

РАСЧЕТ ИНДЕКСА КАЧЕСТВА ВОДЫ И ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ВОДЫ ОЗЕРА СЕВАН¹

© 2023 г. Г. Г. Бабаян^{a, *}, А. А. Жукова^{b, **}, Ю. К. Верес^{b, ***}

^aЦентр эколого-ноосферных исследований НАН РА, Ереван, 0025 Армения

^bУНЦ “Нарочанская биологическая станция им. Г.Г. Винберга”

Белорусского государственного университета, Минск, 220030 Беларусь

*e-mail: gayane.babayan@cens.am

**e-mail: hannahzhukava@gmail.com

***e-mail: veres.julia.naroch@gmail.com

Поступила в редакцию 03.06.2022 г.

После доработки 10.12.2022 г.

Принята к публикации 14.12.2022 г.

Приведен пример выбора и реализации метода оценки качества воды для крупного высокогорного озера с многолетним нестабильным уровневый режимом и переменной морфометрией (искусственное понижение уровня на 19 м и последующий подъем на 4 м и более). Выбор методологии для оценки качества воды такого водоема требует нестандартных решений. Для этого использована современная модификация метода экспертной панели Дельфи. Метод обеспечивает количественную оценку качества воды по отношению к исходному/желательному состоянию, к которому стремятся менеджеры для достижения и поддержания качества воды. Индекс качества воды оз. Севан SWQI основан на семи приоритетных показателях с учетом веса каждого из них. Многолетняя динамика индекса подтвердила управленческое воздействие повышения уровня озера на качество воды: “плохое” качество воды (минимальное значение SWQI = 20) классифицировано в годы наименьшего (1976–1990 гг.), а “хорошее” (максимальное значение SWQI = 69) – наибольшего (2016–2020 гг.) уровня (коэффициент корреляции – 0.82). Среди преимуществ использованной модели SWQI можно отметить относительно небольшую зависимость индекса от наличия базы данных и возможность по результатам оценки сбалансировать экологические и социально-экономические интересы. Общий подход к модели SWQI может быть использован для оценки качества воды подобных озер по всему миру.

Ключевые слова: озеро, количественная оценка качества воды, агрегированный индекс, метод Дельфи.

DOI: 10.31857/S0321059623030045, **EDN:** CXMAMQ

ВВЕДЕНИЕ

Выбор методологии для оценки качества воды требует индивидуального подхода к каждому водному объекту. Особенно это актуально для оз. Севан в виду как климатических, морфологических, геологических и гидрологических его особенностей, так и многолетнего нестабильного уровневый режима и переменной морфометрии. Севан – самый большой пресный водоем Кавказа, один из крупнейших высокогорных водоемов мира. В современной истории озера можно выделить три периода – допусковой, период пониженного уровня и современный; в результате использования воды в народном хозяйстве (1930–1980 гг.) уро-

вень снизился на 19 м, а за счет регулирования стока с р. Раздан и переброски рек Арпа и Воротан (1980–2021 гг.) – повысился на 4 м из запланированных ≥ 6 м (до 1900.5 над у. м.) [3, 11]. Искусственное понижение уровня сопровождалось интенсивным эвтрофированием озерной экосистемы. Поэтому решение о повышении уровня озера рассматривалось в первую очередь как радикальная мера для замедления этого процесса [9].

Начиная с 2021 г. в республике действуют региональные (экологические) нормы обеспечения качества воды оз. Севан для пяти классов качества, соответствующим разным целям водопользования [10]. Служба государственного мониторинга в результате использования этих норм классифицировала качество воды озера как плохое 5-го класса по показателям: химическое потребление кислорода, ионы аммония, нитриты,

¹ Работа выполнена при поддержке Научного комитета РА и Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований в рамках совместных исследовательских проектов BRFFR 2H006 и SC 21 соответственно.

нитраты, фосфор, бор, марганец (2020 г.) [11]. Несмотря на важность внедрения региональных норм, с результатами оценки качества воды по ряду причин трудно согласиться. Во-первых, общий класс качества воды оценивался по наихудшему показателю, т. е. только один неудовлетворительный результат может изменить качество воды озера в худшую сторону [10]. Во-вторых, определение экологического состояния озера проводилось только по физико-химическим показателям, а гидроморфологические и биологические показатели не учитывались [34]. В-третьих, не дифференцированы нормы для Малого Севана и Большого Севана, которые в настоящее время еще в большей степени, чем в допусковой период, различаются по уровню загрязнения и площадям затопления [7].

Вода оз. Севан классифицируется как вода плохого качества на фоне активных управленческих решений — подъема уровня воды и сокращения нагрузок на озеро со стороны водосборного бассейна. Использование единичных концентраций показателей не позволяет однозначно оценить суммарное загрязнение водного объекта и отнести водный объект к той или иной категории. Для этого во всем мире используется индекс качества воды WQI — один из наиболее важных и ценных инструментов для агрегации показателей качества в единое число [23, 32]. Индексы — это научно-обоснованные коммуникационные модели, способные преобразовывать данные с несколькими переменными с получением одной безразмерной величины. Этот инструмент может быть использован менеджерами по водным ресурсам для обоснования своих решений или проверки эффективности их реализации [19, 33]. В современной литературе много обзорных работ, которые описывают преимущества и недостатки различных моделей индекса качества воды [12, 14, 20, 29]. Среди них — российский SCWPI [9], индексы национального фонда санитарии NSF-WQI [15], орегонский OECD [17], канадский CCME [16], индекс трофического уровня TLI [27] и др. Различные модели индексов нашли широкое применение в мире, например для озер Европейских [24], Ротоити и Роторуа [21], Дунтин [18], Илонг [35], Ченнаи [31] и др.

Потребности управления водными ресурсами динамичны и постоянно обновляются; соответственно, модель индекса должна постоянно совершенствоваться [19]. Это относится и к оз. Севан, при разработке индекса качества воды которого необходимо дополнительно учитывать: 1) влияние многолетнего управленческого изменения уровня воды и морфометрии на качество воды озера в прошлом, настоящем и будущем; 2) отсутствие непрерывных исторических данных наблюдений. Выбор, описание и использование наиболее приемлемой модели SWQI для оценки и

поддержания качества воды оз. Севан в пределах, соответствующих удовлетворению потребностей пользователей ресурсов, — основная цель настоящего исследования.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Краткая характеристика объекта исследования

Экологическая система оз. Севан — объект данного исследования. Севан расположен в северо-восточной части Армении на высоте ~1900 м над уровнем моря (н.у.м.). Озеро состоит из двух морфометрически разных частей — глубоководного Малого Севана и более мелководного Большого Севана. В озеро попадают поверхностные воды 28 рек. Почти все притоки поступают в Большой Севан, тогда как регулируемый сток из озера осуществляется через р. Раздан из Малого Севана [7]. Население территории бассейна озера составляет 240 тыс. человек; здесь расположены 5 городов и 87 сел [11]. Искусственные (антропогенные) колебания уровня воды в 1930–1980-х гг. обусловлены использованием 44%, или 26 млрд м³, запасов воды оз. Севан в народном хозяйстве. В 1933 г. уровень воды озера находился на отметке 1916.20 м н.у.м., в 2002 г. — понизился до минимальных 1896.32 м н.у.м., а в 2020 г. — за счет регулирования стока р. Раздан и переброски в озеро рек Арпа и Воротан — повысился до 1900.53 м н.у.м. [11]. В настоящее время подъем уровня до 6 м и далее продолжается [3].

Водозабор непосредственно из оз. Севан осуществляется для орошения и энергетики. Для питьевого водоснабжения городов и сел бассейна вода озера не используется. В бассейне нет крупных и средних действующих промышленных предприятий [2, 6]. Загрязнение озера в настоящее время обусловлено: коммунально-бытовыми сточными водами; обратными водами орошения; стоком с животноводческих ферм, пастбищ, пахотных земель, рыбных хозяйств; интенсивной переработкой берегов в результате активизации разрушительных береговых процессов; недостаточной расчисткой затопленных территорий; рекреационными нагрузками в летний период; повышением температуры в связи с изменением климата [7]. Севан — одно из хорошо изученных озер. Установлено, что причина антропогенного эвтрофирования — совместное действие двух ведущих факторов — перестройки внутриводоемных процессов в результате понижения уровня озера и избыточного поступления биогенных веществ с водосборного бассейна [23]. Современный Севан можно отнести к водоемам с величиной общей минерализация 680 ± 20 мг/л, фоновыми показателями по солевому составу и преобладанием гидрокарбонат- и магний-ионов. Начиная с 1964 г. в озере ежегодно наблюдается цветения си-

не-зеленных водорослей (июнь–июль). Трофический статус озера – мезотрофный [4, 11].

Выбор модели индекса качества воды

Индекс качества воды был первоначально разработан Р. Хортоном в 1965 г. [22]. В 1970 г. группой Р. Брауна из 142 экспертов при поддержке Национальной санитарной службы предложен индекс NSF-WQI [15], в котором впервые использовано взвешивание показателей. Этот принцип состоит в учете значимости каждого показателя при расчете индекса качества воды. С тех пор несколько других моделей индекса основывались на усовершенствованном NSF-WQI – такие как шотландский SRDD-WQI, BCWQI Британской Колумбии и др. [33]. В 2001 г. целевая группа по руководящим принципам качества воды Канадского Совета министров окружающей среды разработала CCME WQI [16]. На сегодняшний день разными странами и агентствами используются более 35 моделей индекса. Мд. Уддин с соавторами в обзорной статье приводят статистические сведения об использовании разных индексов для разных водных объектов в разных странах. Наиболее часто оценивалось качество воды рек (82%), а из многочисленных индексов использовались CCME и NSF-WQI (50%), что подтверждает их высокую эффективность [33]. Автором настоящей статьи совместно с российскими коллегами проведено сравнение двух разных методологических подходов – российского индекса УКИЗВ [9] и CCME QWI [33] для оценки качества воды малых и средних горных рек Армении и России [13]. Оценка всех моделей имеет четыре основных этапа:

Выбор показателей экосистемы. Показатели (переменные качества воды) выбираются исходя из их приоритетности для данного водного объекта с учетом целей оценки и доступности базы данных. В большинстве моделей для рек использовалось до десяти показателей (физико-химические, микробиологические). Минимальное число показателей составляло четыре [16, 25]. При выборе показателей часто использовался метод экспертной панели Дельфи [19, 22].

Формирование суб-индексов показателей. Цель второго этапа оценки – присвоение веса каждому показателю. Вес показателя оценивался с учетом относительной его важности для целевого водопользования, типа водного объекта, мнения экспертов (метод Дельфи) и др. В большинстве моделей WQI использован метод неравного взвешивания, когда сумма всех весовых значений равна единице [22, 33].

Анализ чувствительности. Анализ чувствительности проводится путем изменения входных данных по выбранному эталонному периоду, диапа-

зону процентилей или используемых переменных. Изменение одного из этих трех определений не должно влиять на точность выходных данных модели и на общие тенденции, а также скрывать истинное значение оценки [33]. Для решения проблемы ненормального распределения используется диапазон концентраций 10–90 процентилей, т. е. только 80% данных считаются приемлемыми для оценки качества воды [19].

Расчет индекса качества воды с использованием функции агрегирования. Большинство моделей использовали либо аддитивные функции (произведение значения субиндекса на его вес), либо мультипликативные функции (возведение значения субиндекса в степень его веса), либо их комбинации. Агрегированный индекс – сумма средневзвешенных ранговых значений всех значимых показателей R , включенных в индекс [12, 33].

Методология количественной оценки качества воды

Авторы статьи критически рассмотрели наиболее приемлемые для экосистемы оз. Севан модели индекса качества воды и выбрали метод современной модификации экспертной панели DELPHI [15, 19, 26, 28, 30]. В качестве основного направления для реализации метода Дельфи – метода рейтинговой кривой – декларировано установление исходного/желательного периода. Из числа специалистов разного профиля – лимнологов, гидрохимиков, гидрогеологов, гидрологов, представителей органов управления и др. – формируется группа экспертов. Эксперты отвечают на вопросы анкеты: определяют основные угрозы качеству воды, выбирают приоритетные показатели (до десяти), определяют их допустимые диапазоны. Для преобразования значений показателей в значение индекса каждому экспертному значению показателя присваивается рейтинг R , в соответствии с которым определяется класс качества воды: $100 > R > 80$ – отличное; $80 > R > 60$ – хорошее; $60 > R > 40$ – удовлетворительное; $40 > R > 20$ – плохое; $20 > R > 10$ – очень плохое. Расчет индекса осуществляется путем аппроксимации кривой индекса двумя линиями линейной регрессии. Для построения линий регрессии используются медианные значения показателя, соответствующие 100 и 60 баллам. Медиана выбрана для того, чтобы сократить влияния возможных выбросов отдельных экспертных оценок на конечное значение показателя [19].

Агрегированный индекс качества воды WQI – средневзвешенное ранговых значений всех переменных, включенных в индекс. Для каждой переменной i определяется относительный вес A . Вес A пропорционален отклонению рейтинга i (R_i) от максимально возможного значения ($R = 100$). WQI рассчитывается по следующим формулам:

$$Ai = 0.01 \times (100 - Ri), \quad (1)$$

$$A = \sum_{i=1}^n Ai, \quad (2)$$

где A — сумма весов, примененных к индексу, n — общее количество переменных.

$$WQI = \sum \frac{Ai}{A} Ri. \quad (3)$$

WQI колеблется между минимальным балом 10 — “плохое” качество и максимумом 100 — “отличное” качество. Приемлемым считается значение $WQI > 60$ [19].

Для расчета индекса качества воды оз. Севан (SWQI) использованы данные государственной статистической службы Армении [1], центра гидрометеорологии и мониторинга [11], опубликованные данные научных лимнологических исследований [4, 8]. Единичные пропуски данных во временных рядах заполнены посредством линейной аппроксимации между предыдущими и последующими значениями. Для выявления связей между качеством воды и уровнем воды озера использован простейший регрессионный анализ [2].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Обобщение экспертных оценок

Сформированная группа экспертов состоит из 24 человек, хорошо знакомых с исследуемым водным объектом, им были разосланы анкеты, включающие в себя шесть вопросов. Им также были предоставлены общие сведения об объекте исследования и опубликованные данные наблюдений за качеством воды в допускоской период, период пониженного уровня и современный период. От экспертов получено 16 заполненных анкет, которые обобщены и статистически обработаны.

По экспертным оценкам, приоритетные направления использования водных ресурсов оз. Севан, которые необходимо учитывать при оценке качества воды, следующие: сохранение экосистемы оз. Севан в исходном/желательном состоянии (36.9%) и поддержание качества воды рыбохозяйственного значения (20.0%) (рис. 1а). Потенциальные причины (угрозы), приводящие к ухудшению качества воды оз. Севан, по мнению экспертов, следующие: изменение уровня воды (17.9%) и загрязнение водосборного бассейна (17.2%) (рис. 1б). Из 25-ти предложенных показателей экспертами выделены 15. Приоритетными выбраны первые семь из них: минимальная за год концентрация растворенного кислорода у дна DO — 16.2%; общий фосфор TP — 15.2%; общий азот TN — 15.2%; прозрачность по диску Секки SD — 14.1%, биомасса фитопланктона B — 12.1%, минерализация Min — 10.1%, биомасса зоопланктона Z — 3.0% (рис. 1в).

Несмотря на настоящий мезотрофный трофический статус озера и ежегодное летнее цветение сине-зеленых водорослей, большинство экспертов оценило качество воды в современный период как хорошее (56.3%) и удовлетворительное (27.5%).

Наиболее важным и трудным этапом оценки был выбор исходного/желательного периода. Такой период должен соответствовать определенным критериям, таким как стабильность экосистемы и минимальный уровень внешних нагрузок, что в большей степени характерно для допускоского периода озера. Однако только 19% экспертов выбрали этот период в качестве эталонного, аргументируя свое решение стремлением в долгосрочной перспективе достигнуть наилучшего качества воды озера. Большинство (69%) экспертов посчитали этот период недостижимым и выделили для оценки качества воды современный период, аргументируя свой выбор временным характером выбранных условий и необходимостью их корректировки по мере подъема уровня воды. Только 13% экспертов в качестве исходного выбрали период пониженного уровня.

Определение допустимых диапазонов и преобразование значений переменных в SWQI

Эксперты определили допустимый диапазон изменений концентраций выбранных экологических показателей и оптимальные их значения для допустимых/желательных условий. Каждому значению показателя авторами присвоен рейтинг качества воды в диапазоне R 10–100. Значение $R = 60$ соответствует нижнему пределу хорошего качества воды. Построены рейтинговые кривые по семи выбранным переменным. Получено 14 регрессивных графика по семи показателям: $R(DO)$, $R(TP)$, $R(TN)$, $R(SD)$, $R(B)$, $R(\text{Min})$, $R(Z)$ — для Малого и Большого Севана. На рис. 2 в качестве примера приведены два регрессивных графика и условия их использования.

Рейтинговые кривые, построенные по данным экспертных оценок, позволили установить допустимые диапазоны концентраций приоритетных показателей оз. Севан (табл. 1).

Сравнение оптимальных концентраций со средними фактическими концентрациями за допускоской, пониженный и современный периоды показало, что ни один из них не может быть четко выделен в качестве исходного/желательного. В основном, все показатели занимают промежуточные позиции между данными разных временных отрезков.

Оценка качества воды

Допустимые диапазоны концентраций приоритетных показателей и данные мониторинговых исследований позволили рассчитать SWQI по се-

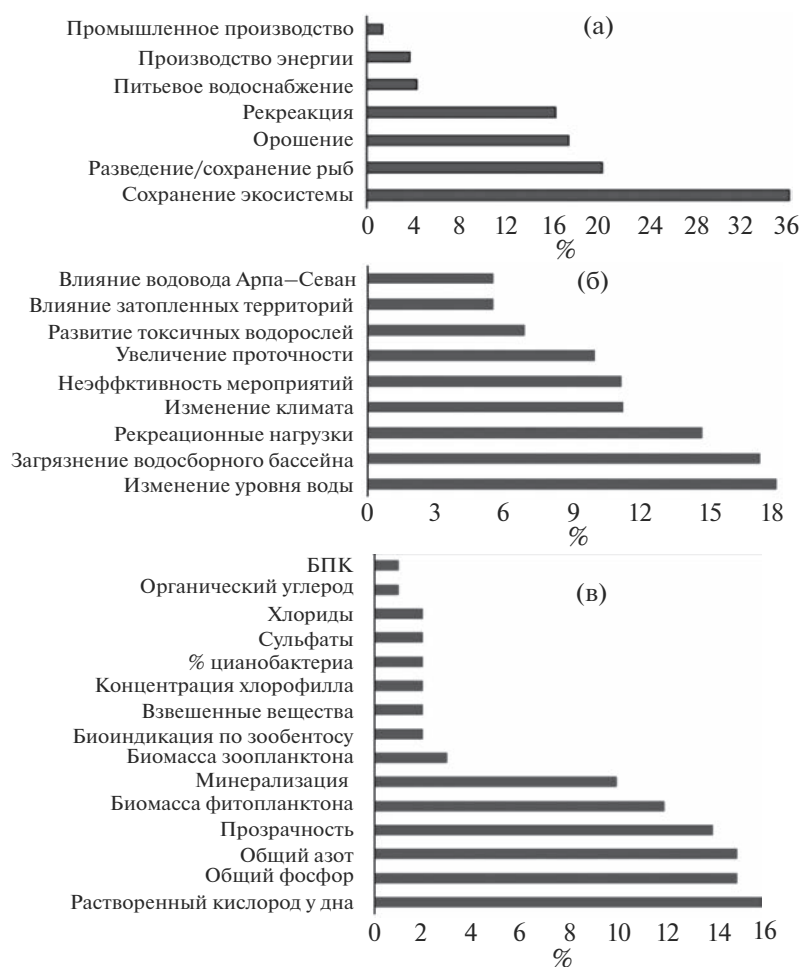


Рис. 1. Приоритетные направления использования водных ресурсов (а), основные потенциальные угрозы (б) и значимость выбранных показателей (в) по усредненным экспертным оценкам.

ми переменным за наиболее обеспеченные данными годы. Вес каждой переменной, в соответствии с рис. 1в, составлял: $DO - 0.188$; $TP - 0.176$; $TN - 0.176$; $SD - 0.165$; $B - 0.141$; $Min - 0.118$; $Z - 0.035$ (рис. 3).

Согласно полученным данным, “плохое” качество воды ($40 > R \geq 20$) классифицировано с 1976 г. до 2016 г., и только в 2017 г. значение индекса превысило нижний предел “хорошего” качества воды. Минимальное значение индекса

Таблица 1. Допустимые диапазоны концентраций приоритетных показателей оз. Севан

№	Показатель	Допустимый диапазон ($R - 60-100$)	
		Малый Севан	Большой Севан
1	Минимальная за год концентрация растворенного O_2 у дна, мг/л	2.68–5.16	1.82–3.20
2	Общий фосфор, мг/л	0.04–0.09	0.06–0.12
3	Общий азот, мг/л	0.45–1.01	0.51–1.10
4	Прозрачность, м	7.9–15.0	5.6–11.1
5	Биомасса фитопланктона, мг/л	1.0–2.5	1.1–2.4
6	Минерализация, мг/л	628–688	636–698
7	Биомасса зоопланктона, $кДж\ M^{-2}$	54–76	55–79

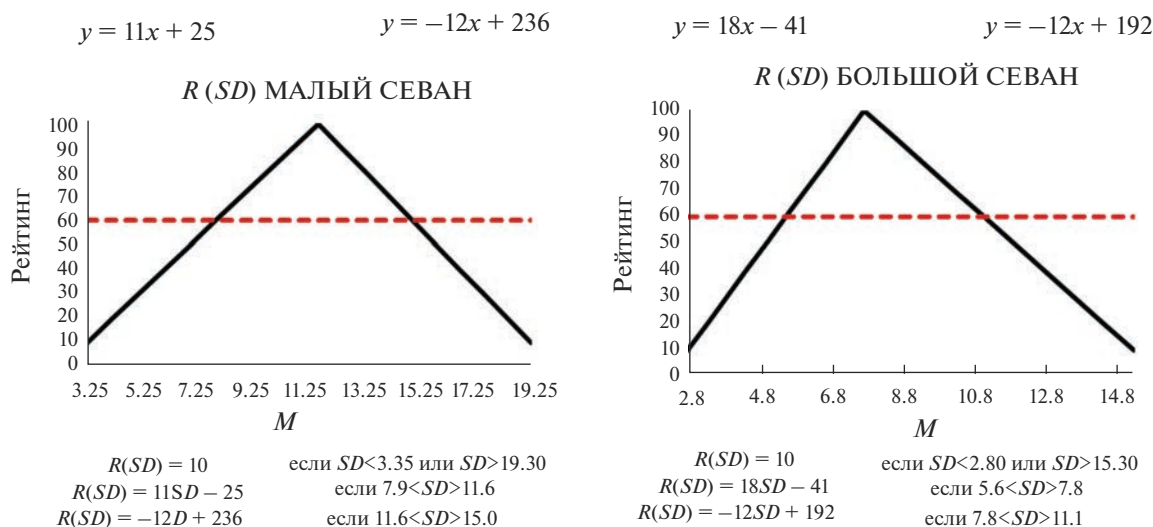
Прозрачность (SD)

Рис. 2. Пример рейтинговых кривых прозрачности M по диску Секки $R(SD)$. Пунктирная линия соответствует нижнему пределу хорошего качества воды ($R = 60$). Линии регрессии рассчитаны по уравнениям связи между медианами временных оценок 16 экспертов, соответствующих 60 и 100 балам. Условия использования соответствующих уравнений показаны под диаграммой.

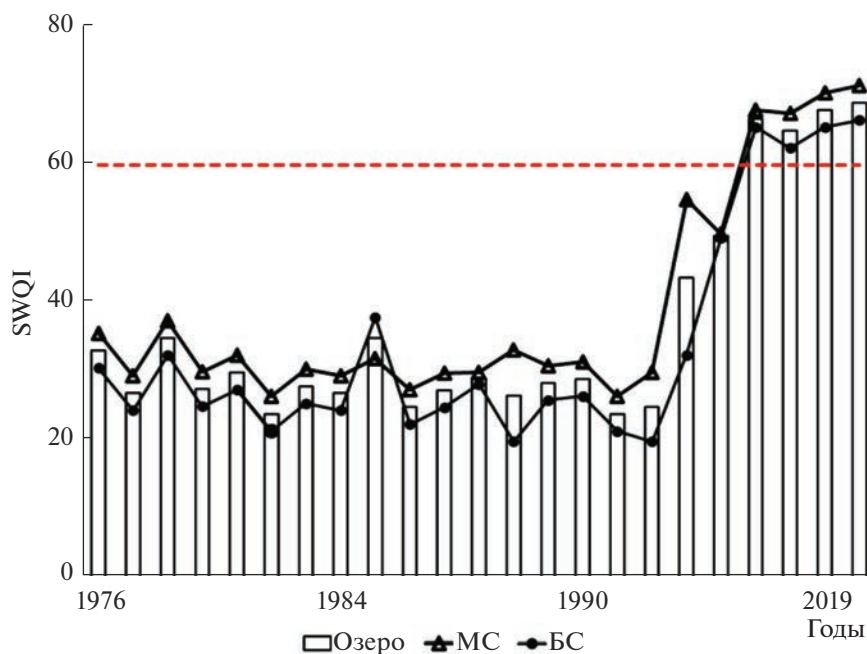


Рис. 3. Многолетние изменения индекса качества воды оз. Севан, рассчитанного по семи показателям. Пунктирная линия соответствует нижнему пределу хорошего качества воды ($R = 60$).

SWQI = 20 было в 1995–1999 гг. (период минимального уровня), а максимальное SWQI = 69 – в 2020 г. (период максимального уровня).

Для подтверждения этого построен график связи между индексом качества воды SWQI и

уровнем воды оз. Севан по данным 1976–2020 гг. Получено регрессионное уравнение $y = 8.178x - 15490$ ($R^2 = 0.6631$). Из регрессионного уравнения можно оценить “критический” уровень воды озера, т. е. такой, ниже которого возрастает риск

ухудшения качества воды, — $SWQI < 60$. Он составил 1901 м н.у.м (на ~4 м выше минимального уровня — 1897 м н.у.м.). Эта величина находится в неплохом соответствии с планируемым подъемом уровня как минимум на 6 м до отметки 1903 м н.у.м. [3] — для восстановления количественных и качественных показателей воды в озере как необходимое условие для профилактики эвтрофирования водоема.

ВЫВОДЫ

Несмотря на то, что модель $SWQI$ имеет некоторые слабые стороны (из-за отсутствия непрерывных исторических данных или трудностей с привлечением к опросу специалистов), ее реализация позволила авторам оценить состояние экосистемы оз. Севан по отношению к исходным/желательным условиям. Полученные результаты свидетельствуют об улучшении качества воды оз. Севан в современный период (максимум $SWQI = 69$) по сравнению с периодом пониженного уровня (минимум $SWQI = 20$). Можно полагать, что тенденции улучшения качества воды в последние годы обусловлена выраженным управленческим влиянием подъема уровня озера.

Оценка экологической ситуации с использованием $SWQI$ — важная составляющая стратегии устойчивого управления оз. Севан. Интерактивный опрос Delphi длится всего несколько месяцев и поэтому может инициировать обоснование приоритетных потенциальных негативных воздействий и выбор немедленных мер по принятию управленческих решений, что важно в условиях нестабильного уровня режима озера. Среди преимуществ метода — временный характер утвержденных допустимых диапазонов концентраций приоритетных показателей и возможность их пересмотра как в связи с подъемом уровня озера, так и с пополнением достоверной информации мониторинга.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Армстат. Ереван: Статистический комитет РА, 2000–2021. (На армянском яз.). <https://armstat.am/ru/?nid=12>
2. Дрейнер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. Множественная регрессия. М.: Диалектика, 2007. 912 с.
3. Закон об озере Севан. 2001. Правительство РА. Aglis. Армянская информационная правовая система. (На армянском яз.). <https://www.e-gov.am>.
4. Интегральная оценка экологического состояния озера Севан (GEO — Lake Sevan). Докл. Ассоциации “За УЧР”/UNEPCom. Ереван, 2011. 42 с. https://gridarendal-website-live.s3.amazonaws.com/production/documents/s_document/92/original/sevan-report—fin.pdf?1483646517
5. Минприроды РФ. Приказ от 04.07.2007 № 169 “Об утверждении Методических указаний по разработке схем комплексного использования и охраны водных объектов” (регистрация Минюста РФ 10.08.2007 № 9979). <https://base.garant.ru/12155160/>
6. Национальный атлас Армении. Ереван, 2007. 229 с. (На армянском яз.). <http://www.armmonitoring.am/home>.
7. Национальный парк Севан РА. Отчеты и материалы исследований. 2000–2020. (На армянском яз.). <https://sevanpark.am/>
8. Оганесян Р. Озеро Севан вчера, сегодня. Ереван: НАН РА, 1994. 478 с.
9. Оганесян Р., Парпаров А. Экологические аспекты севанской проблемы // Тр. Севанской гидробиологической станции. Ереван, 1983. С. 18–21.
10. Правительство РА. Решение № 1211 от 22 июля 2021 года. О внесении изменений и дополнений в решение Правительства Республики Армения от 22 января 2011 г. № 75. (На армянском яз.). <https://www.e-gov.am>.
11. Центр гидрометеорологии и мониторинга РА, База данных. 2000–2020. (На армянском яз.). <http://www.armmonitoring.am/#home>.
12. Abbasi T., Abbasi S. Water Quality Indices // Environ. Earth Sci. 2014. № 71. P. 4625–4628.
13. Babayan G., Reshetnyak O., Zakrutkin V. A comparative assessment of river water quality in mountain regions of Russia and Armenia // Water Resour. 2021. 48. № 1. P. 102–110.
14. Banda T., Kumarasamy M. Development of Water Quality Indices (WQIs): A Review // Pol. J. Environ. Stud. 2020. 29. № 3. P. 2011–2021.
15. Brown R., McClelland N., Deininger R., Tozer R. A Water Quality Index — Do We Dare? // Water Sewage Works. 1970. P. 339–343.
16. CCME. Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life: CCME Water Quality Index 1.0, User's manual // Canadian Environmental quality guidelines, 1999. Winnipeg, Manitoba: Canadian Council Ministers Environ., 2001.
17. Cude C. Oregon water quality index: a tool for evaluating water quality management effectiveness // J. Am. Water Res. Association. 2001. № 37. P. 125–137.
18. Feng Yu., Zheng B., Jia H., Peng J., Zhou X. Influence of social and economic development on water quality in Dongting Lake // Ecol. Indicators. 2021. № 131. P. 108–220.
19. Gal G., Zohary T. Development and application of a sustainability index for a lake ecosystem // Hydrobiologia. 2017. № 800. P. 207–223.
20. Gitau M., Chen J., Ma Z. Water Quality Indices as Tools for Decision Making and Management // Water Resour. Manage. 2016. № 30. P. 2591–2610.
21. Hamilton D., Parparov A. Comparative Assessment of Water Quality with the Trophic Level Index and the Delphi Method in Lakes Rotoiti and Rotorua, New Zealand // Water Qual. Res. J. Can. 2010. 45. № 4. P. 479–489.

22. *Horton R.* An index-number system for rating water quality // *J. Water Pollut. Con. Fed.* 1965. 37. № 3. P. 300–306.
23. *Lumb A., Sharma T., Bibeault J.* A Review of Genesis and Evolution of Water Quality Index (WQI) and Some Future Directions // *Water Qual. Expo Health.* 2011. № 3. P. 11–24.
24. *Noges T.* Relationships between morphometry, geographic location and water quality parameters of European lakes // *Hydrobiologia.* 2009. № 633. P. 33–43.
25. *Othman F. et al.* Efficient river water quality index prediction considering minimal number of inputs variables // *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics.* 2020. V. 14. № 1. P. 751–763.
26. *Ott W.* Environmental indices: theory and practice. Michigan, U.S.A.: Ann Arbor Sci. Publ., 1978. 371p.
27. *Parparov A., Hambright D.* Composite water quality: evaluation and management feedbacks // *Water Quality Res. J. Canada.* 2007. 42. № 1. P. 20–25.
28. *Parparov A., Hambright K., Hakanson L., Ostapenia A.* Water quality quantification: basics and implementation // *Hydrobiologia.* 2006. 560. № 1. P. 227–237.
29. *Sivaranjani S., Singh S., Rakshit A.* Water Quality Assessment with Water Quality Indices // *Int. J. of Biore-sour. Sci.* 2015. 2. № 2. P. 85–94.
30. *Smith D.* A better water quality indexing system for rivers and streams // *Water Res.* 1990. 24. P. 1237–1244.
31. *Sudha M., Ravichandran S., Sakthivadivel R.* Water Bodies Protection Index for assessing the sustainability status of lakes under the influence of urbanization: a case study of south Chennai, India // *Environ. Dev. Sustain.* 2013. 15. P. 1157–1171.
32. *Sutadian A., Muttill N., Yilmaz A., Perera B.* Development of river water quality indices—a review // *Environ. Monit. Assess.* 2016. 188. P. 1–29.
33. *Uddin Md., Nash S., Olbert A.* A review of water quality index models and their use for assessing surface water quality // *Ecol. Indicators.* 2021. 122. P. 107218–107239.
34. *Water Framework Directive (WFD) 2000/60/EC of the European parliament and of the council* // *Official J. Europ. Communities.* 2000. P. L327/1–L327/72.
35. *Wu T., Wang S., Su B., Wu H., Wan G.* Understanding the water quality change of the Yilong Lake based on comprehensive assessment methods // *Ecol. Indicators.* 2021. V. 126. P. 107714–107721.