

ВРЕМЕННЫЕ МАСШТАБЫ ИЗМЕНЧИВОСТИ НА СЕВЕРО-ЗАПАДНОМ СКЛОНЕ ПОДНЯТИЯ ЯМАТО ЯПОНСКОГО МОРЯ (ПО ДАННЫМ АВТОНОМНОЙ БУЙКОВОЙ СТАНЦИИ)

**Трусенкова О.О.¹, Лобанов В.Б.¹, Ладыченко С.Ю.¹,
Каплуненко Д.Д.¹, Чанг К.И.²**

¹Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева, г. Владивосток

²Институт океанографии Сеульского национального университета,
г. Сеул, Республика Корея
trolia@poi.dvo.ru

В ходе выполнения международных программ по изучению Японского моря в 1990-х гг. исследовалась циркуляция глубинных вод Японского моря [1], в частности, были зарегистрированы внутрисезонные колебания (30–50 сут) в южной части моря, объясненные распространением топографических волн Россби вдоль склонов котловин [2,3]. Целью нашей работы является статистический анализ внутригодовой изменчивости характеристик промежуточных и глубинных вод в центральной субарктической части моря на северо-западном склоне поднятия Ямато по уникальным, продолжительностью около года, данным глубоководной автономной буйковой станции (АБС).

Российско-корейская АБС была установлена в точке с координатами 40,21° с.ш., 133,77° в.д. в период 21.04.2014–12.04.2015, глубина места составляла 2050 м. Схема АБС представлена на рис. 1а, описание приборов и характеристик данных приведены в табл. 1. Ниже анализируется изменение температуры воды, глубины расположения и угла наклона приборов, полученные по данным АБС. Для анализа также используются результаты СТД-съемок, выполненных в исследуемом районе при постановке и подъеме АБС в рейсах №№ 66 и 69 НИС «Академик Лаврентьев». Для оценки поля течений используются ежедневные данные спутниковой альтиметрии с четвертьградусным пространственным разрешением с портала CMEMS (<https://marine.copernicus.eu>). К анализу привлекаются изображения поверхности Японского моря в инфракрасном (ИК) диапазоне, полученные с искусственных спутников

Земли серии NOAA в Центре регионального спутникового мониторинга окружающей среды ИАПУ ДВО РАН (<http://satellite.dvo.ru/>).

Таблица 1. Приборы и характеристики данных

Уровень	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7
Прибор	SBE37IM	SBE37IM	SBE39	SBE39	S4AD	S4AD	SBE37IM
Глубина, м	200	261	306	347	1551	2002	2003
Дискретность измерений, ч	0,5	0,5	0,5	0,5	1	1	0,5
Используемые параметры	D, T	D, T	D, T	D, T	D, Tlt	D	T

Обозначения: D – глубина, T – температура, Tlt – наклон прибора.

Температура в промежуточном слое (рис. 1б) изменяется синхронно на всех уровнях (L1-L4), уменьшаясь с глубиной: парные коэффициенты корреляции составляют 0,83–0,90. На уровнях L1–L4 и L7 линейные тренды температуры за период 0–305 сут составили 0,279, 0,163, 0,122, 0,102 и 0,018 °C/год соответственно (последний период измерений со значительными аномалиями температуры мог бы заметно исказить тренд и поэтому был исключен, а тренды пересчитаны на год). По данным буев Арго за 2009–2018 гг. тренд температуры на глубине 400 м к северу от поднятия Ямато был оценен как 0,00172 °C/год [4], что на два порядка величины меньше оценки для уровня L4. Тренд придонной температуры в районе к северо-западу от поднятия Ямато за последние 10 лет оценен как 0,0016 °C/год за последние 10 лет [5], что на порядок меньше тренда для L7. Таким образом, полученные тренды, скорее всего, представляют собой дрейф датчиков температуры АБС. STD-съемки апреля 2014 и 2015 гг. показывают, что пространственная изменчивость в этом районе на глубинах до 350 м превышает временную, что можно объяснить влиянием синоптических вихрей. Это проявляется в значительных синхронных короткопериодных изменениях температуры воды (рис. 1б).

Вейвлет-спектры температуры промежуточного слоя показывают стабильные по времени максимумы со средними периодами 45, 68 и 94 сут, которые значимы в тот период времени, когда они свободны от краевых эффектов (см. пример для L2 на рис 1в). В

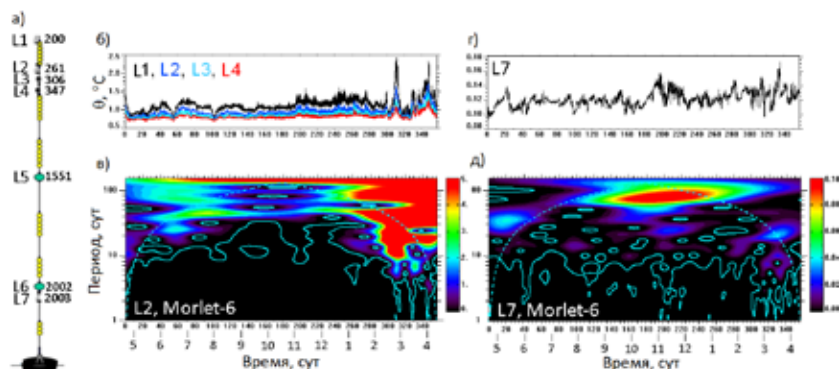


Рис. 1. Схема постановки АБС (а), температура (°C) на уровнях L1–L4 (б), вейвлет-спектр ((°C)²) температуры на уровне L2 (в), потенциальная температура (°C) на уровне L7 (г) и ее вейвлет-спектр ((°C)²; д); на (а) приведены средняя глубины приборов (м), на спектрах показан 90%-й уровень статистической значимости по отношению к красному шуму; пунктиром очерчены области, свободные от влияния краевых эффектов; здесь и на рис. 2 цифры показывают начало месяца

вейвлет-спектре потенциальной температуры в придонном слое (на уровне L7; рис. 1г) наибольшая мощность сосредоточена в диапазоне 60–120 сут, с максимумом на 78 сут (рис. 1д). Колебания температуры с периодами 70–80 сут уже были зарегистрированы над склоном у побережья Приморья [6]. Стабильность этих колебаний в течение периода наблюдений позволяет связать их с топографическими волнами Россби, подобными зарегистрированным в южной части моря [2,3]. Можно полагать, что три максимума промежуточного слоя слились в обширный глубинный максимум (ср. рис. 1в и 1д), вероятно, из-за усиления шума.

Неожиданным оказалось изменение глубины приборов: с начала наблюдений до середины февраля 2015 г. отмечался подъем на 3,5 м (рис. 2а, б), что превышает погрешность измерений (0,1% от давления) и может быть связано с дрейфом датчиков [7]. В первой декаде ноября 2014 г., в конце февраля – начале марта и в начале апреля 2015 г. произошли три события кратковременного заглубления приборов на 2–3 м, что происходило согласованно на всех уровнях: парные коэффициенты корреляции равны 0,99 для L1–L4, а изменения глубины для L5, где шум препятствует количественному анализу, качественно подобны (рис. 2а, б). Вероят-

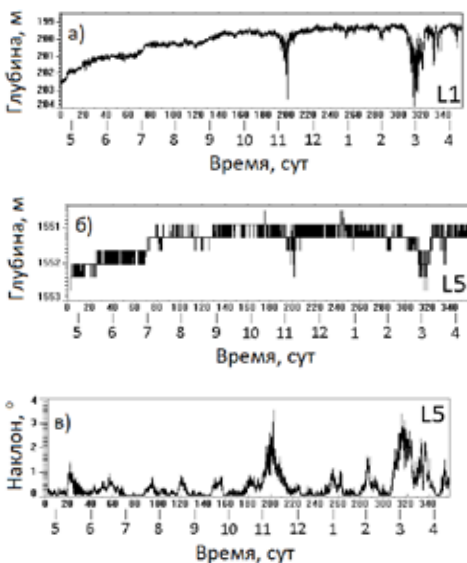


Рис. 2. Глубины (м) приборов на уровнях L1 (а) и (б) и наклон прибора (град.) на уровне L5 (в)

ной причиной изменений глубины приборов является отклонение троса от вертикали за счет интенсивных течений, что подтверждается показаниями датчика наклона на уровне L5, согласованными с колебаниями глубины приборов (рис. 2в). В придонном слое (уровень L6; 2002 м) подобных колебаний глубины прибора не наблюдалось.

События заглубления приборов происходили через 2–4 сут после значительных положительных аномалий температуры в промежуточном слое на уровнях

L1–L4 (рис. 3), которые можно связать с прохождением синоптических вихрей. Пример такого вихря 6–7 апреля 2015 г. приведен на рис. 4 по данным спутниковой альтиметрии и ИК-изображению. Данные АБС показывают, что мощность этого вихря составляла как минимум 1550 м (глубина L5). Во время этих событий наблюдались значительные внутрисуточные колебания глубины на периодах, близких к инерционному (рис. 3), что можно связать с интен-



Рис. 3. Глубина (м, синие линии, левая ось ординат) и температура (°C, красные линии, правая ось ординат) на уровне L1 в периоды 2–9.11.2014 (а), 20.2–6.3.2015 (б), 2–10.4.2015 (в)

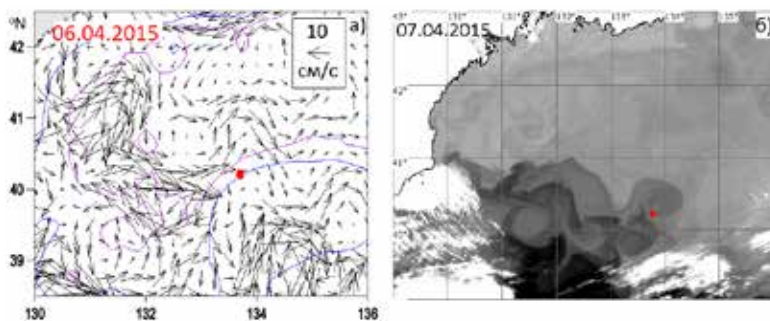


Рис. 4. Поверхностные течения (см/с) по альтиметрическим данным (а) и ИК-изображение со спутника NOAA (б); положение АБС показано красной точкой, показаны изобаты 2000 и 3000 м (синей и розовой линиями соответственно, а); более темный тон соответствует более теплым водам, берег и облачность показаны белым (б)

сификацией квазиинерционных движений внутри синоптических вихрей, ранее наблюдавшемся в юго-западной части Японского моря [8].

Работа выполнена в рамках госбюджетной темы ТОИ ДВО РАН № 124022100079-4.

Литература

1. Senjyu T., Shin H.-R., Yoon J.-H., et al. Deep flow fields in the Japan/East Sea as deduced from direct current measurements // Deep Sea Research II. 2005. V. 52. N. 11-13. P. 1726-1741.
2. Shin J., Noh S., and Nam S. Intraseasonal Abyssal Current Variability of Bottom-Trapped Topographic Rossby Waves in the Southwestern East Sea (Japan Sea) // Front. Mar. Sci. 2020. V. 7. Art. no. 579680.
3. Senjyu T. Local Topographic Rossby Modes Observed in the Abyssal Sea of Japan // J. Phys. Oceanogr. 2023. V. 53. P. 2393-2417.
4. Senjyu T. Changes in mid-depth water mass ventilation in the Japan Sea deduced from long-term spatiotemporal variations of warming trends // Front. Mar. Sci. 2022. V. 8. Art. No. 766042.
5. Лобанов В.Б., Сергеев А.Ф., Марьина Е.Н. и др. Исследование состояния и изменчивости вод северо-западной части Японского моря в осенне-зимний период в 62-м рейсе НИС “Академик Опарин” // Океанология. 2021. Т. 61. № 5. С. 838-840.
6. Трусенкова О.О., Островский А.Г., Лазарюк А.Ю., Лобанов В.Б. Эволюция термохалинной стратификации северо-западной части Японского моря: синоптическая изменчивость и внутригодовые колебания // Океанология. Т. 61. № 3. С. 366-376.

7. Polster A., Fabian M., Villinger H. Effective resolution and drift of Paroscientific pressure sensors derived from long-term seafloor measurements // *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*. 2009. V. 10. N 8. Art. no. Q08008.
8. Noh S., Nam S. Observations of enhanced internal waves in an area of strong mesoscale variability in the southwestern East Sea (Japan Sea) // *Sci Rep*. 2020. V. 10. P. 9068.