

УДК 551.465

ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ И ИЗМЕНЧИВОСТИ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ЯПОНСКОГО МОРЯ В 58-М РЕЙСЕ НИС “АКАДЕМИК ОПАРИН”

© 2021 г. В. Б. Лобанов¹*, А. Ф. Сергеев¹, Г. Ким², С. Нам², Е. Н. Марьина¹,
Х. Хан², О. С. Попов¹, П. П. Тищенко¹, Г. А. Власова¹, С. А. Зверев¹, Б. Ким⁴, Е. Ким²,
С. Ю. Ким³, А. Э. Леусов¹, И. Ли³, Х. Ли², Х. Ли⁴, А. А. Марьяш¹, И. А. Прушковская¹,
Я. Н. Рудых¹, Ё. Рю², А. А. Рюмина¹, С. Г. Сагалаев¹, П. Ю. Семкин¹, Х. Сё², В. Цой¹, С. Х. Чён³,
Ч. Чой², М. Г. Швецова¹, Е. М. Шкирникова¹, О. А. Уланова¹, Н. В. Шлык¹

¹Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН,
Владивосток, Россия

²Школа наук о Земле и окружающей среде/Исследовательский институт океанографии,
Сеульский национальный университет, Сеул, Респ. Корея

³Отделение океанографии, Пусанский национальный университет, Пусан, Респ. Корея

⁴Отделение морских наук и конвергентных технологий, Университет Ханьян, Ансан, Респ. Корея

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

Поступила в редакцию 13.12.2020 г.

После доработки 06.04.2021 г.

Принята к публикации 15.04.2021 г.

В результате российско-корейских исследований, выполненных в рейсе № 58 НИС “Академик Опарин” в октябре–ноябре 2019 г., продолжен многолетний мониторинг долговременных изменений циркуляции и вентиляции вод, а также биогеохимических процессов в Японском море, происходящих в результате современных климатических изменений и растущего антропогенного воздействия. Продолжены исследования структуры антициклонических вихрей синоптического масштаба, связанных с ветвями Цусимского течения. Впервые обнаружен факел метана на континентальном склоне Восточного Приморья.

Ключевые слова: Японское море, межгодовые изменения, циркуляция и вентиляция вод, биогеохимия, синоптические вихри, метановый факел

DOI: 10.31857/S0030157421040080

Экспедиция рейса № 58 НИС “Академик Опарин” была организована Тихоокеанским океанологическим институтом им. В.И. Ильичева ДВО РАН совместно с Сеульским национальным университетом и другими университетами Республики Корея и проводилась в период с 24 октября по 24 ноября 2019 г. для исследования изменчивости структуры океанологических полей Японского моря, процессов вертикального обмена, продукции и деструкции органического вещества, условий вентиляции глубинных и придонных слоев и их межгодовой изменчивости в связи с изменениями климата и растущей антропогенной нагрузкой.

В задачи экспедиции входила крупномасштабная комплексная съемка западной и северной частей моря, включавшая мониторинговые разрезы CREAMS и NEAR-GOOS (рис. 1). СТД-зондиро-

вания и отбор проб проводились по всей тоще вод до предельных глубин (>3500 м). Было выполнено 42 станции с СТД-зондированием, в том числе 39 станций с отбором проб воды (1741 проба) на растворенный кислород, рН, щелочность, биогенные элементы, изотопы радия, растворенный органический и неорганический углерод, радиоуглерод, тяжелые металлы, редкоземельные элементы, изотопы тория, инертные газы, хлорофилл-а, определение первичной продукции, бактериальной биомассы и др.

Программа CREAMS (“Исследование циркуляции окраинных морей Восточной Азии – Circulation Research of the East Asian Marginal Seas”) была начата летом 1993 г. и является первой региональной международной программой с участием России, Кореи и Японии. Ее основная задача – изучение реакции Японского моря на происходя-

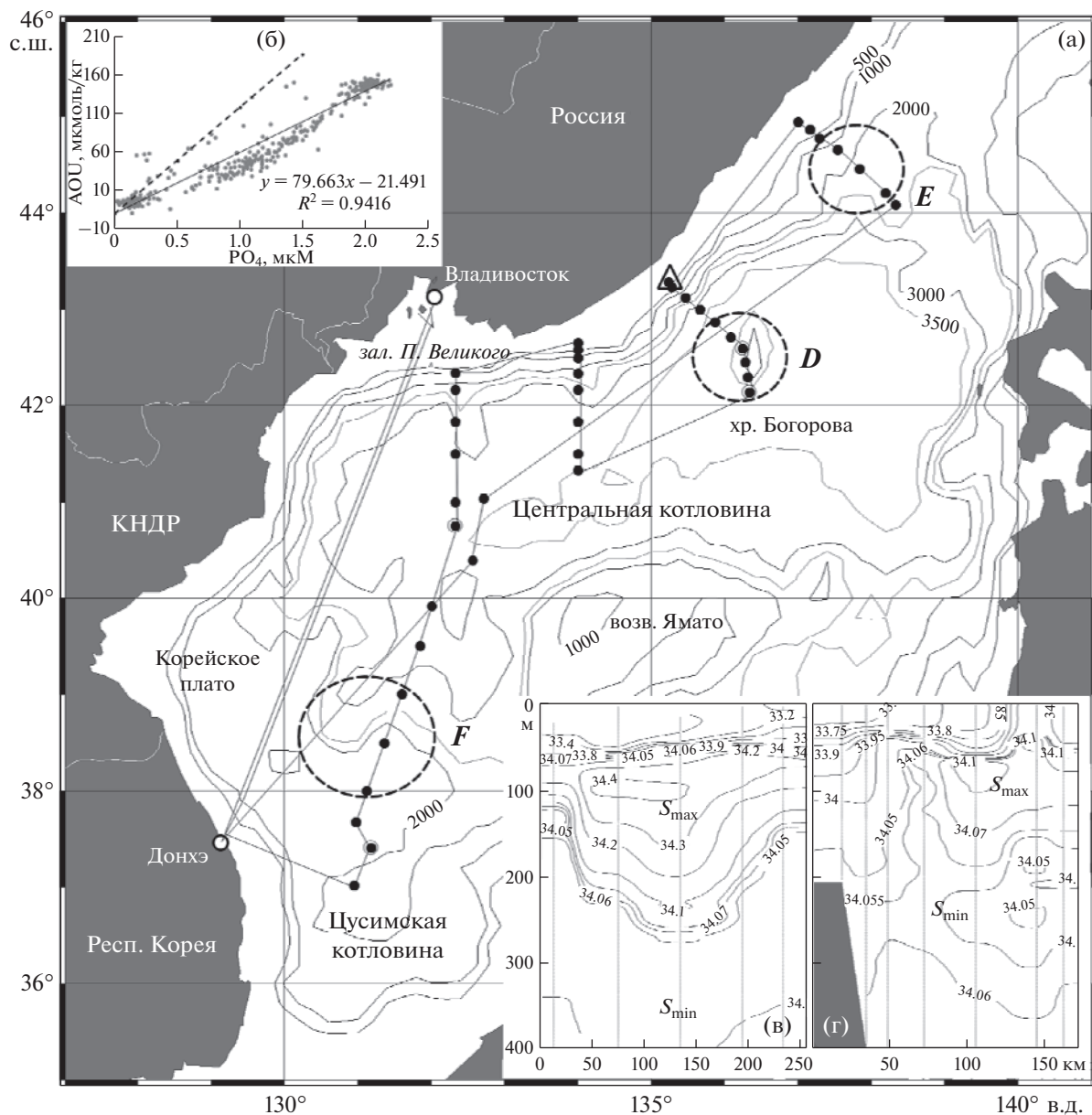


Рис. 1. (а) – Схема работ экспедиции рейса № 58 НИС “Академик Опарин” в Японском море. Точками показано положение океанографических станций, треугольником – положение метанового факела. *D, E, F* – положение антициклонических вихрей. Указаны изобаты в метрах. (б) – Зависимость кажущегося потребления кислорода (АОУ) от содержания фосфатов, пунктирная линия соответствует стехиометрии Редфилда. (в–г) – Разрезы солености через антициклонические вихри *F* (в) и *E* (г).

шие климатические изменения, прежде всего связанные с изменением циркуляции и вентиляции вод. Другое важное направление связано с продукцией и деструкцией органического вещества и механизмами развития в море биогеохимических процессов, таких как ацидификация, деоксигенация, эвтрофикация и денитрификация, причинами которых являются как глобальные процессы, так и региональные источники. Одной из составляющих программы CREAMS

является разрез климатического мониторинга, пересекающий западную часть Центральной котловины моря от залива Петра Великого на севере по $132^{\circ}20'$ в.д. до $38^{\circ}00'$ с.ш. и уходящий на юго-запад вдоль оси Цусимской котловины (рис. 1а). За 25-летний период наблюдений на этом разрезе показаны изменения в тенденциях ослабления вентиляции глубинных и донных вод моря.

Другой климатический мониторинговый разрез был начат ТОИ ДВО РАН совместно с Япон-

ским метеорологическим агентством в 2011 г. в рамках проекта NEAR-GOOS. Он пересекает Центральную котловину от побережья Приморья на юг по 134°00' в.д. до возвышенности Ямато и далее через котловину Ямато к побережью Японии. Каждая из стран выполняет измерения в своей зоне ежегодно в октябре—декабре и производит обмен данными.

Работы на обоих этих разрезах выполнялись в данной экспедиции. Однако по требованию МИД Респ. Корея положение разреза CREAMS было смещено к западу, а штормовые условия, преобладавшие большую часть времени работы экспедиции, не позволили выполнить разрез NEAR-GOOS полностью. Тем не менее, были подтверждены продолжающиеся с 1995 по 2019 гг. климатические изменения в водной толще Японского моря, в частности, идущее со скоростью около 0.002°C/год потепление придонного адиабатического слоя и снижение содержания кислорода.

Получены новые данные о гидрохимическом режиме вод северо-западной части Японского моря в осенний сезон. Показано, что в фотическом слое происходит формирование органического вещества и фотолит, что в совокупности приводит к падению концентраций биогенных элементов практически до нуля и нарушению стехиометрических соотношений Редфилда. Области глубин от 500 до 2500 м характеризуются минимальными значениями pH и концентрациями O₂, которые возрастают при дальнейшем увеличении глубин моря (рис. 1б).

Были продолжены работы по изучению структуры антициклонических вихрей, начатые в предыдущей экспедиции (рейс № 57 НИС “Академик Опарин”). Показано наличие крупного ядра теплых вод повышенной солености (>34.45 епс) в вихре F в южной части района, сформированном водами Восточно-Корейского течения в слое 50–250 м в виде внутритермоклинной линзы (рис. 1в). Разрез через вихрь E, расположенный у северо-восточного Приморья (рис. 1г), также показал его многослойную структуру с относительно распресненным поверхностным слоем (33.7–34.0 епс), слоем вод повышенной солености (34.15 епс) на промежуточных горизонтах (50–200 м) и нижележащим ядром пониженной солености (34.05 епс). Это свидетельствует о переносе вод Цусимского происхождения к побережью Приморья в вихрях даже в такие северные области (около 44°–45° с.ш.), где ранее этого не предполагалось. Все рассмотренные вихри прослеживались по прогибам изолиний практически до дна (2000–2500 м).

Другой важной особенностью динамики вод северной части моря является впервые установленный апвеллинг над подводным хребтом Богорова, распространяющийся до поверхностного слоя и обусловленный циклонической завихренностью, формирующейся из-за особенностей донной топографии.

Распределение следовых металлов в водной толще, полученное в этом рейсе, а также в предыдущей российско-корейской экспедиции в декабре 2018 г., указывает на то, что основным источником марганца и меди является область Цусимской котловины, в то время как максимальное содержание кадмия зарегистрировано в придонном слое западной части Центральной котловины и на континентальном склоне Приморья.

Анализ распределения благородных газов (изотопов гелия ³He и ⁴He) в соединении с тритием (³H) позволяет рассмотреть особенности распределения водных масс в северной части района в период начала осенне-зимней конвекции.

Для исследования продукционных процессов вдоль всего маршрута судна проводилась регистрация температуры, солености, флуоресценции хлорофилла-*a*, содержания кислорода и аргона в поверхностном слое моря с помощью проточной системы. Соотношение газов в воде и воздухе позволяет оценить чистую общую продукцию, определяемую как разница между автотрофным фотосинтезом и дыханием, при этом выделение кислорода пропорционально содержанию чистого углерода. Распределение чистой продукции с учетом неравномерного охлаждения моря и развития апвеллинга в его северной части отличается значительными вариациями.

Интересным результатом экспедиции было обнаружение газового факела высотой более 300 м, впервые зарегистрированного в верхней части континентального склона восточного Приморья на глубине 540 м (рис. 1), что позволяет предполагать наличие залежей газогидратов в донных отложениях этого района.

Источники финансирования. Работы выполнялись в рамках госзадания ТОИ ДВО РАН по темам №№ АААА-А17-117030110042-2 и АААА-А17-117030110038-5, Приоритетной программе ДВО РАН “Дальний Восток” (грант 18-1-010), а также международным программам “Исследование окраинных морей Восточной 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 the State and Variability of Marine Environment in the Japan/East Sea in the 58th Cruise of the R/V *Akademik Oparin*

V. B. Lobanov^{a, #}, A. F. Sergeev^a, G. Kim^b, S. Nam^b, E. N. Maryina^a, H. Han^b, O. S. Popov^a, P. P. Tishchenko^a, G. A. Vlasova^a, S. A. Zverev^a, B. Kim^d, Y. Kim^b, S. Y. Kim^c, A. E. Leusov^a, I. Lee^c, H. Lee^b, H. Lee^d, A. A. Mariaysh^a, I. A. Prushkovskaya^a, Y. N. Rudykh^a, Y. Ryu^b, A. A. Ryumina^a, S. G. Sagalaev^a, P. Y. Semkin^a, H. Seo^b, V. Tsoi^a, S. H. Jeong^c, J. Choi^b, M. G. Shvetsova^a, E. M. Shkirnikova^a, O. A. Ulanova^a, N. V. Shlyk^a

^a*V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russia*

^b*School of Earth and Environmental Sciences/Research Institute of Oceanography, Seoul National University, Seoul, Republic of Korea*

^c*Department of Oceanography, Pusan National University, Busan, Republic of Korea*

^d*Department of Marine Sciences and Convergent Technology, Hanyang University, Ansan, Republic of Korea*

[#]*e-mail: lobanov@poi.dvo.ru*

Multiyear monitoring of marine environment of the Japan/East Sea was continued by the joint Korean-Russian expedition of R/V *Akademik Oparin* (cruise No. 58) in October–November 2019 including changes of the sea circulation and ventilation and biogeochemical processes as a result of modern climate changes and growing anthropogenic impacts. Studies of mesoscale eddies associated with the branches of Tsushima Warm Current have being continued. Methane flare was discovered for the first time at the Eastern Primorye slope.

Keywords: Japan/East Sea, interannual variability, circulation and ventilation, biogeochemistry, mesoscale eddies, methane flare