

УДК 551.465

## ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ И ИЗМЕНЧИВОСТИ ВОД СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЯПОНСКОГО МОРЯ В ОСЕННЕ-ЗИМНИЙ ПЕРИОД В 62-м РЕЙСЕ НИС “АКАДЕМИК ОПАРИН”

© 2021 г. В. Б. Лобанов<sup>1</sup>\*, А. Ф. Сергеев<sup>1</sup>, Е. Н. Марьина<sup>1</sup>, И. А. Прушковская<sup>1</sup>, П. Я. Тищенко<sup>1</sup>, В. В. Калинин<sup>1</sup>, А. М. Колтунов<sup>1</sup>, Д. С. Максеев<sup>1</sup>, С. Г. Сагалаев<sup>1</sup>, Д. А. Юрикова<sup>1</sup>, Э. А. Акулова<sup>1</sup>, К. А. Апарина<sup>1</sup>, О. И. Загоруйко<sup>1</sup>, С. А. Зверев<sup>1</sup>, Г. А. Крайников<sup>1</sup>, С. П. Кукла<sup>1</sup>, А. Э. Леусов<sup>1</sup>, Н. Б. Лукьянова<sup>1</sup>, А. А. Рюмина<sup>1</sup>, П. Ю. Семкин<sup>1</sup>, М. Г. Швецова<sup>1</sup>, Е. М. Шкирникова<sup>1</sup>, Е. А. Юрикова<sup>1</sup>, А. Ю. Юрцев<sup>1</sup>, Т. С. Якимов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, Владивосток, Россия

\*e-mail: lobanov@poi.dvo.ru

Поступила в редакцию 12.03.2021 г.

После доработки 06.04.2021 г.

Принята к публикации 15.04.2021 г.

В результате проведенных исследований в рейсе № 62 НИС “Академик Опарин” в период 14–29 декабря 2020 г. был продолжен мониторинг межгодовой изменчивости параметров вод Японского моря, подтвержден многолетний тренд потепления придонных вод, обнаружено его замедление в течение последнего десятилетия, в северной части моря показано формирование в осенний период циклонического круговорота и развитие апвеллинга, способствующего более интенсивному охлаждению поверхностного слоя вод. Выполнена детальная съемка вихря синоптического масштаба в области Приморского течения. Проводился отбор проб воды для определений гидрохимических параметров, зоопланктона, метана и трития в различных структурах вод. Проведены измерения содержания ртути в приводном слое атмосферы.

**Ключевые слова:** Японское море, межгодовые изменения, циклонический круговорот, антициклонические вихри, зоопланктон, ртуть, метан, тритий

**DOI:** 10.31857/S0030157421050075

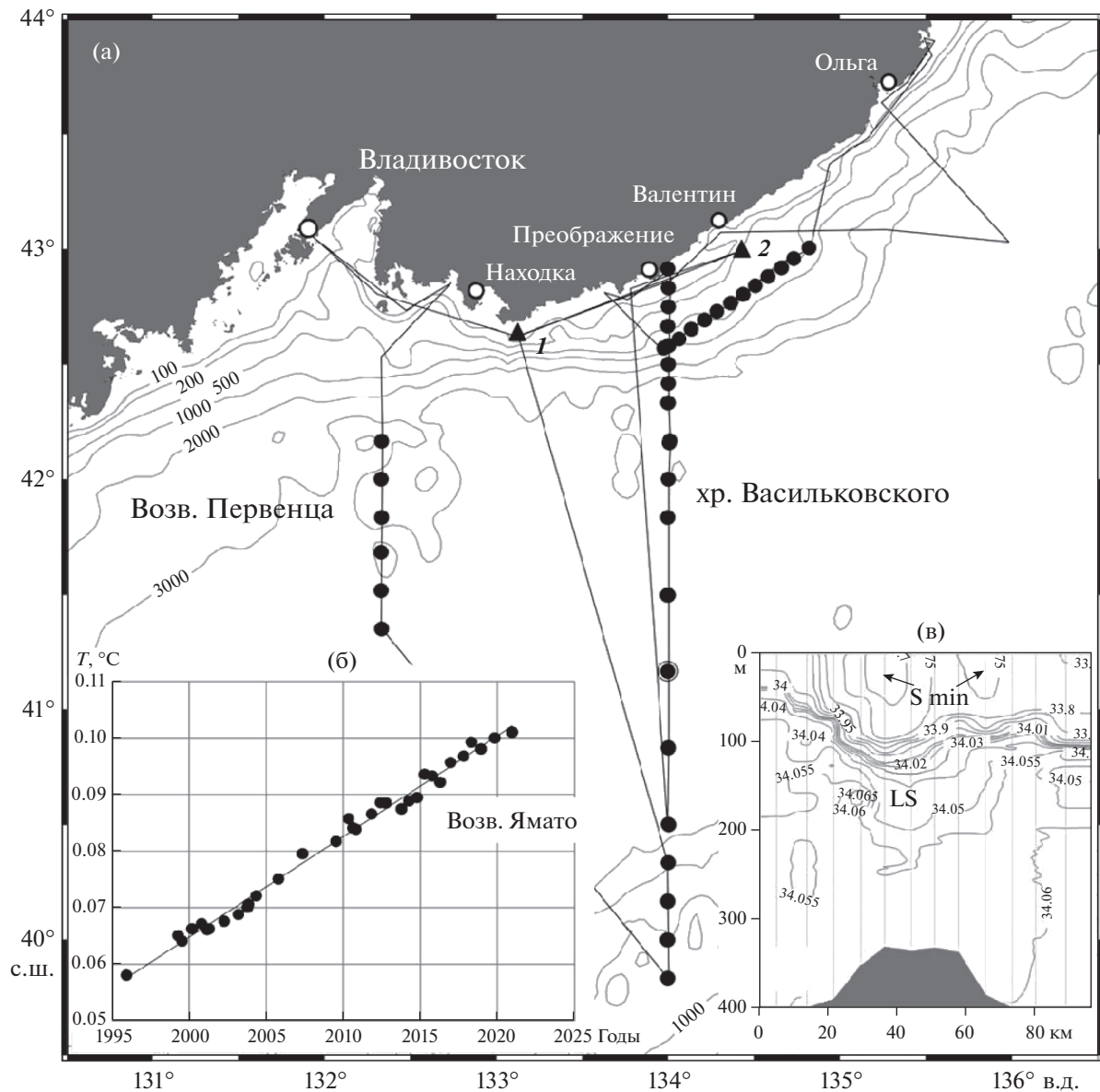
Экспедиция рейса № 62 НИС “Академик Опарин” была организована Тихоокеанским океанологическим институтом им. В.И. Ильичева и проводилась 14–29 декабря 2020 г. В ее задачи входило выполнение океанографических измерений и отбор проб воды для гидрохимических анализов и зоопланктона вдоль разрезов климатического мониторинга международных программ CREAMS (132°20' в.д.) и NEAR-GOOS (134°00' в.д.), съемка синоптических вихрей у южного побережья Приморского края и подъем двух автономных донных станций (АДС), а также исследование содержания ртути (в том числе в приводном слое атмосферы), метана и трития в воде в северной части Японского моря (рис. 1а).

Из-за пандемии рейс был перенес на неблагоприятный по погодным условиям период. Судну часто приходилось уходить из района работ и укрываться в прибрежной зоне. Тем не менее, основная часть программы экспедиции была успешно выполнена. В сжатые сроки выполнен огромный объем работ: сделано 37 станций с СТД-зондированием, из них 23 станции с отбором проб

воды от поверхности до дна, 12 станций с СТД-зондированием до 1200 м на разрезе через вихрь, отобрано 6 проб на радиоактивный изотоп водорода – тритий. На 20 станциях взято 35 проб зоопланктона. Измерение ртути в приводном слое атмосферы проводилось вдоль всего маршрута судна, а измерение ее потока между морем и атмосферой было выполнено на 2 станциях в открытой части моря и 3 прибрежных. Отбор проб воды для определения содержания метана проводился также вдоль всего маршрута судна с интервалом 3 ч, всего отобрано 102 пробы. Гидрохимические анализы включали определение на борту содержания растворенного кислорода, биогенных элементов, рН и щелочности (по 334 пробы), а также отбор и консервацию проб на определение солености, хлорофилла-а и гуминов в лабораториях института (по 162 пробы).

В качестве основных предварительных результатов экспедиции можно выделить следующие:

1. По данным мониторинговых разрезов показан продолжающийся рост температуры придон-



**Рис. 1.** (а) — схема работ экспедиции ТОИ ДВО РАН на НИС «Академик Опарин» (рейс № 62) в северо-западной части Японского моря 14–29 декабря 2020 г. Точками показано положение океанографических станций, треугольниками — положение двух АДС; изобаты в метрах; (б) — межгодовая изменчивость температуры воды (°С) в придонном слое 2900–3500 м в Центральной котловине Японского моря, показан линейный тренд потенциальной температуры  $0.0018^{\circ}\text{C}/\text{год}$  за период 1995–2020 гг.; (в) — вертикальное распределение солёности (епс) на разрезе через антициклонический вихрь на кромке шельфа Приморья; вертикальные линии — СТД-зондирования; показаны области экстремальных значений солёности и вторичное внутригалоклинное ядро вихря (LS)

ных вод Центральной глубоководной котловины Японского моря, связанный с ослаблением конвекции. Отмечается уменьшение скорости роста с  $0.0018^{\circ}\text{C}/\text{год}$  за весь период наблюдений с 1995 по 2020 г. до  $0.0016^{\circ}\text{C}/\text{год}$  за последние 10 лет (рис. 16).

2. Подтверждено, что развитие апвеллинга в области циклонического круговорота северо-западной части моря в осенне-зимний период обеспечивает более интенсивное охлаждение поверхностного слоя вод. Показано влияние топографического эффекта — привязанность апвеллинга к

подводным возвышенностям Первенца и Васильковского, над которыми установлен подъем вод, распространяющийся до поверхностного слоя и обусловленный циклонической завихренностью.

3. Детальная съемка антициклонического вихря у юго-восточного побережья Приморского края показала двухслойную структуру его ядра (рис. 1в). Ниже поверхностного однородного слоя, сформированного теплыми водами низкой солёности ( $33.67\text{--}33.75$  епс), обнаружено вторичное внутригалоклинное ядро вод пониженной солёности

(34.03–34.04 епс) в слое 120–190 м, что указывает на субдукцию вод Приморского течения в процессе эволюции вихря. Аномалии в области антициклона прослеживаются до дна (450 м).

4. По результатам измерений на двух автономных донных станциях, оснащенных доплеровскими профилографами течений и датчиками океанографических параметров и установленных на кромке шельфа на глубинах около 100 м в районе г. Находка и пос. Валентин (рис. 1а) в начале сентября 2020 г., впервые получена картина изменения циркуляции вод и температуры в осенне-зимний период – переход структуры Приморского течения от бароклинной в конце летнего сезона к баротропной осенью, развитие апвеллинга, его релаксацию и периодические аномалии, обусловленные влиянием синоптических вихрей.

5. Зоопланктон представлен в основном зимующими стадиями, следовательно, полученные данные позволяют охарактеризовать жизненные циклы видов, которые являются основным источником питания промысловых планктоноядных рыб: крупные копеподы родов *Calanus*, *Eucalanus*, *Neocalanus*, *Metridia*, *Pareuchaeta*. Наибольшее видовое разнообразие и максимальная численность в планктоне наблюдаются вблизи возв. Ямато. Неравномерность распределения отдельных групп может служить маркерами течений.

6. Впервые выполненные в зимний сезон измерения ртути показали, что в это время перенос воздушных масс из загрязненных районов Китая оказывает значительное влияние на ее содержание в приземной атмосфере над Японским мо-

рем. В целом зимние концентрации оказались выше, чем осенние (октябрь 2019 и 2020 гг.), что, вероятно, обусловлено сжиганием большого количества топлива. Максимальные значения потока ртути из моря в атмосферу зарегистрированы в более теплых и соленых водах центральной части Японского моря, минимальные потоки – в более холодных и менее соленых прибрежных водах Приморского края.

7. По результатам регистрации метана в данной и в предыдущих экспедициях выделяются три области с его повышенным содержанием, расположенные над возвышенностью Ямато и у побережья Приморья в районе пос. Преображение и Ольга, вероятно связанные с особенностями тектонического строения морского дна.

**Источники финансирования.** Экспедиция выполнялась в рамках госзадания ТОИ ДВО РАН на 2020 г. по темам № 5 “Исследование основных процессов, определяющих состояние и изменчивость океанологических характеристик дальневосточных морей и северо-западной части Тихого океана” (0271-2016-0005), № 6 “Влияние природных и антропогенных факторов на биогеохимические процессы и состояние биоты в морских экосистемах” (0271-2016-0006), а также международных программ “Исследование окраинных морей Азии КРИМС/ПАЙСИС (CREAMS/PICES)” Северотихоокеанской организации по морским наукам (PICES) и “Глобальная система наблюдения океана для региона северо-восточной Азии (NEAR-GOOS)” ВЕСТПАК МОК-ЮНЕСКО.

## Study of State and Variability of the Northwestern Japan Sea during Fall-Winter Period in the 62nd Cruise of the R/V *Akademik Oparin*

V. B. Lobanov<sup>a, #</sup>, A. F. Sergeev<sup>a</sup>, E. N. Maryina<sup>a</sup>, I. A. Prushkovskaya<sup>a</sup>, P. Ya. Tishchenko<sup>a</sup>, V. V. Kalinchuk<sup>a</sup>, A. M. Koltunov<sup>a</sup>, D. S. Makseev<sup>a</sup>, S. G. Sagalaev<sup>a</sup>, D. A. Yurikova<sup>a</sup>, E. A. Akulova<sup>a</sup>, K. A. Aparina<sup>a</sup>, O. I. Zagoruyko<sup>a</sup>, S. A. Zverev<sup>a</sup>, G. A. Kraynikov<sup>a</sup>, S. P. Kukla<sup>a</sup>, A. E. Leusov<sup>a</sup>, N. B. Lukyanova<sup>a</sup>, A. A. Ryumina<sup>a</sup>, P. Yu. Semkin<sup>a</sup>, M. G. Shvetsova<sup>a</sup>, E. M. Shkirnikova<sup>a</sup>, E. A. Yurikova<sup>a</sup>, A. Yu. Yurtsev<sup>a</sup>, and T. S. Yakimov<sup>a</sup>

<sup>a</sup>*P'ichev Pacific Oceanological Institute, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russia*

<sup>#</sup>*e-mail: lobanov@poi.dvo.ru*

As a result of the research carried out in cruise No. 62 of the R/V *Akademik Oparin* on December 14–29, 2020, the monitoring of the interannual variability of the water parameters of the Japan Sea was continued, the long-term trend of warming of the bottom waters was confirmed, its slowdown was found during the last decade, the formation of a cyclonic gyre in the northern part of the sea and the development of upwelling were shown, contributing to a more intensive cooling of the surface layer of the sea. A detailed survey of a synoptic-scale eddy was carried out in the area of the Primorsky Current. Samples were taken of hydrochemical parameters, zooplankton, methane and tritium in various water structures. Measurements of the mercury content in the water layer of the atmosphere have been carried out.

**Keywords:** the Japan Sea, interannual variability, cyclonic gyre, anticyclonic eddies, zooplankton, mercury, methane, tritium