ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ОРЕГОНСКОГО АПВЕЛЛИНГА

А.Е. Букатов, Н.М. Соловей

Морской гидрофизический институт
НАН Украины
г. Севастополь, ул. Капитанская, 2
E-mail: oaoimhi@inbox.ru

На основе архивной базы гидрологических данных (WOD-2009) выполнено исследование закономерностей внутригодовой изменчивости термического индекса апвеллинга, частоты плавучести и характеристик низшей моды внутренних волн в акватории Орегонского апвеллинга. Дана оценка корреляционных взаимосвязей этих параметров.

Введение. Гидрологический режим исследуемого района (побережье Северной Америки до 130^{O} з.д. в полосе между 34^{O} с.ш. и 46^{O} с.ш.) формируется под влиянием вод холодного Калифорнийского течения и подповерхностного прибрежного противотечения Дэвидсона.

Аномально холодные условия в Орегонском районе устанавливаются в результате адвекции субарктических вод, которая может сопровождаться прибрежным подъемом. В результате преобладания осадков и материкового стока над испарением, Калифорнийское течение несет на юг относительно распреснённые воды, а течение Дэвидсона выносит к северу воды с повышенной соленостью. Поэтому у берегов севернее Калифорнии прослеживаются аномалии солености. Нарушение широтной зональности в распределении гидрологических характеристик является особенностью района исследований [1].

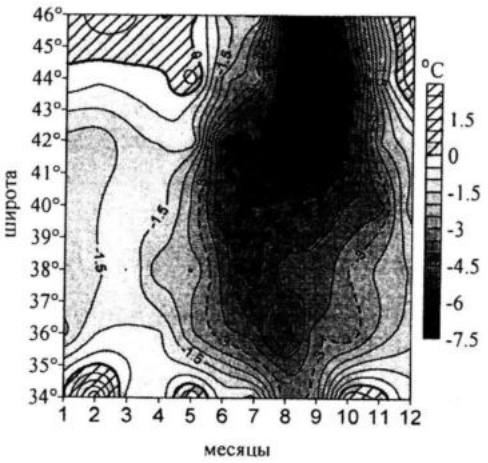
Настоящая работа посвящена изучению изменчивости термического индекса апвеллинга и пространственного положения максимума частоты плавучести в Орегонском районе. Проведён анализ распределения в акватории апвеллинговой зоны максимального по глубине амплитудного значения вертикальной составляющей скорости низшей моды внутренних волн.

Материалы и методика. В качестве исходных данных использовались массивы реальных значений температуры и солёности (WOD – 2009) [2]. Для исследования был выбран временной промежуток с 2000 по 2011 гг. Массив фактических гидрологических данных для акватории исследования содержит более 4000 станций.

Для характеристики интенсивности подъёма вод и внутригодовой изменчивости апвеллинга использовался термический индекс апвеллинга (ТИА). Для исследования внутренних волн рассчитывалась амплитуда вертикальной составляющей скорости W(z) и соответствующий собственный период (T) низшей моды внутренних волн. Численные расчёты W(z) проводились для заданной [3] длины волны L=30 км. Методика расчёта термического индекса апвеллинга, вертикальной структуры частоты плавучести и первой моды внутренних волн изложена в работах [3 – 8].

Анализ результатов. Распределение термического индекса апвеллинга (рис. 1) показывает, что по характеру внутригодовой изменчивости термического индекса в прибрежном районе Северной Америки выделяются 3 зоны:

1) между 34^{O} и 35^{O} с.ш. – умеренный сезонный апвеллинг. Подъём вод наблюдается здесь с июня по октябрь, значения модуля термического индекса не превышают 3^{O} С;

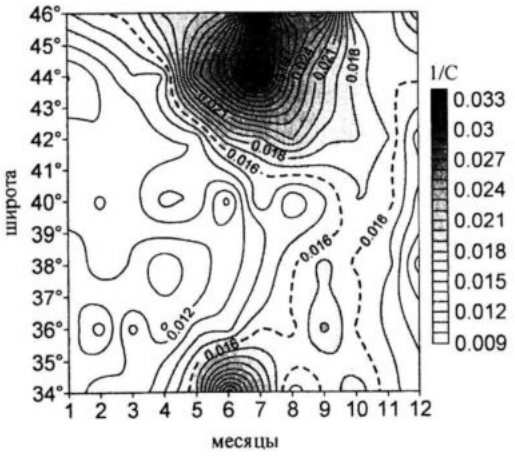


Р и с. 1. Пространственно-временное распределение термического индекса Орегонского апвеллинга (^{O}C)

2) между 35^{O} и 43^{O} с.ш. – зона круглогодичного апвеллинга с максимальным развитием в районе 42^{O} с.ш в августе – сентябре;

3) между 43^{O} и 46^{O} с.ш. – зона сезонного интенсивного апвеллинга. Здесь максимальные по модулю значения термического индекса наблюдаются в августе – сентябре (7^{O} С). С декабря по май подъём вод не происходит.

Анализ внутригодовой изменчивости максимума частоты Вяйсяля-Брента непосредственно в районе поднятия вод (на удалении 100 км от берега) (рис. 2) показал, что наибольшие его значения наблюдаются с мая по октябрь, наименьшие – с ноября по апрель. Причём, самые большие значения максимума частоты плавучести наблюдаются в зоне интенсивного сезонного апвеллинга в период его максимального развития.

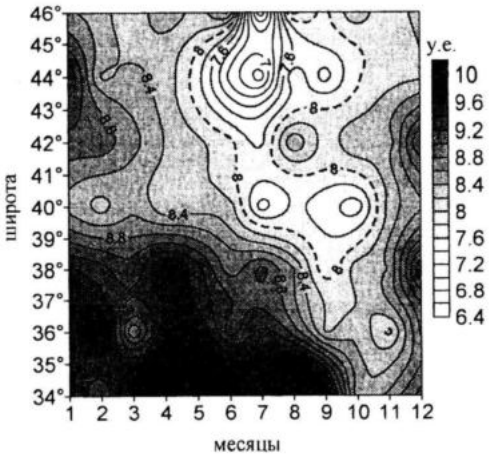


Р и с. 2. Внутригодовая изменчивость N_{max} (1/с) в зоне Орегонского апвеллинга на удалении 100 км от берега

Это существенно отличает Орегонский апвеллинг от Канарского, Бенгельского и Перуанского апвеллингов, где наибольшие значения максимума частоты плавучести по глубине отмечаются в тех районах и в те временные интервалы, когда апвеллинг ослабевает или отсутствует полностью [5, 6].

Исследовалась также внутригодовая изменчивость максимума амплитуды вертикальной составляющей скорости первой моды внутренних волн и её собственного периода (рис. 3, 4).

Наименьшие значения W_{max} и Т отмечаются с мая по сентябрь в полосе интенсивного сезонного апвеллинга в период наибольших значений термического индекса, наибольшие – с марта по сентябрь в зоне умеренного сезонного апвеллинга.

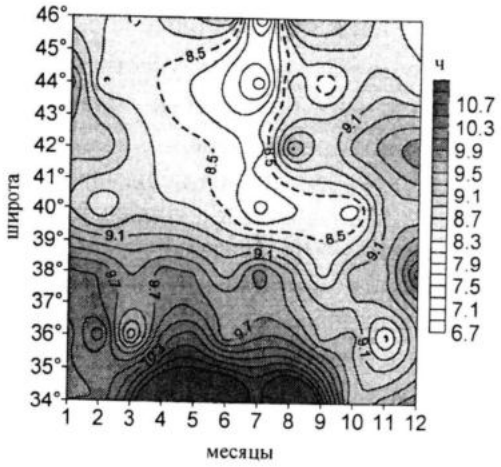


Р и с. 3. Внутригодовая изменчивость W_{max} (у. е.) в зоне Орегонского апвеллинга на удалении 100 км от берега

Необходимо отметить, что, в отличие от Орегонского апвеллинга, для Канарского, Бенгельского и Перуанского апвеллингов наименьшие значения W_{max} и Т наблюдались в полосе проявления сезонного апвеллинга в месяцы, когда подъём вод не происходит. Самые большие значения W_{max} и Т отмечались в районах максимального развития апвеллингов в месяцы, когда интенсивность подъёма вод ослабевает [5, 6].

На рис. 5 – 7 представлена внутригодовая изменчивость N_{max}, W_{max}, Т в зоне Орегонского апвеллинга на удалении 500 км от береговой линии вдоль широты. При сравнении с аналогичными распределениями на удалении 100 км от берега (рис. 2 – 4) видно, что абсолютные значения N_{max}, W_{max}, Т несколько уменьшились, в то же время зоны локализации наибольших и наименьших значений приблизительно совпадают. Эта закономерность имеет место также для Канарского, Бенгельского и Перуанского апвеллингов [5, 6].

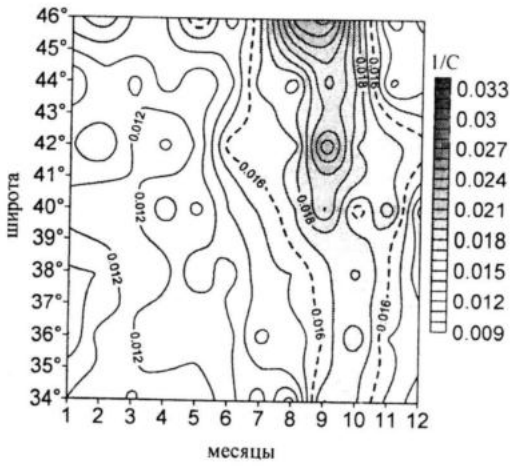
Для оценки взаимосвязи характеристик Орегонского апвеллинга для каждого месяца года рассчитывались коэффициенты корреляции ($K_{кор}$) между значениями N_{max}, W_{max}, Т и термическим индексом апвеллинга (рис. 9, 10).



Р и с. 4. Внутригодовая изменчивость Т (ч) в зоне Орегонского апвеллинга на удалении 100 км от берега

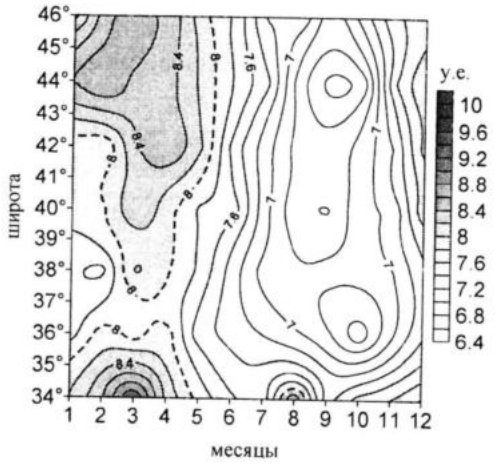
На удалении 100 км. от берега вдоль широты для Орегонского апвеллинга только в отдельные месяцы модуль коэффициента корреляции между термическим индексом и максимумом частоты плавучести равен 0,7 – 0,9 (март – июнь, август, сентябрь, декабрь).

Коэффициенты корреляции между термическим индексом и W_{max}, Т статистически мало значимы, за исключением декабря, когда $|K_{кор}|$ равен 0,9.

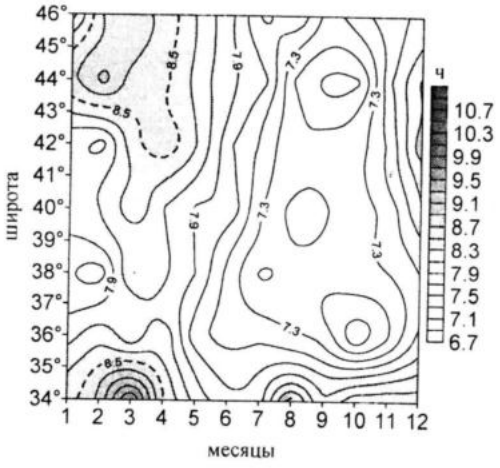


Р и с. 5. Внутригодовая изменчивость N_{max} (1/с) в зоне Орегонского апвеллинга на удалении 500 км от берега

В этом также проявляется особенность Орегонского апвеллинга, т.к. для Канарского, Бенгельского и Перуанского апвеллингов коэффициенты корреляции практически для всех месяцев года составляют 0,8 – 0,9 по модулю. Кроме того, $K_{кор}$ между ТИА и N_{max} отрицателен, а $K_{кор}$ между ТИА и W_{max}, Т принимает только положительное значение. Для Орегонского апвеллинга коэффициенты корреляции дважды меняют знак в годовом цикле.



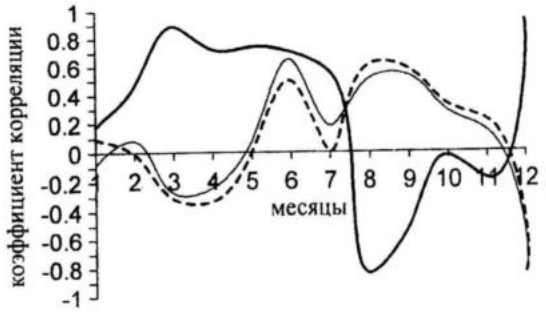
Р и с. 6. Внутригодовая изменчивость W_{max} (у. е.) в зоне Орегонского апвеллинга на удалении 500 км от берега



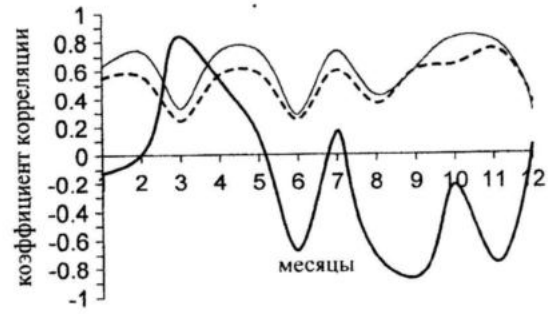
Р и с. 7. Внутригодовая изменчивость Т (ч) в зоне Орегонского апвеллинга на удалении 500 км от берега

На удалении 500 км от берега вдоль широты $|K_{кор}|$ между термическим индексом и N_{max} составляет 0,8 только в марте, августе, сентябре и ноябре. В остальные месяцы он значительно меньше. Коэффициент корреляции между термическим индексом, W_{max} и Т равен 0,7 – 0,8 в феврале, апреле, мае, июле, октябре и ноябре. В остальные месяцы он составляет 0,4 – 0,6.

Следовательно, на периферии Орегонского апвеллинга корреляционная связь между градиентами температуры поверхности океана и параметрами внутренних волн лучше, чем непосредственно в зоне поднятия вод. Это также отличает Орегонский апвеллинг от трёх вышеназванных апвеллингов, где с удалением к периферии апвеллинговых зон влияние подъёма вод на волновые возмущения ослабевает.



Р и с. 8. Внутригодовая изменчивость коэффициентов корреляции между N_{max} (сплошная толстая линия), W_{max} (штриховая линия), Т (сплошная тонкая линия) и ТИА в зоне Орегонского апвеллинга на удалении 100 км от берега



Р и с. 9. Внутригодовая изменчивость коэффициентов корреляции между N_{max} (сплошная толстая линия), W_{max} (штриховая линия), Т (сплошная тонкая линия) и ТИА в зоне Орегонского апвеллинга на удалении 500 км от берега

Заключение. Показано, что по характеру внутригодовой изменчивости термического индекса апвеллинга в районе Орегонского апвеллинга выделяются 3 зоны: зона умеренного сезонного апвеллинга, зона круглогодичного апвеллинга и зона сезонного интенсивного апвеллинга.

Выявлено, что наибольшие значения максимума частоты плавучести наблюдаются с мая по октябрь, наименьшие – с ноября по апрель.

Установлено, что на периферии Орегонского апвеллинга корреляционная связь между градиентами температуры поверхности океана и параметрами внутренних волн лучше, чем непосредственно в зоне поднятия вод.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Фёдоров К.Н.* Физическая природа и структура океанических фронтов. – Л.: Гидрометеоиздат, 1983. – 296 с.
2. *World Ocean Database 2009*, hhttp://www.nodc.noaa.gov/OC5/ind-prod.html
3. *Миропольский Ю.З.* Динамика внутренних гравитационных волн в океане. – Л.: Гидрометеоиздат, 1981. – 302 с.
4. *Чернышков П.П., Сирота А.М., Тимохин Е.Н.* Структура и динамика вод в районах Канарского и Бенгельского апвеллингов в Атлантическом океане и их влияние на популяции пелагических рыб. – Калининград: АтлантНИРО, 2005. – 195 с.
5. *Артамонов Ю.В., Букатов А.Е., Соловей Н.М.* Исследование сезонной изменчивости частоты Вяйсяля-Брента в районе Канарского апвеллинга по данным контактных измерений // Системы контроля окружающей среды. – Севастополь: МГИ НАНУ, 2007. – С. 170 – 172.
6. *Букатов А.Е., Соловей Н.М.* Внутригодовая изменчивость характеристик Бенгельского и Перуанского апвеллингов // Системы контроля окружающей среды. – Севастополь: МГИ НАНУ, 2011, вып. 16. – С. 180 – 185.
7. *Краусс. В.* Внутренние волны. – Л.: Гидрометеоиздат, 1968. – 272 с.
8. *Гриценко В.А., Красицкий В.П.* Об одном способе расчёта дисперсионных соотношений и собственных функций внутренних волн в океане по данным натурных измерений // Океанология. – 1982, т. 22, вып. 4. – С. 546 – 549.