

**МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ
МОРСКИХ АКВАТОРИЙ, НАХОДЯЩИХСЯ В
ХОЗЯЙСТВЕННОМ ПОЛЬЗОВАНИИ**

С.К. Монахов¹, Г.А. Монахова²

¹ *Каспийский морской научно-исследовательский центр,
Ширяева, 14, 414045, г. Астрахань, 8(8512)30-34-70,*

kaspmni.z@mail.ru

² *Дагестанский государственный университет,
ул. Дахадаева, 21, 367025, г. Махачкала, 8 (8722) 67-46-51*

monakhova.galina@mail.ru

It is suggested to use the ensemble of three criteria for the assessment of pollution of water areas used for economic activities: quality assessment (maximum permissible concentration of pollutants as a criterion, C_1); accumulation assessment (background concentration of pollutants as a criterion, C_f); pressure assessment (maximum permissible pressure as a criterion, $\Delta_{lf} = C_1 - C_f$). The ensemble method was used to assess the marine pollution in the Russian sector of the Caspian Sea in 2012.

В России и за рубежом для оценки загрязнения водных объектов, в т.ч. морских акваторий, широко используется комплексный подход, предполагающий использование двух и более параметров (многопараметрическая или комбинаторная оценка). Обычно для такой оценки используется один критерий. В России это чаще всего предельно допустимая концентрация (C_1), используемая при расчетах многочисленных индексов загрязнения вод. За рубежом для оценки загрязнения широко применяются и другие критерии: а) фоновая концентрация (C_f), используемая для расчета разнообразных индексов аккумуляции; б) предельно допустимая нагрузка ($\Delta_{lf} = C_1 - C_f$), используемая для расчета разнообразных индексов нагрузки. В соответствии с перечисленными критериями комплексную оценку загрязнения можно подразделить на оценку качества (критерий C_1), оценку аккумуляции (критерий C_f) и оценку нагрузки (критерий Δ_{lf}). Цель нашей работы состояла в разработке метода многокритериальной оценки загрязнения морских акваторий, представляющей собой ансамбль из трех названных оценок.

Следует отметить, что фоновая концентрация, используемая для расчетов индексов аккумуляции, представляет собой геохимический фон, значение которого *близко к центру распределения данных*. Мы в качестве геохимической фоновой концентрации используем медиану, как статистический параметр, не зависящий от выбросов на краях распределения. В российской практике термин «фоновая концентрация» применяется также для характеристики нормативного фона, используемого при расчетах предельно допустимых сбросов вредных веществ в водоемы. Значение нормативного фона лежит *далеко от центра распределения*, в области, относящейся к наименее благоприятному периоду (с точки зрения поступления и рассеивания загрязняющих веществ). Поэтому значения нормативного и геохимического фона могут сильно отличаться друг от друга. В нашей работе для оценки аккумуляции мы использовали геохимическую фоновую концентрацию.

На первом этапе многокритериальной оценки загрязнения морских акваторий, находящихся в хозяйственном использовании, рассчитывается численное значение оценки для каждого из критериев (j), загрязняющих веществ (i) и ячеек массивов данных (q), полученных в результате измерений концентрации загрязняющих веществ одновременно в различных пунктах наблюдений или в одном пункте в различные периоды времени.

Численное значение оценки качества (E_i), критерием которой является предельно допустимая концентрация (C_i) рассчитывается по формуле (1):

$$E_{iq} = C_i / C_l \quad (1)$$

Численное значение оценки аккумуляции (E_f), критерием которой является предельно допустимая концентрация (C_f) рассчитывается по формуле (2):

$$E_{fiq} = C_i / C_f \quad (2)$$

Численное значение оценки нагрузки (E_p), критерием которой является предельно допустимая нагрузка ($\Delta_{if} = C_l - C_f$) рассчитывается по формуле (3):

$$E_{piq} = C_i - C_f / C_l - C_f \quad (3)$$

На следующем этапе оценки загрязнения усредняются по всему массиву данных, но для каждого загрязняющего вещества в отдельности. При этом оценка загрязнения E_{ii} рассчитывается как среднее геометрическое ряда E_{iiq} , оценка аккумуляции E_{fi} – как среднее геометрическое ряда E_{fiq} , оценка нагрузки E_{pi} – как среднее геометрическое ряда E_{piq} .

Для того, чтобы оценки (E_{ji}), полученные с использованием различных критериев, были сопоставимы друг с другом, они переводятся в баллы с помощью единой шкалы, приведенной в табл. 1 и на рис. 1.

Таблица 1

Единая шкала для перевода средних численных значений однокритериальных оценок (E_{ji}) в баллы

Оценка в баллах	Оценка качества, E_{ji}	Оценка аккумуляции, E_{fi}	Оценка нагрузки E_{pi}	
			При $C_1 > C_f$	При $C_1 < C_f$
0	$E_{ji} \leq 1,0$	$E_{fi} \leq 2,0$	$E_{pi} \leq 0$	$E_{pi} \geq 1,0$
1	$1,0 < E_{ji} \leq 2,0$	$2,0 < E_{fi} \leq 3,0$	$0 < E_{pi} \leq 1,0$	$0 \leq E_{pi} < 1,0$
2	$2,0 < E_{ji} \leq 3,0$	$3,0 < E_{fi} \leq 4,0$	$1,0 < E_{pi} \leq 2,0$	$-1,0 \leq E_{pi} < 0$
3	$3,0 < E_{ji} \leq 5,0$	$4,0 < E_{fi} \leq 5,0$	$2,0 < E_{pi} \leq 3,0$	$-2,0 \leq E_{pi} < -1,0$
4	$E_{ji} > 5,0$	$E_{fi} > 5,0$	$E_{pi} > 3,0$	$E_{pi} < -2,0$



Рис. 1 Иллюстрация единой шкалы для перевода численных значений однокритериальных оценок (E_{pi}) в баллы, обозначенные цифрами, расположенными справа от осей концентрации (C), разбитых на характерные отрезки в зависимости от критерия оценки

Следующей операцией является расчет многокритериальной средней оценки загрязнения акватории каждым из загрязняющих веществ в отдельности (E_{ki}), в ходе которого различные оценки (качества, аккумуляции и нагрузки), выраженные в баллах, складываются и делятся на число использованных критериев. На завершающей стадии однопараметрические многокритериальные оценки E_{ki} преобразуется путем усреднения в многопараметрическую многокритериальную оценку E_{kn} . Результаты расчетов используются для классификации и описания загрязнения морских акваторий в соответствии с табл. 2.

Таблица 2

Классификация загрязнения морских акваторий
в соответствии ансамблевой оценкой

Класс загрязнения	Вербальная оценка	Численная оценка
Первый	Чистая (Ч)	менее и равно 0,50
Второй	Умеренно загрязненная (УЗ)	от 0,51 до 1,50
Третий	Загрязненная (З)	от 1,51 до 2,50
Четвертый	Грязная (Гр)	от 2,51 до 3,50
Пятый	Очень грязная (ОГр)	более и равно 3,51

Особенностью и достоинством данного метода является то, что он позволяет сделать не только синтетическую, но и аналитическую оценку загрязнения морских акваторий, что очень важно для тех из них, которые находятся в хозяйственном пользовании. При этом синтетическая оценка проводится в соответствии с рассчитанным значением $E_{кп}$, а для аналитической оценки используется матрица, число строк которой соответствует количеству ЗВ, а число столбцов равно числу оценок, включенных в ансамбль и дополненных ансамблевой оценкой $E_{кi}$. Примером такой матрицы является табл. 3, в которой приведены результаты ансамблевой оценки загрязнения морской воды в мелководной зоне устьевого взморья Волги осенью 2012 года.

Таблица 3

Результаты ансамблевой оценки загрязнения морской воды в
мелководной зоне устьевого взморья Волги осенью 2012 года

Показатель загрязнения	Оценки загрязнения			
	Оценка качества E_1	Оценка аккумуляции E_f	Оценка нагрузки E_p	Ансамблевая оценка E_k
БПК	1	0	1	0,67
N аммонийный	0	0	1	0,33
Нефтепродукты	1	0	1	0,67
Железо	3	0	1	1,33
Цинк	0	0	1	0,33
Никель	3	0	1	1,33
Медь	1	0	1	0,67
Свинец	0	1	2	1,00
Кадмий	0	0	0	0,00
E_1	1,0	0,1	1,0	0,70
E_2	1,8	1,0	1,1	0,79
E_3	3,0	1,0	2,0	1,33

Для полноты анализа и оценки загрязнения морской воды мы рекомендуем представлять каждую из оценок в трех видах: 1) $E_1 = E/n$; 2) $E_2 = E/N$; 3) $E_3 = E_{\max}$, где n – общее число показателей загрязнения (загрязняющих веществ); N – число показателей загрязнения, у которых $E > 0$; E_{\max} – максимальное значение E . Оценку E_1 (E_{kn}) мы предлагаем именовать обобщенной, оценку E_2 – приоритетной, а оценку E_3 – экстремальной.

Тогда результаты оценки загрязнения морской воды (E_k), приведенные в табл. 3, можно трактовать следующим образом: В соответствии с обобщенной ансамблевой оценкой (по комплексу показателей, в состав которого входят 9 загрязняющих веществ) морская вода на взморье Волги осенью 2012 г. оценивалась как умеренно загрязненная ($E_{k1} = 0,70$). Критериям, установленным для оценки загрязнения, не соответствовало содержание 8 загрязняющих веществ, при этом согласно приоритетной ансамблевой оценке вода также оценивалась как умеренно загрязненная ($E_{k2} = 0,79$). Из всех ЗВ, самый высокий уровень загрязнения был установлен у цинка и железа ($E_{k3} = 1,33$), но и в соответствии с экстремальной ансамблевой оценкой вода также оценивалась как умеренно загрязненная.

Важно, что матричное представление ансамблевой оценки загрязнения морской воды позволяет дифференцировать ее не только по отдельным показателям и их группам, но и по отдельным видам оценки с использованием единой шкалы. Например, оценка загрязнения рассматриваемой акватории по допустимой нагрузке выглядит следующим образом: В соответствии с обобщенной оценкой нагрузки (по комплексу показателей, в состав которого входят 9 загрязняющих веществ) морская вода на взморье Волги осенью 2012 г. оценивалась как умеренно загрязненная ($E_{p1} = 1,0$). Критериям, установленным для оценки нагрузки, не соответствовало содержание 8 загрязняющих веществ, но согласно приоритетной оценке нагрузки вода также оценивалась как умеренно загрязненная ($E_{p2} = 1,1$). Самый высокий уровень нагрузки из всех ЗВ был установлен у свинца ($E_{p3} = 2,0$), в соответствии с экстремальной оценкой нагрузки вода оценивалась как загрязненная.

Матричное представление ансамблевой оценки загрязнения морской воды облегчает сравнение различных оценок, общее число которых равно произведению числа столбцов на число строк матрицы. В некоторых случаях результаты сравнительного анализа имеют существенное значение для определения причин загрязнения вод и разработки мер по охране морской среды от загрязнения. Таковым мы считаем сравнение оценки качества с оценкой аккумуляции. Так, при

$E_i > E_f$ основной вклад в загрязнение данной акватории вносят внешние по отношению к ней источники (в нашем случае это относится к БПК, нефтепродуктам, железу, никелю и меди, см. табл. 3). Наоборот, при $E_i < E_f$ основной вклад в загрязнение вносят местные источники (в нашем случае это относится к свинцу, см. табл. 3). Интересно, что действие местных источников в этом случае таково, что нагрузка на рассматриваемую акваторию по свинцу существенно превышает допустимый уровень.

Особенностью предложенного метода ансамблевой оценки загрязнения морских вод является использование исключительно химических показателей, причем только тех из них, для которых установлена ПДК. Это связано с тем, что в состав ансамбля включена оценка качества вод, критерием для которой является ПДК. В настоящее время в России не нормируется концентрация загрязняющих веществ в донных отложениях. Но при использовании зарубежных ПДК ансамблевый метод вполне применим к оценке загрязнения донных отложений. Объединение оценки загрязнения воды с оценкой загрязнения донных отложений следует рассматривать как оценку загрязнения морской среды, морских акваторий в целом.

В данной работе метод ансамблевой оценки загрязнения морских акваторий изложен в усовершенствованном виде. Суть усовершенствования состояла в развитии его аналитических возможностей. В прежнем варианте данный метод уже использовался для обобщения результатов государственного и производственного экологического мониторинга российского сектора недропользования Каспийского моря. Авторы выражают надежду, что теперь, после усовершенствования, он получит более широкое распространение.