

УДК 556

АНАЛИЗ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РЕКИ ДЕБЕД И ЕЁ ПРИТОКОВ С ПОМОЩЬЮ АРМЯНСКОГО ИНДЕКСА КАЧЕСТВА ВОДЫ

Симомян А.Г.

Ереванский государственный университет, Ереван, e-mail: Sim-simov@mail.ru

Впервые с помощью Армянского индекса качества воды оценено качество воды р. Дебед и её притоков – Памбак, Дзорагет, Марцигет, Ташир и Ахтала. Показано, что от источника до устья рек наблюдается увеличение величины Армянского индекса, что свидетельствует о снижении качества воды рек. Причиной загрязнения является высокое содержание металлов. После городов Степанаван, Ванадзор и Алаверди Армянский индекс качества воды увеличивается, что свидетельствует о снижении качества воды рек, обусловленном загрязнением воды бытовыми сточными водами городов. Качество вод р. Дебед, Памбак, Дзорагет, Ташир, Марцигет и Ахтала комплексно оценено также с помощью других индексов качества воды. Установлена корреляция между Армянским индексом качества воды и другими индексами качества воды.

Ключевые слова: р. Дебед, индексы качества воды, Армянский индекс качества воды, энтропия, геоэкологическая синтропия

ANALYSIS OF THE ENVIRONMENTAL STATE OF DEBED RIVER AND ITS TRIBUTARIES WITH ARMENIAN WATER QUALITY INDEX

Simonyan A.G.

Yerevan State University, Yerevan, e-mail: Sim-simov@mail.ru

Water quality of Debed River and its tributaries – Pambak, Dzoraget, Martsiget, Tashir and Akhtala were been evaluated by Armenian water quality index for the first time. It was shown that from the source to the mouth of the river there is an increase in the value of the Armenian index that indicates a decline in the water quality of rivers water. The cause of contamination is a high metal content. After Stepanavan, Vanadzor and Alaverdi cities Armenian water quality index increases, which indicates a decline in the water quality of rivers due to water pollution with cities domestic wastewater. Water quality river Debed, Pambak, Dzoraget, Tashir, Akhtala and Martsiget comprehensively evaluated also by using other indexes of water quality. The correlation between the Armenian water quality index and other indexes was established.

Keywords: Debed River, water quality indexes, Armenian water quality index, entropy, geoeological syntropy

Оптимальное решение задач, стоящих перед водным хозяйством страны, невозможно без объективной информации о состоянии водных ресурсов, без разработки, внедрения и совершенствования способов, научно обоснованных технологий обработки, анализа и обобщения аналитических данных о составе поверхностных вод, без оценки качества вод. Изучение экологического состояния крупных рек Армении имеет важное значение как для оценки качества воды данных водных объектов, так и для дальнейшего рационального использования вод этих рек.

В Армении для оценки степени загрязненности воды используются комплексные показатели, которые позволяют: количественно оценить загрязненность воды одновременно по широкому перечню ингредиентов и показателей качества; подготовить аналитическую информацию для представления государственным органам и заинтересованным организациям в удобной, доступной для понимания, научно обоснованной форме. Так, для комплексной оцен-

ки качества поверхностных вод в качестве комплексного показателя качества воды используются Индекс загрязнения воды (ИЗВ), Орегонский индекс качества воды (ОИКВ), Канадский индекс качества воды (КИКВ) и Удельно-комбинаторный индекс качества воды (УКИКВ) [1–3, 6, 12, 13]. ИЗВ представляет собой среднюю долю превышения ПДК по строго лимитированному числу индивидуальных ингредиентов:

$$\text{ИЗВ} = \frac{1}{6} \cdot \sum \frac{C}{\text{ПДК}}$$

Для расчета индекса загрязнения вод для всего множества нормируемых компонентов, включая рН, БПК₅ и содержание растворенного кислорода, аммонийного и нитритного азота находят отношения $C_i/\text{ПДК}_i$ фактических концентраций к ПДК.

Классификация качества воды, проведенная на основе значений ИЗВ, позволяла разделить поверхностные воды на 7 классов в зависимости: от степени их загрязненности от $\geq 0,2$ (первый класс) до ≥ 10 (седьмой класс) [1].

Для расчета ОИКВ используют следующие показатели: температура воды, pH, БПК₅ и содержание растворенного кислорода, растворенные соли, сумма аммонийного и нитритного азота. ОИКВ используется для оценки качества поверхностных вод в США более чем 20 лет [13]. На основе значений КИКВ классифицируют поверхностные воды на 5 классов в зависимости от степени их загрязненности, от 100–95 (первый класс) до менее 44 (пятый класс). КИКВ используется для оценки качества поверхностных вод в Канаде более чем 20 лет [12].

Для расчета УКИКВ используют следующие показатели качества воды: растворенный в воде кислород, БПК₅, ХПК, фенолы, нефтепродукты, нитрит-ионы (NO₂⁻), нитрат-ионы (NO₃⁻), аммоний-ион (NH₄⁺), железо общее (Fe⁺² и Fe⁺³), медь, цинк, никель, марганец, хлориды, сульфаты [2, 3, 6].

Для определения УКИКВ сперва определяется коэффициент комплексности загрязненности воды (К), который представляет собой отношение количества загрязняющих веществ (показателей), содержание которых превышает ПДК, к общему числу нормируемых ингредиентов и показателей качества. Определяются также повторяемость случаев превышения ПДК каждого показателя (α_{ij}) и среднее значение кратности превышения ПДК по результатам проб, где такое превышение наблюдалось (β_{ij}). Определяется обобщенный оценочный балл (S_{ij}) как произведение

частных оценочных баллов по повторяемости и кратности, который может изменяться от 1 до 16. Потом определяется комбинаторный индекс загрязненности воды (S_i) как сумма обобщенных баллов (S_{ij}). УКИКВ представляет собой отношение комбинаторного индекса загрязненности воды к числу учитываемых в оценке ингредиентов. На основе значений УКИКВ классифицируют поверхностные воды на 5 классов [6].

В последние годы для комплексной оценки качества поверхностных вод нами предлагается использовать синергетический информационный индекс, энтропийный индекс качества воды (ЭИКВ) и Армянский индекс качества воды (АИКВ) [4, 5, 8, 9].

Целью данной работы является оценка качества воды реки Дебед и ее притоков с помощью Армянского индекса качества воды.

Дебед – правый приток реки Храми, являющейся правым притоком Куры. Образуется слиянием рек Памбак и Дзорагет в селе Дсех. Длина с Памбаком 178 км, из них в Армении – 152 км. Площадь бассейна – 4050 км². Течёт по узкому и глубокому ущелью до села Баграташен. По реке проходит участок армяно-грузинской границы протяжённостью около 12 км. Течение быстрое, Дебед – самая полноводная река Армении (за исключением Аракса). Воды используются для орошения и получения электроэнергии. Крупные притоки – Марц, Шног (справа) и Ахтала (слева). На реке Дебед расположены три створа (мониторинговые посты): № 5 – 0,5 км ниже



Мониторинговые створы бассейна реки Дебед

от точки слияния реки Марцигет, № 6 – 0,5 км выше г. Айрума и № 7 – около границы с Грузией. Река Памбак берёт начало на северо-восточном склоне Памбакского хребта в самой западной его части, на границе между Лорийской и Ширакской областями. Длина реки – 86 км. В основном воды реки Памбак используются для орошения близлежащих земель, в рекреационных и природоохранных целях. На реке Памбак расположены четыре створа (мониторинговые посты): № 1 – 0,5 км выше с. Арташен, № 2 – 0,5 км ниже г. Спитак, № 3 – 0,5 км выше г. Ванадзор и № 4 – 4,5 км ниже г. Ванадзор.

Река Дзорагет вместе с рекой Памбак образуют реку Дебед. Протекает на севере Армении, по северо-западной части Лорийской области, в том числе через город Степанаван. Длина реки – 67 км. На реке Дзорагет расположены два створа (мониторинговые посты): № 8 – 0,5 км выше г. Степанавана, № 10 – устья реки. Река Ташир – приток Дзорагета. Длина реки – 54 км. На реке Ташир расположены два створа: № 11 – 0,5 км выше с. Михайловка и № 12 – 0,5 км ниже с. Саратовка.

Марцигет – правобережный приток р. Дебет – имеет длину 29 км. Попадает в реку Дебед у поселка Туманян. Створ № 13 расположен у устья реки. Ахтала – левобережный приток – попадает в реку Дебед у поселка Ахтала. На реке Ташир расположен один створ: № 14 у устья реки [7].

Материалы и методы исследования

В понимании структурной организации и закономерностей развития экологических систем вообще и, в частности, для водных систем большую роль имеет теория информации. В гидроэкологических системах могут идти процессы как с возрастанием, так и с уменьшением энтропии. Понятие энтропии имеет множество трактовок в самых разнообразных областях человеческих знаний. Система взаимодействует с внешним миром как единое целое. Открытые системы могут обмениваться с окружающей средой энергией, веществом и, что не менее важно, информацией. Чтобы система действовала и взаимодействовала со средой, она должна потреблять информацию из среды и сообщать информацию среде. Впервые понятия энтропии и информации связал Шеннон [11]. С его подачи энтропия – это количество информации, приходящейся на одно элементарное сообщение источника, вырабатывающего статистически независимые сообщения. Получение какого-либо количества информации равно потерянной энтропии. Информационная энтропия для независимых случайных событий x с N возможными состояниями рассчитывается по формуле

$$H = -\sum_{i=1}^N p_i \log_2 p_i,$$

где P_i – вероятность частоты встречаемости некоторого события.

Загрязненность водных систем можно представить как систему тех гидрохимических показателей (элементов), концентрация которых превышает предельно допустимые концентрации: (ПДК). Тогда в уравнении Шеннона p_i – вероятность числа превышения ПДК i -го вещества или показателя воды из общей суммы превышения ПДК – N , $P_i = n_i/N$.

$$H = -\sum n_i/N \log_2 (n_i/N);$$

$$H = \log_2 N - \sum n \log_2 n/N;$$

$$H = \log_2 N - I;$$

$$I = \sum n \log_2 n/N,$$

где I – геоэкологическая синтропия [10]; H – энтропия Шеннона.

Для расчета значений I , H ЭИКВ и АИКВ используется следующий вычислительный алгоритм:

1. Определяется число случаев превышения ПДК i -го вещества или показателя воды: n .

2. Оценивается общая сумма случаев превышений ПДК (N):

$$N = \sum n.$$

3. Вычисляются: $\log_2 N$, $n \log_2 n$ и $\sum n \log_2 n$.

4. Рассчитывается геоэкологическая синтропия (I) и энтропия (H):

$$I = \sum n \log_2 n/N \quad \text{и} \quad H = \log_2 N - I.$$

5. После чего определяется ЭИКВ: $G = H/I$.

6. Далее оценивается общая сумма кратности превышений ПДК (M): $M = \sum m$.

7. Вычисляется: $\log_2 M$.

8. После чего определяется Армянский индекс качества воды – АИКВ = $G + 0,1 \cdot \log_2 M$.

Результаты исследования и их обсуждение

Показано, что воды р. Дебед и ее притоков являются слабощелочными. Исследования показали, что воды р. Дебед загрязнены некоторыми металлами. Так, в речной воде регулярно превышает ПДК меди, цинка, ванадия, алюминия, хрома, железа, марганца и селена. ПДК этих металлов превышена в среднем в 1,2–5,8 раз.

Например, в створе 4 р. Памбак БПК₅ концентрации нитритного и аммонийного азота, Cu, V, Al, Mn, Cr и Se превысили ПДК соответственно в 8, 10, 12, 12, 12, 12, 6 и 2 случаях. В данном случае сумма случаев превышений ПДК – $N = 86$;
 $\sum n \log_2 n = 289,71$; $I = 289,71/86 = 3,368$;
 $H = \log_2 N - I = \log_2 86 - I = 6,422 - 3,368 = 3,054$; $G = H/I = 3,054/3,368 = 0,907$.
 Общая сумма кратности превышений ПДК – $M = \sum m = 38,8$; $\log_2 M = 5,28$,
 $A = 0,907 + 0,528 = 1,435$ (табл. 1).

Таблица 1

Энтропийный и Армянский индексы качества воды рек Дебед, Памбак, Дзорагет, Ташир, Марцигет и Ахтала

Створы	2009		2010		2011		2012	
	ЭИКВ	АИКВ	ЭИКВ	АИКВ	ЭИКВ	АИКВ	ЭИКВ	АИКВ
1	0,773	1,321	0	0,138	0,54	0,882	0,87	1,388
2	0,741	1,093	0,306	0,549	0,48	0,792	0,88	1,36
3	0,766	1,309	0,436	0,753	0,47	0,876	0,93	1,42
4	0,907	1,435	0,80	1,270	0,76	1,245	0,92	1,49
5	0,575	0,981	0,736	1,150	0,69	1,102	1,02	1,52
6	0,576	1,027	1,046	1,645	0,75	1,262	0,94	1,516
7	0,907	1,505	1,06	1,657	0,95	1,498	0,97	1,52
8	0,314	0,649	0,288	0,634	0,29	0,63	1,05	1,646
10	0,476	0,837	0,611	1,01	0,47	0,83	0,79	1,217
11	0,613	1,151	0,9	1,44	0,7	1,126	0,93	1,535
12	0,914	1,413	0,886	1,382	0,74	1,162	1,12	1,534
13	0,455	0,722	0,6	0,953	0,55	0,956	0,58	1,057
14	0,722	1,603	0,957	1,792	0,93	1,833	1,09	2,08

Полученные данные свидетельствуют о том, что от источника до устья рек наблюдается снижение качества воды. После городов Степанаван, Ванадзор и Алаверди Армянский индекс качества воды увеличивается, что свидетельствует о снижении качества воды рек, обусловленном загрязнением воды бытовыми сточными водами городов. Поскольку нет очистных сооружений в бассейне реки, сточные воды городов

Алаверди и некоторых сел без очистки впадают в реки.

Загрязнением воды рек бытовыми сточными водами обусловлены высокие значения БПК₅ и ХПК речной воды и загрязнение ионами нитрита и аммония.

Качество вод р. Дебед, Памбак, Дзорагет, Ташир, Марцигет и Ахтала комплексно оценено также с помощью других индексов качества воды: ИЗВ, ЭИКВ, КИКВ и УКИКВ (табл. 2).

Таблица 2

Индексы качества воды рек Дебед, Памбак, Дзорагет, Марцигет, Ташир и Ахтала

Створ	ЭИКВ	АИКВ	ИЗВ	КИКВ	УКИКВ
1	0,773	1,321	1,75	62,23	1,78
2	0,741	1,093	1,33	75,98	2,03
3	0,766	1,309	2,69	62,12	2,02
4	0,907	1,435	3,11	61,63	2,83
5	0,575	0,981	1,88	73,37	2,07
6	0,576	1,027	2,95	68,51	2,33
7	0,907	1,505	5,30	56,53	2,47
8	0,314	0,649	1,25	80,78	1,8
10	0,476	0,837	1,52	80,86	1,42
11	0,613	1,151	1,49	64,17	1,99
12	0,914	1,413	1,78	64,97	2,53
13	0,455	0,722	1,23	78,2	1,35
14	0,722	1,603	30,94	41,36	3,59

$$\text{АИКВ} = (0,809 \pm 0,138) + (0,147 \pm 0,056) \text{ ИЗВ } R = 0,93854, N = 12;$$

$$\text{АИКВ} = (2,762 \pm 0,220) - (0,024 \pm 0,003) \text{ КИКВ } R = 0,91115, N = 13;$$

$$\text{АИКВ} = (0,343 \pm 0,206) + (0,377 \pm 0,092) \text{ УКИКВ } R = 0,77709, N = 13;$$

$$\text{АИКВ} = (0,180 \pm 0,144) + (1,454 \pm 0,207) \text{ ЭИКВ } R = 0,90410, N = 13.$$

Анализ полученных данных свидетельствует о том, что АИКВ имеет прямолинейную зависимость с ИЗВ, УКИКВ и ЭИКВ и обратную зависимость с КИКВ.

Заключение

1. От источника до устья рек наблюдается снижение качества воды. Причиной загрязнения является высокое содержание металлов.

2. После городов Степанаван, Ванадзор и Алаверди Армянский индекс качества воды увеличивается, что свидетельствует о снижении качества воды рек, обусловленном загрязнением воды бытовыми сточными водами городов.

3. Впервые с помощью АИКВ оценено качество вод р. Дебед и его притоков. Установлена корреляция между АИКВ с другими индексами качества воды.

Список литературы

1. Временные методические указания по комплексной оценке качества поверхностных и морских вод по гидрохимическим показателям, введены в действие указанием Госкомгидромета № 250-1163 от 22.09.86.
2. Маргарян Л.А., Минасян С.Г., Пирумян Г.П. Сравнение канадского и удельно-комбинаторного индексов качества воды при оценке загрязненности р. Раздан // Вода и экология: проблемы и решения. – 2008. – № 3. – С. 57–64.
3. Никаноров А.М. Научные основы мониторинга качества воды. – СПб.: Гидрометеиздат, 2005. – 577 с.
4. Пирумян Г.П., Симонян А.Г. Энтропийный подход к оценке экологического состояния реки Вохчи // Научный вестник. – 2015. – № 4(6). – С. 89–94.
5. Пирумян Г.П., Симонян А.Г. Анализ экологического состояния реки Агстев с помощью энтропийного индекса // Научный вестник. – 2016. – № 1(7). – С. 191–195.
6. РД 52.24.643-2002. «Руководящий документ. Методические указания. Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям».
7. Саркисян В.О. Воды Армении. – Ереван: ЕГУАС, 2008. – 208 с.
8. Симонян А.Г., Пирумян Г.П. Анализ экологического состояния реки Памбак с помощью синергического информационного индекса // Международный журнал экспериментального образования. – 2015. – № 6. – С. 32–34.
9. Симонян А.Г., Пирумян Г.П. Энтропийный подход к оценке экологического состояния реки // Геология морей и океанов: материалы XXI Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. – М.: ГЕОС, 2015. – Т. 4. – С. 196–199.
10. Симонян Г.С. Оценка состояния гидроэкологических систем в свете синергической теории информации // Экологическая безопасность и природопользование: наука, инновации, управление: материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Махачкала: АЛЕФ, 2013. – С. 275–280.
11. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике. – М.: ИЛ, 1963. – 830 с.
12. CCME Water Quality Index. Technical Report, Excerpt from Publication Ni 1299, SBN 1-896997-34-1, Winnipeg, 2001.
13. Cude C.G. Oregon Water Quality Index: A tool for Evaluating Water Quality Management Effectiveness // J. of the American Water Resources Association. – 2011. – Vol. 37, № 1. – P. 125–137.