: цветное и чугунное литье, горячая и холодная обработка металла, окрасочное, сварочное производства, изготовление тары и т. д.

— организации хранения готовой продукции на открытых складах предприятия с забетонированными площадками;

— реализации отдельного отведения дождевых и талых вод с территории основного производства и с остальной, принадлежащей предприятию территории, на которой расположены склады хранения выпускаемой продукции, подсобные здания и сооружения.

В связи с вышеупомянутыми особенностями имеющиеся результаты исследований по оценке загрязненности поверхностного стока с селитебной территории [1–8] нельзя распространить на дождевые и талые воды с территории предприятий машиностроения без дополнительных научных исследований. Поэтому в рамках статьи проанализированы данные гидрохимических лабораторий трех заводов: ПО "Гомсельмаш" (за период с 2000 по 2008 гг.), Гомельского городского комитета природных ресурсов и охраны окружающей среды (по контролю качества дождевых и талых вод на выпусках ливневых коллекторов заводов ПО "Гомсельмаш") и Лидского завода сельскохозяйственного машиностроения (за 2005–2008 гг.). Кроме того, авторами в 2006–2008 гг. проведены специальные экспериментальные исследования, включающие три серии предметно-ориентированных отборов проб (в различных точках ливневой канализации) с анализом гидрохимических показателей по основным индигендам: БПК₅, взвешенным веществам, нефтепродуктам, азоту аммонийному, фосфатам, железу общему, цинку и никелю. Результаты экспериментальных исследований и анализа совокупности экспериментальных, статистических и литературных данных, выводы и предложения излагаются ниже.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И АНАЛИЗ ДАННЫХ О КАЧЕСТВЕ ДОЖДЕВЫХ И ТАЛЫХ ВОД

В первой серии экспериментальных исследований (лето 2006 г.) отборы проб дождевых вод на ПО "Гомсельмаш" производились в начале формирования поверхностного стока и в конце выпадения дождевых осадков в следующих точках:

- 1) с территории корпуса литья;
- 2) с территории корпуса нормалей;
- 3) в отводящем коллекторе основного производства (площадка 1);
- 4) в отводящем коллекторе вспомогательных производств (площадка 2);
- 5) на выходе сооружений по очистке сточных вод с площадки 1;
- 6) на выходе сооружений по очистке сточных вод с площадки 2.

Основная цель экспериментов первой серии — установление соотношений между степенью загрязненности дождевых вод (концентрацией загрязняющих веществ в дождевом стоке) с территории основного и вспомогательных производств в различных фазах формирования поверхностного стока. Обобщенные результаты этой серии экспериментов представлены в таблице 1.

Во второй серии (весна 2007 г.) исследовался качественный состав талых вод с двух площадок ПО "Гомсельмаш". Во время проводимого исследования очистные сооружения как на первой, так и на второй площадке по организационным причинам не работали, что позволило

Таблица 1. Концентрация загрязняющих веществ в контролируемых точках

Наименование показателя	Концентрация загрязняющих веществ в дождевом стоке, мг/дм ³ , в точках отбора					
	1	2	3	4	5	6
Взвешенные вещества	30,00	42,50	42,50	24,5	23,50	13,50
Нефтепродукты	1,13	1,63	1,20	0,38	0,63	0,37
Азот аммонийный	28,50	28,50	9,25	9,75	1,65	2,43
Фосфаты	0,11	0,16	0,18	0,05	0,11	0,10
Железо общее	2,00	15,80	7,80	5,80	0,40	0,80
Цинк	0,11	1,01	0,11	1,00	0,09	0,19

Таблица 2. Экстремальные и средние значения концентраций загрязняющих веществ в поверхностном стоке

Наименование показателя	Экстремальные значения концентрации, мг/дм ³		Средние значения концентрации, мг/дм ³ , доверительный интервал		Соотношение средних концентраций C _{осн} /C _{всп}
	C _{осн}	C _{всп}	C _{осн}	C _{всп}	
БПК ₅	8,02–110,00	7,56–70,90	15,4	13,2	1,17
Взвешенные вещества	43,0–161,0	24,0–94,5	115,8±26,1	62,2±20,1	1,86
Нефтепродукты	0,42–7,50	0,33–5,00	1,81±0,18	1,49±0,16	1,22
Азот аммонийный	0,30–5,90	0,25–6,00	1,58±0,11	1,51±0,13	1,05
Фосфаты	0,17–0,70	0,26–0,60	0,41±0,13	0,39±0,13	1,05
Железо общее	0,26–9,35	0,48–9,35	2,91±0,23	2,43±0,28	1,20
Цинк	0,01–4,50	0,01–0,88	0,27±0,07	0,16±0,02	1,73
Никель	0,005–0,197	0,005–0,083	0,023±0,002	0,019±0,002	1,25

Примечание – C_{осн} – концентрация загрязняющих веществ в поверхностном стоке с площадки основного производства; C_{всп} – то же, с площадки вспомогательных производств.

установить верхний предел значений концентраций загрязняющих веществ, поступающих с поверхностным стоком в городской ливневый коллектор.

Обобщение и анализ результатов первой и второй серии экспериментов, а также данных предприятия об эффективности работы очистных сооружений позволили по имеющимся многолетним данным гидрохимлабораторий ПО "Гомсельмаш" и Гомельского горкомприроды о качестве дождевых и талых вод на выходе очистных сооружений "восстановить" данные о качестве сточных вод на входе очистных сооружений. Согласно методическим указаниям по контролю данных гидрохимических анализов сточных и поверхностных вод [9] авторами произведена верификация "восстановленных" значений концентраций загрязняющих веществ. В результате верификации к категории ошибочных отнесено 17 значений концентраций загрязняющих веществ (в основном нефтепродуктов и цинка) в поверхностном стоке с площадки основного производства и 19 значений — с площадки вспомогательных производств. Восстановленные данные (за исключением ошибочных) совместно с данными гидрохимлабораторий предприятий и результатами экспериментальных исследований составили исходную информационную базу. Эта база для площадки основного производства включала 167–179 значений по каждому из рассматриваемых загрязняющих веществ, за исключением БПК₅ и фосфатов, количество значений по которым не превышало 35. Для площадки вспомогательных производств информационная база включала соответственно 115–121 и 25 значений. Полученные статистические ряды, как и ожидалось, оказались неоднородными. Поэтому при обработке данных использовали критерий Стьюдента [10] для интервальной оценки средних значений. Экстремальные и средние за 2000–2008 гг. значения концентраций загрязняющих веществ с территории машиностроительного предприятия, а также доверительный интервал для средних значений концентраций приведены в таблице 2. Минимальные значения концентраций близки к максимальным концентрациям загрязняющих веществ в выпадающих осадках [5, 11], а максимальные незначительно отличаются от аналогичных показателей качества дождевых и талых вод городской ливневой канализации, принимающей сточные воды промышленных предприятий [2, 3, 12].

На основании приведенных экстремальных и средних значений концентраций загрязняющих веществ,

данных ГУ "Гомельоблгидромет" о фактическом количестве выпавших осадков за период 2000–2008 гг. и вычисленных согласно [13] объемов поверхностных сточных вод, поступающих в коммунальные сети дождевой канализации, определен удельный вынос загрязняющих веществ с поверхностным стоком с различных площадок исследуемого предприятия (таблица 3). Согласно таблице 3 вынос загрязняющих веществ с площадки основного производства в 1,15–2,5 раза больше, чем с площадки вспомогательных производств.

Диапазоны концентраций загрязняющих веществ, мг/л, находятся в следующих пределах:

- по взвешенным веществам — 24–160;
- по БПК₅ — 7,5–110,0;
- по нефтепродуктам — 0,25–7,50;
- по азоту аммонийному — 0,2–6,0;
- по железу — 0,26–9,40;
- по цинку — 0,01–4,50.

Эти значения близки к данным других авторов о качестве дождевых и талых вод в городских ливневых коллекторах, принимающих сточные воды промышленных предприятий (таблица 4), и могут использоваться для определения степени очистки дождевых и талых вод.

Средние удельные значения выноса взвешенных веществ, БПК₅, нефтепродуктов, железа общего и цинка составляют соответственно 263; 35; 5; 7 и 0,8 кг/га за год. Эти значения рекомендуется использовать для ориентировочных расчетов с уточнением по мере накопления статистических и экспериментальных данных.

Третьей серии экспериментальных исследований (лето 2008 г.) предшествовало теоретическое обоснование "точки перелома" в динамике концентраций загрязняющих веществ в дождевых и талых водах. На основании анализа отечественных и зарубежных литературных источников [1, 2, 3, 5, 7, 8, 11, 12, 14], правил эксплуатации систем отведения поливочных вод, физических закономерностей формирования дождевого стока и смачивания земной поверхности при различных покрытиях была выдвинута гипотеза, что при снижении концентраций загрязняющих веществ по ходу дождя существует "точка перелома" или определенный предел, после которого концентрации принимают сравнительно небольшие и устойчивые значения. Критерием относительной стабилизации качества поверхностного стока (в мм слоя выпавших осадков) может служить объем по-

Таблица 3. Экстремальные и средние значения удельного выноса загрязняющих веществ с поверхностным стоком

Наименование показателя	Экстремальные значения выноса, кг/га за год		Средние значения выноса, кг/га за год, доверительный интервал		Соотношение средних значений $V_{осн}/V_{всп}$
	$V_{осн}$	$V_{всп}$	$V_{осн}$	$V_{всп}$	
БПК ₅	27,56–40,03	21,71–31,75	35,01±2,73	27,78±2,22	1,26
Взвешенные вещества	207,23–301,10	102,4–149,7	263,3±20,5	131,0±10,5	2,01
Нефтепродукты	2,40–11,05	1,51–7,40	4,69±1,63	3,15±1,16	1,49
Азот аммонийный	2,438–5,880	1,95–4,57	3,78±0,77	3,16±0,52	1,20
Фосфаты	0,73–1,07	0,64–0,93	0,93±0,07	0,81±0,07	1,15
Железо общее	3,70–14,46	1,94–14,30	7,03±2,14	5,85±2,62	1,20
Цинк	0,22–3,17	0,11–0,56	0,84±0,59	0,34±0,09	2,50
Никель	0,024–0,067	0,02–0,05	0,046±0,01	0,04±0,01	1,28

Примечание – $V_{осн}$ – вынос загрязняющих веществ с поверхностным стоком с площадки основного производства; $V_{всп}$ – то же, с площадки вспомогательных производств.

Таблица 4. Качество поверхностного стока с различных водосборов

Наименование показателя	Концентрация загрязняющих веществ, мг/дм ³					
	По статистическим и экспериментальным данным в коллекторах предприятий машиностроения (2000–2008 гг.)*	По литературным данным в городских ливневых коллекторах, принимающих сточные воды промышленных предприятий				
		г. Самара [3]	Крупные города России [3]	г. Кременчуг [12]	г. Борисов [2]	г. Минск [5]
БПК ₅	7,5–110,0	2,3–168,0	25,0–64,0	7,1–23,2	40,00	4,8–7,0
Взвешенные вещества	24,0–161,0	4,0–664,0	65,0–400,0	38,0–217,2	180,00	14,8–61,0
Нефтепродукты	0,3–7,5	0,5–6,0	7,0–17,5	0,6–16,7	6,50	0,3–1,6
Азот аммонийный	0,25–6,00	0,2–12,6	8,0–10,0	–	3,04	0,10–1,63
Фосфаты	0,2–0,7	0,1–4,7	2,0–10,0	3,0	0,42	–
Железо общее	0,26–9,35	0,1–10,7	–	3,8	–	–
Цинк	0,01–4,50	0–0,04	–	–	–	–
Никель	0,01–0,20	–	–	–	–	–

* Включая восстановленные данные по результатам контрольных проверок качества сточных вод на выходе очистных сооружений.

Таблица 5. Сопоставление концентраций загрязняющих веществ в различных фазах формирования поверхностного стока

Наименование показателя	Отношение концентрации загрязняющих веществ		
	В начале формирования стока (около 2,0 мм) к концентрации после выпадения слоя осадков 3,5 мм	В начале формирования стока (около 2,0 мм) к концентрации после выпадения слоя осадков 5,0 мм	После выпадения слоя осадков 3,5 мм к концентрации после выпадения слоя осадков 5,0 мм
БПК ₅	2,2	2,3	1,04
Взвешенные вещества	4,2	5,6	1,33
Нефтепродукты	4,4	5,0	1,15
Азот аммонийный	2,9	3,8	1,32
Фосфаты	5,5	6,6	1,21
Железо общее	3,0	3,9	1,29
Цинк	1,4	1,6	1,17
Никель	2,2	2,3	1,04

верхностного стока, достаточного для смыва основного количества загрязняющих веществ с единицы водосбора (критический слой активно используемых атмосферных осадков). Величина критического слоя осадков находится в функциональной зависимости от доли площади водопроницаемых почв в общей площади водосбора, уклона поверхности водосбора, процента смываемых загрязнений. Теоретические значения критического слоя осадков, вычисленные по приведенным в [4] зависимостям, составляют 3,3–3,5 мм для площадки основного производства и 4,1–4,4 мм — для площадки вспомогательных производств рассматриваемого предприятия. Основное отличие обусловлено различным процентом водопроницаемых почв: соответственно 26 % и 38 %.

Для проверки корректности полученных расчетных значений были проведены специальные экспериментальные исследования дождевого стока с площадки основного производства в летний период 2008 года, заключающиеся в отборе проб в трех фазах формирования поверхностного стока:

- 1) в начале формирования — при слое осадков около 2,0 мм;
- 2) при слое выпавших осадков 3,5 мм;

Таблица 6. Сравнительная характеристика концентраций загрязняющих веществ с площадки основного производства

Наименование показателя	Средние значения концентрации загрязняющих веществ, мг/дм ³	
	В пробах после выпадения слоя осадков 3,5 мм	После очистных сооружений
БПК ₅	4,82	4,23
Взвешенные вещества	23,20	11,90
Нефтепродукты	0,62	0,60
Азот аммонийный	0,95	0,90
Фосфаты	0,12	0,20
Железо общее	2,52	1,40
Цинк	0,34	0,30
Никель	0,028	0,02

3) при слое выпавших осадков 5,0 мм.

Пробы воды брали в период дождей со слоем осадков 17,0 и 5,0 мм.

Результаты экспериментов третьей серии, приведенные в таблице 5, подтвердили правомерность выдвинутой гипотезы. Концентрации загрязняющих веществ после выпадения слоя осадков 3,5 мм оказались ниже концентраций в начале формирования поверхностного стока (около 2,0 мм) в 1,4–5,5 раза и всего лишь в 1,02–1,33 раза выше концентраций загрязняющих веществ после выпадения слоя осадков 5,0 мм.

Средние концентрации загрязняющих веществ в пробах, отобранных после выпадения слоя осадков 3,5 мм, близки средним значениям концентраций стоков, прошедших очистные сооружения (таблица 6). Это означает, что применительно к условиям рассматриваемого ливневого коллектора машиностроительного предприятия выпавшие дождевые осадки (слоем 3,5 мм) могут отводиться, минуя очистные сооружения. Для других ливневых коллекторов конкретное значение критического слоя осадков может быть определено по приведенной в [4] зависимости.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании анализа экспериментальных и статистических данных (включая "восстановленные" данные о концентрациях загрязняющих веществ на входе очистных сооружений) можно сделать следующие выводы и рекомендации.

1) На концентрацию загрязняющих веществ в дождевых и талых водах существенное влияние оказывают технологические процессы производства. Максимальные значения концентраций характерны для площадок, где расположены гальванические цеха и производства, связанные с горячей обработкой металлов, а также осуществляется интенсивное движение транспорта между корпусами, а минимальные — для площадок, где расположены цеха, технологический процесс производства которых включает холодную обработку металла, различные виды механической обработки.

Вынос загрязняющих веществ с территории основного производства в 1,15–2,5 раза выше, чем с тер-

- ритории вспомогательных производств. Поэтому во многих случаях более эффективной оказывается раздельная схема отведения с территории основного производства дождевых и талых вод с более глубокой очисткой поверхностного стока. Окончательное решение должно приниматься после соответствующего технико-экономического обоснования с учетом приведенных выше закономерностей.
- 2 При эксплуатации очистных сооружений рекомендуется направлять на очистку наиболее загрязненную часть стока (до достижения критического слоя осадков, определяемого по установленным авторами зависимостям).
 - 3 При проектировании и строительстве (реконструкции) систем водоснабжения и водоотведения целесообразно предусматривать использование части менее загрязненных дождевых вод в оборотных системах водоснабжения или их отведение без очистки в городскую ливневую канализацию, а также (при соблюдении экологических нормативов и после нефтесборных устройств) в природные водные объекты.
 - 4 Для ориентировочной оценки антропогенной нагрузки на экологическое состояние водных объектов предлагается использовать приведенные в таблице 3 удельные показатели выноса загрязняющих веществ в составе дождевых и талых вод с территории предприятий машиностроения. Разработка аналогичных показателей для других отраслей промышленности требует дополнительных исследований.
 - 5 Выводы и рекомендации настоящей статьи влекут за собой необходимость внесения изменений и дополнений в действующие нормативные документы по проектированию, строительству (реконструкции) и эксплуатации систем водоотведения и очистных сооружений предприятий такого профиля и направлены на их рациональную загрузку при сохранении экологического состояния объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев, М. И. Организация отведения поверхностного (дождевого и талого) стока с урбанизированной территории: учеб. пособие для вузов / М. И. Алексеев, А. М. Курганов. — М.-СПб.: АСВ, 2000. — 352 с.
2. Воронин, А. Г. Организация отведения и очистки поверхностного стока промышленных центров (на примере г. Борисова) / А. Г. Воронин, А. Л. Хмыль // Водные ресурсы: Информационный материал / ЦНИИКИВР, № 9. — Минск, 2001. — С. 42–52.
3. Кичигин, В. И. Исследование физико-химических характеристик поверхностного стока населенных пунктов / В. И. Кичигин // Водоснабжение и сантехника. — 2002. — № 11. — С. 28–32.
4. Колобаев, А. Н. Учет особенностей формирования качества поверхностного стока с территории предприятий сельскохозяйственного машиностроения при строительстве и эксплуатации очистных сооружений / А. Н. Колобаев, О. К. Новикова // Вестник БНТУ. — 2009. — № 4.
5. Ландшафтные воды в условиях техногенеза: монография / О. В. Кадацкая [и др.]. — Минск: Белорусская наука, 2005. — 347 с.
6. Рекомендации по расчету систем сбора, отведения и очистки поверхностного стока с селитебных территорий, площадок предприятий и определению условий выпуска его в водные объекты. Утверждено ФГУП "НИИ ВОДГЕО" от 28.12.2005. — М., 2006.
7. Colomino, F. Combined Sever Overflows into the Crate River and retention storage sizing / F. Colomino, P. Prilo, G. Palma // Enhancing Urban Environment by Environment Upgrading and Restoration. Series IV: Earth and Environment Sciences — Vol. 43 — Netherlands, 2004. — P. 139–149.
8. Sartor, J. D. Water pollution aspect at street surface contaminants. In: Water Pollute / J. D. Sartor // Control Federat. — 1974. — P. 1012–1016.
9. Методические указания по контролю данных гидрохимических анализов сточных и поверхностных вод. Сборник нормативных документов по вопросам охраны окружающей среды. — Минск: БелНиЦ "Экология", 2004. — Вып. 47. — С. 98–131.
10. Бондаренко, Н. Н. Статистика. Показатели и методы анализа: справ. пособие / Н. Н. Бондаренко [и др.]; под ред. М. М. Новикова. — Минск: Современная школа, 2005. — 628 с.
11. Романов, В. П. Поступление соединений фосфора и азота в составе атмосферных осадков в озерные водоемы: матер. III Международ. водного форума "Международное сотрудничество и решение водно-экологических проблем", 2–3 октября 2008 г., г. Минск, Республика Беларусь / Мин-во природ. ресур. и охраны окруж. среды Респ. Беларусь [и др.]. — Минск: Минсктипроект, 2008. — С. 95–97.
12. Машина, Л. Л. Эколого-экономические аспекты эксплуатации систем дождевой канализации / Л. Л. Машина, Э. И. Горяинов, Г. А. Демёхин // Наук. праці УкрНДГМІ. — Киев, 2003, вип. 251. — С. 196–203.
13. Инструкция по расчету объемов поверхностных сточных вод, поступающих в коммунальные сети дождевой канализации и сооружения для их очистки с застроенных территорий поселений Республики Беларусь // Вода. — 2002. — № 4.
14. Говорова, Ж. М. Регулирование и очистка поверхностных сточных вод: обзор-аналит. докл. — М., 2007. — 47 с.

Статья поступила в редакцию 24.06.2009.