

УДК 556.11.012.628.1.03

Б.К. Кенжебекова *

К ОЦЕНКЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ БЕССТОЧНЫХ ВОДОЕМОВ АРИДНОЙ ЗОНЫ*АРИДНАЯ ЗОНА, ВОДОЕМЫ, ЭКОЛОГИЯ, ОЦЕНКА, ОБЪЕМ, МИНЕРАЛИЗАЦИЯ, ЗАГРЯЗНЕНИЕ АНТРОПОГЕННОЕ, ЕСТЕСТВЕННОЕ, ШКАЛА*

В настоящее время экологическое состояние водоемов республики оценивается в основном только качественно и характеризуется выражениями типа «хорошее» или «неудовлетворительное», что недостаточно для прогнозных расчетов или моделирования. В статье дается способ количественной оценки состояния водной среды в зависимости от колебания водности и степени загрязнения водоема.

Как известно, большинство бессточных водоемов расположено в аридной зоне и имеют солоноватую или соленую воду. К солоноватым, по О.А. Алекину [1], относятся водоемы с минерализацией вод от 1,0 г/дм³ до 25,0 г/дм³. В мире ряд солоноватых и бессточных водоемов имеют огромные размеры (оз. Балхаш, оз. Иссык-куль и др.) и обладают большими запасами биологических и других ресурсов. Вследствие циклического характера климата в регионе, где расположены их бассейны, гидрологические показатели таких водоемов подвержены большим колебаниям. При этом значительно меняется экологическое состояние водной среды в целом.

Для природы любое естественное состояние ее отдельно взятого объекта является «нормальным». Но, если этот объект является или становится предметом труда, то есть используется в экономике страны, то как правило, его состояние оценивается на данный момент времени и выявляется степень пригодности для той или другой отрасли. Но при этом оценка состояния водоемов производится, как правило, качественно, критериями типа «хорошее», «удовлетворительное», что недостаточно для расчетов и моделирования.

Ниже предлагается способ количественной оценки состояния водоема в зависимости от основных гидрологических и гидрохимических показателей. Впервые такая работа была проведена автором несколько лет

* КазНИИ рыбного хозяйства, Балхашский филиал, г. Балхаш

назад [3]. Здесь приводится доработанный и дополненный вариант (без биологической составляющей). В предлагаемом способе в качестве определяемой величины берется состояние среды (C_c) определяемого объемом водной массы (V), величиной минерализации (M) и уровнем загрязнения (K_3) воды в озере, то есть

$$C_c = f(V, M, K_3). \quad (1)$$

В качестве основного гидрологического показателя берется отношение объема воды в озере за рассматриваемый период к среднемуголетнему его значению (V/V_0), так как в любом водоеме объем воды обуславливает величину всех других параметров.

Второй очень важный показатель качества водоема – это величина минерализации воды в нем (M). Для оценки состояния водоема берется отношение ее среднемуголетнему значению к фактической минерализации в рассматриваемый период (M_0/M_ϕ).

Аналитическое выражение искомой зависимости имеет вид:

$$C_c = (V_0/V_\phi) \cdot (M_0/M_\phi) \cdot (M_p/M_\phi) \cdot (1 - K_3), \quad (2)$$

здесь M_p – расчетная величина минерализации; $K_3 = K_{e3} + K_{a3}$ – суммарный коэффициент естественного (K_{e3}) и антропогенного загрязнения (K_{a3}).

Преобразуя (2) получим уравнение в следующем виде:

$$C_c = \frac{V_0}{V_\phi} \cdot \frac{M_0 \cdot M_p}{M_\phi^2} \cdot (1 - K_3). \quad (3)$$

Как показывают исследования, в бессточных водоемах существует обратно пропорциональная зависимость величины минерализации от уровня воды в нем. Для Западной части оз. Балхаш такая зависимость впервые была получена И.А. Федюшиным [6]. Для оз. Балхаш в целом она (после некоторой обработки) имеет вид:

$$M_p = 3,39 - 0,004H, \quad (4)$$

где M_p – расчетная величина минерализаций, г/дм³; H – уровень воды в озере, в см над «нулем» графика.

Позднее были найдены константы для оз. Алаколь и Кенгирского водохранилища.

Независимо от работ в КазНИИРХ, Д.К. Джусупбеков из КазНУ им. аль-Фараби также получил аналогичное уравнение для оз. Балхаш

и его Восточной части. Все эти зависимости, в общем виде, выражаются уравнением прямой:

$$M = (a - bH) \pm \varepsilon, \quad (5)$$

где a и b константы, H – уровень воды, ε – невязка.

Коэффициент корреляции этой зависимости в отдельных водоемах (например, в оз. Балхаш) довольно высокий и составляет 0,8...0,9 и более. Как следовало ожидать, полученное расчетным путем значение минерализации (M_p) отличается от фактического значения (M_ϕ). Нередко эти различия бывают довольно большими и значительно превышают точность вычислений или натурных определений.

Исследования показывают, что в силу ряда факторов (например, колебания минерализаций в притоках, изменения величины отложения или расхода солей и др.) содержание солей в воде озера в разные годы бывает неодинаковым при одной и той же величине объема воды (то есть при одном и том же уровне воды). (Иначе зависимость была бы функциональной). Результаты совместного анализа многолетних данных по развитию низших гидробионтов и отклонения фактических величин минерализации (M_ϕ) от расчетных (M_p) позволяют утверждать, что эти отклонения (если они превышают погрешность измерений и вычислений) показывают наличие в водоеме изменений, выводящих его из «обычного» состояния. Например, при анализе многолетних материалов (с 1963...2001гг.) по оз. Балхаш обнаружено, что в пяти случаях из семи биомасса фитопланктона, в шести случаях из восьми биомасса зоопланктона и шести случаях из девяти масса макрозообентоса изменялись синхронно «улучшению» и «ухудшению» среды.

Следовательно, для оценки экологического состояния водоема нужно учесть еще соотношение расчетной величины солености и фактической.

Из уравнения (3) видно, что при $V_0 = V_\phi$ и $M_0 = M_\phi = M_p$, в условиях отсутствия загрязнений ($K_s = 0$), $C_c = 1$. То есть состояние водоема, соответствующее среднемуголетним значениям его основных показателей, равняется единице и является «нормой» для него. Увеличение или уменьшение объема воды в непроточных озерах аридной зоны сопровождается изменением солености, следовательно, и изменением состояния водной среды в целом.

Как показывают исследования, отклонение состояния среды от существующего на небольшую величину не обуславливает тут же переход

водоема в другое состояние, то есть состояние среды имеет определенную инертность. Например, в Балхаше снижение уровня озера под влиянием Капшагайского водохранилища началось с 1971 года. Еще до этого ареал цветной монодакны (*Monodakna colorata*) распространялся практически на весь Западный Балхаш, включая пролив Узынарал. А сокращение ареала этого моллюска в озере началось лишь с 1974 года, то есть спустя три года после начала снижения уровня. Это показывает, что между количественным и качественным изменениями объекта сохраняется определенный интервал. Следовательно, при определении состояния водоема по уравнению (3) необходимо иметь специальную шкалу с определенной градацией.

Такая шкала была разработана автором в 2003 г. (Фондовые материалы БФ КазНИИРХ), а здесь она предлагается в несколько доработанном виде (Табл.).

Таблица

Градация экологического стояния бессточных водоемов аридной зоны

| Значение C_c | Состояние водной среды | Краткая характеристика среды |
|-------------------------|------------------------|--|
| $C_c > 1,2$ | Очень хорошее | Состояние водоема намного лучше «нормального». Загрязнение воды отсутствует или совсем незначительное, в составе низших гидробионтов появляются новые виды или формы. Расширяются ареалы многих видов беспозвоночных. Существенно повышается потенциальная рыбопродуктивность. |
| $1,0 \leq C_c \leq 1,2$ | Хорошее | Минерализация воды, степень естественного загрязнения воды несколько ниже многолетнего, антропогенное загрязнение незначительное. Развития гидробионтов хорошие. Расширяются ареалы некоторых низших гидробионтов. Потенциальная рыбопродуктивность выше среднемноголетнего. |

| Значение C_c | Состояние водной среды | Краткая характеристика среды |
|----------------------|---------------------------------|--|
| $0,5 \leq C_c < 1,0$ | Удовлетворительное | Развитие гидробионтов, включая рыб, кормность водоема и его рыбопродуктивность соответствуют среднемноголетнему состоянию водоема. Антропогенное загрязнение не превышает допустимых пределов. |
| $0,2 \leq C_c < 0,5$ | Неудовлетворительное | Состояние водоема заметно ниже нормального, минерализация воды выше среднемноголетнего, содержание ряда загрязняющих веществ превышает принятые нормы. Развитие гидробионтов угнетенное, сокращаются ареалы отдельных биоценозов, рыбопродуктивность падает. Пример: оз. Балхаш в середине 80-х годов прошлого века. |
| $C_c < 0,2$ | Очень плохое (катастрофическое) | Состояние водоема стало другим. Вода сильно минерализована или/и загрязнена. Видовой состав гидробионтов полностью перестраивается. Превышение видов рыб и другие организмы (растительность, низшие гидробионты, нектон) вымерли. Пример: Аральское море в конце минувшего века. |

В этой шкале границы отдельных категорий экологического состояния водной среды в дальнейшем будут уточнены в зависимости от химических и биологических особенностей каждого отдельно взятого водоема.

Как видно (3), при полном высыхании водоема ($V_\phi = 0$) это выражение теряет смысл, что вполне согласуется с математическим положением (деление на ноль невозможно), так как водоема нет. (Как известно, на территории Казахстана высыхает большая часть малых озер).

Шкала, близкая по виду, приводится в «Сборнике нормативно-методических документов по разработке нормативов предельно допустимых вредных воздействий на поверхностные водные объекты» Комитета по водным ресурсам МСХ РК, выпущенного в 2007 г. под редакцией М.Ж. Бурлибаева и Р.К. Кайдаровой [5].

В этом документе дается шкала комплексного показателя антропогенной нагрузки (КПАН), состоящая из пяти интервалов. Как видно из названия, эта шкала предназначена для определения антропогенной нагрузки на водный объект и не учитывает естественные колебания водности в аридной зоне, так как она рассчитана в первую очередь для рек.

Предлагаемая нами шкала рассчитана для оценки бессточных водоемов и учитывает как естественные отклонения их состояния от среднего («нормального») так и вынужденного изменения, обусловленного воздействием антропогенных факторов.

При разработке шкалы за «нормальной» или «удовлетворительной» принято состояние водной среды? близкое к многолетнему среднему в естественных условиях. При повышенной водности в бассейне состояние водоема несколько улучшается, то есть оно становится «хорошим». Однако при очень благоприятных случаях (экстремальных изменениях климатических факторов) в бассейне водность увеличивается во много раз (например, в первой половине 19 в. уровень в оз. Балхаш достиг 346,5 м БС). В таких случаях, по мнению автора, в водоеме наступает «очень хорошее» состояние.

Пример 1. В 1986 г. уровень воды в оз. Балхаш находился на отметке 340,68 м БС, который соответствует объему водной массы $V = 83,1 \text{ км}^3$. Средний многолетний уровень воды озера в 20 веке составил 341,9 м БС и объем $V_0 = 104 \text{ км}^3$. Минерализация воды в 1986 г. составила 3,20 г/дм³, а его среднемноголетнее значение (соответствующее уровню 341,9 м БС) – 2,66 г/дм³. Величина расчетной минерализации $M_p = 3,12 \text{ г/дм}^3$. Антропогенным загрязнением в те годы были охвачены большая часть IV-го гидрохимического района, приустьевые участки р. Или, Каратала, Лепсы с суммарной площадью около 5000 км² при общей площади озера 15680 км². В этих условиях коэффициент «антропогенного загрязнения» ($K_{аз}$) равен $5000:15680 = 0,32$. Естественное загрязнение, как правило, наблюдается в малых водоемах с сильной зарастаемостью. В оз. Балхаш коэффициент «естественного загрязнения» ($K_{ес}$) практически равен нулю. Таким образом, общий коэффициент загрязнения в 1986 г. равен $K_з = K_{ес} + K_{аз} = 0,32$. Подставляя эти цифры в уравнение (3), получим:

$$C_c = \frac{83,1}{104} \cdot \frac{2,66 \cdot 3,12}{3,2^2} \cdot (1 - 0,32) = 0,44 .$$

Это показывает, что в 1986 г. оз. Балхаш обладало ресурсом меньше половины своего «нормального» биопотенциала и состояние его было неудовлетворительным.

Пример 2. В 2002 г. в оз. Балхаш среднегодовой уровень воды поднялся до 341,9 м БС (то есть до среднеегодового уровня). Следовательно, объем воды $V = V_0$. Величина минерализаций составила $M_\phi = 2,62$ г/дм³, расчетная $M_p = 2,61$ г/дм³. Коэффициент антропогенного загрязнения – 0,24, коэффициент естественного загрязнения равен нулю. Подставляя эти значения в уравнение (3), получим:

$$C_c = \frac{2,66 \cdot 2,61}{2,62^2} \cdot (1 - 0,24) = 0,77,$$

т.е. озеро в 2002 г. уже находилось в зоне «нормального» состояния, где оно пребывает и в настоящее время.

Пример 3. Среднееголетний уровень Аральского моря 53,0 м БС [4]. При этом площадь зеркала воды составляла 66000 км², средняя минерализация (M_0) равнялась – 10,4 г/дм³ [2]. В конце 1987 г. уровень моря опустился до отметки 40,0 м БС и «...Арал распался на Большое и Малое море» [2]. Площадь зеркала воды сократилась до 37500 км². Соленость воды составила в 1983 г. 21,9 г/дм³, в 1989 г. – 28,4 г/дм³. Интерполируя эти данные, находим, что в 1987 г. средняя соленость в море составила приблизительно 26,2 г/дм³. Опуская из уравнения (2) некоторые члены ($(M_p/M_\phi) \cdot (1 - K_s)$), предполагая, что они в данном случае не играют существенные роли, получим:

$$C_c = \frac{37500}{66000} \cdot \frac{10,4}{26,2} = 0,22,$$

т.е. к моменту разделения моря на две части (в 1987 г.) его состояние уже было «катастрофическим».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алекин О.А. Основы гидрохимии. – Л.: Гидрометеиздат, 1970. – 442 с.
2. Амиргалиев Н.А, Накупбеков С. Тагаева Ф.Е., Супиева Х.Т. Оценка современного состояния уровня, солевого режима и пестицидного загрязнения Аральского моря // Рыбные ресурсы водоемов Казахстана и их использование. – Алматы, 1993. – С. 83-87.
3. Кенжебеков Б.К. Зависимость функционирования гидробиоценоза оз. Балхаш от абиотических факторов // Проблемы гидроэкологической ус-

- тойчивости в бассейне озера Балхаш. – Алматы: Каганат, 2003. – С. 299-306.
4. Львович М.И. Вода и жизнь: (Водные ресурсы, их преобразование и охрана). – М.: Мысль, 1986. – С. 112-120.
 5. Сборник нормативно-методических документов по разработке нормативов предельно допустимых вредных воздействий на поверхностные водные объекты. // Под ред. М.Ж. Бурлибаева и Р.К. Кайдаровой. – Астана – Алматы: 2007. – 76 с.
 6. Федюшин И.А. К вопросу об установлении связи между уровнем и общей минерализацией воды в озере Балхаш // Биологические основы рыбного хозяйства водоемов Средней Азии и Казахстана: Тезисы докл. XVII научной конф., Балхаш, 1981. – Фрунзе: Илим, 1981. – С. 186-188.

Поступила 12.03.2012

Б.К. Кенжебеков

АРИДТІК АЙМАҚТАҒЫ ТҰЙЫҚ СУ АЙДЫНДАРЫНЫҢ ЭКОЛОГИЯЛЫҚ КҮЙІН БАҒАЛАУ ЖАЙЛЫ

Осы кезде еліміздегі су нысандарының (көлдер мен су қоймалар) экологиялық күйін бағалау оның сапалық жағын ғана жуықтай көрсететін «жақсы» немесе «жаман» деген сөздермен шектеледі де, оны әртүрлі есептеулерге немесе моделдеуге қолдануға келмейді. Бұл мақалада аридтік аймақта орналасқан су айдындарын бағалауда сандық мәндер табудың жолдары қарастырылады.