

В.Н. Егоров, академик НАН Украины Г.Г. Поликарпов, М.Б. Гулин,
Ю.Г. Артемов, Н.А. Стокозов, С.Б. Гулин

Влияние струйных метановых газовыделений из дна Черного моря на мелкомасштабные процессы вертикального перемешивания вод

The assessment of the influence of energy dissipation (from the Archimedean force during lifting of gas bubbles) upon small scale processes of vertical turbulence of waters in the region of methane seeps areas is obtained on the base of studies, fulfilled in the NW Black Sea during the 48 cruise of the RV "Professor Vodyanitskii" in the framework of the International Program "European Rivers — Ocean Systems" (EROS2000) in August, 1995. We obtain that, on the scale of fields of gas releases, the dissipation of energy from the Archimedean force and from turbulent exchange are of the same order. The comparison of profiles of the vertical distribution of temperature directly in seeps of gas releases as well as in adjacent areas showed that the profiles are identical both in the higher mixed layer and below the thermocline, but there is a mean temperature reduction, equal to 0.62°C , in the thermocline in seeps areas. The assumption is made on an ecological consequence of the lifting of gas bubbles into the photosynthesis zone, namely, increasing the trophic quality of waters on a small space scale.

Струйные метановые газовыделения (сипы) из дна Черного моря были обнаружены в 1989 г. [1] и наблюдались впоследствии в северо-западной части Черного моря, на свале глубин у берегов Болгарии и Румынии, у Керченского полуострова и вдоль побережья Кавказа на глубинах от 14 до 680 м [2]. Установлено, что с каждого квадратного метра дна может выделяться до 20 струй газа при общем потоке метана с площади в $0,1 \text{ км}^2$, достигающем величины $270000 \text{ м}^3/\text{сут}$ [3]. Этим обусловлен интерес к изучению средообразующей и экологической роли струйных газовыделений.

В настоящем сообщении приведена оценка влияния диссипации (рассеяния) энергии от архимедовой силы подъема пузырьков газа на мелкомасштабные процессы вертикального перемешивания вод в районе полей метановых сипов в Черном море.

Исследования проводились по Международной программе "Европейские системы река — море" (EROS-2000) в августе 1995 г. в 48-м рейсе НИС "Профессор Водяницкий" на полигоне в северо-западной части Черного моря в два этапа: 1) обнаружение сипов на ходу судна, 2) выполнение якорных станций в характерных областях полигона (рис. 1, звездочками обозначены сипы, треугольниками с номерами — якорные станции).

Для регистрации сипов использовались эхолот SIMRAD EK-500, оборудованный антенной с расщепленным лучом ES38B и спутниковая навигационная система GPS NAVIGATOR. Гидрологические измерения выполнялись CTD зондами КАТРАН-4 и NEIL BROWN MARK-111 на якорных станциях в местах сосредоточения сипов (рис. 1, ст. № 2, 6, 7, темные треугольники), и за их пределами (рис. 1, ст. № 1, 3, 4, 5, светлые треугольники).

Размерный спектр пузырьков и расход газа определялись акустическим методом на станции № 7 при позиционировании судна над сипом в течение 10 ч 10 мин. За это время эхолотом автоматически было выполнено 701 измерение силы цели пузырьков метана $TS = 10 \log(\sigma_{bs})$, где σ_{bs} — сечение обратного рассеяния и 2185 измерений параметра S_a , характеризующего энергию объемного рассеяния звука [4] в слое толщиной 5 м в 2 м над

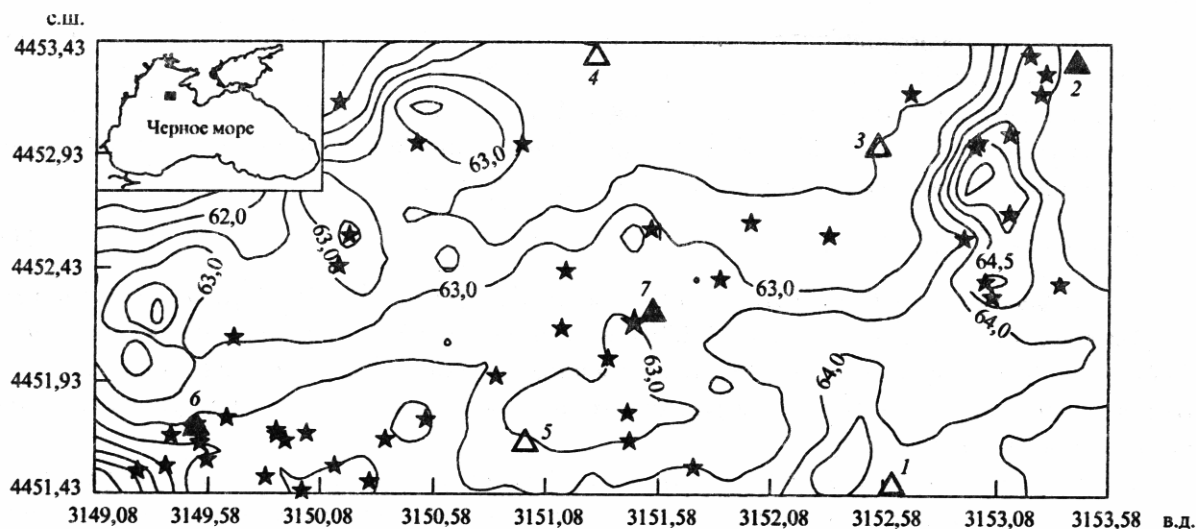


Рис. 1. Карта района работ (обозначения в тексте)

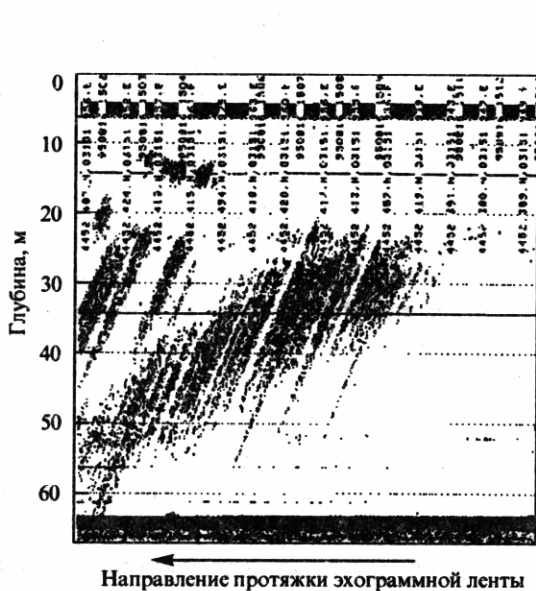


Рис. 2. Эхограмма струйных газовыделений

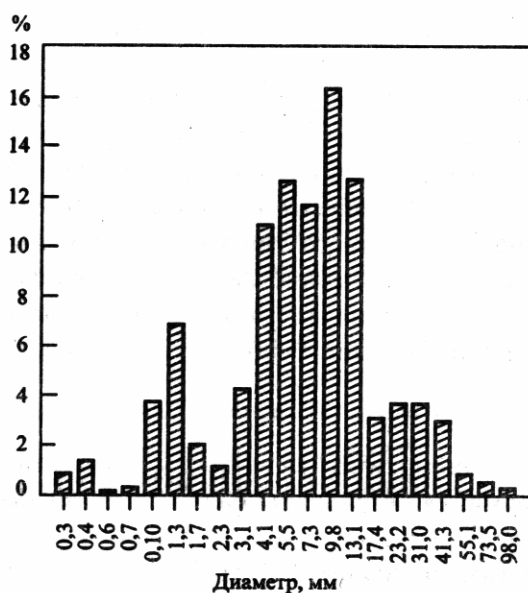


Рис. 3. Гистограмма распределения метановых пузырьков по размерам

дном. Ввиду того, что в полученной выборке S_a ряд значений занижался из-за рысканья судна и отклонения луча антенны от сипа, в расчетах газовых потоков использовалось максимальное значение S_a как удовлетворяющее условиям модели объемной реверберации.

Типичная эхограмма, идентифицирующая струйные газовыделения на ст. № 7, приведена на рис. 2. На эхограмме струи газовых пузырьков отображены линиями, направленными от дна к поверхности. Протяженность этих линий определяется временем пребывания пузырьков в луче эхолота, а угол наклона линий к горизонтالي зависит от соотношения скорости всплытия пузырьков к шагу развертки дисплея эхолота. Поскольку линии на эхограмме прямолинейны и имеют одинаковый угол наклона, можно судить о приблизительном равенстве скорости всплытия пузырьков, которая в данном случае составила 22,2 см/с.

На рис. 3 приведена гистограмма распределения метановых пузырьков по размерам, а в

табл. 1 содержатся основные параметры расчета потока метана в струйных газовыделениях на якорной станции № 7.

При расчете диссипации энергии от пузырьков газа предполагалось, что архимедова сила, действующая на пузырек при всплытии, уравнивается силой лобового сопротивления. Мощность рассеяния определялась из соотношения [5]

$$P = 0,5c\rho q s^3, \quad (1)$$

где c — коэффициент лобового сопротивления (для шара $c = 0,1-0,4$ [5]); ρ — плотность морской воды (при солености воды 15–20‰ и температуре 15–25 °C среднее значение $\rho = 1,012$); q и s — соответственно площадь поперечного сечения и скорость подъема пузырька. Возможными отличиями формы пузырьков от шара и изменением их размерного спектра при всплытии пренебрегали.

Расчеты по соотношению (1) с учетом размерных и вероятностных характеристик спектра пузырьков показали, что наибольший вклад в диссипацию энергии от метановых сипов вносили пузырьки размерной группы 31–41 мм. Получено, что суммарная диссипация энергии от струи газа расходом в 2,46 мл/с составляла 430–1700 $\text{см}^2/\text{с}^3$.

Для ст. № 7 по данным гидрологических измерений был выполнен расчет диссипации турбулентной энергии в слое сезонного термоклина. Использовался подход, изложенный в [6], без учета фактора обрушения ветровых и внутренних волн. В этой работе на основании гидрологических данных, полученных в северо-западной части Черного моря в летнее время, показана статистически значимая связь между модулем вертикального сдвига векторов течений и частотой Вайсяля – Брента (N) как компонент числа Ричардсона (Ri). Значение N сезонного термоклина при его толщине 5 м составило 0,023 с^{-1} . Для этого значения N и пространственных масштабов 3 и 11 м, как наиболее близких к рассматриваемому, диапазон значений величины находился в пределах 0,003–0,010 с^{-1} [6]. Расчет скорости диссипации турбулентной энергии (ϵ) по формуле [7]

$$\epsilon = 7,5\nu E^2, \quad (2)$$

где ν — кинематическая вязкость, определил следующий диапазон оценок: $10^{-5}-10^{-6} \text{ см}^2/\text{с}^3$.

Нормируя результаты расчетов на площадку в 1 м^2 , получаем, что диссипация энергии в пределах этой площадки от гидрологического фактора составит 0,010–0,100 $\text{м}^2/\text{с}^3$, а от струи газа расходом 2,46 мл/с — 0,043–0,170 $\text{м}^2/\text{с}^3$. Следовательно, на масштабе полей струйных газовыделений оценки диссипации энергии от воздействия архимедовой силы подъема пузырьков газа и от турбулентного обмена вследствие сдвиговой неустойчивости течений в слое летнего термоклина имеют одинаковый порядок величин.

Таблица 1.

Параметр и расчетная формула	Значение
Коэффициент обратного объемного рассеяния Sv (м^{-1}), $Sv = Sa/(4\pi 5(1852)^2)$	$227,4 \cdot 10^{-7}$
Средний радиус пузырьков газа a (м), $a = \sqrt{\log(TS/10)}$	0,005
Средний объем пузырьков газа v (м^3), $v = a^3 4\pi/3$	$3,896 \cdot 10^{-6}$
Объемная плотность пузырьков в 1 м^3 n (м^3), $n = \log((10 \log(Sv) - TS)/10)$	0,474
Суммарный объем пузырьков в 1 м^3 V (м^3), $V = na^3$	$1,847 \cdot 10^{-6}$
Скорость подъема пузырьков s (м/с), по эхограмме	0,222
Поток метана (мл/с)	
в придонном слое	0,41
приведенный к атм. давлению	2,46

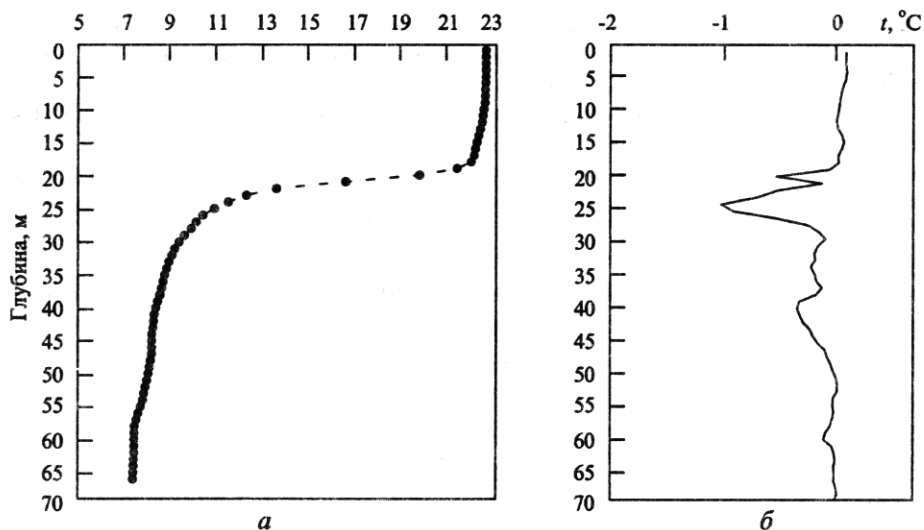


Рис. 4. Температурные профили: а — осредненный профиль температуры на полигоне; б — разность между осредненными профилями температуры, полученными в струях газовыделений и за их пределами

В связи с этим была предпринята попытка обнаружить воздействие фактора вертикального перемешивания вод газовыми струями на гидрологические характеристики слоя термоклина на характерном масштабе полей сипов. Для этого были раздельно рассмотрены профили вертикального распределения температуры вод непосредственно в струях газовой выделений и в смежных областях. Все они имели сходную гидрологическую структуру — верхний квазиоднородный слой имел толщину около 20 м и отделялся от остальной толщи вод единым термогалоклином в слое 20–25 м (рис. 4). В этом слое наблюдались и максимальные вертикальные градиенты плотности с определяющим вкладом температуры в вертикальную стратификацию вод. При идентичности профилей в верхнем перемешанном слое и ниже термоклина было отмечено снижение средней по слою термоклина температуры в зонах сипов. Различие составило 0,62 °C.

Ранее было отмечено, что в местах локализации струйных газовой выделений наблюдаются как разрывы, так и сгущения звуко рассеивающих слоев (ЗРС) биологической природы [8]. Разрывы отмечались непосредственно в местах пересечения газовыми струями горизонтов залегания ЗРС, а сгущения ЗРС наблюдались за полями газовой выделений в сторону генерального течения вод. Этот факт находит удовлетворительное объяснение при допущении, что в результате всплытия пузырьков газа в зону фотосинтеза могут дополнительно вовлекаться биогенные элементы, повышающие на малом пространственном масштабе трофность вод.

1. Поликарпов Г.Г., Егоров В.Н., Нежданов А.И., Гулин С.Б., Кулев Ю.Д., Гулин М.Б. Явление активного газовой выделения из поднятий на свале глубин западной части Черного моря // Докл. АН УССР. Сер. Б. — 1989. — № 12. — С. 13–16.
2. Поликарпов Г.Г., Егоров В.Н., Гулин С.Б., Гулин М.Б., Стокозов Н.А. Газовыделения со дна Черного моря — новый объект молисмологии // Молисмология Черного моря. — Киев: Наук. думка, 1992. — С. 5–10.
3. Ткешелашвили Г.И., Егоров В.Н., Мествиришвили Ш.А., Парцаладзе Г.Ш., Гулин М.Б., Гулин С.Б., Артемьев Ю.Г. Метановые газовой выделения со дна Черного моря в приустьевой зоне реки Сунга у побережья Грузии // Геохимия. — 1997. — № 3. — С. 331–335.
4. SIMRAD EK 500 Scientific Echo Sounder. Operator manual. Software Version 3.0X. June 1992. — Simrad Subsea A/S. Horten. Norway. P. 3.12–3.13.

5. Кузьмичев В.Е. Законы и формулы физики // Справочник. – Киев: Наук. думка, 1989. – 861 с.
6. Еремеев В.Н., Кушнир В.М. Слоистая структура течений и вертикальный обмен в Черном море // Океанология. – 1996. – 36, № 1. – С. 13–19.
7. Озмидов Р.В. О турбулентном обмене в устойчиво стратифицированном океане // Изв. АН СССР. Физ. атм. и океана. – 1965. – 1, № 8. – С. 853–859.
8. Gulin M.B., Gulina T.E. Anomalies in the Zooplankton Layer Distribution Over Gas Seep Areas in the Black Sea // Final Report of the Program "Methane Gas Seep Explorations in the Black Sea". – 1994. – P. 47–53.

Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского
НАН Украины, Севастополь

Поступило в редакцию 14.09.98

УДК 621.039.58

© 1999

В.И. Пампура

Обеспечение экологической безопасности модернизируемых АС

(Представлено академиком НАН Украины В.М. Шестопаловым)

A new method to attain the ecological safety of a nuclear power station on the basis of optimum reliability of controlling systems is proposed.

Эффективность атомной энергетики Украины и ее перспектива развития в рыночных условиях зависят от стоимости отпускаемой электроэнергии и от прибыли, которые в большой степени связаны с затратами на управление модернизацией АС для обеспечения экологической безопасности. Оптимальное управление модернизацией с целью обеспечения безопасности по критерию максимизации прибыли (при ограничении сверху на стоимость отпускаемой электроэнергии) прежде всего связано с обоснованием экономически эффективных значений допустимых рисков для разных типов отказов АС [1].

В условиях разноплановости объектов модернизации и сложившейся практики изолированного обоснования требований к значениям их показателей надежности в принципе невозможно оптимальное управление модернизацией и обеспечение прибыли. Необходимо учитывать влияние надежности модернизируемых объектов в составе соответствующей технологии обеспечения безопасности АС, поскольку управление безопасностью АС осуществляется во взаимосвязи всех объектов соответствующей технологии, и без учета такой взаимосвязи и значений показателей надежности остальных (немодернизируемых) объектов технологии невозможно определить оптимальные значения показателей надежности модернизируемых объектов.

Существующая норма допустимого риска [2] не связана с экономической оптимизацией. Это объясняется особенностями используемых классических теорий надежности и анализа риска, методики которых наиболее полно изложены в [3, 4]. Исходными понятиями классической теории надежности являются множество x возможных несовместных состояний, определяющих функционирование системы, а также случайный процесс $\xi(t)$ функционирования системы, принимающей в каждый момент времени $t = t_i$ одно состояние x . Множество событий $\{\xi(t_i) = x\} = w_x^i$ образует пространство $\Omega = \{w_x^i\}$ несовместных событий