

УДК 628.31

И.С. Щукин, А.Г. Мелехин

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет

КАЧЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА С ТЕРРИТОРИИ Г. ПЕРМИ

Рассмотрены условия формирования качественного состава поверхностных сточных вод с урбанизированных территорий. Приведены результаты исследования качественного состава поверхностного стока с территории г. Перми. С учетом полученных результатов исследования состава поверхностного стока предложено перспективное направление развития систем ливневой канализации – применение биоинженерных очистных сооружений.

Ключевые слова: поверхностный сток, ливневая канализация, состав сточных вод.

Качественные характеристики поверхностного стока имеют прямое отношение к формированию концепции ливневой канализации города. Генеральный план г. Перми предусматривает применение традиционных схем ливневой канализации, включающей в себя протяженную коллекторную сеть и типовые промышленные очистные сооружения [1]. Такие системы характеризуются высокой стоимостью и умеренным качеством очистки поверхностного стока от взвешенных веществ и нефтепродуктов. Тем не менее исследование условий формирования качества поверхностных сточных вод с урбанизированных территорий показывает возможность содержания более широкого спектра загрязняющих веществ, требующих извлечения перед сбросом в водные объекты.

Условно можно выделить несколько этапов формирования качественного состава дождевых вод: от образования облаков и прохождения нижних слоев атмосферы, до стекания с водосборной поверхности. Каждому из этих этапов соответствует определенный набор приобретаемых загрязнений.

1. Среди веществ, попадающих в облачную воду в процессе формирования облаков над морской или континентальной поверхностью, преобладают минеральные составляющие. В облаках, образовавшихся в морских воздушных массах, присутствуют преимущественно ионы Na^+ и Cl^- . Над поверхностью суши их концентрация уменьшается, но возрастает концентрация ионов K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , которые имеют в основном континентальное происхождение. Минерализация облачной воды колеблется в пределах 1,4–16,6 мг/л [2].

2. Один литр дождевой воды, падая с высоты 1 км, омывает 300 тыс. л воздуха [3]. Проходя через приземные слои воздуха, атмосферные осадки сорбируют на поверхности гидроаэрозоля частицы пыли, газа и других примесей, в том числе растворимых, которые могут иметь как природное происхождение, так и образовываться в результате бытовой и технической деятельности человека.

К веществам естественного происхождения относятся частицы коры выветривания и, в частности, почвенного покрова. Они имеют как неорганическое, так и биогенное происхождение. В атмосферных осадках на территории Пермского края преобладают гидрокарбонат-ионы, источником которых является карбонатная пыль, поднимаемая ветром с поверхности суши, и сульфат-ионы, 60–70 % из которых имеют антропогенное происхождение [2].

Состав антропогенных загрязнений воздуха может быть очень разнообразен, особенно над территориями, являющимися крупными индустриальными центрами, такими как город Пермь. По данным [4], доля выбросов вредных веществ в атмосферу от автотранспорта в 2008 г. составила 73,2 %, от стационарных источников – 26,8 %. Основными стационарными источниками загрязнения атмосферного воздуха являются следующие промышленные предприятия: ООО «ЛУКОЙЛ-Пермнефтеоргсинтез», ОАО «Камтекс-Химпром», Пермская ТЭЦ-9, филиал ОАО «ТГК № 9», ОАО «Минеральные удобрения», Пермская ТЭЦ-14, филиал ОАО «ТГК № 9». В общем списке вредных веществ, поступающих в атмосферу города, представлены 345 ингредиентов. Основными компонентами загрязнения атмосферного воздуха в г. Перми в 2008 г. стали оксид углерода – 57,27 %, оксид азота – 22,91 %, легкоокисляемые органические соединения – 14,60 %, ангидрид сернистый – 2,83 %,

твердые вещества – 1,55 %, прочие вещества – 0,84 %. Стоит отметить, что среди «прочих» веществ, имеющих малую массовую долю от всех выбросов, содержатся и специфические вещества, такие как высокотоксичные органические соединения (бензапирен, фенол, формальдегид), тяжелые металлы (свинец, ртуть, цинк, медь, железо, кадмий и др.), способные даже в малых дозах оказывать влияние на состояние здоровья человека и окружающей среды.

3. Основная доля загрязняющих веществ, формирующая качественный состав поверхностного стока, смывается ливневыми и талыми водами с поверхности водосборной территории.

Основными источниками *взвешенных веществ* поверхностных сточных вод являются пыль, аэрозоли, промышленные выбросы, частицы несгоревшего топлива, продукты разрушения дорожного покрытия и эрозии почвы, мусор, опавшие цветы и листья. Концентрации взвешенных веществ в поверхностном стоке могут колебаться в значительных пределах. Согласно анализу загрязненности поверхностного стока с территорий городов России [5], предельные концентрации взвешенных веществ в дождевом стоке составляют 50–16000 мг/л, в талом – 570–8300 мг/л, поливочно-моечном – 30–8300 мг/л. Зольность осадка поверхностных сточных вод составляет 70–80 %. Фракционный состав взвешенных веществ, согласно данным ВНИИВО [6], представлен в табл. 1, кинетика безреагентного осаждения – на рисунке.

Таблица 1

Фракционный состав твердой фазы стока (ВНИИВО)

Размер частиц, мм	Содержание фракции, %		
	максимальное	минимальное	среднее
Более 0,1	3	0,3	1,1
0,1–0,05	57,9	3,0	10,1
0,05–0,01	61,6	16,0	28,9
0,01–0,005	22,0	8,2	16,9
Менее 0,005	66,1	4,6	44,1

Органические вещества в поверхностном стоке могут содержаться в растворенном и нерастворенном состоянии. На долю суспензированных примесей приходится около 90 % общего количества окисляющихся веществ, присутствующих в поверхностном стоке. Предельные концентрации органиче-

ских веществ по БПК₅ [6] для дождевых вод 10–85 мг/л, талых вод – 5–270 мг/л, поливомоечных – 6–225 мг/л. Скорость окисления органических веществ в поверхностном стоке несколько ниже, чем в хозяйственно-бытовых сточных водах. Соотношение БПК_{полн}/БПК₅ в среднем составляет 2,5–3.

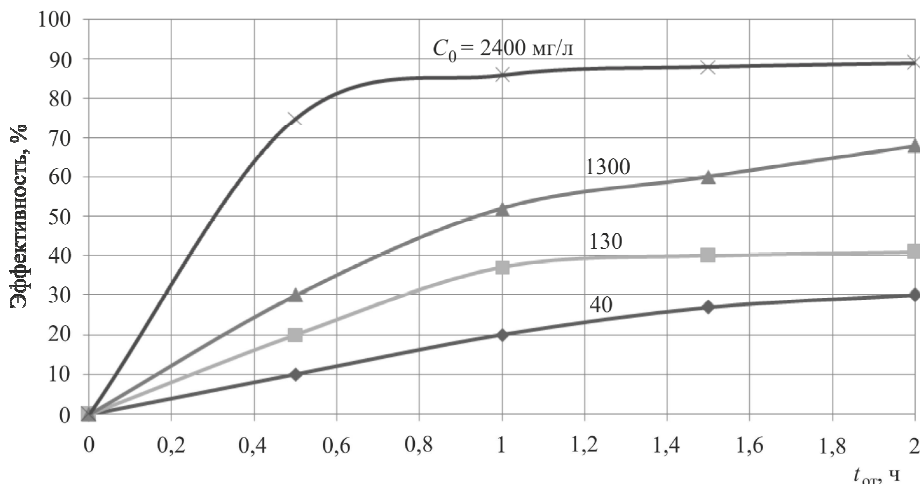


Рис. Эффективность безреагентного осаждения в зависимости от времени отстаивания воды ($t_{от}$) и концентрации взвешенных веществ в исходной воде (C_0)

Нефтепродукты образуются преимущественно на автомобильных дорогах и прилегающих к ним территориях. Они представляют собой смесь горюче-смазочных материалов, применяемых в транспортных средствах: моторные и трансмиссионные масла, тормозная жидкость, бензины. Эти вещества попадают на проезжую часть вследствие различных утечек из узлов и агрегатов транспортного средства, а также во время аварий. Основное количество нефтепродуктов (до 90) сорбированы на твердых частицах.

Источником *тяжелых металлов* являются выбросы промышленных объектов, горюче-смазочные материалы автотранспорта, содержащие всевозможные присадки, а также мелкодисперсная пыль от истирания фрикционных накладок тормозных колодок, дисков сцепления и шин. Износ именно этих элементов приводит к образованию мелкодисперсной пыли, содержащей тяжелые металлы (в основном кадмий, медь и цинк), которая оседает на поверхности дорог, вдоль обочин и далее смывается дождевыми водами.

Для поверхностного стока характерно повышенное содержание таких тяжелых металлов, как свинец, цинк, медь, кадмий, хром, никель, железо и др., мг/л: Pb – 0,6, Cd – 0,02, Zn – 2,0, Cu – 1,0, Ni – 0,9, Cr – 0,5, Fe – 50 [7, 8].

Зимнее содержание автомобильных дорог, сопряженное с обработкой проезжей части реагентами, тоже является источником тяжелых металлов. В противогололедном реагенте могут присутствовать малые дозы Pb, Zn, Fe. Многие загрязнители ливневых вод, включая металлы, токсичные органические вещества, патогенные элементы, прикреплены к поверхности тонкой фракции взвешенных веществ. По исследованиям, проведенным О.Р. Ильясовым [9], основная часть металлов (60 %) адсорбирована взвешенными веществами и только 40 % проходит через бумажный фильтр, т.е. находится в тонкодисперсном состоянии. При этом 30 % всех металлов приходится на фракции менее 0,06 мм, доля которой из всех взвешенных веществ составляет лишь 4–8 %.

Помимо загрязненности различными химическими веществами сточные воды с городских территорий характеризуются высокой *бактериальной загрязненностью*. Доказано, что дождевые, талые и поливомоечные воды с достаточно благоустроенных территорий по степени загрязненности сопоставимы с неочищенными хозяйственными стоками, поскольку величина их колититра колеблется от 0,1 до 0,000001 мл [10]. В них обнаруживается значительное количество патогенных микроорганизмов. Из микрофлоры стока были выделены *Escherichia coli*, бактерии родов *Citrobakter* и *Aerobakter*, гнилостные бактерии *Proteus*.

Число яиц гельминтов в 1 кг осадка ливневых сточных вод может достигать нескольких сотен. В основном это яйца аскариды, реже власоглава, солитера, широкого лентеца и некоторых других. Попадая в благоприятные условия, яйца гельминтов проходят инвазионную стадию развития и становятся способными заражать людей и животных [11].

Для изучения качественного состава поверхностных сточных вод с территории г. Перми научно-исследовательской лабораторией «Системы и технологии воды» Пермского национального исследовательского политехнического университета был проведен ряд анализов стока с наиболее характерных для крупных городов типов водосборных территорий: автомагистралей, обочин дорог, площадок рядом с крупными промышленными предприятиями, районов с жилой застройкой.

Отбор точечных проб ливневых и талых вод проводился в соответствии с ГОСТ Р 51592–2000 «Вода. Общие требования к отбору проб» и ПНД Ф 12.15.1–08 «Методические указания по отбору проб для анализа сточных вод». Сточные воды забирались из хорошо перемешиваемых потоков и анализировались по следующим методикам: взвешенные вещества и сухой остаток – по ПНД Ф 14.1:2.110–97, нефтепродукты – по ПНД Ф 14.1:2.5–95, рН – по ПНД Ф 14.1:2:3:4.121–97. Содержание тяжелых металлов, хлоридов, сульфатов, соединений азота и фосфора определялось фотометрическим способом на приборе Spectroquant NOVA 60.

Результаты исследований поверхностного стока с территории г. Перми представлены в табл. 2, где также приведены средние значения концентраций, полученные на основе обзора исследований поверхностного стока с территорий некоторых городов России и мира [12], а также требования к сбросу в водоемы рыбохозяйственного пользования.

Таблица 2

Концентрация загрязняющих веществ (мг/л) поверхностного стока с территорий некоторых городов России

Показатель	Пермь	Волгоград [13]	Самара [13]	Санкт-Петербург [9]	Международный обзор [12]	ПДК для водоемов рыб. хоз.
рН	7,84–8,37	–	7–8	7,84	–	6,5–8,5
Взвешенные вещества	352–11642	420–1250	50–1450	300–600	150	+0,25 к фону
Нефтепродукты	0,46–9,93	0,75–3	0,125–475	7–12	–	0,05
БПК	68–326 (ХПК)	39,2–118,5	5,2–316	20–50	–	3
Общее солесодержание	240–1190	444,5–5718	471–8914,6	200–400	–	1000
Азот аммонийный	0,4–1	0,45–2,08	3,8–11,2	8–10	2,10	0,39
Fe _{общ}	0,031–0,64	–	0,03–10,7	2–12	–	0,1
Cd	0,003–0,041	–	0–0,05	–	0,0045	0,005
Pb	0,36–0,58	–	–	–	0,14	0,1
Zn	0,016–0,075	0,04	0–0,035	–	0,25	0,01
Cu	0,09–0,26	0,22	0–0,58	–	0,05	0,001
Ni	0,15–0,27	–	0,00	–	0,03	0,01
Al	0,07–0,45	–	0–0,1	1–6	–	0,04
Cr	0,07–0,35	–	0–0,065	–	0,03	0,001
Cl [–]	92–850	–	–	–	–	350
SO ₄ ^{2–}	46–105	126,8–216	63,4–792	–	–	100

Учитывая результаты исследования поверхностного стока с территории г. Перми и некоторых других городов России, а также особенности формирования качественного состава поверхностных сточных вод, можно сделать следующие выводы:

1. Концентрации загрязняющих веществ в поверхностных стоках с урбанизированных территорий превышают ПДК для водоемов рыбохозяйственного назначения практически по всем показателям.

2. Для поверхностного стока города Перми особенно значительны превышения по взвешенным веществам, нефтепродуктам и тяжелым металлам, в особенности меди, хрому и никелю.

3. Качество поверхностного стока с территории г. Перми соизмеримо с качеством стока других крупных городов России.

4. Высокий уровень загрязненности поверхностного стока тяжелыми металлами свидетельствует о большой нагрузке со стороны автотранспорта и промышленности. Несмотря на то, что значительная доля тяжелых металлов ассоциирована на твердых частицах и может быть удалена фильтрованием, концентрация металлов, находящихся в растворенной форме, очень высока. Растворенные металлы более биодоступны и могут наносить существенный вред окружающей среде. При этом существующие сооружения очистки поверхностных сточных вод не позволяют проводить очистку от соединений тяжелых металлов, находящихся в растворенной форме. Таким образом, строительство традиционных сооружений очистки, несмотря на значительные капиталозатраты, не позволит произвести нормативную очистку поверхностного стока.

Данные зарубежных исследований свидетельствуют об эффективности применения биоинженерных систем очистки поверхностных сточных вод с городских территорий, в том числе и от тяжелых металлов [14, 15]. Обладая умеренной стоимостью строительства и эксплуатации, они позволяют проводить глубокую очистку поверхностного стока. Для успешного внедрения таких систем в практику очистки ливневых и талых вод в России, и на Западном Урале в частности, следует провести ряд исследований, направленных на адаптацию существующих систем к климатическим и другим особенностям региона, разработку рекомендаций по их проектированию и размещению в городской среде, создание нормативной базы, регламентирующей их применение.

Библиографический список

1. Об утверждении Генерального плана г. Перми: решение Пермской городской думы от 17 декабря 2010 г. № 205. – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс» (дата обращения: 20.09.2012).
2. Максимович Г.А. Химическая география вод и гидрогеохимия Пермской области: моногр. – Пермь, 1967. – С. 44.
3. Кульский Л.А., Даль В.В., Ленчина Л.А. Вода знакомая и загадочная. – Киев: Радянська школа, 1982.
4. Состояние и охрана окружающей среды г. Перми в 2009 г.: сб. // Сайт Упр. по экологии и природопользованию администрации г. Перми. – URL: <http://www.prirodaperm.ru/doc/48/> (дата обращения: 1.10.2012).
5. Кичигин В.И. Исследование физико-химических характеристик поверхностного стока населенных пунктов // ВСТ. – 2002. – № 11. – С. 28–32.
6. Алексеев М.И., Курганов А.М. Организация отведения поверхностного (дождевого и талого) стока с урбанизированных территорий: учеб. пособие. – М.: Изд-во АСВ; СПб.: Изд-во СПбГАСУ, 2000.
7. Дикаревский В.С. Отведение и очистка поверхностных сточных вод. – Л.: Стройиздат 1990.
8. Емлин Э.Ф. Геохимические аспекты процесса урбанизации на Урале. – Свердловск, 1988.
9. Ильясов О.Р. Защита водных объектов от загрязнения поверхностным стоком селитебных территорий с использованием биосорбционного метода: дис. ... канд. техн. наук: 25.00.36. – Екатеринбург, 2002.
10. Молоков М.В., Шифрин В.Н. Очистка поверхностного стока с территории городов и промышленных площадок. – М.: Стройиздат, 1977.
11. Афанасьева А.А., Ловцов А.Е. Переработка осадков, образовавшихся при подготовке питьевой воды и очистке ливневых сточных вод // ВСТ. – 2004. – № 6. – С. 13–16.
12. Duncan H.P. Urban Stormwater Quality: A Statistical Overview / Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology. – Melbourne, Australia, 1999.
13. Калинин А.В. Физико-химический состав поверхностного стока городов Тольятти и Самары// ВСТ. – 2011. – № 4. – С. 46–50.
14. Michael Dietz and John Clausen. A field evaluation of rain garden flow and pollutant treatment// Water, Air and Soil Pollution. – 2005. – Vol. 167. – P. 123–138.
15. Hatt B.E., Fletcher T.D., Deletic A. Hydrologic and pollutant removal performance of stormwater biofiltration systems at the field scale// Journal of Hydrolog. – 2009. – № 365 (3–4). – P. 310–321.

Получено 12.10.2012

I. Shchukin, A. Melekhin

**THE QUALITATIVE COMPOSITION
OF PERM STORMWATER RUNOFF**

The processes of the stormwater runoff quality from urban areas formation are considered. The study of stormwater runoff quality from Perm city are shown. In view of the study results using of bioengineered treatment facilities is a advanced prospect for the development of stormwater treatment systems in urban areas.

Keywords: surface runoff, storm drainage, wastewater composition.

Щукин Игорь Сергеевич (Пермь, Россия) – аспирант, ассистент кафедры водоснабжения и водоотведения, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614010, г. Пермь, ул. Куйбышева, 109, e-mail: shchukin-is@yandex.ru).

Мелехин Александр Германович (Пермь, Россия) – д-р техн. наук, профессор, завкафедрой водоснабжения и водоотведения, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614010, г. Пермь, ул. Куйбышева, 109, e-mail: vv-stf@pstu.ru).

Shchukin Igor (Perm, Russia) – postgraduate student, assistant, Perm National Research Polytechnic University (614010, Perm, Kuibyshev st., 109, e-mail: shchukin-is@yandex.ru).

Melekhin Alexander (Perm, Russia) – Doctor of technical Sciences Perm National Research Polytechnic University (614010, Perm, Kuibyshev st., 109, e-mail: vv-stf@pstu.ru).