

# ENERGY BULLETIN



Устойчивое  
Энергетическое  
Развитие



Международный центр  
под эгидой ЮНЕСКО

Энергетический вестник  
№17, 2014



## ЭНЕРГИЯ ВЕТРА: ПЕРСПЕКТИВЫ И ПРОБЛЕМЫ ГЛОБАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ

**МИРОВОЙ РЫНОК ВЕТРОУСТАНОВОК  
МАЛОЙ МОЩНОСТИ ПРОДОЛЖАЕТ РАСТИ**

Всемирная ассоциация по ветроэнергетике,  
стр. 11

**РАЗВИТИЕ СЕТЕВЫХ ВЕТРЯНЫХ  
ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ В РОССИИ**

Компания «Ветроэнергетические системы»,  
Россия, стр. 20

**НОВЫЙ ЕВРОПЕЙСКИЙ  
АТЛАС ВЕТРОВ**

Технический университет Дании,  
стр. 36

## МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ МОРСКИХ АКВАТОРИЙ В РАЙОНАХ ОСВОЕНИЯ МОРСКИХ НЕФТЕГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ



*Ольга Есина,*

*Галина Монахова,*

*Сергей Монахов,*

*Алексей Курапов,*

*Каспийский морской научно-исследовательский центр, Россия*

Расположенный в г. Астрахань Каспийский морской научно-исследовательский центр (КаспМНИЦ) создан в 1995 году и является государственным научным учреждением Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромета). Его основная задача – изучение метеорологических, гидрологических и гидрохимических условий и состояния загрязненности Каспийского моря. Основными материалами для исследований служат данные многолетних наблюдений на станциях, постах и судах Росгидромета. Разработанный центром комплекс методов диагностики и оценки загрязнения морей включен в программы производственного экологического мониторинга, осуществляемого нефтегазовыми компаниями в российском секторе недропользования Каспийского моря. КаспМНИЦ является координатором проектов КАСПКОМ – Координационного комитета по гидрометеорологии и мониторингу загрязнения Каспийского моря, созданного в 1994 году гидрометеорологическими организациями прикаспийских государств при поддержке Всемирной метеорологической организации.

Среди разнообразных отношений, сложившихся между обществом и природой, видное место занимает оценка окружающей среды [1-3]. Благодаря ей цели, которые мы преследуем в этих отношениях, соотносят-

ся с обстоятельствами, сложившимися в данном месте и в данное время, и тем самым находят выражение в конкретных задачах и планах. В полной мере это касается оценки загрязнения природных объектов являющейся составной частью оценки окружающей среды [4].

По моему мнению, оценка загрязнения для того, чтобы в полной мере исполнить свою миссию в регулировании техногенных потоков загрязняющих веществ, должна учитывать и химический фон, и уровень химической нагрузки, и трансформацию этих веществ в окружающей среде. При этом, будучи насколько это возможно всесторонней, она должна носить компактный характер, быть «местом встречи» дифференциального и интегрального подходов. Особенно важно, чтобы эти качества были присущи оценке загрязнения природных объектов, находящихся в хозяйственном пользовании, в том числе морских акваторий, отведенных для разведки и добычи углеводородов.

Дифференциальный подход к оценке окружающей среды выражается в использовании различных параметров и различных критериев [5]. В российской практике оценки загрязнения окружающей среды встречается многопараметрический подход, но, как правило, используется единственный критерий – предельно допустимая концентрация (ПДК) загрязняющего вещества [6], т.е. оценка загрязнения сводится к оценке качества окружающей среды. При этом для оценки загрязнения морских акваторий используется ПДК, установленная для рыбохозяйственных водоемов [7]. В соответствии с официальной методикой для оценки качества морских вод используются всего четыре показателя, одним из которых является концентрация растворенного кислорода [8, 9].

Для оценки загрязнения нефтегазовых акваторий морей нами предложен новый многокритериальный и многопараметрический подход. Комплексная оценка загрязнения акваторий, осуществляемая в соответствии с данным подходом, представляет собой «ансамбль» из трех оценок: 1) оценки качества, критерием которой является ПДК ( $C_1$ ); 2) оценки аккумуляции, критерием которой является фоновая концентрация ( $C_f$ ); 3) оценки нагрузки, критерием которой является предельно допустимая нагрузка ( $\Delta_n = C_1 - C_f$ ). Если ранее основное внимание было сосредоточено на интеграции этих оценок, то в данной работе много места уделено их дифференциации.

Прежде чем перейти к описанию метода, следует отметить, что в российской практике термин фоновая концентрация используется в двух значениях: 1) нормативная фоновая концентрация, которая определяется в водных объектах при наименее благоприятных условиях (с точки зрения поступления и рассеивания загрязняющих веществ) и применяется при расчетах предельно допустимых сбросов вредных веществ в водоемы; 2) геохимическая фоновая концентрация, которая определяется на основе статистического анализа параметров распределения вещества и представляет собой относительно выровненную величину. Очевидно, что значение геохимического фона, которое лежит близко к центру распределения данных,

может сильно отличаться от нормативного, лежащего далеко от центра распределения (в области, относящейся к наименее благоприятному периоду). В нашей работе мы используем геохимическое понятие фоновой концентрации, которая для поверхностных вод иногда называется также естественной фоновой концентрацией или внешней фоновой концентрацией (ambient background concentration).

Способы определения фоновой концентрации являются предметом научной дискуссии [10,11], суть которой сводится к поискам параметра, наиболее адекватно отображающего естественное распределение примеси в водной среде. По нашему мнению, фоновое содержание веществ лучше всего характеризует медиана – статистический параметр, обладающий наибольшей робастностью (устойчивостью к влиянию выбросов и других отклонений).

Технология многокритериальной оценки загрязнения морских акваторий, разработанная в Каспийском морском научно-исследовательском центре совместно с Дагестанским государственным университетом, включает несколько этапов и завершается построением диагностической матрицы, столбцами которой являются критерии оценки качества, а строками – параметры загрязнения.

На первом этапе 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 ( $E_j$ ), критерием которой является предельно допустимая концентрация ( $C_1$ ) рассчитывается по формуле (1):

$$E_{liq} = C_i / C_1 \quad (1)$$

Численное значение оценки аккумуляции ( $E_j$ ), критерием которой является фоновая 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 ( $\Delta_i = C_i - C_f$ ) рассчитывается по формуле (3):

$$E_{piq} = (C_i - C_f) / (C_1 - C_f) \quad (3)$$

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.

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.

Особенностью и достоинством данного метода является то, что он позволяет сделать не только синтетическую, но и аналитическую оценку загрязнения морских акваторий. При этом синтетическая оценка проводится в соответствии с рассчитанным значением  $E_{kn}$ , 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  $E_{ki}$ . Примером такой матрицы является табл. 3, в которой приведены результаты ансамблевой оценки загрязнения морской воды в мелководной зоне устьевого взморья Волги осенью 2012 года.

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

Таблица 1. Единая шкала для перевода средних численных значений однокритериальных оценок ( $E_{ji}$ ) в баллы

Оценка в баллах	Оценка качества, $E_{ii}$	Оценка аккумуляции, $E_{fi}$	Оценка нагрузки, $E_{pi}$	
			При $C_i > C_f$	При $C_i < C_f$
0	$E_{ii} \leq 1.0$	$E_{fi} \leq 2.0$	$E_{pi} \leq 0$	$E_{pi} \geq 0$
1	$1.0 < E_{ii} \leq 2.0$	$2.0 < E_{fi} \leq 3.0$	$0 < E_{pi} \leq 1.0$	$0 \leq E_{pi} < 1.0$
2	$2.0 < E_{ii} \leq 3.0$	$3.0 < E_{fi} \leq 4.0$	$1.0 < E_{pi} \leq 2.0$	$-1.0 \leq E_{pi} < 0$
3	$3.0 < E_{ii} \leq 5.0$	$4.0 < E_{fi} \leq 5.0$	$2.0 < E_{pi} \leq 3.0$	$-2.0 \leq E_{pi} < -1.0$
4	$E_{ii} > 5.0$	$E_{fi} > 5.0$	$E_{pi} > 3.0$	$E_{pi} < -2.0$

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

**Таблица 3. Результаты ансамблевой оценки загрязнения морской воды в мелководной зоне устьевоего взморья Волги осенью 2012 года**

Показатель загрязнения	Оценки загрязнения			Ансамблевая оценка, $E_k$
	Оценка качества, $E_1$	Оценка аккумуляции, $E_f$	Оценка нагрузки, $E_{pi}$	
БПК	1	0	1	0,67
Азот 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	1,0
Кадмий	0	0	0	0,00
<b>E1</b>	<b>1,0</b>	<b>0,1</b>	<b>1,0</b>	<b>0,70</b>
<b>E2</b>	<b>1,8</b>	<b>1,0</b>	<b>1,1</b>	<b>0,79</b>
<b>E3</b>	<b>3,0</b>	<b>1,0</b>	<b>2,0</b>	<b>1,33</b>

показателей загрязнения, у которых  $E > 0$ ;  $E_{\max}$  – максимальное значение  $E$ .

Оценку  $E_1$  ( $E_{k1}$ ) 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 железа и у никеля ( $E_{k3} = 1,33$ ), 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  $E_1 > E_f$  основной вклад в загрязнение данной акватории вносят внешние по отношению к ней источ-

ники (в нашем случае это относится к БПК, нефтепродуктам, железу, никелю и меди, см. табл. 3). При  $E_1 < E_2$ , напротив, 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 многокритериальной 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 грунтов. Объединение оценки загрязнения воды с оценкой загрязнения донных отложений следует рассматривать как оценку загрязнения морской среды, морских акваторий в целом.

В заключение остается добавить, что данный метод разрабатывался на основе данных государственного и производственного экологического мониторинга российского сектора недропользования Каспийского моря, и в настоящее время, после нескольких лет испытаний и усовершенствований, включен в программы экологического мониторинга Каспийского моря. Предлагаемая технология многокритериальной оценки загрязнения морской среды может быть распространена не только на районы освоения морских нефтегазовых месторождений, но и на любые акватории, находящиеся в хозяйственном пользовании.

### Список использованной литературы

1. Монахов С.К., Есина О.И., Монахова Г.А. Нормирование, оценка и мониторинг окружающей среды // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2011. – № 10. – С.5–9
2. Монахов С. К., Курапов А.А. Прошлое, настоящее и будущее системы нормирования и оценки загрязнения окружающей среды.

Материалы IV Международной научно-практической конференции «Проблемы сохранения экосистемы Каспия в условиях освоения нефтегазовых месторождений» (11–13 октября 2011 г.). – Астрахань: Издательство КаспНИРХа, 2011. – С.173-178

3. Есина О.И., Монахов С.К. Современное состояние и перспективы развития системы нормирования и оценки загрязнения окружающей среды // Энергетический вестник. – 2012. – № 1 (13). – С.45-52
4. Монахов С.К., Монахова Г.А., Колмыков Е.В. Оценка и охрана окружающей среды // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2013. – № 5. – С. 9–14
5. Дмитриев В.В. Определение интегрального показателя состояния природного объекта как сложной системы // Общество. Среда. Развитие (Terra Humana). – 2009. – № 4. – С. 146-165
6. Опекунов А.Ю. Экологическое нормирование и оценка воздействия на окружающую среду. – СПб.: Изд-во С.-Петербург. ун-та, 2006. – 261 с.
7. Приказ Федерального агентства по рыболовству от 18 января 2010 г. №20 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения»
8. Временные методические указания по комплексной оценке качества поверхностных и морских вод по гидрохимическим показателям. – М.: Госкомгидромет, 1986. – 6 с.
9. Методические рекомендации по формализованной комплексной оценке качества поверхностных и морских вод по гидрохимическим показателям. – М.: Госкомгидромет СССР, 1988. – 8 с.
10. Estimation of Background Reference Concentrations for Metals in UK Freshwaters // Environment Agency and the Scotland and Northern Ireland Forum for Environmental Research (SNIFFER). – Edinburg, Scotland. – 2012
11. Milos Gregor. Surface and Groundwater Quality Changes in Periods of Water Scarcity. – Springer Themes. – Springer Berlin Heidelberg. – 2013. – 230 pp.