

## ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГОРОДСКОГО УЧАСТКА РЕКИ РАЗДАН (Г. ЕРЕВАН) ПО ГИДРОХИМИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ

Г.Г. Бабаян

Центр эколого-ноосферных исследований НАН РА, Республика Армения, 0025, г. Ереван, ул. Абовяна, 68,  
координатор аналитических работ,  
d-p tex. наук; e-mail: gayane.babayan@cens.am

Оценено качество воды реки Раздан в пределах города Ереван по гидрохимическим показателям с использованием канадского индекса качества воды (*CCME WQI*) и экологических (региональных) нормативов Республики Армения (функционирование экосистем, рыбоводство и защита). Гидрохимические наблюдения проводились два раза в год (период паводка и межени) на восьми стационарных пунктах в 2012–2018 гг. по 21 показателю. По значению индекса вода реки классифицирована на пять категорий качества: отличное (95–100), хорошее (80–94), удовлетворительное (60–79), неудовлетворительное (45–59) и плохое (0–44).

Показано, что вниз по течению реки качество воды ухудшается: значение индекса качества воды на входе в город (пункт Нг<sub>в</sub>-6) составило 41, на выходе из него (Нг<sub>в</sub>-8) – 37. Наблюдается также ухудшение качества в последние годы – с 47 в 2012 г. до 37 в 2018 г. По коэффициенту детерминации степень (амплитуда) отклонения от нормативов ( $F_3$ ) и число превышающих нормативы показателей ( $F_1$ ) в большей степени влияют на конечный результат индекса, составляя 82 и 80% соответственно. В наибольшей степени ухудшение качества воды обусловлено минеральными соединениями азота (24%), хлоридами (24%), фосфатами (23%), натрием (14%), сульфатами (6%), тяжелыми металлами (2%).

По результатам исследований заключено, что вода в реке Раздан в пределах Еревана в целом плохого качества. Именно антропогенные факторы, такие как изменение естественного гидрологического режима, регулирование стока, одновременность и неравномерность поступления загрязняющих веществ из рассеянных и точечных источников загрязнения, определяют аномалию распределения гидрохимических показателей по станциям отбора проб городского участка реки Раздан в различные годы.

Предложено при планировании дальнейших мониторинговых исследований усилить контроль качества воды в пунктах Нг<sub>в</sub>-1, Нг<sub>в</sub>-6 и Нг<sub>в</sub>-8, уделив особое внимание определению репрезентативных показателей загрязнения, таких как аммиачный, нитритный и нитратный азот, фосфаты, показатели солевого состава воды.

**Ключевые слова:** гидрохимические наблюдения, городская река, оценка качества воды

### ВВЕДЕНИЕ

Негативные последствия урбанизации территорий проявляются в ухудшении состояния всей окружающей природной среды и особенно ощутимо сказываются на экологическом состоянии городских рек [Перельман и др., 1999]. Река Раздан имеет исключительно важное народно-хозяйственное и рекреационное значение для Армении. Ее бассейн является наиболее густонаселенной территорией (7 городов и более 30 сел) и испытывает влияние комплекса антропогенных факторов [Национальное..., 2008–2018]. В наибольшей степени такое влияние сказывается на 36-километровом участке реки в пределах Еревана. Развитие миллионного города в течении многих лет сопровождалось нарушением природно-экологической обстановки в бассейне реки и интенсивным точечным и рассредоточенным загрязнением воды [Сагателян и др., 2017]. Источниками загрязняющих веществ являются почвы (эрозия, поверхностный сток, дренажные воды, атмосферные осадки), ливневые воды с территории города, строительство, до-

рожный транспорт и др. Среди прямых сбросов можно отметить неочищенные хозяйственно-фекальные и промышленные сточные воды централизованного водоотведения, дождевой канализации, промышленные и хозяйственно-бытовые сточные воды систем централизованного и нецентрализованного водоотведения и др. [Сагателян и др., 2017; Национальное..., 2008–2018].

В Армении начиная с 2011 г. широко используются экологические (региональные) нормативы поверхностных вод, которые включают пять классов водопользования для рек 14 крупных речных бассейнов Республики, в том числе ереванского участка реки Раздан [О создании..., 2004; Об определении..., 2011]. Каждый класс характеризуется сравнительно небольшим числом конкретных загрязняющих веществ, для каждого из которых установлены предельно-допустимые значения. Они рассчитаны по результатам наблюдений государственной службы мониторинга природной среды за десятилетний период (среднестатистические кон-

центрации показателей) и, по сути, являются фоновыми для данного водного объекта или его участка [Центр мониторинга..., 2009–2019]. В Республике не установлен порядок расчета комплексного индекса загрязненности поверхностных вод. В литературе приводится множество методов оценки качества воды с использованием индексов, которые количественно определяют степень отклонения ряда показателей от целевых или фоновых концентраций [Rickwood et al., 2009; Usman et al., 2018; Alam et al., 2007; Tyagi et al., 2013; Mehmet et al., 2014]. Среди них в последние десятилетия широкое распространение получил индекс качества воды (*CCME WQI*), разработанный канадским министерством окружающей среды [Saffran et al., 2001; Khan et al., 2003; Halliwell et al., 2006]. Индекс качества воды – это математический инструмент, используемый для преобразования больших количеств гидрохимических данных в одно число с учетом трех факторов ( $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_3$ ) и последующей классификацией на пять категорий – от «отличного» до «плохого» качества с числовыми значениями 0–100. Первый фактор оценивает число превышающих нормы показателей, второй – число определений, превышающих нормы, третий – степень (амплитуду) отклонения от норм. Одним из преимуществ метода является также свободный выбор гидрохимических показателей [Saffran et al., 2001; Halliwell et al., 2009; Bilgin et al., 2018]. Именно этот метод рекомендует Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) для оценки качества питьевой воды, а также Национальная служба мониторинга Армении – для оценки загрязненности поверхностных вод [Drinking..., 2007; Центр мониторинга..., 2009–2019]. Результаты исследований по искомой тематике на репрезентативном гидрохимическом материале, в том числе и посвященных опыту использования канадского метода, были опубликованы также российскими авторами [Алексеевский и др., 2016; Заславская и др., 2019].

Целью настоящих исследований является оценка пространственно-временной изменчивости загрязненности воды реки Раздан в черте города Еревана с использованием индекса качества воды (*CCME WQI*) и экологических (региональных) нормативов. В условиях недостаточной изученности городского участка реки организация гидрохимических наблюдений является первым и наиболее важным шагом для сохранения и восстановления экосистемы городской реки.

#### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Река Раздан берет начало из высокогорного озера Севан, в верховьях течет по горной долине на

юг к Еревану, в низовьях – по Араратской равнине и на границе с Турцией впадает в реку Аракс. Площадь бассейна составляет 2565 км<sup>2</sup>; длина – 146 км; основные статьи водного баланса (речной сток) – 733, атмосферные осадки – 1572, испарение – 876 млн м<sup>3</sup>/год [Национальный..., 2007]. Река относится к типу горных водотоков со смешанным питанием – подземным, снежным и дождевым. Для водного режима характерны фазы весеннего половодья, летне-осенней и зимней межени. В верховьях реки доминирует влияние озера Севан и поэтому вода более минерализована, чем в низовьях. В естественных условиях в период весеннего половодья вниз по течению реки (под воздействием притока реки Мармарик) минерализация воды снижается, а в межень соответствует минерализации озерной воды и остается примерно постоянной до входа в город [Национальный..., 2007; Ресурсы поверхностных вод СССР, 1973].

В черте Еревана (площадь – 223 км<sup>3</sup>, высота – 900–1300 м над уровнем моря, население – 1,18 млн человек, климат – резко континентальный) антропогенное влияние на реку усиливается [Национальное..., 2008–2018; Национальный..., 2007]. Этому способствуют распространение водонепроницаемых вулканогенно-осадочные пород в бассейне реки и большие уклоны склонов. Поверхностный дождевой и паводковый сток с городских территорий, а также близлежащих сельскохозяйственных угодий и приусадебных участков без очистки через открытые системы (кюветы, каналы, лотки дорог) отводится непосредственно в реку [ЗАО «Веолия Джур», 2015–2019]. В Ереване находится около 65% промышленных и коммунально-бытовых предприятий Республики, среди которых «Молибден продакшн», «Чистое железо», «Полипласт», «Наирит», «АрменАл», Ереванский коньячный завод, Ереванская ТЭЦ (550 тыс. кВт) и др. [Национальное..., 2008–2016]. Загрязняют воду частично очищенные сточные воды централизованного водоотведения: на Ереванскую станцию аэрации поступают коммунальные и производственные стоки Еревана, Чаренцавана, Абовяна и Бюрегавана. В последние годы станция практически не работала, и только с 2019 г. начаты работы по ее реконструкции [ЗАО «Веолия Джур», 2015–2019]. В некоторых местах в реку отдельными выпусками поступают канализационные воды, которые не отводятся централизованными системами. Непосредственно в прибрежной зоне городского участка реки находятся ГЭС, насосные станции, зоны отдыха, кафе и рестораны. На берегах реки много заболоченных участков и скоплений бытового мусора.

Гидрохимические наблюдения проводились на восьми стационарных пунктах в два гидрологи-

ческих сезона (межень и половодье) за 7-летний период 2012–2018 гг. по 21 гидрохимическому показателю: водородный показатель (рН), электропроводность (ЕС),  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{Cd}$ ,  $\text{Co}$ ,  $\text{Cr}$ ,  $\text{Cu}$ ,  $\text{Mn}$ ,  $\text{Mo}$ ,  $\text{Ni}$ ,  $\text{Pb}$ ,  $\text{Zn}$  (рис. 1).

До входа в Ереван (пункт  $\text{Hr}_w-1$ ) река испытывает влияние комплекса антропогенных факторов: каскада гидроэлектростанций и системы оросительных каналов, Разданского и Мармарикского водохранилищ, более загрязненных вод притока реки Мармарик (в бассейне реки находятся Анкаванское медно-молибденовое и золото-железоносное, Мехрадзорское полиметаллическое и золотоносное ме-

сторождения), неочищенных сточных вод выпусков централизованного водоотведения городов Севан, Раздан и Цахкадзор, точечного и диффузионного загрязнения городов Чаренцаван, Абовян, Бюрегаван и более 20 сел [ЗАО «Армводоканал», 2005–2014; Национальное..., 2008–2018]. Пункты  $\text{Hr}_w-2$ ,  $\text{Hr}_w-3$ ,  $\text{Hr}_w-4$ ,  $\text{Hr}_w-5$  и  $\text{Hr}_w-6$  находятся в различных районах и испытывают влияние городских застроек различной интенсивности. До пункта  $\text{Hr}_w-7$  в реку поступают более загрязненные воды притока реки Гетар, после которого сток реки зарегулирован Ереванским водохранилищем. В пункте  $\text{Hr}_w-8$  река принимает сточные воды Ереванской станции аэрации [Бабаян, 2007; ЗАО «Веолия Джур»..., 2015–2019].

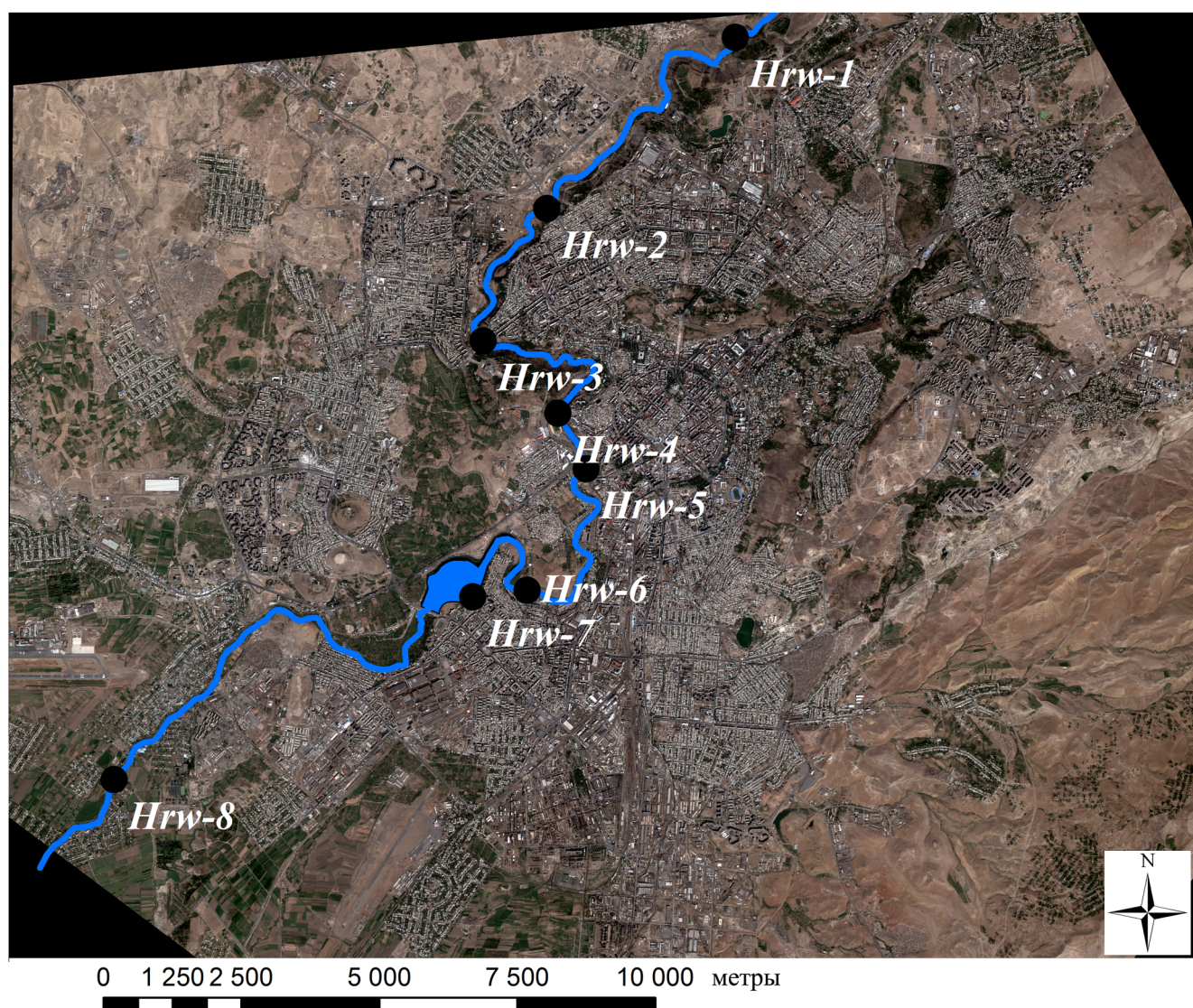


Рис. 1. Схема пунктов отбора проб воды в реке Раздан в пределах Еревана

Fig. 1. Scheme of water sampling points on the Hrazdan River within the city of Yerevan

Пробы воды отбирались из центральных частей реки в 0,5–1,5-литровые новые пластиковые бутыл-

ки из поливинилхлорида (ПВХ). Контроль качества полевых работ осуществлялся анализом повторных

и нулевых (холостых) проб. Нулевая проба (дистиллированная вода) № 1 остается в лаборатории, проба № 2 перевозится без обработки, № 3 обрабатывается (консервируется) при пробоотборе как и основная проба. Пробы доставлялись в лабораторию в течение 1–2 часов. В качестве консерванта для тяжелых металлов использовалась концентрированная азотная, а для фосфатов – серная кислоты (до  $\text{pH} \leq 2$ ). Пробы анализировались в лаборатории Центра эколого-ноосферных исследований НАН РА (Сертификат 027/T-029 ИСО/IEC17025-2005) согласно следующим методам анализа:  $\text{pH}$  – ISO-10523; электропроводность – ISO-7888; мутность – ISO-7027;  $\text{O}_{2\text{ раст}}$  – ISO-5813;  $\text{HCO}_3^-$  и  $\text{CO}_3^{2-}$  – ISO-9963-1;  $\text{Cl}^-$  – ISO-9297;  $\text{SO}_4^{2-}$  – ISO-9280;  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  – ISO-6059;  $\text{Na}^+$  и  $\text{K}^+$  – ISO-9964-3;  $\text{NH}_4^+$  – ISO-7150-1;  $\text{NO}_3^-$  – ISO-6777;  $\text{NO}_2^-$  – ISO-7890-3;  $\text{PO}_4^{3-}$  – ISO-6878. Тяжелые металлы определялись методом атомно-абсорбционной спектроскопии (Perkin Elmer Analyst 800) с электротермическим атомизатором (Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Mo, Ni, Pb, Zn – ISO15586:2011). Точность аналитических работ проверена анализом стандартных растворов (стандарт № 9300281) и повторных проб воды ( $n = 3$ ). Погрешность измерений тяжелых металлов составляла (PD%): Cd – 0,58; Co – 1,20; Cr – 1,05; Cu – 1,55; Mo – 1,25; Ni – 2,04; Pb – 2,34; Zn – 5,20; точность (RPD%) – 4,89; 5,25; 1,25; 2,54; 2,52; 5,21; 6,85; 4,03; 6,25% соответственно. Пределы обнаружения прибора составляли: Cd – 0,03; Co – 0,5; Cu – 0,1; Mo – 0,5; Ni – 0,8; Pb – 0,6; Zn – 10 мкг/л.

Методика расчета индекса качества воды позволяет свободный выбор показателей по решению самого исследователя (но не менее четырех взятых 4 раза) [CCME, 2001]. В качестве стандартов использованы действующие в Армении экологические нормы реки Раздан для изученного участка реки II хорошего класса, достаточного для функционирования экосистем, рыбоводства и защиты (далее функционирование экосистем) [Об определении..., 2011].

Индекс качества воды получен путем векторного суммирования трех факторов (сумма квадратов каждого фактора равна квадрату индекса)

$$CQWI = 100 - \frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}}{1,732}, \quad (1)$$

где  $F_1$  – оценивает число превышающих нормы показателей,  $F_2$  – число определений, превышающих нормы,  $F_3$  – степень (амплитуду) отклонения от норм. Величина 1,732 нормализует полученные значения в диапазоне от 100 до 0; 0 – худшее качество воды, 100 – лучшее. По значению индекса вода классифицируется на пять категорий качества [CCME, 2001]:

отличная:  $CCME\ WQI = 95-100$ ;  
хорошая:  $CCME\ WQI = 80-94$ ;  
удовлетворительная:  $CCME\ WQI = 60-79$ ;  
неудовлетворительная:  $CCME\ WQI = 45-59$ ;  
плохая:  $CCME\ WQI = 0-44$ .

Чтобы оценить, какой из факторов ( $F_1$ ,  $F_2$  или  $F_3$ ) вносит наибольший вклад в индекс, средствами Microsoft Excel проведен регрессионный анализ. По значению коэффициента детерминации определена теснота связи индекса качества воды с каждым из факторов [Дрейпер и др., 2007].

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты исследований качества воды реки Раздан по 21 гидрохимическому показателю на восьми постах наблюдения за 2012–2018 гг. приведены в таблице 1.

По химическому составу воды относятся к гидрокарбонатному классу и кальциевой группе средней минерализации. Превышение нормативов второго класса наблюдается по многим показателям. В наибольшей степени превышение максимальных концентраций характерно для  $\text{NH}_4^+$  – 100,  $\text{Na}^+$  – 54,  $\text{PO}_4^{3-}$  – 59 раз. Наибольший разброс значений концентраций изученных показателей вокруг среднего по величине коэффициента вариации отмечен для  $\text{NH}_4^+$ , Ni, Pb, Cr,  $\text{PO}_4^{3-}$ . Об отклонении распределения от нормального закона также свидетельствует разница между средними значениями изученных показателей и медианой: наибольшая разница между ними отмечена для Ni, Pb,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ . Для остальных показателей получены низкие значения коэффициентов вариации, а значения медианы практически совпадают со средними концентрациями показателей.

Исходя из полученных результатов, а также по скольку класс качества воды определяется по наихудшему значению [Об определении..., 2011], можно заключить, что вода в реке Раздан в пределах города Еревана плохого качества. Превышение нормативов и выраженную изменчивость концентраций гидрохимических показателей можно объяснить интенсивным загрязнением реки на всем протяжении городского участка.

Для выявления пространственно-временных закономерностей гидрохимических показателей индекс качества воды рассчитан по пунктам наблюдений ( $\text{Hr}_w-1$ – $\text{Hr}_w-8$ ) и по годам наблюдения 2012–2018 гг. (табл. 2, 3).

Уже на входе в город ( $\text{Hr}_w-1$ ) вода реки плохого качества: индекс качества воды составляет 41 (рис. 2А). В следующих четырех пунктах значения индекса качества воды несколько увеличиваются и достигают максимальных в пункте  $\text{Hr}_w-4$  и остаются

ся примерно постоянными до пункта Нw-5 (Нг<sub>w</sub>-2 – 43; Нг<sub>w</sub>-3 – 43; Нг<sub>w</sub>-4 – 45; Нг<sub>w</sub>-5 – 44). На формирование качества воды на этих участках влияет разная

плотность городской застройки и интенсивно протекающие процессы самоочищения воды в виду морфологических и гидрологических особенностей

Таблица 1

**Экологические нормативы II класса и статистические гидрохимические показатели качества воды в реке Раздан за 2012–2018 гг.**

| Показатель                    | Единицы измерения | Нормы II класса | N   | Среднее | Медиана | Max    | Min  | δ     | C <sub>v</sub> |
|-------------------------------|-------------------|-----------------|-----|---------|---------|--------|------|-------|----------------|
| pH                            | –                 | 6,5–8,5         | 112 | 8,2     | 8,2     | 9,7    | 7,2  | 0,5   | 5,6            |
| ЕС                            | мкСм/см           | 227,4           | 112 | 764,8   | 748,0   | 1825,0 | 10,4 | 334,7 | 43,8           |
| SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | мг/л              | 20,6            | 112 | 80,7    | 82,3    | 146,1  | 0,3  | 32,3  | 40,0           |
| Cl <sup>-</sup>               | мг/л              | 8,5             | 112 | 108,5   | 107,1   | 246,1  | 0,3  | 49,2  | 45,4           |
| Ca <sup>2+</sup>              | мг/л              | 100             | 112 | 48      | 50      | 84     | 20   | 12    | 27             |
| Mg <sup>2+</sup>              | мг/л              | 50              | 112 | 22      | 23      | 37     | 9    | 6     | 29             |
| Na <sup>+</sup>               | мг/л              | 10              | 112 | 81      | 72      | 840    | 17   | 80    | 99             |
| K <sup>+</sup>                | мг/л              | 3,0             | 112 | 7,9     | 6,5     | 98,3   | 3,4  | 8,9   | 113,6          |
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>  | мг/л              | 0,4             | 112 | 1,1     | 0,4     | 40,0   | 0,1  | 4,0   | 357,0          |
| NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>  | мг/л              | 0,06            | 112 | 0,13    | 0,06    | 0,79   | 0,00 | 0,15  | 12,83          |
| NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>  | мг/л              | 2,5             | 112 | 13,4    | 9,0     | 69,3   | 0,4  | 12,8  | 95,8           |
| PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> | мг/л              | 0,1             | 112 | 1,3     | 0,7     | 5,9    | 0,0  | 1,5   | 115,4          |
| Cd                            | мкг/л             | 1,02            | 96  | –       | –       | 0,23   | 0,01 | –     | –              |
| Co                            | мкг/л             | 0,28            | 96  | 0,20    | 0,25    | 1,31   | 0,03 | 0,17  | 88,18          |
| Cr                            | мкг/л             | 11,0            | 96  | 1,6     | 1,2     | 17,2   | 0,0  | 1,9   | 120,1          |
| Cu                            | мкг/л             | 23              | 104 | 10      | 8       | 49     | 1    | 7     | 74             |
| Mn                            | мкг/л             | 10              | 104 | 20      | 17      | 110    | 0    | 16    | 83             |
| Mo                            | мкг/л             | 14              | 96  | 3       | 3       | 10     | 0    | 2     | 77             |
| Ni                            | мкг/л             | 11              | 96  | 0       | 0       | 5      | 0    | 1     | 140            |
| Pb                            | мкг/л             | 10,3            | 96  | 0,9     | 0,3     | 5,9    | 0,0  | 1,2   | 137,1          |
| Zn                            | мкг/л             | 100             | 104 | 19      | 14      | 91     | 1    | 17    | 89             |

Примечание: N – число проб; концентрации: Max – максимальные, Min – минимальные; δ – стандартное отклонение; C<sub>v</sub> – коэффициент вариации.

Таблица 2

**Результаты расчета CCME WQI реки Раздан по пунктам отбора проб**

| Пункт              | Число показателей, превышающих норму (из 21) | F <sub>1</sub> | F <sub>2</sub> | F <sub>3</sub> | CCME WQI | Качество воды        |
|--------------------|----------------------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------|----------------------|
| Нг <sub>w</sub> -1 | 12                                           | 33,18          | 24,98          | 41,84          | 41,39    | Плохое               |
| Нг <sub>w</sub> -2 | 11                                           | 31,64          | 24,68          | 43,67          | 43,32    | Плохое               |
| Нг <sub>w</sub> -3 | 11                                           | 31,52          | 26,10          | 42,39          | 43,47    | Плохое               |
| Нг <sub>w</sub> -4 | 11                                           | 32,66          | 24,59          | 42,75          | 45,25    | Неудовлетворительное |
| Нг <sub>w</sub> -5 | 11                                           | 31,77          | 26,09          | 42,15          | 43,96    | Плохое               |
| Нг <sub>w</sub> -6 | 13                                           | 34,90          | 25,66          | 39,44          | 40,00    | Плохое               |
| Нг <sub>w</sub> -7 | 11                                           | 31,35          | 27,89          | 40,76          | 43,57    | Плохое               |
| Нг <sub>w</sub> -8 | 12                                           | 31,19          | 25,24          | 43,58          | 37,34    | Плохое               |

реки, таких как перекаты, извилистость русла, скорость течения и др. Вниз по течению, в пункте Нг<sub>в</sub>-6, качество воды ухудшается (40); на этом участке реки жилые застройки и промышленные объекты находятся в непосредственной близости от береговой линии. В Ереванском водохранилище

(Нг<sub>в</sub>-7) качество воды улучшается (44) по причине зарегулирования стока, а в пункте Нг<sub>в</sub>-8 снова значительно ухудшается (37). Этот пункт является наиболее загрязненным, поскольку выше по течению в реку поступают неочищенные сточные воды Ереванской станции аэрации.

Таблица 3

### Результаты расчета *CCME WQI* реки Раздан по годам наблюдений

| Год  | Число показателей, превышающих норму (из 21) | $F_1$ | $F_2$ | $F_3$ | <i>CCME WQI</i> | Качество воды        |
|------|----------------------------------------------|-------|-------|-------|-----------------|----------------------|
| 2012 | 10                                           | 30,46 | 27,22 | 42,32 | 46,90           | Неудовлетворительное |
| 2013 | 12                                           | 33,45 | 25,79 | 40,76 | 42,11           | Плохое               |
| 2014 | 10                                           | 32,40 | 25,10 | 42,50 | 49,89           | Неудовлетворительное |
| 2015 | 11                                           | 32,10 | 25,90 | 42,01 | 44,50           | Неудовлетворительное |
| 2016 | 12                                           | 34,85 | 25,41 | 39,74 | 44,48           | Неудовлетворительное |
| 2017 | 13                                           | 34,49 | 21,39 | 44,13 | 37,87           | Плохое               |
| 2018 | 12                                           | 27,41 | 32,64 | 39,95 | 37,01           | Плохое               |

За 7-летний период наблюдений (см. рис. 2Б) наиболее низкие значения индекса и плохое качество воды отмечены в 2018 (37) и 2017 гг. (38), а наиболее высокие значения и неудовлетворительное качество – в 2014 (50) и 2012 гг. (47). В целом, можно отметить выраженную тенденцию ухудшения качества воды в последние годы. При обсуждении причин полученных неудовлетворительных результатов в первую очередь рассматривалось возможное влияние природных условий на гидрохимический режим городского участка реки. Однако, за последние годы ощутимых изменений климатических, морфологических, гидрологических факторов в бассейне реки не наблюдалось. Не изменились также попуски воды из озера Севан, составляя в среднем 214 млн м<sup>3</sup> в год. Поэтому именно антропогенные факторы могут иметь определяющее значение при формировании качества воды городского участка реки. Так, причиной наименее низких значений индекса в пункте Нг<sub>в</sub>-8 в последние годы скорее всего является выход из строя практически всех конструкций Ереванской очистной станции аэрации (в связи с ее реконструкцией работа станции, начиная с 2018 г., приостановлена) и соответственно плохая очистка канализационных (хозяйственно-бытовых и производственных) сточных вод города с миллионным населением и развитой промышленностью. Для остальных пунктов и лет наблюдений отмечена незначительная разница между абсолютными величинами индекса, что свидетельствует об отсутствии крупных и постоянных источников загрязнения воды.

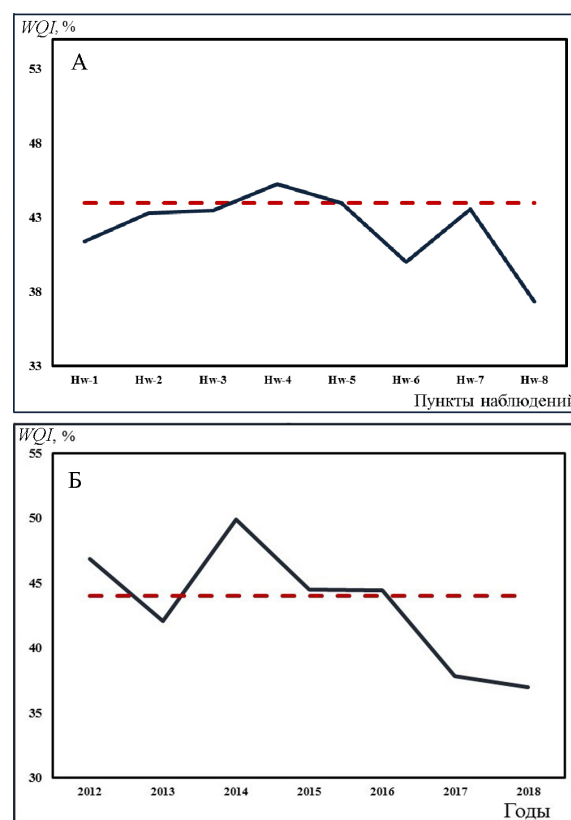


Рис. 2. Динамика изменения индекса качества воды в реке Раздан по пунктам наблюдения (А) и по годам (Б). Пунктирная линия соответствует верхней границе «плохой» категории качества воды.  $WQI = 44$

Fig. 2. Dynamics of changes in the water quality index of the Hrazdan River by observation points (А) and years (Б). The dotted line corresponds to the upper limit of the “bad” water quality category.  $WQI = 44$

По результатам регрессионного анализа коэффициент детерминации ( $R$ -квадрат) наибольший у фактора  $F_3$ , т. е. этот фактор на 82% определяет индекс качества воды (табл. 4). Влияние фактора  $F_1$  (80%) на индекс также значимо. Коэффициент детерминации фактора  $F_2$  меньше 50% (44%) и поэтому влияние его на индекс минимально.

То есть степень (амплитуда) отклонения от нормативов ( $F_3$ ) и число превышающих нормативы показателей ( $F_1$ ) в большей степени влияют на конечный результат индекса качества воды.

Наибольший вклад в величину фактора  $F_3$  имеют соединения азота и фосфора, составляющие сум-

марно 47%, показатели солевого состава составляют 46% (хлориды – 23; натрий – 14; сульфаты – 6%). Влияние тяжелых металлов на качество воды незначительно и составляет 2,19%.

Источниками поступления в воду соединений азота и фосфора, а также практически всех изученных показателей скорее всего являются хозяйственно-фекальные, а хлоридов, сульфатов и натрия – производственные сточные воды. Сульфаты, хлориды и другие показатели солевого состава воды также поступают в реку с ливневым стоком с городских территорий, а фосфаты и нитраты – с обратными водами орошения.

Таблица 4

### Регрессионный анализ взаимосвязей между индексом качества воды и факторами $F_1$ , $F_2$ и $F_3$

| Параметр / фактор          | $F_1$ | $F_2$ | $F_3$ |
|----------------------------|-------|-------|-------|
| Множественный $R$          | 0,89  | 0,69  | 0,90  |
| $R$ -квадрат               | 0,80  | 0,48  | 0,82  |
| Нормированный $R$ -квадрат | 0,78  | 0,44  | 0,81  |
| Стандартная ошибка         | 8,17  | 13,15 | 7,73  |
| Наблюдения                 | 16    | 16    | 16    |

### ВЫВОДЫ

1. Река Раздан в пределах Еревана испытывает многофакторное антропогенное воздействие крупного города, что проявляется в ухудшении качества воды; по результатам расчета канадского индекса качества воды (*CCME WQI*) экологическое состояние реки по гидрохимическим показателям классифицировано как плохое и неудовлетворительное.

2. Вниз по течению реки качество воды ухудшается; индекс качества воды наибольший в промежуточном пункте наблюдения (пункт Нг<sub>в</sub> -4 – 45) и наименьший на выходе из города (пункт Нг<sub>в</sub> -8 – 37). Наблюдается также ухудшение качества воды в последние годы; в 2012 г. значение индекса составляло 47, а в 2018 г. – 37.

3. По коэффициенту детерминации факторы  $F_3$  на 82%, а  $F_1$  на 80% определяют индекс качества воды. Показателями, в наибольшей степени влияющими на ухудшение качества воды, являются минеральные соединения азота (24%), хлориды (24%), фосфаты (23%), натрий (14%), сульфаты (6%), тяжелые металлы (2,2%).

4. Качество воды в реке Раздан в пределах Еревана формируют хозяйственно-фекальные и производственные сточные воды, рассеянный сток с городских территорий, обратные воды орошения. Результаты исследований могут быть направлены на проведение природоохранных мероприятий, а также для планирования мониторинговых исследований.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алексеевский Н.И., Заславская М.Б., Гончаров А.В. Методические подходы к изучению и параметризации качества воды // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2016. № 2. С. 13–21.
- Бабаян Г.Г. Малые горные реки Армении: оценка загрязнения сточными водами выпусков канализационных коллекторов // Известия аграрной науки. 2007. Т. 5. № 1. С. 44–48.
- Дрейпер Н.Р., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. 3-е изд. М.: Вильямс, Диалектика. 2007. 209 с.
- ЗАО «Армводоканал». Годовые отчеты за 2005–2014 гг. (На арм. яз.)
- Заславская М.Б., Ерина О.Н., Ефимова Л.Е. Сопоставление эффективности параметризации качества речных вод различными методами в условиях значительного антропогенного воздействия // География и природные ресурсы. 2019. № 2. С. 31–37.
- Национальный атлас Армении. Ереван: Геодезический и картографический центр, 2007. 229 с. (На арм. яз.)

- О создании бассейнов территориального управления и утверждении их планов. Решение № 1749 Правительства РА. 2004. (На арм. яз.)
- Об определении норм обеспечения качества вод для управления территориями отдельных водных бассейнов, в зависимости от особенностей местности. Решение № 75 Правительства РА. 2011. (На арм. яз.)
- Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта. М.: Астрель-2000, 1999. 610 с.
- Ресурсы поверхностных вод СССР. Бассейн реки Аракс. М.: Гидрометеиздат, 1973. Т. 9. 247 с.
- Сагателян А.К., Бабалян Г.Г. Саакян Л.В. Гидрохимия рек Армении и Нагорного Карабаха. LAP LAMBERT Academic publishing, 2017. 216 с.
- Alam M.J.B., Islam M.R., Muyen Z., Mamun M. Water quality parameters along rivers, *International Journal of Environmental Science and Technology*, 2007, no. 4(1), p. 159–167, DOI: 10.1007/BF03325974.
- Bilgin A. Evaluation of surface water quality by using Canadian Council of Ministers of the Environment Water Quality Index (CCME WQI) method and discriminant analysis method: a case study Coruh River Basin, *Environ. Monit. Assess.*, 2018, no. 190(9), p. 554.
- Drinking Water Quality Index Development and Sensitivity Analysis Report, Prepared and published by the United Nations Environment Programme*, GEMS, 2007, ISBN 92-95039-14-9.
- Halliwell D., Sharma T. Application of the CCME Water quality index to monitor water quality: a case study of the Mackenzie River Basin, Canada, *Environmental Monitoring and Assessment*, 2006, no. 113, p. 411–429.
- Khan F., Lumb A., Husain T. Water quality evaluation and trend analysis in selected watersheds of the Atlantic region of Canada, *Environmental Monitoring and Assessment*, 2003, no. 88(1–3), p. 221–242, DOI: 10.1023/A:1025573108513.
- Mehmet A.T., Huseyin K.S. Parameters selection for water quality index in the assessment of the environmental impacts of land-based trout farms, *Ecological Indicators*, 2014, no. 36, p. 672–681.
- Rickwood C.J., Carr G.M. Development and sensitivity analysis of a global drinking water quality index, *Environmental Monitoring and Assessment*, 2009, no. 156(1–4), p. 73–90, DOI: 10.1007/s10661-008-0464-6.
- Rosemond S., Duro D., Dube M. Comparative analysis of regional water quality in Canada using the Water Quality, *Monit. Assess.*, 2009, no. 156, p. 223–240.
- Saffran K.A., Cash K.J., Hallard K.A., Wright R. Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life, CCME WATER QUALITY INDEX 1.0, User's Manual, 2001.
- Tyagi S., Sharma B., Singh P. Water Quality Assessment in Terms of Water Quality Index, *American Journal of Water Resources*, 2013, no. 1(3), p. 34–38, DOI: 10.12691/ajwr-1-3-3.
- Usman A., Dube K., Shukla S.P., Salaksar P. Water Quality Index as a Tool for Assessment of Status of an Urban Lake of Mumbai, *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 2018, no. 7(04), p. 520–533, DOI: 10.20546/ijcmas.2018.704.061.
- Электронные источники*
- ЗАО «Веолия Джур». Годовые отчеты за 2015–2019 гг., URL: <https://www.veolia.am/hy> (дата обращения 16.05.2020). (На арм. яз.)
- Национальное статистическое управления РА. Окружающая среда и природные ресурсы: годовые отчеты за 2008–2018, URL: <http://www.armstat.am/am/> (дата обращения 16.05.2020). (На арм. яз.)
- Центр мониторинга воздействия на окружающую среду. Годовые отчеты за 2009–2019 гг., URL: <http://www.armmonitoring.am/> (дата обращения 16.05.2020). (На арм. яз.)

Поступила в редакцию 04.09.2019

После доработки 25.10.2021

Принята к публикации 27.12.2021

# ASSESSMENT OF THE ECOLOGICAL STATE WITHIN THE URBAN SECTION OF THE HRAZDAN RIVER (YEREVAN CITY) BASED ON HYDROCHEMICAL INDICATORS

G.H. Babayan

*Center for Ecological-Noosphere Studies NAS RA, Yerevan 0025, Abovian-68, Republic of Armenia,  
coordinator of analytical works, D.Sc. in Technology; e-mail: gayane.babayan@cens.am*

The Hrazdan River water quality within the city of Yerevan was assessed by hydrochemical parameters using the Canadian Water Quality Index (CCME WQI) and ecological (regional) standards accepted by the Republic of Armenia for the functioning of ecosystems, fishery, and protection. Hydrochemical observations by 21 indicators were carried out twice a year (in low- and high-water periods) on 8 permanent stations from 2012 to 2018. The river water is classified into 5 quality classes by the water quality index values: high (95–100), good (80–94), moderate (60–79), poor (45–59) and bad (0–44).

It is shown that water quality becomes poorer downstream the river: from water quality index values of 41 when entering the city (station Hr<sub>w</sub>-6), to 37 when flowing out of the city (Hr<sub>w</sub>-8). Water quality also deteriorated over recent years, from 47 in 2012 to 37 in 2018. By the coefficient of determination, the degree (amplitude) of standard deviations of indices ( $F_3$ ) and the quantity of standard-exceeding indices ( $F_1$ ) largely influence the ultimate result of the index making 82% and 80%, respectively. Water quality deterioration is caused mainly by mineral compounds of nitrogen (24%), chlorides (24), phosphates (23), sodium (14), sulfates (6), and heavy metals (2%).

The research results indicated that in general water in the Hrazdan River section within the city of Yerevan is of “bad” quality. It is anthropogenic factors, namely changes in natural hydrological regime, runoff control, heterochronous and uneven supply of pollutants entering from point and non-point sources, that determine the anomalous distribution of hydrochemical parameters by sampling stations along the urban section of the Hrazdan River in different years.

It is suggested to strengthen water quality control at Hr<sub>w</sub>-1, Hr<sub>w</sub>-6 and Hr<sub>w</sub>-8 stations when planning further monitoring studies, with an emphasis on determination of representative pollution indicators, such as ammonia, nitrite and nitrate nitrogen, phosphates, and indices of salt composition in water.

**Keywords:** hydrochemical observations, urban river, water quality assessment

## REFERENCES

- Alam M.J.B., Islam M.R., Muyen Z., Mamun M. Water quality parameters along rivers, *International Journal of Environmental Science and Technology*, 2007, no. 4(1), p. 159–167, DOI: 10.1007/BF03325974.
- Alekseyevskiy N.I., Zaslavskaya M.B., Goncharov A.V. Metodicheskiye podkhody k izucheniyu i parametrizatsii kachestva vody [Methodological approaches to the study and parameterization of water quality], *Vestn. Mosk. un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2016, no. 2, p. 13–21. (In Russian)
- Babayan G.G. Malye gornyye reki Armenii: otsenka zagryazneniya stochnymi vodami vypuskov kanalizatsionnykh kollektorov [Small mountain rivers of Armenia: assessment of pollution by waste water from sewer outlets], *Izvestiya agrarnoy nauki*, 2007, vol. 5, no. 1, p. 44–48. (In Russian)
- Bilgin A. Evaluation of surface water quality by using Canadian Council of Ministers of the Environment Water Quality Index (CCME WQI) method and discriminant analysis method: a case study Coruh River Basin, *Environ. Monit. Assess.*, 2018, no. 190(9), p. 554.
- Draper N.R., Smith G. *Applied regression analysis*, 3d edition, John Wiley & sons, Inc., 1998, 736 p.
- Drinking Water Quality Index Development and Sensitivity Analysis Report*, Prepared and published by the United Nations Environment Programme, GEMS, 2007.
- Halliwell D., Sharma T. Application of the CCME Water quality index to monitor water quality: a case study of the Mackenzie River Basin, Canada, *Environmental Monitoring and Assessment*, 2006, no. 113, p. 411–429.
- Khan F., Lumb A., Husain T. Water quality evaluation and trend analysis in selected watersheds of the Atlantic region of Canada, *Environmental Monitoring and Assessment*, 2003, no. 88(1–3), p. 221–242, DOI: 10.1023/A:1025573108513.
- Mehmet A.T., Huseyin K.S. Parameters selection for water quality index in the assessment of the environmental impacts of land-based trout farms, *Ecological Indicators*, 2014, no. 36, p. 672–681.
- Natsionalnyy atlas Armenii* [National Atlas of Armenia], Yerevan, Geodezicheskiy i kartograficheskiy tsentr Publ., 2007, 229 p. (In Armenian)
- O sozdanii basseynov territorial'nogo upravleniya i utverzhdenii ikh planov* [On the creation of basins under territorial administration and the approval of their plans], Decision no. 1749 of the Government of the Republic of Armenia, 2004. (In Armenian)
- Ob opredelenii norm obespecheniya kachestva vod dlya upravleniya territoriy ot del'nykh vodnykh basseynov, v zavisimosti ot osobennostey mestnosti* [On the definition of water quality standards for the management of the territories of individual water basins, depending on the characteristics of the area], Decision no. 75 of the Government

- of the Republic of Armenia, 2011. (In Armenian)
- Perelman A.I., Kasimov N.S. *Geokhimiya landshafta* [Landscape geochemistry], Moscow, Astreya-2000 Publ., 1999, 610 p. (In Russian)
- Resursy poverkhnostnykh vod SSSR. Basseyn reki Araks* [Resources of surface waters of the USSR. Basin of the Araks River], Moscow, Gidrometeoizdat Publ., 1973, vol. 9, 247 p. (In Russian)
- Rickwood C.J., Carr G.M. Development and sensitivity analysis of a global drinking water quality index, *Environmental Monitoring and Assessment*, 2009, no. 156(1–4), p. 73–90, DOI: 10.1007/s10661-008-0464-6.
- Rosemond S., Duro D., Dube M. Comparative analysis of regional water quality in Canada using the Water Quality, *Monit. Assess.*, 2009, no. 156, p. 223–240.
- Saffran K.A., Cash K.J., Hallard K.A., Wright R. *Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life*, CCME WATER QUALITY INDEX 1.0, User's Manual, 2001.
- Sagatelyan A.K., Babayan G.G., Saakyan L.V. *Gidrokimiya rek Armenii i Nagornogo Karabakha* [Hydrochemistry of the rivers of Armenia and Nagorno-Karabakh], Izd-vo LAP LAMBERT Academic Publ., 2017, 216 p. (In Russian)
- Tyagi S., Sharma B., Singh P. Water Quality Assessment in Terms of Water Quality Index, *American Journal of Water Resources*, 2013, no. 1(3), p. 34–38, DOI: 10.12691/ajwr-1-3-3.
- Usman A., Dube K., Shukla S.P., Salaksar P. Water Quality Index as a Tool for Assessment of Status of an Urban Lake of Mumbai, *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 2018, no. 7(04), p. 520–533, DOI: 10.20546/ijcmas.2018.704.061.
- ZAO "Armvodokanal", Godovyye otchety [Annual reports], 2005–2014. (In Armenian)
- Zaslavskaya M.B., Erina O.N., Efimova L.E. Comparing the efficiency of river water quality parameterization by different methods under a significant human-induced impact. *Geography and Natural Resources*, 2019, vol. 40, no. 2, p. 122–128.
- Web sources*
- Environmental Impact Monitoring Center. Annual reports 2009–2019*, URL: <http://www.armmonitoring.am/> (access date 16.05.2020). (In Armenian)
- National Statistical Office of RA, *Environment and Natural Resources: Annual Reports 2008–2018*, URL: <http://www.armstat.am/am/> (access date 16.05.2020). (In Armenian)
- ZAO "Veolia Dzhur", Godovyye otchety [Annual reports], 2015–2019, URL: <https://www.veolia.am/hy> (access date 16.05.2020). (In Armenian)

Received 04.09.2019

Revised 25.10.2021

Accepted 27.12.2021