

УДК 504.064:614.7

СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ВОД ОВРАЖНО-БАЛОЧНЫХ СИСТЕМ ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЙ (НА ПРИМЕРЕ САРАТОВА)

Шешнёв Александр Сергеевич,
sheshnev@inbox.ru

Саратовский национальный исследовательский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского,
Россия, 410012, г. Саратов, ул. Астраханская, 83.

Актуальность исследования определяется необходимостью обеспечения экологического благополучия водных объектов в зоне воздействия крупных городов. В соответствии с современными природоохранными, экологическими и градостроительными требованиями водный сток с урбанизированных территорий не должен оказывать негативного воздействия на качество водных ресурсов.

Цель: определение сезонной динамики (весенний максимум и летне-осенний минимум стока) поступления загрязняющих веществ с водным стоком оврагов и балок с территории города Саратова в Волгоградское водохранилище.

Методы: морфометрический анализ водосборных бассейнов овражно-балочных комплексов; картографирование притоков естественного и техногенного происхождения; опробование вод в устьевых створах перед впадением в Волгоградское водохранилище; химический анализ состава поверхностных вод по приоритетным показателям по общепринятым методикам (суммарно 140 определений); оценка и анализ качества вод относительно нормативов для водных объектов рыбохозяйственного значения.

Результаты. Выполнена характеристика функционирования городских оврагов и балок; определены особенности формирования химического состава и транспорта вод по эрозионной сети урбанизированной территории; установлен состав вод десяти крупнейших овражно-балочных комплексов по приоритетным загрязняющим веществам для Волгоградского водохранилища (нитриты, железо общее, медь, цинк, сульфаты, азот аммония, нефтепродукты); в водном стоке обнаружены концентрации загрязняющих веществ, многократно превышающие установленные нормативы для водоемов рыбохозяйственного назначения. Качество водного стока не соответствует нормативам, установленным для водных объектов рыбохозяйственного значения, к которым относится Волгоградское водохранилище как часть волжского бассейна. В сезонной динамике химического состава вод не обнаруживается однонаправленных тенденций. Из 70 сравнительных пар проб весеннего и летне-осеннего стока снижение концентраций летом выявлено в 41 случае (58,6 %), повышение – в 21 (30 %), отсутствие изменений – в 8 (11,4 %). Контроль качества стока следует вести исходя из анализа конкретных водосборных бассейнов. Учитывая, что водохранилище служит источником централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения и объектом рекреационной деятельности, необходима организация систем очистки поверхностного водного стока.

Ключевые слова:

Городской поверхностный сток, загрязнение вод, урбанизированные территории, урбозкология, овражно-балочные системы, Волгоградское водохранилище.

Введение

На территории крупных городов существенно образуются рельеф и геологическая среда. Наиболее чувствительны к техногенным воздействиям элементы эрозионного рельефа – овражно-балочные комплексы и малые реки. Зачастую долины оказываются спланированы, а водотоки частично или полностью замещаются искусственной дренажной сетью в виде ливневых коллекторов. Актуальность исследования определяется необходимостью обеспечения экологического благополучия водных объектов в зоне воздействия крупных городов. В соответствии с современными природоохранными, экологическими и градостроительными требованиями водный сток с урбанизированных территорий не должен оказывать негативного воздействия на качество водных ресурсов.

В результате антропогенного воздействия в городах ухудшается качество поверхностных вод, важное место при этом принадлежит изменению состава талого и дождевого стоков [1]. Источники загрязнения поверхностного стока чрезвычайно разнообразны [2, 3]. Поверхностный сток выступает важным механизмом рассеяния токсичных загрязнителей, смываемых с урбанизированных территорий [4, 5], и служит

основной причиной ухудшения качества воды в зоне воздействия городов [6]. В связи с присутствием таких токсичных химических загрязнителей, как тяжелые металлы, городские ливневые стоки могут представлять значительный риск для здоровья человека [7]. Сток с урбанизированных территорий оказывает на приемный бассейн многолетнее физическое, химическое и микробиологическое воздействие, что ухудшает условия водопользования [8], становится гигиенической проблемой и приводит к необходимости восстановления экологического потенциала водоемов [9, 10]. В условиях города даже небольшие ручьи и дождевые коллекторы могут оказывать существенное воздействие на качество вод в принимающих водоток реках и водохранилищах [11].

Состав стока подвержен существенным сезонным колебаниям [12, 13]. На интенсивность поступления твердых и растворимых материалов, токсичность и химический состав стока влияют интенсивность осадков и морфология водосбора [14]. Выделение границ водосборов в условиях урбанизированных территорий затруднено в связи с антропогенным изменением рельефа, а часть стока по искусственной дренажной сети перебрасывается в соседние бассейны.

Увеличение в результате урбанизации до нескольких раз объемов поверхностного стока актуализирует вопросы модернизации городского дренажа [15]. Управление ливневыми и сточными стоками города все более усложняется по мере роста и усложнения инфраструктуры городов. Подземные искусственные дренажные сети устаревают и зачастую не справляются со своими функциями. В связи с этим возникают предложения об использовании зеленой инфраструктуры для замещения или дополнения к устаревшей искусственной дренажной сети [16]. Все чаще рассматриваются возможности ренатурализации малых рек и крупных ручьев, закрытых ранее в подземные коллекторы [17]. В целях организации поверхностного стока следует рассматривать возможность создания в городских балках рекреационных зон с каскадами прудов. Разрабатываются технические аспекты отведения поверхностного стока урбанизированных территорий и очистки в условиях плотной застройки [18].

Управление качеством ливневого стока – важный фактор предотвращения подтопления и загрязнения водных ресурсов в зоне воздействия города [19, 20]. Рекомендуются всю дождевую воду дорожного стока в коммерческих и промышленных зонах собирать и обрабатывать перед сбросом из-за их высокой загрязненности [21]. Механизмы улучшения качества городских водотоков должны опираться на управление всей системой водосбора и инвентаризацией в его пределах источников загрязнения [11]. В условиях крупных российских городов выявлению водотоков и экологическому мониторингу водного стока овражно-балочных комплексов уделяется недостаточное внимание, что частично может быть объяснено отнесением поверхностного стока в ранее действующем законодательстве к условно чистым водам, не требующим очистки перед сбросом. Водотоки нередко закрыты в ливневых коллекторах и располагаются в промышленных зонах.

Систематический сброс неочищенных сточных вод оказывает значительное влияние на качество поверхностных вод урбанизированных территорий Российской Федерации [22]. Волгоградское водохранилище замыкает Волжско-Камский каскад, расположено в индустриально развитом регионе и аккумулирует широкий спектр химических веществ природного и антропогенного происхождения [23]. Саратов – крупнейший город на берегах Волгоградского водохранилища, поверхностный сток с территории которого оказывает существенное влияние на экосистемы водоема.

Цель исследования – определение сезонной динамики (весенний максимум и летне-осенний минимум стока) поступления приоритетных загрязняющих веществ с водным стоком оврагов и балок с территории города Саратова в Волгоградское водохранилище.

Объекты и методы исследования

Территория Саратова располагается на восточной оконечности Приволжской возвышенности на правом берегу Волги и имеет высокое овражно-балочное расчленение. При росте и развитии города эрозионные

формы рельефа либо полностью уничтожены, либо существенно трансформированы путем засыпки разнообразным материалом [24]. Однако эрозионная сеть продолжает выполнять дренажные функции, транспортируя сток как открытым потоком, так и по ливневым коллекторам, проложенным в тальвегах долин. Учитывая, что водосборы расположены на урбанизированной территории, следует с водным стоком овражно-балочных комплексов ожидать поступление значительного объема загрязняющих веществ в Волгоградское водохранилище.

Длины долинных комплексов составляют 1,8–6 км, их водосборные бассейны имеют площадь от 3,5 до 36 км². Овраги субпараллельны, имеют широтное простирание, базисом эрозии служит Волгоградское водохранилище. Маршрутное обследование и анализ фондовых материалов показали, что расход водотоков складывается из нескольких составляющих: разгрузка подземных вод в виде родников, приток дренажных вод, талого и дождевого стоков, поступление сточных вод от предприятий и частного сектора. Сброс вод предприятиями осуществляется на основании договоров с эксплуатирующей организацией «Водосток», а отвод канализационных стоков частным сектором ведется незаконно. Баланс притоков естественного и техногенного происхождения сложно установить, а в функции предприятия «Водосток» входит лишь прием и транспорт поверхностных стоков, но не контроль их химического состава и экологического состояния.

На водосборе Назаровки расположены крупнейшие промышленные предприятия, направляющие стоки в водоток, а вблизи нефтеперерабатывающего завода наблюдаются выходы нефтесодержащих «родников» в долину. Долинные комплексы Токмаковского и Залетаевского оврагов находятся под воздействием стоков инфраструктурных объектов городской станции аэрации и других предприятий. Овраги Мутный ключ и Крутенький пересекают промышленные зоны и принимают стоки предприятий и, вероятно, частного сектора. Овраги Белоглинский и Глебучев расположены в центральной исторической части города, геоморфологически слабо выражены, заполнены насыпными грунтами разнообразного состава и сложения, водотоки заключены в бетонные коллекторы. В коллекторе Глебучева оврага выявлены несанкционированные подключения жителей малоэтажной застройки. Водосборы оврагов Сеча и Безымянный заняты дачными массивами и эксплуатируемым Соколовогорским нефтяным месторождением, на котором применяется законтурное заводнение. Алексеевский овраг окружен коттеджной застройкой и залесен.

В периоды весеннего максимума (апрель) и летне-осеннего минимума стока (август) 2019 г. проведено гидрохимическое опробование вод, поступающих в Волгоградское водохранилище по десяти овражно-балочным комплексам (рисунок). Отбор проб выполнен в устьях водотоков, из них два заключены в ливневые коллекторы (овраги Белоглинский и Глебучев), восемь впадают в водохранилище открытым потоком. Водосборные бассейны находятся в разных функцио-

нальных зонах: в южной части города – промышленные, много- и малоэтажные жилые районы, в цен-

тральной – многоэтажная селитебная застройка, в северной – дачные участки и нефтепромысел.

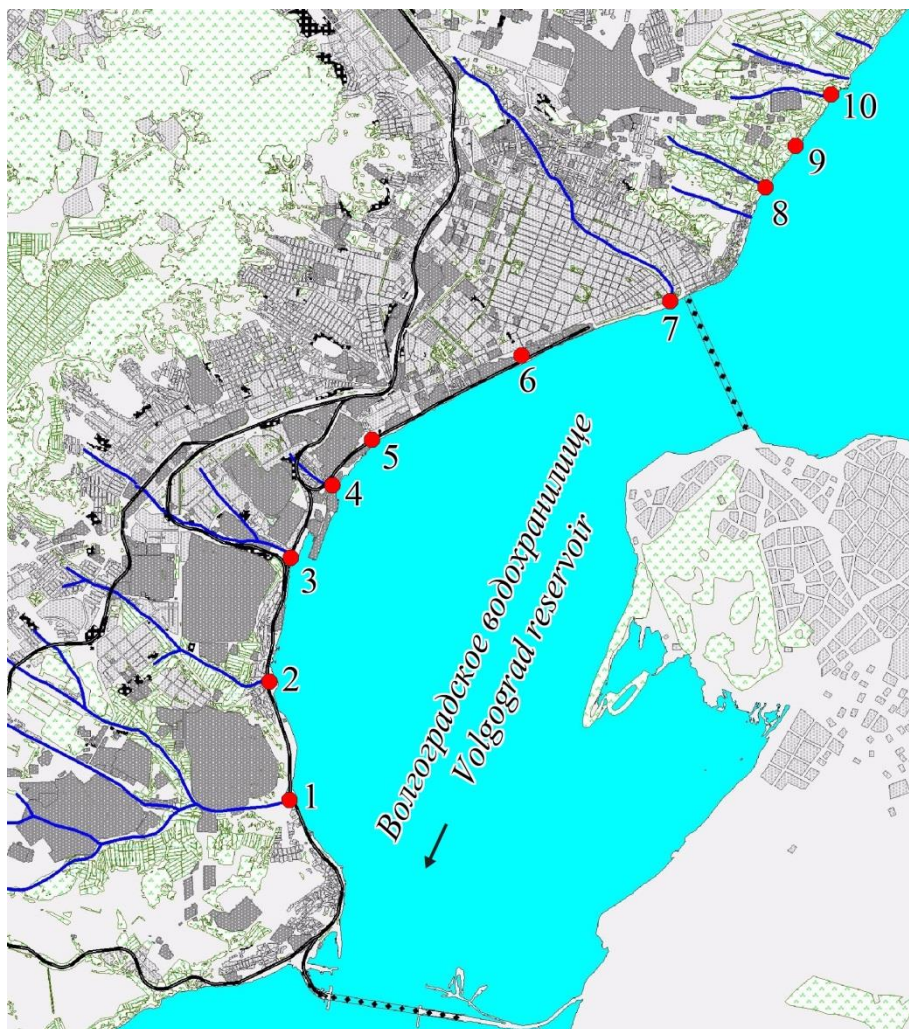


Рисунок. Местоположение объектов исследования, устья водотоков: 1 – Назаровка, 2 – Токмаковский, 3 – Залетаевский, 4 – Мутный ключ, 5 – Крутенький, 6 – Белоглинский, 7 – Глебучев, 8 – Сеча, 9 – Безымянный, 10 – Алексеевский

Figure. Location of the objects of research, mouths of watercourses: 1 – Nazarovka, 2 – Tokmakovskiy, 3 – Zaltaevskiy, 4 – Mutny klyuch, 5 – Krutenkiy, 6 – Beloglinskiy, 7 – Glebuchev, 8 – Secha, 9 – Bezumyanny, 10 – Alekseevskiy

Химико-аналитические исследования проб вод выполнялись в аттестованной испытательной лаборатории Института химии Саратовского госуниверситета и лаборатории геоэкологии общепринятыми методами хроматографии и атомно-абсорбционной спектроскопии. Концентрация определяемых показателей приводится как среднее арифметическое по результатам двукратного определения компонента в каждой пробе. Суммарно получено 140 значений осредненных фактических концентраций. Случаи фактической концентрации ниже порога чувствительности метода обозначены как «н.о.» («не определены»). Экологическая оценка выполнена в соответствии с нормативами предельно допустимых концентраций (ПДК) вредных веществ для водных объектов рыбохозяйственного значения [25], к которым относится приемный бассейн – Волгоградское водохранилище. Определяемые вещества относятся

к трем классам опасности: 2 класс – высокоопасные (нитриты – NO_2); 3 класс – умеренно опасные (железо общее – Fe, медь – Cu, цинк – Zn); 4 класс – малоопасные (сульфаты – SO_4 , азот аммония – N-NH_4 , нефтепродукты – НП). Данный перечень основан на результатах предыдущих исследований городских водотоков и приоритетных загрязняющих веществ в Волгоградском водохранилище [26].

Результаты исследований и их обсуждение

Результаты аналитических исследований проб вод представлены в таблице.

По отношению к ПДК анализируемые компоненты в период весеннего максимума стока образуют следующие ряды распределения для водотоков в порядке повышения:

- Назаровка – НП(н.о.) < N-NH_4 (0,05) < SO_4 (2,27) < Fe(2,9) < NO_2 (5,63) < Zn(70) < Cu(880);

- Токмаковский – $\text{NO}_2(0,25) < \text{N-NH}_4(2,95) < \text{SO}_4(3,35) < \text{Fe}(7,6) < \text{НП}(30) < \text{Zn}(60) < \text{Cu}(2600)$;
- Залетаевский – $\text{N-NH}_4(0,03) < \text{SO}_4(3,25) < \text{Fe}(5,7) < \text{NO}_2(30) < \text{НП}(70) < \text{Zn}(120) < \text{Cu}(7000)$;
- Мутный ключ – $\text{НП(н.о.)} < \text{N-NH}_4(0,08) < \text{SO}_4(2,38) < \text{Fe}(2,6) < \text{NO}_2(27,5) < \text{Zn}(30) < \text{Cu}(1100)$;
- Крутенький – $\text{НП, Zn(н.о.)} < \text{N-NH}_4(3,7) < \text{SO}_4(3,75) < \text{Fe}(6) < \text{NO}_2(125) < \text{Cu}(1200)$;
- Белоглинский – $\text{НП(н.о.)} < \text{N-NH}_4(0,68) < \text{SO}_4(2,4) < \text{Fe}(5,6) < \text{Zn}(50) < \text{NO}_2(67,5) < \text{Cu}(1100)$;
- Глебучев – $\text{НП, N-NH}_4(н.о.) < \text{NO}_2(0,13) < \text{Fe}(1) < \text{SO}_4(1,25) < \text{Zn}(10) < \text{Cu}(480)$;
- Сеча – $\text{НП(н.о.)} < \text{N-NH}_4(2,13) < \text{SO}_4(2,92) < \text{Fe}(3,1) < \text{Zn}(10) < \text{NO}_2(72,5) < \text{Cu}(980)$;
- Безымянный – $\text{НП, N-NH}_4(н.о.) < \text{NO}_2(0,25) < \text{SO}_4(2,85) < \text{Fe}(8,1) < \text{Zn}(60) < \text{Cu}(2400)$;
- Алексеевский – $\text{НП(н.о.)} < \text{N-NH}_4(0,05) < \text{NO}_2(1) < \text{SO}_4(3,73) < \text{Fe}(3,8) < \text{Zn}(30) < \text{Cu}(2400)$.

По отношению к ПДК анализируемые компоненты в период летне-осеннего минимума стока образуют следующие ряды распределения для водотоков в порядке повышения:

- Назаровка – $\text{НП(н.о.)} < \text{N-NH}_4(0,02) < \text{SO}_4(1,38) <$

- $\text{Fe}(2,8) < \text{NO}_2(3,88) < \text{Cu}(7) < \text{Zn}(750)$;
- Токмаковский – $\text{НП(н.о.)} < \text{SO}_4(2) < \text{N-NH}_4(3,45) < \text{Fe}(4,4) < \text{NO}_2(13,5) < \text{Zn}(24) < \text{Cu}(1060)$;
- Залетаевский – $\text{НП(н.о.)} < \text{N-NH}_4(0,04) < \text{SO}_4(2,15) < \text{Fe}(3,1) < \text{NO}_2(8,75) < \text{Zn}(29) < \text{Cu}(1300)$;
- Мутный ключ – $\text{N-NH}_4(0,02) < \text{SO}_4(1,56) < \text{NO}_2(2,5) < \text{Fe}(4) < \text{НП}(28) < \text{Zn}(39) < \text{Cu}(590)$;
- Крутенький – $\text{НП(н.о.)} < \text{N-NH}_4(0,04) < \text{SO}_4(4,1) < \text{Fe}(5) < \text{NO}_2(37,5) < \text{Zn}(123) < \text{Cu}(1250)$;
- Белоглинский – $\text{НП(н.о.)} < \text{N-NH}_4(0,43) < \text{SO}_4(1,4) < \text{Fe}(5,4) < \text{NO}_2(6,88) < \text{Zn}(7) < \text{Cu}(600)$;
- Глебучев – $\text{SO}_4(1,69) < \text{N-NH}_4(1,7) < \text{Fe}(4,1) < \text{НП}(4,4) < \text{Zn}(18) < \text{NO}_2(19,38) < \text{Cu}(1880)$;
- Сеча – $\text{НП(н.о.)} < \text{N-NH}_4(0,06) < \text{NO}_2(0,38) < \text{Fe}(1,8) < \text{SO}_4(3,15) < \text{Zn}(52) < \text{Cu}(1800)$;
- Безымянный – $\text{НП, N-NH}_4(н.о.) < \text{NO}_2(0,25) < \text{SO}_4(11,6) < \text{Zn}(27) < \text{Fe}(49,2) < \text{Cu}(1250)$;
- Алексеевский – $\text{НП, N-NH}_4(н.о.) < \text{SO}_4(0,3) < \text{NO}_2(0,38) < \text{Fe}(1,8) < \text{Zn}(7) < \text{Cu}(310)$.

Приведенные данные подтверждают неудовлетворительное качество водного стока с городской территории, при этом в наиболее высоких концентрациях находятся тяжелые металлы – цинк и медь.

Таблица. Результаты количественного химического анализа проб вод, мг/л

Table. Results of quantitative chemical analysis of the water samples, mg/l

Параметр Parameter	Места отбора проб/Sampling sites										ПДК MPC
	Назаровка Nazarovka	Токмаковский Tokmakovskiy	Залетаевский Zaletaevskiy	Мутный ключ Mutny kluch	Крутенький Krutenkiy	Белоглинский Beloglinskiy	Глебучев Glebuchev	Сеча Secha	Безымянный Bezuyannyy	Алексеевский Aleksееvskiy	
Железо общее Iron total	$\frac{0,29}{0,28}$	$\frac{0,76}{0,44}$	$\frac{0,57}{0,31}$	$\frac{0,26}{0,4}$	$\frac{0,6}{0,5}$	$\frac{0,56}{0,54}$	$\frac{0,1}{0,41}$	$\frac{0,31}{0,18}$	$\frac{0,81}{4,92}$	$\frac{0,38}{0,18}$	0,1
Сульфаты Sulfates	$\frac{227}{138}$	$\frac{335}{200}$	$\frac{325}{215}$	$\frac{238}{156}$	$\frac{375}{410}$	$\frac{240}{140}$	$\frac{125}{169}$	$\frac{292}{315}$	$\frac{285}{1160}$	$\frac{373}{30}$	100
Нитриты Nitrites	$\frac{0,45}{0,31}$	$\frac{0,02}{1,08}$	$\frac{2,4}{0,7}$	$\frac{2,2}{0,2}$	$\frac{10}{3}$	$\frac{5,4}{0,55}$	$\frac{0,01}{1,55}$	$\frac{5,8}{0,03}$	$\frac{0,02}{0,02}$	$\frac{0,08}{0,03}$	0,08
Азот аммония Ammonium nitrogen	$\frac{0,02}{0,008}$	$\frac{1,18}{1,38}$	$\frac{0,01}{0,016}$	$\frac{0,03}{0,008}$	$\frac{1,48}{0,016}$	$\frac{0,27}{0,17}$	$\frac{н.о.}{0,68}$	$\frac{0,85}{0,023}$	$\frac{н.о.}{н.о.}$	$\frac{0,02}{н.о.}$	0,4
Нефтепродукты Oil products	$\frac{н.о.}{н.о.}$	$\frac{1,5}{н.о.}$	$\frac{3,5}{н.о.}$	$\frac{н.о.}{1,4}$	$\frac{н.о.}{н.о.}$	$\frac{н.о.}{н.о.}$	$\frac{н.о.}{0,22}$	$\frac{н.о.}{н.о.}$	$\frac{н.о.}{н.о.}$	$\frac{н.о.}{н.о.}$	0,05
Медь Copper	$\frac{0,88}{0,75}$	$\frac{2,6}{1,06}$	$\frac{7}{1,3}$	$\frac{1,1}{0,59}$	$\frac{1,2}{1,25}$	$\frac{1,1}{0,6}$	$\frac{0,48}{1,88}$	$\frac{0,98}{1,8}$	$\frac{2,4}{1,25}$	$\frac{2,4}{0,31}$	0,001
Цинк Zinc	$\frac{0,7}{0,07}$	$\frac{0,6}{0,24}$	$\frac{1,2}{0,29}$	$\frac{0,3}{0,39}$	$\frac{н.о.}{1,23}$	$\frac{0,5}{0,07}$	$\frac{0,1}{0,18}$	$\frac{0,1}{0,52}$	$\frac{0,6}{0,27}$	$\frac{0,3}{0,07}$	0,01

Примечание: в числителе – результаты анализа в весенний период; в знаменателе – в летне-осенний период.

Note: in the numerator – the results of the analysis in spring; in the denominator – in summer–autumn.

Сезонная динамика определяемых компонентов

Из 70 сравнительных пар проб весеннего и летне-осеннего стока снижение концентраций летом выявлено в 41 случае (58,6 %), повышение – в 21 (30 %), отсутствие изменений – в 8 (11,4 %). Понижение концентраций летом в сравнении с весной наблюдается в 60 % случаев по сульфатам, азоту аммония и цинку; в 70 % случаев – по железу, нитригам и меди. По ряду показателей отмечена резко разнонаправленная сезонная динамика.

Содержание нитритов летом резко понижается в ручьях Крутенький (3,3), Залетаевский (3,42), Белоглинский (9,8), Мутный ключ (11) и Сеча (193 раза). Многократное повышение концентрации происходит в ручьях Токмаковский (54) и Глебучев (155 раз).

Концентрация азота аммония существенно уменьшилась в ручьях Мутный ключ (3,8), Сеча (37) и Крутенький (92,5 раза); увеличилась в ручье Глебучев (от отсутствия до 0,68 мг/л).

Концентрация цинка резко снизилась в водотоках Залетаевский (4,1), Алексеевский (4,3), Белоглинский (7,1), Назаровка (10 раз); повысилась в ручьях Сеча (5,2) и Крутенький (от отсутствия до 1,23 мг/л).

Содержание меди значительно уменьшилось в ручьях Залетаевский (5,4) и Алексеевский (7,7 раза), возросло в ручье Глебучев (3,9 раза).

Резкое понижение концентрации сульфатов произошло в водотоках Алексеевском (12,4 раза), понижение – в Безымянном (4,1 раза).

Существенное повышение содержания *общего железа* произошло в ручьях Глебучев (4,1) и Безьянный (6,1 раза).

Нефтепродукты в 60 % случаев не определены в оба периода, в двух пробах фиксировались лишь весной, в двух других – только летом. Вероятно, нефтепродукты не являются постоянным загрязнителем, и их поступление носит спорадический характер.

Сезонная динамика поступления загрязняющих веществ с водосборов

В *Назаровке* нефтепродукты не определены в оба периода. Все прочие показатели летом уменьшили свои значения: от небольшого снижения по общему железу до 10-кратного по цинку.

В *Токмаковском* ручье нефтепродукты фиксировались весной, но отсутствовали летом. Возросли содержания азота аммония (на 17 %) и нитритов (в 54 раза). Концентрации прочих загрязняющих веществ уменьшились от 40 % по сульфатам до 60 % по цинку.

В ручье *Залетаевском* сезонная динамика определяемых компонентов, кроме нитритов, схожа с водотоком Токмаковского оврага. Нефтепродукты фиксировались весной и отсутствовали летом. Увеличилось лишь содержание азота аммония (на 17 %). Прочие компоненты уменьшили свою концентрацию на величины от 34 % (сульфаты) до 81 % (медь).

В водотоке *Мутный ключ* летом, в отличие от весны, появляются нефтепродукты. Увеличивают концентрацию цинк (на 30 %) и общее железо (на 54 %). Остальные компоненты снижают содержание от 34 % (сульфаты) до 91 % (нитриты).

В водах ручья *Крутенского* оврага нефтепродукты не определены. Летом появляется цинк, отсутствовавший весной. Возросло содержание меди (на 4 %) и сульфатов (на 9 %). Уменьшилась концентрация общего железа (на 17 %) и нитритов (на 70 %), но особенно резко по азоту аммония (на 99 %).

Водоток *Белоглинского* оврага не содержал нефтепродуктов в течение обоих сезонов. Все компоненты летом уменьшили свою концентрацию: от 4 % по общему железу до 90 % по нитритам.

В водах ручья *Глебучева* оврага однонаправленная тенденция увеличения концентраций загрязняющих веществ летом до весьма высоких значений. Не определенные в весенних пробах нефтепродукты и азот аммония появляются летом. Содержание показателей увеличилось от 35 % (сульфаты) до 155 раз (нитриты).

Нефтепродукты в водах ручья *Сеча* в течение двух сезонов не зафиксированы. Летом увеличивается концентрация сульфатов (на 8 %), меди (на 84 %) и цинка (в 5,2 раза). Уменьшается содержание общего железа (на 42 %), резко – азота аммония (в 37 раз) и нитритов (в 193 раза).

В ручье *Безьянном* в течение двух сезонов не определены нефтепродукты и азот аммония. Нитриты сохраняют постоянство невысокой концентрации. Летом увеличилось содержание сульфатов (в 4,07 раза) и общего железа (в 6,07 раза). Уменьшилась концентрация меди (на 48 %) и цинка (на 55 %).

В водотоке *Алексеевского* оврага нефтепродукты не определены. Все прочие компоненты летом

уменьшили содержание: от снижения на 53 % по общему железу до отсутствия по азоту аммония.

Заключение

Особенности состава водного стока городских овражно-балочных комплексов определяются, в первую очередь, типом техногенной нагрузки и характеристиками городской застройки на водосборе. Аналогичные выводы получены в разных регионах [27–29 и др.]. Исследованием в целом подтверждаются данные, полученные на территории Вильнюса [12], согласно которым для транспортировки загрязняющих веществ решающее значение имеют периоды высокого стока. Анализ химического состава вод десяти овражно-балочных водосборов по семи показателям на территории Саратова показал, что в период летне-осеннего минимума стока по сравнению с весенним максимумом снижение концентраций наблюдается в 58,6 % случаев, повышение – в 30 %, отсутствие изменений – в 11,4 %.

Химический состав стока формируется в результате совместного действия разгрузки подземных вод, поступления талых и дождевых вод, в ряде случаев – притока дренажных и сточных вод с территорий предприятий и даже несанкционированных подключений частного жилого сектора. Значительное повышение содержания загрязняющих веществ летом во время минимума стока фиксируется на водосборах с обилием частного жилого сектора, не подключенного к централизованной системе водоотведения. Показателен сток ручья по коллектору Глебучева оврага, где весной действовал разбавляющий эффект поверхностного и дренажного стока большого водосбора, а уже к августу сток возвращается к привычному составу со значительным содержанием вод техногенного происхождения. Уменьшение концентрации вредных веществ характерно для водосборов с многэтажной или частной жилой застройкой, обустроенных системами централизованного водоотведения, при отсутствии промышленных источников сбросов вод. В этих условиях максимальное поступление поллютантов в приемный бассейн происходит весной с талым стоком. При наличии источников промышленных сбросов сезонная динамика поступления загрязняющих веществ определяется технологическими особенностями производств.

Содержание приоритетных загрязняющих веществ в стоке эрозийной сети с территории Саратова многократно превышает нормативы для водных объектов рыбохозяйственного значения, к которым относится Волгоградское водохранилище как часть волжского бассейна. В сезонной динамике состава стока не обнаруживаются однонаправленных тенденций, что, вероятно, связано с особенностями функционирующих источников сбросов. Контроль качества стока следует вести исходя из анализа конкретных водосборных бассейнов. Учитывая, что водохранилище служит источником централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения и объектом рекреационной деятельности, необходима организация систем очистки поверхностного водного стока.

Полученные результаты позволяют установить источники поступления приоритетных загрязняющих веществ для приемного водоема для уровней бассейновых водосборов в городской среде. Подобные данные способствуют принятию природоохранных и градопланировочных решений по предотвращению поступления поллютантов в водные экосистемы рек и водохранилищ, в том числе

это касается необходимости удаления снегового покрова, депонирующего зимой значительные объемы загрязнителей в застроенных районах и промышленных зонах.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ для государственной поддержки молодых российских ученых (проект МК-5758.2018.5).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Экологическая оценка химического состава талого и дождевого стоков с жилых территорий города Воронежа / Т.И. Прожорина, И.И. Косинова, М.В. Васильева, И.И. Либина // Гигиена и санитария. – 2018. – № 8. – С. 699–702.
2. Halverson H.G., Dewalle D.R., Sharpe W.E. Contribution of precipitation to quality of urban storm runoff // Water Resources Bulletin. – 1984. – V. 20. – № 6. – P. 859–864.
3. Egodawatta P., Miguntanna N.S., Goonetilleke A. Impact of roof surface runoff on urban water quality // Water Science and Technology. – 2012. – V. 66 (7). – P. 1527–1533.
4. Jartun M., Pettersen, A.J. Contaminants in urban runoff to Norwegian fjords // Journal of Soils and Sediments. – 2010. – V. 10. – P. 155–161.
5. Rădulescu D., Racovițeanu G., Swamikannu X. Comparison of urban residential storm water runoff quality in Bucharest, Romania with international data // EENVIRO 2018 – Sustainable Solutions for Energy and Environment. – 2019. – V. 85. – Art. 07019. – P. 1–9.
6. Al-Badaii F., Shuhaimi-Othman M. The Impact of anthropogenic pollution and urban runoff associated with spatial and seasonal variation on the water quality in the Semenyih river, Malaysia // World Applied Sciences Journal. – 2014. – V. 32. – № 6. – P. 1061–1073.
7. Assessment and management of human health risk from toxic metals and polycyclic aromatic hydrocarbons in urban stormwater arising from anthropogenic activities and traffic congestion / Y. Ma, A. Liu, P. Egodawatta, J. McGree, A. Goonetilleke // Science of the Total Environment. – 2017. – V. 579. – P. 202–211.
8. Marsalek J. Overview of urban stormwater impacts on receiving waters // Urban Water Management: Science Technology and Service Delivery / Eds. R. Arsov, J. Marsalek, E. Watt, E. Zeman. – Dordrecht: Springer, 2003. – P. 1–10.
9. Sakson G., Brzezinska A., Zawilski M. Emission of heavy metals from an urban catchment into receiving water and possibility of its limitation on the example of Lodz city // Environmental Monitoring and Assessment. – 2018. – V. 190. – Art. 281. – P. 1–15.
10. Transferral of HMs pollution from road-deposited sediments to stormwater runoff during transport processes / Q. Wang, Q. Zhang, M. Dzakpasu, N. Chang, X. Wang // Frontiers of Environmental Science & Engineering. – 2019. – V. 13. – № 1. – Art. 13. – P. 1–11.
11. Aleksander-Kwaterczak U., Plenzler D. Contamination of small urban watercourses on the example of a stream in Krakow (Poland) // Environmental Earth Sciences. – 2019. – V. 78. – Iss. 16. – Art. 530. – P. 1–13.
12. Heavy metal contamination in surface runoff sediments of the urban area of Vilnius, Lithuania / G. Ignatavičius, V. Valskys, I. Bulskaya, D. Paliulis, A. Zigmontienė, J. Satkūnas // Estonian Journal of Earth Sciences. – 2017. – V. 66. – № 1. – P. 13–20.
13. Исследование динамики состава поверхностного стока урбанизированных территорий / Е.Д. Палагин, М.А. Гриднева, П.Г. Быкова, Т.Ю. Набок // Водоснабжение и санитарная техника. – 2018. – № 1. – С. 51–56.
14. Hall K.J., Anderson B.C. The toxicity and chemical composition of urban stormwater runoff // Canadian Journal of Civil Engineering. – 1988. – V. 15. – P. 98–106.
15. Zhou Q., Leng G., Su J., Ren Y. Comparison of urbanization and climate change impacts on urban flood volumes: Importance of urban planning and drainage adaptation // The Science of the total environment. – 2019. – V. 658. – P. 24–33.
16. Dagenais D., Thomas I., Paquette S. Siting green stormwater infrastructure in a neighbourhood to maximise secondary benefits: lessons learned from a pilot project // Landscape Research. – 2017. – V. 42. – № 2. – P. 195–210.
17. Kobjek E. Anthropogenic transformation and the possibility of renaturalising small rivers and their valleys in cities – Łódź and Lviv examples // European Spatial Research and Policy. – 2015. – V. 22. – № 1. – P. 45–60.
18. Ким А.Н., Михайлов А.В. Очистка поверхностного стока с урбанизированных территорий на локальных пассивных системах // Вода и экология: проблемы и решения. – 2017. – № 4. – С. 40–52.
19. Hall M.J., Ellis J.B. Water quality problems of urban areas // GeoJournal. – 1985. – V. 11. – Iss. 3. – P. 265–275.
20. Орлов Б.В., Бойкова И.Г., Волшаник В.В. Управление стоком с территории мегаполиса. – М.: НИУ МГСУ, 2015. – 288 с.
21. Rainwater utilization and storm pollution control based on urban runoff characterization / M. Zhang, H. Chen, J. Wang, G. Pan // Journal of Environmental Sciences. – 2010. – V. 22 (1). – P. 40–46.
22. Черногаева Г.М., Жадановская Е.А. Загрязнение поверхностных пресных вод на урбанизированных территориях субъектов Российской Федерации // Вопросы географии. Сб. 145. Гидрологические изменения. – М.: ИД «Кодекс», 2018. – С. 414–423.
23. Гидрохимические основы биологической продуктивности в замыкающих водохранилищах Волжского каскада / Е.А. Шашуловская, С.А. Мосияш, И.Г. Филимонова, Л.В. Гришина, Е.Г. Кузина // Труды Зоологического института РАН. – 2016. – Т. 320. – № 3. – С. 367–376.
24. Шешнёв А.С. Техногенные оползни в овражно-балочных системах Саратова (на примере Глубучева оврага) // Геоморфология. – 2017. – № 3. – С. 30–37.
25. Приказ Министерства сельского хозяйства РФ № 552 от 13.12.2016 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения». URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201701160006> (дата обращения 28.06.2019).
26. Шешнёв А.С., Ерёмин В.Н., Решетников М.В. Качество водного стока ливневой дренажной сети на территории Саратова // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2018. – № 3. – С. 108–118.
27. Jamwal P., Mittal A.K., Mouchel J.-M. Effects of urbanisation on the quality of the urban runoff for Delhi watershed // Urban Water Journal. – 2008. – V. 5. – № 3. – P. 247–257.
28. Совершенствование рациональных городских инженерных систем очистки поверхностных сточных вод / А.А. Воронов, Е.С. Малышкина, Е.И. Вялкова, С.В. Максимова // Градостроительство и архитектура. – 2018. – Т. 8. – № 3. – С. 43–50.
29. Surface runoff in urban area – case study / M. Zelenáková, Z. Vranayová, A. Repel, D. Kaposztasová // New Trends in Urban Drainage Modelling. – Champ: Springer, 2019. – P. 152–156.

Поступила 29.01.2020 г.

Информация об авторах

Шешнёв А.С., кандидат географических наук, заведующий лабораторией геоэкологии геологического факультета Саратовского национального исследовательского государственного университета им. Н.Г. Чернышевского.

UDC 504.064:614.7

SEASONAL DYNAMICS OF CHEMICAL COMPOSITION OF WATERS FROM GULLY SYSTEMS IN URBAN AREAS (BY THE EXAMPLE OF SARATOV)

Aleksandr S. Sheshnev,
sheshnev@inbox.ru

National Research Saratov State University,
83, Astrakhanskaya street, Saratov, 410012, Russia.

The relevance of the research is determined by the need to ensure the environmental well-being of water bodies in the zone of impact of large cities. In accordance with modern environmental, nonconsumptive and urban planning requirements, water runoff from urbanized areas should not have a negative impact on the quality of water resources.

The main aim of the research is to determine the seasonal dynamics (spring maximum and summer-autumn minimum flow) of pollutants from the water flow of ravines and gullies from the city of Saratov to the Volgograd reservoir.

Methods: morphometric analysis of catchment basins of gully complexes; mapping of tributaries of natural and technogenic origin; testing of waters in estuaries before the confluence with the Volgograd reservoir; chemical analysis of surface water composition by priority indicators according to generally accepted methods (140 definitions in total); assessment and analysis of water quality in relation to standards for water bodies of fishery importance.

Results. The author characterized the functioning of urban ravines and gullies; determined the features of formation of chemical composition and transport of water through the erosion network of an urbanized area; defined the composition of the waters of the ten largest ravine-gully complexes for priority pollutants for the Volgograd reservoir (nitrites, iron, copper, zinc, sulfates, ammonium nitrogen, oil products); found concentrations of pollutants, many times exceeding the established standards for fisheries reservoirs in the water flow. The quality of water flow does not meet the standards established for water bodies of fishery importance, which include the Volgograd reservoir as part of the Volga basin. In the seasonal dynamics of the chemical composition of water, unidirectional trends are not detected. Out of 70 comparative pairs of samples of spring and summer–autumn runoff, a decrease in summer concentrations was detected in 41 cases (58,6 %), an increase in 21 (30 %), and no changes in 8 (11,4 %). Flow quality control should be based on the analysis of specific watersheds. Given the fact that the reservoir is as a source of centralized drinking water supply and recreational activities, the organization of surface water treatment systems is necessary.

Key words:

Urban surface flow, water pollution, urbanized areas, urban ecology, gully systems, Volgograd reservoir.

This work was supported by the Grant of President of Russian Federation (Grant No. MK-5758.2018.5).

REFERENCES

- Prozhorina T.I., Kosinova I.I., Vasilyeva M.V., Libina I.I. Ecological-hygienic evaluation of the influence of thail and railway on surface water pollution. *Gigiena i Sanitariya*, 2018, vol. 8, pp. 699–702. In Rus.
- Halverson H.G., Dewalle D.R., Sharpe W.E. Contribution of precipitation to quality of urban storm runoff. *Water Resources Bulletin*, 1984, vol. 20, no. 6, pp. 859–864.
- Egodawatta P., Miguntanna N.S., Goonetilleke A. Impact of roof surface runoff on urban water quality. *Water Science and Technology*, 2012, vol. 66 (7), pp. 1527–1533.
- Jartun M., Pettersen A.J. Contaminants in urban runoff to Norwegian fjords. *Journal of Soils and Sediments*, 2010, vol. 10, pp. 155–161.
- Rădulescu D., Racovițeanu G., Swamikannu X. Comparison of urban residential storm water runoff quality in Bucharest, Romania with international data. *EENVIRO 2018 – Sustainable Solutions for Energy and Environment*, 2019, vol. 85, art. 07019, pp. 1–9.
- Al-Badaai F., Shuhaimi-Othman M. The impact of anthropogenic pollution and urban runoff associated with spatial and seasonal variation on the water quality in the Semenyih river, Malaysia. *World Applied Sciences Journal*, 2014, vol. 32, no. 6, pp. 1061–1073.
- Ma Y., Liu A., Egodawatta P., McGree J., Goonetilleke A. Assessment and management of human health risk from toxic metals and polycyclic aromatic hydrocarbons in urban stormwater arising from anthropogenic activities and traffic congestion. *Science of the Total Environment*, 2017, vol. 579, pp. 202–211.
- Marsalek J. Overview of urban stormwater impacts on receiving waters. *Urban Water Management: Science Technology and Service Delivery*. Eds. R. Arsov, J. Marsalek, E. Watt, E. Zeman. Dordrecht, Springer, 2003. pp. 1–10.
- Sakson G., Brzezinska A., Zawilski M. Emission of heavy metals from an urban catchment into receiving water and possibility of its limitation on the example of Lodz city. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2018, vol. 190, art. 281, pp. 1–15.
- Wang Q., Zhang Q., Dzakpasu M., Chang N., Wang X. Transferral of HMs pollution from road-deposited sediments to stormwater runoff during transport processes. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, 2019, vol. 13, no. 1, art. 13, pp. 1–11.
- Aleksander-Kwaterczak U., Plenzler D. Contamination of small urban watercourses on the example of a stream in Krakow (Poland). *Environmental Earth Sciences*, 2019, vol. 78, Iss. 16, art. 530, pp. 1–13.
- Ignatavičius G., Valskys V., Bulskaya I., Paliulis D., Zigmontienė A., Satkūnas J. Heavy metal contamination in surface runoff sediments of the urban area of Vilnius, Lithuania. *Estonian Journal of Earth Sciences*, 2017, vol. 66, no. 1, pp. 13–20.
- Palagin E.D., Gridneva M.A., Bykova P.G., Nabok T.Yu. Study of the dynamics of surface runoff composition of the urban lands. *Water Supply and Sanitary Technique*, 2018, no. 1. pp. 51–56. In Rus.
- Hall K.J., Anderson B.C. The toxicity and chemical composition of urban stormwater runoff. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 1988, vol. 15, pp. 98–106.
- Zhou Q., Leng G., Su J., Ren Y. Comparison of urbanization and climate change impacts on urban flood volumes: Importance of urban planning and drainage adaptation. *The Science of the total environment*, 2019, vol. 658, pp. 24–33.
- Dagenais D., Thomas I., Paquette S. Siting green stormwater infrastructure in a neighbourhood to maximise secondary benefits: lessons learned from a pilot project. *Landscape Research*, 2017, vol. 42, no. 2, pp. 195–210.

17. Kobjek E. Anthropogenic transformation and the possibility of renaturalising small rivers and their valleys in cities – Łódź and Lviv examples. *European Spatial Research and Policy*, 2015, vol. 22, no. 1, pp. 45–60.
18. Kim A.N., Mikhailov A.V. Urban stormwater treatment on local passive systems. *Water and Ecology: problems and solutions*, 2017, no. 4, pp. 40–52. In Rus.
19. Hall M.J., Ellis J.B. Water quality problems of urban areas. *GeoJournal*, 1985, vol. 11, iss. 3, pp. 265–275.
20. Orlov B.V., Boykova I.G., Volshnik V.V. *Upravlenie stokom s territorii megapolisa* [Managing runoff from areas of the metropolis]. Moscow, MGSU Publ., 2015. 288 p.
21. Zhang M., Chen H., Wang J., Pan G. Rainwater utilization and storm pollution control based on urban runoff characterization. *Journal of Environmental Sciences*, 2010, vol. 22 (1), pp. 40–46.
22. Chernogaeva G.M., Zhadanovskaya E.A. Zagryazneniya poverkhnostnykh vod na urbanizirovannykh territoriyakh subektov Rossiyskoy Federatsii [The pollution of surface runoff in the urban territories of the Russian Federal subjects]. *Voprosy geografii. Sb. 145. Gidrologicheskie izmeneniya* [Problems of geography. Vol. 145. Hydrological changes]. Moscow, Kodeks Publ. House, 2018. pp. 414–423.
23. Shashulovskaya E.A., Mosiyash S.A., Filimonova I.G., Grishina L.V., Cousina E.G. Hydro-chemical basis of biological productivity in the closing reservoirs of the Volga cascade. *Proceedings of the Zoological Institute RAS*, 2016, vol. 320, no. 3, pp. 367–376. In Rus.
24. Sheshnev A.S. Man-caused landslides in gully systems of the Saratov city: the Glebuhev ravine case study. *Geomorfologiya*, 2017, no. 3, pp. 30–37. In Rus.
25. *Prikaz Ministerstva selskogo khozyaystva RF № 552 ot 13.12.2016 «Ob utverzhdenii normativov kachestva vody vodnykh obektov rybohozyaystvennogo znacheniya, v tom chisle normativov predelno dopustimykh kontsentratsiy vrednykh veshchestv v vodakh vodnykh obektov rybokhozyaystvennogo znacheniya»* [On the approval of water quality standards for water bodies of fishery importance, including standards for maximum permissible concentrations of harmful substances in the waters of water bodies of fishery importance, order of the ministry of agriculture of the Russian Federation No. 552 of December 13, 2016.]. Available at: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201701160006> (accessed 28 June 2019).
26. Sheshnev A.S., Eremin V.N., Reshetnikov M.V. The quality of urban storm water in drainage system on the territory of Saratov. *PNRPU Bulletin. Applied ecology. Urban development*, 2018, no. 3, pp. 108–118. In Rus.
27. Jamwal P., Mittal A.K., Mouchel J.-M. Effects of urbanisation on the quality of the urban runoff for Delhi watershed. *Urban Water Journal*, 2008, vol. 5, no. 3, pp. 247–257.
28. Voronov A.A., Malyshkina E.S., Vyalkova E.I., Maksimova S.V. Development of the Rational Urban Engineering Systems for the Surface Wastewater Treatment. *Urban Construction and Architecture*, 2018, vol. 8, no. 3, pp. 43–50. In Rus.
29. Zelenáková M., Vranayová Z., Repel A., Kaposztasová D. Surface runoff in urban area – case study. *New Trends in Urban Drainage Modelling*. Champ, Springer, 2019. pp. 152–156.

Received: 29 January 2020.

Information about the authors

Aleksandr S. Sheshnev, Cand. Sc., head of the Laboratory, National Research Saratov State University.