

ВЛИЯНИЕ СТОКОВ

с территории г. Смоленск

на гидрохимический режим

МАЛЫХ ВОДОТОКОВ

Проведена оценка качества воды ручьёв на урбанизированной территории в отдельные сезоны года и в периоды поступления в них поверхностных стоков. Установлено, что наиболее значительное загрязнение водотоков происходит в периоды поступления в них поверхностных вод. В такие периоды заметно повышается содержание биогенных компонентов, органических веществ, фенолов, АСПАВ, нефтепродуктов.

Введение

В рамках действующей системы Государственной службы наблюдений за состоянием окружающей среды проведение гидрохимических наблюдений предусмотрено в основном на крупных реках и водоёмах [1, 2]. На малых водотоках, протекающих в пределах урбанизированных ландшафтов, испытывающих наиболее значительное антропогенное воздействие, мониторинг таких наблюдений весьма ограничен. В основном эти наблюдения проводят эпизодически, ограничиваясь чаще изучением санитарного состояния водных объектов [3, 4]. Недостаточный учёт влияния урбанизированной территории на качество воды в малых реках не позволяет дать объективную оценку их влияния на гидрохимический режим крупных рек, выявить роль отдельных факторов, обуславливающих пространственно-временную изменчивость качества воды в реках. Учитывая это, нами впервые на территории г. Смоленск были в течение трёх лет проведены наблюдения за качеством воды двух малых водотоков, полностью протекающих в пределах территории города. Исследования проводили с целью выявить основные особенности гидрохимического режима малых водотоков, протекающих в пределах территории города и оценить роль отдельных природных и антропогенных фак-

И.В. Анкинович,
начальник
лаборатории
мониторинга
загрязнения
окружающей среды,
ФГБУ Смоленский
центр
по гидрометеорологии и мониторингу
окружающей среды
(ФГБУ Смоленский
ЦГМС)

В.А. Шкаликов,
доктор
географических наук,
профессор кафедры
физической
географии, ФГБОУ
ВПО Смоленский
государственный
университет

торов на качество воды в них. Главные задачи исследований: определить химический состав ручьёв Чуриловский и Рачевка; выявить изменения химического состава воды в различные гидрологические фазы; оценить качество воды ручьёв по сравнению с р. Днепр; определить показатели качества воды малых водотоков, наиболее подверженных антропогенному влиянию.

Материалы и методы исследования

Для выявления влияния урбанизированных территорий на гидрохимический режим малых водотоков нами в течение 2008-2010 гг. были проведены наблюдения за химическим составом воды протекающих по территории г. Смоленск ручьёв Чуриловский и Рачевка. Пробы воды отбирали в устьевой части ручьёв в межени, в половодье, после выпадения ливневых и продолжительных дождей, осенью, перед установлением снежного покрова. Отбор, консервацию и анализ проб воды проводили в соответствии с нормативными документами, принятыми в системе Росгидромета [5].

Непосредственно на месте отбора измеряли водородный показатель (рН), растворенный кислород. В лаборатории в пробах воды определяли взвешенные, биогенные и органические (по БПК₅, ХПК) вещества, главные ионы (гидрокарбонаты, сульфаты, хлориды, кальций, магний, сумму натрия и калия), фенолы летучие, нефтепродукты, анионные синтетические поверхностно-активные вещества (АСПАВ).

Летучие фенолы в пробах определяли в день отбора экстракционно-фотометрическим методом после отгонки с паром, массовую концентрацию нефтепродуктов – ИК-фото-

* Адрес для корреспонденции: innaan@mail.ru

метрическим методом, основанном на выделении нефтяных компонентов из воды экстракцией четыреххлористым углеродом и последующим отделением углеводородов от соединений других классов в колонке с оксидом алюминия. Измерения массовой концентрации АСПАВ в пробах проводили экстракционно-фотометрическим методом с использованием бис(этилендиамин)меди(II). Оценку качества воды проводили с учетом установленных нормативов – предельно-допустимых концентраций (ПДК) для химических ингредиентов в воде водных объектов рыбохозяйственного назначения [6].

В мае 2011 г. было проведено обследование экологического состояния водосборов ручьев.

Результаты и их обсуждение

Ручьи протекают полностью в пределах левобережной части территории города и впадают в р. Днепр, ограничивая с запада (руч. Чуриловский) и востока (руч. Рачевка) его центральную часть (рис. 1). Длина первого из этих ручьев 2,5 км, второго – 3,2 км. Водосборы и долины ручьев имеют много сходных черт, характеризующих их морфологические особенности и экологическое состояние. Формы водосборов вытянуты в направлении север-юг, заметно расширены в верхней части, асимметричны. Долины ручьев на значительном протяжении глубокие, склоны крутые, местами почти

Ключевые слова:

ручьи,
городская
территория,
гидрохимический
режим,
поверхностный сток,
качество воды,
загрязнение

отвесные. В нижней части ширина долин заметно увеличивается, склоны становятся более пологими.

На большей части водосборы ручьев застроены многоэтажными, в основном жилыми зданиями. В нижней части водосборов преобладают одноэтажные дома, построенные во второй половине прошлого века, и современные коттеджи. Зелёные насаждения сохранились, в основном, в долинах ручьев, в большей степени на их верхних и средних участках. В целом доля площади водосбора под индивидуальной застройкой и зелёными насаждениями на водосборе руч. Рачевка выше, чем на водосборе руч. Чуриловский. Во многих местах прилегающие к долинам участки и частично склоны долин застроены гаражами. Многочисленны в долинах ручьев и боковых оврагах свалки мусора. Сброс вод поверхностного стока в долины ручьев и приуроченные к ним овраги неорганизован, что является основной причиной развития эрозионных процессов. Нормально функционирующие водосборные гидротехнические системы на склонах долин и оврагов встречаются очень редко. Сбрасываемые воды не очищаются, многие ручьи на склонах протекают через свалки мусора.

Наличие многочисленных свалок мусора, развитие эрозии и сброс неочищенных поверхностных вод с водосборов приводят к существенному ухудшению качества воды в

Рис. 1. Карта-схема расположения ручьев Чуриловский и Рачевка на территории г. Смоленск.



ручьях в периоды продолжительных и ливневых дождей.

Ручьи не пересыхают даже в самые засушливые годы. В межень расходы воды в устьях ручьёв Чуриловский и Рачевка колеблются, соответственно, в пределах 20-30 и 30-40 л/с. Питание ручьёв при отсутствии поверхностного стока происходит не только за счёт подземных вод, в основном первого межпластового водоносного горизонта толщи четвертичных отложений, но и за счёт сброса вод с отдельных предприятий, утечки воды с водопроводной сети и других неустановленных источников. В питании руч. Рачевка намного более заметна доля подземных вод. Дебит только двух основных источников подземных вод в долине этого ручья (Марголинский и Городской ключи) превышает 10 л/с. Различия в особенностях питания ручьёв, в процентах площади под зелёными насаждениями по их водосборам сказываются и на качестве воды водотоков, что хорошо видно из полученных данных.

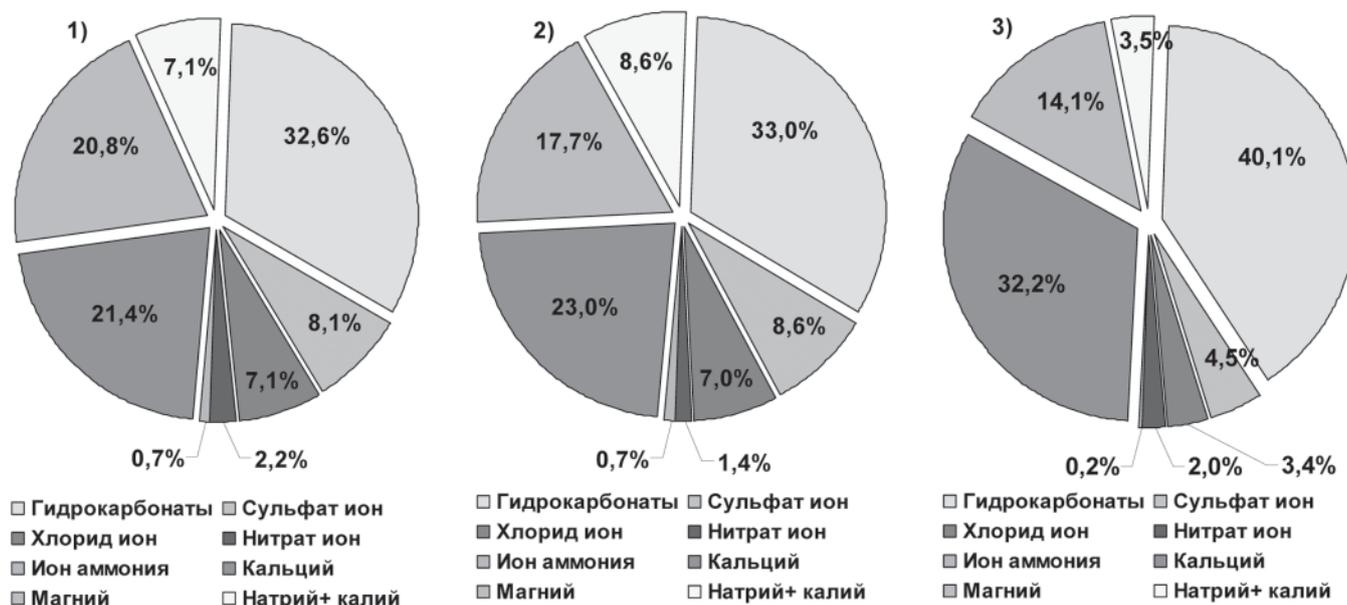
По химическому составу ручьи относятся к гидрокарбонатному классу кальциевой группы, но руч. Чуриловский ко второму типу, для которого характерно следующее соотношение между ионами в процентах в пересчете на количество вещества эквивалента: $\text{HCO}_3^- < \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} < \text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}$, руч. Рачевка – к третьему типу с соотношением ионов: $\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-} < \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$. По количеству растворенных минеральных веществ ручьи относятся к водным объектам повышенной минерализации (по классификации [7]). Гидрологический и гидрохимический режим ручьёв характеризуется большой изменчивостью.

В анионном составе в воде ручьев преобладающими являются гидрокарбонат-ионы, вклад

которых в общую минерализацию составил 32,6-33 % экв., что на 7 % экв. меньше, чем в р. Днепр в районе г. Смоленск (рис. 2). Среднегодовые концентрации гидрокарбонатов в воде ручьёв Чуриловский и Рачевка различались незначительно (от 356 до 364 мг/дм³ в первом из них и от 312 до 364 мг/дм³ во втором). По сравнению с меженными периодами в периоды снеготаяния и выпадения дождей, особенно ливневых, концентрация гидрокарбонатов заметно снижалась.

Вклад *сульфат*-иона в общую минерализацию воды ручьёв в среднем составил 8,1–8,6 % эквивалента, что почти в 2 раза выше, чем в р. Днепр (рис. 2). Среднегодовые концентрации сульфатов в воде руч. Чуриловский изменялись от 68,3 до 80,1 мг/дм³, руч. Рачевка – от 59,4 до 66,1 мг/дм³. В отдельные периоды (чаще в зимнюю межень и осенью) содержание их в воде ручья превышало ПДК или было близким к этому показателю. *Хлорид*-ионы составляли 7,0 % эквивалента в общей минерализации в воде обоих ручьёв, что в среднем в 2 раза выше, чем в воде р. Днепр в районе г. Смоленск (рис. 2). Среднегодовые концентрации этого компонента изменялись от 41,7 до 50,5 мг/дм³ в воде руч. Чуриловский и от 39,0 до 41,7 мг/дм³ в воде руч. Рачевка. В периоды после схода снега и выпадения ливневых дождей заметно существенное снижение концентраций хлоридов в воде ручьёв. Минимальные концентрации в эти периоды составляли 15,2 мг/дм³ в воде руч. Чуриловский и 20,2 мг/дм³ в воде руч. Рачевка.

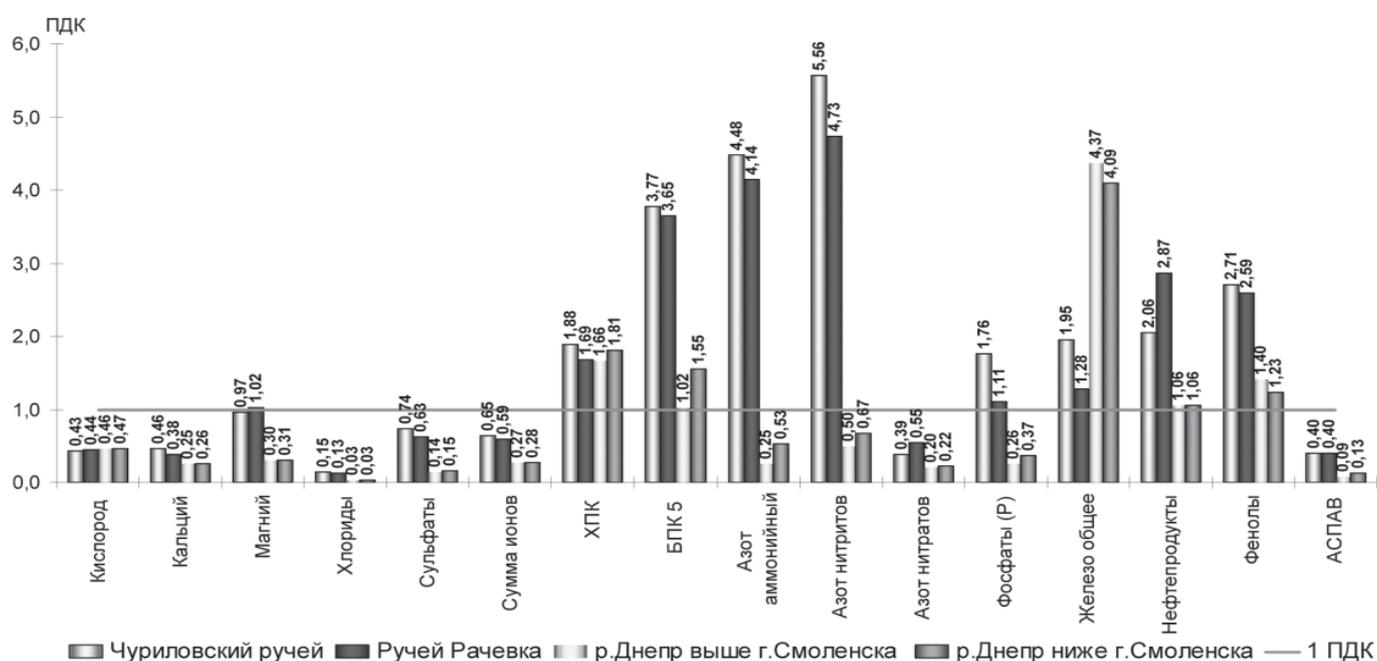
Рис. 2. Относительное содержание отдельных компонентов (%) в пересчете на количество вещества эквивалента в ручьях Рачевка (1), Чуриловский (2) и в р. Днепр ниже г. Смоленск (3) в среднем за 2008-2010 гг.



В катионном составе в воде ручьёв ведущая роль принадлежит *кальцию* (21,4–23,0 % экв.) и *магнию* (17,7–20,8 % экв.). По сравнению с р. Днепр для ручьёв характерно увеличение доли магния в общей минерализации (рис. 2). Наибольшие концентрации кальция и магния отмечали в меженные периоды. В эти периоды концентрация магния в воде обоих ручьёв заметно увеличивалась, обычно превышая ПДК в зимнюю межень, а иногда и в летнюю. Очень высокая концентрация магния в воде руч. Рачевка (108,4 мг/дм³) была отмечена и в период выпадения ливневого дождя в 2008 г. В ручьях города магниевая жесткость могла достигать 50-60 % и более общей жесткости, что характерно для поверхностных вод с высоким содержанием сульфат-ионов [5]. Концентрация кальция в периоды после схода снега и интенсивных ливневых дождей могла снизиться в несколько раз по сравнению с другими периодами. Растворенные соли кальция и магния определяют величину жёсткости воды. В период половодья и выпадения осадков величина жесткости воды ручьев снижалась до значений «средней жесткости» (4-8 °Ж). В периоды межени жесткость воды повышалась. В руч. Чуриловский вода в эти периоды переходила в категорию «жесткой» (9,5-10,7 °Ж). Содержания ионов натрия и калия в воде ручьев города варьировало в широком диапазоне, что связано как с изменчивостью концентрации этих компонентов в различные гидрологические фазы в зависимости от объема и интенсивности стока, так и с погрешностью определения суммы натрия и калия расчетным методом. Однако в среднем, по сравнению с р. Днепр в районе г. Смоленск, в обоих ручьях отмечалось повышение

вклада ионов натрия и калия в общую минерализацию в 2,0–2,4 раза (рис. 2), что указывает на увеличение доли почвенной составляющей в формировании качества воды в них. Ручьи г. Смоленск относятся к водным объектам с повышенной минерализацией. Среднегодовые показатели суммы ионов в воде руч. Рачевка близки к 600 мг/дм³, в руч. Чуриловский – к 650 мг/дм³. В воде руч. Чуриловский минерализация воды изменялась от 371,2 до 852,2 мг/дм³ в другом ручье – от 463,1 до 721,1 мг/дм³. Средние значения суммы ионов в воде ручьёв вдвое превышали этот показатель воды р. Днепр в районе г. Смоленск (рис. 3). В годовом ходе минерализации воды отмечается снижение концентрации суммы ионов в периоды после схода снега и выпадения дождей. Результаты анализов свидетельствуют, таким образом, о более высокой минерализации и концентрациях главных ионов в воде ручьев по сравнению с р. Днепр в районе г. Смоленск, а также о значительных колебаниях концентраций этих компонентов в течение года. Величина водородного показателя воды (рН) в ручьях изменялась в течение года в среднем в пределах 8,0-8,3 и находилась у верхнего диапазона значений ПДК. Режим *растворенного кислорода* в обоих ручьях в зоне влияния г. Смоленск удовлетворительный. Среднегодовые показатели концентрации растворенного кислорода изменялись в период наблюдений от 9,0 до 9,4 мг/дм³ в воде руч. Чуриловский и были одинаковыми (9,1 мг/дм³) в воде руч. Рачевка. В течение всего периода наблюдений

Рис. 3. Кратность превышения ПДК средних за 2008-2010 гг. показателей в р. Днепр и ручьях Чуриловский, Рачевка.



содержание кислорода в воде первого из этих ручьёв изменялось от 7,9 до 10,8 мг/дм³, второго – от 7,3 до 10,3 мг/дм³. Ручьи не замерзали зимой, температура воды в них была всегда выше, чем в р. Днепр.

Содержания взвешенных веществ в ручьях менялось в широком диапазоне – от 4,9 до 3621,8 мг/дм³. Максимальные концентрации взвешенных веществ отмечали после схода снега и в периоды выпадения интенсивных дождей весной или в начале лета при слабом развитии травостоя. Повышение их содержания в талой снеговой воде связано не только с эрозией, но и с увеличением загрязнения городской территории к началу снеготаяния. Ухудшение общей санитарной обстановки к этому времени обусловлено накоплением загрязняющих веществ в течение зимнего периода в снежном покрове, отсутствием уборки территории города зимой и в начале весеннего периода.

Наиболее заметно под влиянием стоков с территории города выражено загрязнение воды ручьёв биогенными веществами. Концентрация *аммонийного и нитритного азота* в воде обоих ручьёв во всех пробах превышала ПДК. Среднегодовые концентрации аммонийного азота в воде руч. Чуриловский за период наблюдения изменялись от 3,27 до 5,85 ПДК, в воде руч. Рачевка – от 2,41 до 5,04 ПДК, нитритного азота – соответственно от 4,62 до 6,12 ПДК и от 2,73 до 6,18 ПДК (рис. 4, 5). В воде руч. Чуриловский концентрации аммонийного азота в зимнюю межень и концентрации нитритного азота в летнюю межень более чем в 10 раз превышали ПДК, что соответствует уровню высокого загрязнения поверхностных вод суши [8]. В руч. Рачевка случаи высокого загрязнения аммонийным азотом зафиксированы в лет-

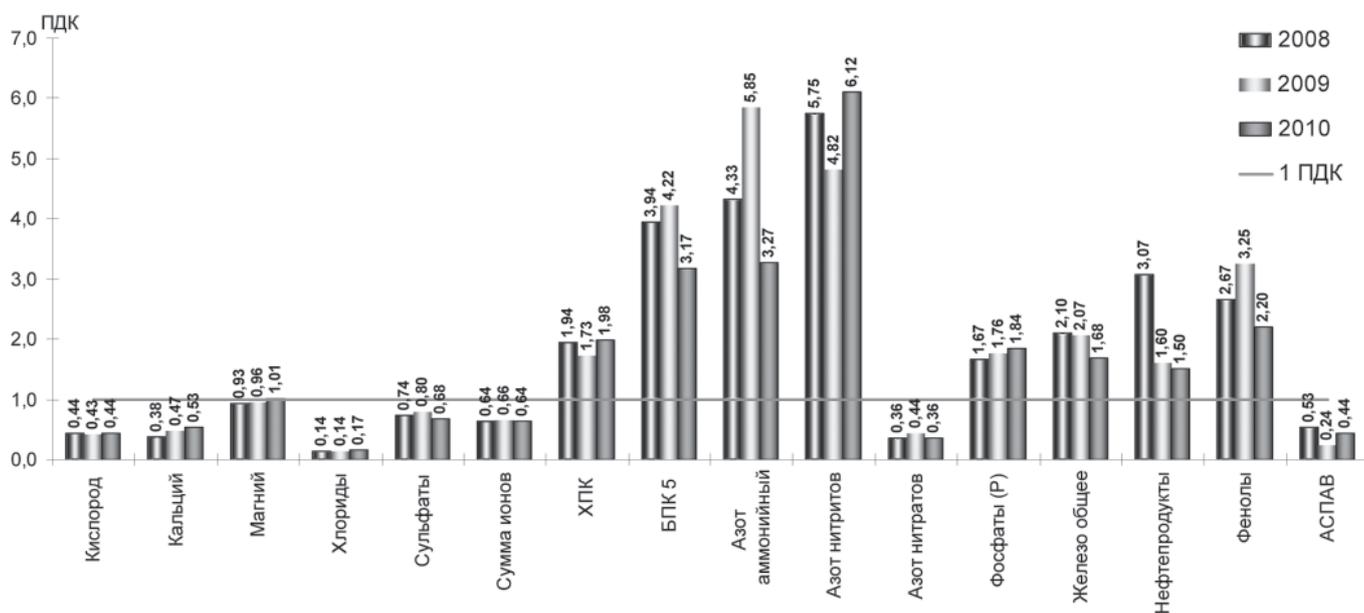
нюю межень и во время ливневого дождя, нитритным азотом – в летнюю межень 2009 г. Среднегодовые концентрации *азота нитратного* в воде ручьёв на протяжении всего периода наблюдений были ниже ПДК (рис. 4, 5), но более чем в 2 раза выше, чем в воде р. Днепр (рис. 3). В воде руч. Чуриловский среднегодовые концентрации азота нитратного изменялись в пределах 3,2-4,0 мг/дм³, в воде руч. Рачевка – от 4,7 до 5,3 мг/дм³.

Среднегодовые показатели концентрации *кремния* в воде ручьёв изменялись, в основном, в пределах 5,4-6,5 мг/дм³. В период снеготаяния и ливневых дождей концентрация кремния нередко заметно снижалась.

Влияние сточных вод городской территории проявляется и в повышении концентрации *фосфатов*. Содержание их в воде ручьёв было заметно выше, чем в воде р. Днепр (рис. 3). Концентрация фосфатов (в пересчете на фосфор) в воде руч. Чуриловский во все периоды наблюдений за исключением двух случаев (в период снеготаяния и выпадения интенсивного ливневого дождя при максимальных значениях концентраций взвешенных веществ) превышала ПДК для эвтрофных водных объектов. В руч. Рачевка фосфаты превышали ПДК в 44 % проб.

Содержание *железа общего* в воде ручьёв города весьма нестабильно в силу наличия большого количества факторов, оказывающих существенное влияние на количество, состав и формы нахождения этого ингредиента в поверхностных и грунтовых водах. Среднегодовые концентрации железа общего в воде руч. Чуриловский находились в пределах 0,2 мг/дм³. В воде руч. Рачевка средне-

Рис. 4. Кратность превышения ПДК среднегодовых показателей в руч. Чуриловский.



годовая концентрация этого компонента в 2009 г. составила 0,23 мг/дм³, в остальные годы была меньше ПДК. Средние за период наблюдения концентрации железа общего в воде ручьёв были заметно ниже, чем за этот же период в воде р. Днепр в районе г. Смоленска (рис. 3). Это свидетельствует о том, что в питании ручьёв города участие болотных вод незначительно.

Загрязнение воды ручьёв стоками с городской территории подтверждается высокими значениями концентраций *легкоокисляемых органических веществ* (по БПК₅). Во всех пробах воды, отобранных в период наблюдений в ручьях, величина БПК₅ превышала ПДК. При этом превышение было весьма значительным (рис. 3-5). В отдельных пробах величина БПК₅ превышала 10 мг/дм³, что соответствует уровню высокого загрязнения поверхностных вод суши [8]. Средние значения величины БПК₅ в воде городских ручьёв значительно превышали этот показатель в воде р. Днепр в районе г. Смоленск (рис. 3).

Во всех отобранных в ручьях пробах воды было выше ПДК и *общее содержание органических веществ* (по ХПК). Средние за период наблюдений значения показателя ХПК изменялись в воде руч. Чуриловский от 25,9 до 29,7 мг/дм³, в воде руч. Рачевка – от 23,5 до 27,5 мг/дм³. Максимальные значения этого показателя достигали в первом из этих ручьёв 59 мг/дм³, во втором – 40 мг/дм³. Значительное загрязнение водных объектов городской территории органическими веществами связано не только с наличием большого количества свалок в оврагах, балках и долинах ручьёв, но и со сбросом в них неочи-

щенных ливневых и сточных вод с небольших предприятий, не имеющих очистных сооружений.

Среднегодовые концентрации *летучих фенолов* в воде ручьёв города находились в пределах 0,002-0,003 мг/дм³, что в 2-3 раза выше ПДК и в 2 раза выше, чем в р. Днепр (рис. 3). Наиболее высокое содержание летучих фенолов в воде ручьёв характерно для зимней межени. В воде руч. Рачевка содержание их в этот период года превышало ПДК в 2-3 раза, в воде руч. Чуриловский – в 3-5 раз.

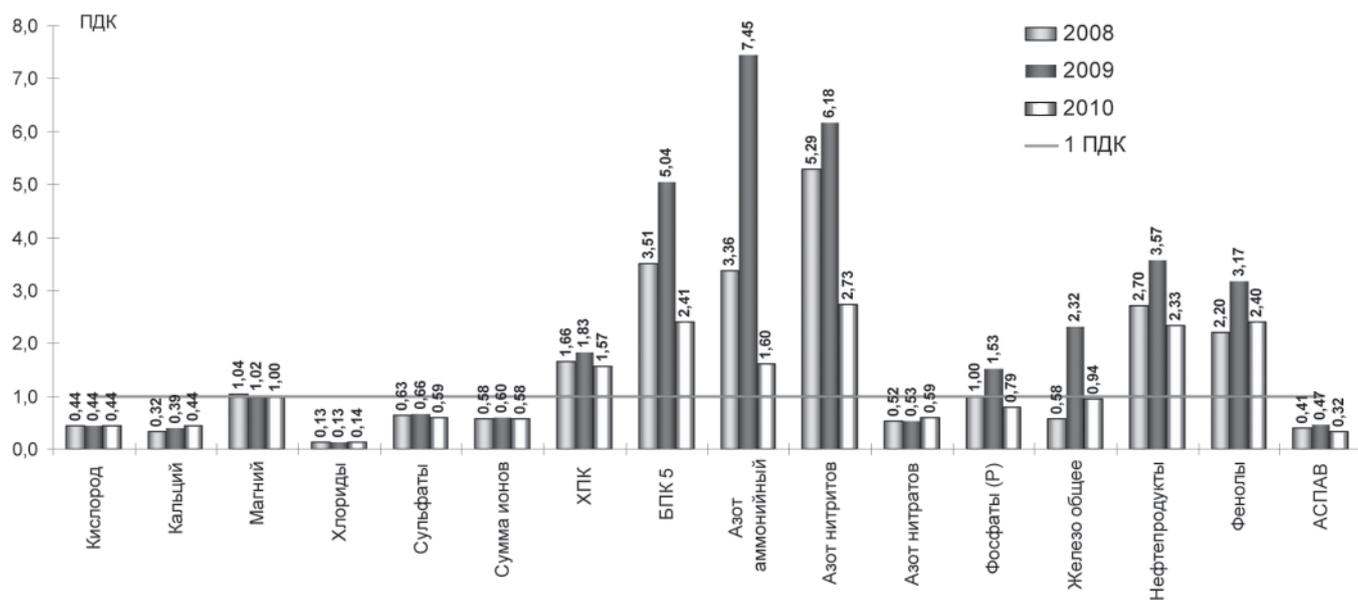
Содержание АСПАВ в воде ручьёв обычно невелико. Зафиксированы единичные случаи превышения ПДК по содержанию в воде этих веществ. В среднем концентрации АСПАВ в воде ручьёв была в несколько раз выше, чем в воде р. Днепр в районе г. Смоленск (рис. 3).

Загрязнение ручьёв *нефтепродуктами* носит неустойчивый характер. Наиболее высокое их содержание, в 10-11 раз превышающее ПДК, характерно для осеннего периода. Однако, превышения ПДК нефтепродуктами отмечалось не только в осенний период, но и при выпадении осадков в тёплое время года. В среднем содержание нефтепродуктов в воде ручьёв было в 2-3 раза выше, чем в воде р. Днепр.

Заключение

Проведенные исследования показывают, что гидрохимический режим малых водотоков существенно изменяясь в течение года, заметно ухудшается под влиянием стоков с урбанизированных территорий. Наблюдается повышение почти всех показателей химического состава воды. Наибольшему антропогенному влиянию подвержен режим биогенных элементов –

Рис. 5. Кратность превышения ПДК среднегодовых показателей в руч. Рачевка.



азота аммонийного, азота нитритного, фосфатов. Городской сток заметно увеличивает содержание в воде ручьев органических веществ (по БПК₅ и ХПК), взвешенных веществ, фенолов, АСПАВ, нефтепродуктов. Для улучшения экологического состояния долинно-овражных систем в городах необходимо разрабатывать и осуществить поэтапно комплекс мероприятий, позволяющих более рационально использовать эти природные системы и существенно снизить загрязнение водных объектов. В этом комплексе необходимо предусматривать устройство гидротехнических сооружений, распылителей стока, крепление откосов и иные мероприятия, обеспечивающие противоэрозионную организацию территории. В него должны входить также сооружение прудов отстойников, биологических прудов, посадки деревьев, кустарников. Для улучшения качества этих вод следует обеспечить в городах и соблюдение необходимых санитарных норм.

Литература

1. Обзоры состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2000-2009 гг. М.: Росгидромет
2. Качество поверхностных вод Российской Федерации. Ежегодник 2004-2006. // Электронный ресурс: <http://www.ghi.aanet.ru/taxonomy/term/7>
3. Рудковская Л.Б. Изучение распространения холерных вибрионов в воде открытых водоёмов Смоленской области в 1982-2001 гг. / Л.Б. Рудковская, Т.А. Парфёнова, В.Е. Крутилин, С.В. Рогутский // Мат. науч.-практич. конф. «Актуальные вопросы обеспече-

- ния санитарно-эпидемиологического благополучия и охраны здоровья населения центрального региона России», посвящённой 80-летию Государственной санитарно-эпидемиологической службы России., Смоленск: Изд-во: Универсум, 2002. С. 337-338.
4. Савельева Л.Ф. Рекреационные зоны Смоленской области / Л.Ф. Савельева, Е.В. Шупрякова // Мат. V Всерос. науч.-практич. конф. «Здоровье и здоровый образ жизни: состояние и перспективы», посвящённой 15-летию Смоленского гуманитарного университета, 85-летию санитарно-эпидемиологической службы Российской Федерации. Смоленск: Изд-во: Универсум, 2007. С. 139-141.
 5. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши. Ч. 1 / Под ред. Л.В. Боевой. Ростов-на Дону: НОК, 2009. 1044 с.
 6. Перечень рыбохозяйственных нормативов: предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение. М.: ВНИРО, 1999. 304 с.
 7. Алекин О.А. Основы гидрохимии. Л.: Гидрометеиздат, 1970. 442 с.
 8. Инструкция по формированию и представлению оперативной информации об экстремально высоких и высоких уровнях загрязнения поверхностных и морских вод, а также их аварийном загрязнении. М.: ИГКЭ, 2001. 17 с.



I.V. Ankinovich, V.A. Shkalikov

THE INFLUENCE OF RUNOFF FROM THE TERRITORY OF SMOLENSK TOWN ON THE HYDROCHEMICAL REGIME OF SMALL STREAMS

There has been done an assessment of water quality of streams in urban areas in some seasons and during periods of income of runoffs in them. It has been found that the most significant pollution of stream flows take place during periods in which proceeds the income of surface water in them. During such periods the content of biogenic components, organics, phenols, synthetic surface active substances, and petrochemicals increases considerably in them.

Key words: streams, urban area, hydro-chemical regime, runoff, water quality, pollution.