

**ДОЛГОПЕРИОДНЫЕ КОЛЕБАНИЯ  
ВЕРХНЕЙ ГРАНИЦЫ  
СЕРОВОДОРОДНОЙ ЗОНЫ  
ЧЕРНОГО МОРЯ КАК РЕАКЦИЯ  
НА ИЗМЕНЧИВОСТЬ КЛИМАТА**

**А.М.Суворов, А.Х.Халиулин, Е.А.Годин**  
Морской гидрофизический институт  
НАН Украины  
99011, г.Севастополь, ул.Капитанская,2  
e-mail: [suvorov@alpha.mhi.iuf.net](mailto:suvorov@alpha.mhi.iuf.net)

Разработка и применение специальной информационной технологии позволили получить новые данные о характере поведения верхней границы сероводородной зоны (ВГ H<sub>2</sub>S-зоны) Черного моря на различных временных масштабах [1,2]. В предшествующих работах авторами было показано наличие тесной связи положения верхней границы сероводородной зоны с рядом параметров морской среды и атмосферы. Результаты этих работ позволяют восстановить или уточнить положение ВГ H<sub>2</sub>S-зоны в периоды отсутствия или недостаточного количества наблюдений верхней границы H<sub>2</sub>S-зоны и высказать предположение о колебательном характере изменения положения этой границы на климатических масштабах [3,4]. Вместе с тем вопрос о ведущих факторах, влияющих на изменения положения ВГ H<sub>2</sub>S-зоны на климатических масштабах хотя и затрагивался, но так и не получил должного освещения в этих публикациях. В данной работе предпринимается попытка восполнить этот пробел.

На первом этапе исследования была проведена фильтрация временных рядов параметров природной среды, что позволило исключить как короткопериодные регулярные циклы, так и непериодические колебания. На втором этапе ставилась задача оценить возможную долгопериодную изменчивость и провести исследование фазового сдвига между временным ходом глубины залегания ВГ H<sub>2</sub>S-зоны и временным ходом ряда параметров природной среды.

Для удобства сопоставления все ряды были приведены к единой шкале (нормированы) по формуле:

$$\bar{X}_i = \frac{X_i - \bar{X}}{X_{max} - X_{min}};$$

где  $X_i$  - текущее значение переменной;  
 $\bar{X}$  - среднее значение переменной;  
 $X_{max}$  и  $X_{min}$  - максимальное и минимальное значение переменной.

На рисунке 1 представлены графики, построенные по отфильтрованным среднегодовым значениям уровня моря для четырех уровней постов Азово-Черноморского бассейна (40-летний фильтр) и глубин залегания ВГ H<sub>2</sub>S-зоны и изопикны 16.20 (20-летний фильтр).

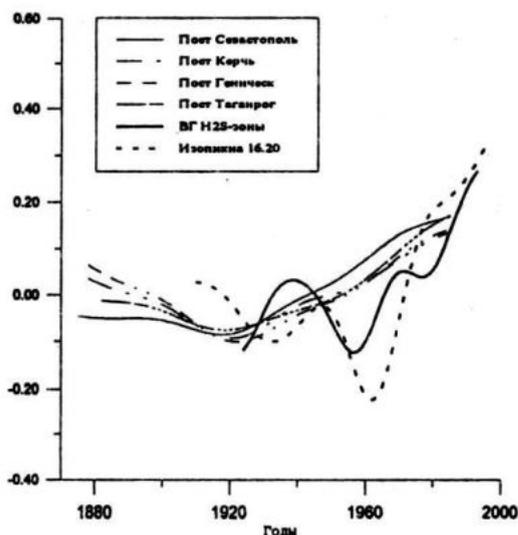


Рис.1. Изменчивость среднегодовых значений уровня моря, ВГ H<sub>2</sub>S-зоны и изопикны 16.20.

Анализируя графики хода уровня моря для каждого из пунктов наблюдений и среднегодовых значений глубины залегания изопикны 16.20 и ВГ H<sub>2</sub>S-зоны можно сделать определенные выводы и обобщения.

Графики изменчивости хода уровня моря показывают общую закономерность - наличие минимума, приходящегося на 20-е – 30-е годы и двух подъемов, приходящихся на 80-е годы XIX и 70-80-е годы XX столетий. Весьма вероятно, что в долгопериодной изменчивости уровня

моря присутствуют колебания с периодом около 80-100 лет. Более точно выделить этот период не представляется возможным из-за ограниченности ряда наблюдений. Рассматривая колебания ВГ  $H_2S$ -зоны и изопикны 16.20, можно отметить достаточно хорошее соответствие между ними и колебаниями уровня моря. Если абстрагироваться от локальных экстремумов с периодами около 25 лет, то на графиках можно отметить максимальные значения глубин, которые приходятся на 50-е годы и два опускания, соответствующие 20-м и 90-м годам XX столетия. Вместе с тем наблюдается некоторый сдвиг по фазе экстремумов в многолетнем ходе глубин залегания изопикны 16.20 и ВГ  $H_2S$ -зоны по сравнению с уровнем моря.

На рисунке 2 представлены графики построенные по отфильтрованным временным рядам межгодовой изменчивости глубины залегания изопикны 16.20, ВГ  $H_2S$ -зоны, аналога индекса Россби (разница давления между центрами действия атмосферы северного полушария - азорского максимума и исландского минимума) и количества дней с различными типами атмосферной циркуляции по Гирсу (меридиональной и зональной).

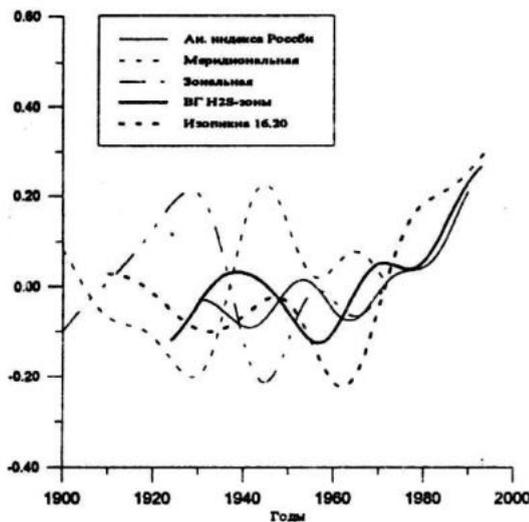


Рис.2. Межгодовая изменчивость ВГ  $H_2S$ -зоны, изопикны 16.20, аналога индекса Россби и количества дней с различными типами атмосферной циркуляции.

Можно отметить хорошее качественное соответствие (с учетом знака) всех графиков, которое наиболее выражено между графиками межгодовой изменчивости положения ВГ  $H_2S$ -зоны и аналога индекса Россби. Оценивая долгопериодную изменчивость, на графиках можно выделить экстремумы приходящиеся на 30-е - 40-е годы XX столетия и экстремальные значения соответствующие началу и концу периода соответствующих наблюдений. Это свидетельствует о том, что циклические колебания всех параметров имеют период более 80 лет (максимальная длина из описываемых рядов). Вместе с тем еще раз можно отметить некоторый сдвиг по фазе в многолетнем ходе глубины залегания изопикны 16.20 и ВГ  $H_2S$ -зоны по сравнению с другими рассмотренными параметрами.

Нами также были проведены оценки фазового сдвига между временным ходом положения верхней границы сероводородной зоны и временным ходом глубины залегания изопикны 16.20. Для этого были рассчитаны коэффициенты корреляции со сдвигом от -10 до 10 лет. Результаты расчетов представлены на рисунке 3.

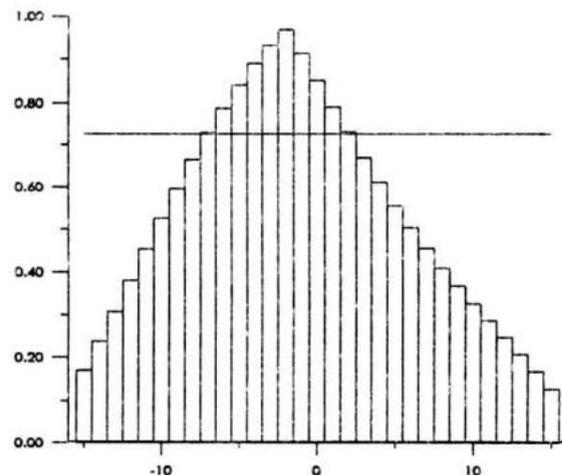


Рис.3. Кросс-корреляция между ВГ  $H_2S$ -зоны и изопикной 16.20. Линия - 95% уровень значимости.

Как видно из рисунка, существует двухлетнее запаздывание изменений глубины залегания изопикны 16.20 по сравнению с изменениями положения

ВГ H<sub>2</sub>S-зоны. Возможно, это объясняется тем, что изопикна 16.20 залегает на 20-30 метров ниже верхней границы сероводородной зоны.

Аналогичные оценки были проведены и для изменений уровня. Исследования показали, что колебания ВГ H<sub>2</sub>S-зоны запаздывают на восемь лет по сравнению с колебаниями уровня.

На заключительном этапе были рассчитаны коэффициенты корреляции между глубиной залегания ВГ H<sub>2</sub>S-зоны и указанными выше параметрами природной среды. Результаты расчетов приведены в табл. 1.

Таблица 1. Коэффициенты корреляции между глубиной залегания ВГ H<sub>2</sub>S-зоны и рядом параметров природной среды

Характеристика	К
Изопикна 16.20	0.86
Уровенный пост Севастополь	-0.60
Уровенный пост Туапсе	-0.56
Уровенный пост Керчь	-0.72
Уровенный пост Генчешек	-0.81
Уровенный пост Таганрог	-0.80
Количество дней, с различными типами атмосферной циркуляции по Гирсу	±0.59
Аналог индекса атмосферной циркуляции Россби	0.82

Наблюдается, что отмечалось и ранее, высокий уровень корреляции между положением ВГ H<sub>2</sub>S-зоны и глубиной залегания изопикны 16.20. Следующей по значимости является связь с характеристиками атмосферной циркуляции и изменением уровня моря. Коэффициенты корреляции между ВГ H<sub>2</sub>S-зоны и количеством дней с различными формами атмосферной циркуляции по Гирсу ниже, чем с аналогом индексом Россби. Это объясняется тем, что количество дней с различными формами атмосферной циркуляции, в отличие от аналога индекса Россби, не отражает интенсивность циркуляции атмосферы.

Подводя итоги проведенного исследования долгопериодной изменчивости положения ВГ H<sub>2</sub>S-зоны можно сделать следующие выводы:

- для всех исследованных характеристик морской среды и атмосферы наряду с короткопериодными (периоды 3-5, 7-8, 11-12 лет), выделяются долгопериодные колебания с периодами 23-25 и, оценочно, около 90-110 лет.

- между временным ходом положения ВГ H<sub>2</sub>S-зоны и временным ходом других исследованных параметров существует фазовый сдвиг, связанный, вероятно, с определенной инерционностью морской среды и опосредованным механизмом влияния на положение ВГ H<sub>2</sub>S-зоны.

- наличие долгопериодных колебаний с периодами 23-25 и, оценочно, 90-110 лет во временном ходе всех исследованных нами параметров хорошо согласуется, с полученными в работах ряда авторов данными о цикличности других параметров природной среды.

- полученные результаты позволяют высказать предположение, что ведущим фактором определяющим долгопериодные колебания ВГ H<sub>2</sub>S-зоны Черного моря является изменчивость климата Земли.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Еремеев В.Н., Суворов А.М., Халиулин А.Х., Годин Е.А. О соответствии положения верхней границы H<sub>2</sub>S-зоны определенной изопикнической поверхности в Черном море по многолетним наблюдениям // *Океанология*, т.36, №2, 1996, - С 235-240
2. Eremeev, V.N., A.M. Suvorov, A.Kh. Khaliulin, E.A. Godin *Oceanographic data development technology and its use for analysis of the position of the anoxic zone's boundary in the Black Sea* // Abstract of paper for the NATO Rapid Environmental Assessment conference. - Izmir(Turkey). - 1996. - P 132-133.
3. Еремеев В.Н., Суворов А.М., Халиулин А.Х., Годин Е.А., Сизов А.А. Взаимосвязь верхней границы сероводородной зоны и соответствующей ей изопикнической поверхности в Черном море с индексом атмосферной циркуляции // *Морской гидрофизический журнал*. - 1996. - № 4. - С. 76-80 .
4. Суворов А.М., Халиулин А.Х., Годин Е.А. О долгопериодных изменениях положения верхней границы сероводородной зоны Черного моря // *Морской гидрофизический журнал*. - 1999. - № 2. - С. 62-70 .