

УДК 550.83(26)+550.8+551.465

## ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ТИХОГО ОКЕАНА, ЯПОНСКОГО И ОХОТСКОГО МОРЕЙ В 73-м РЕЙСЕ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО СУДНА “ПРОФЕССОР ГАГАРИНСКИЙ” И 53-м РЕЙСЕ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО СУДНА “АКАДЕМИК ОПАРИН”

© 2019 г. В. Н. Карнаух\*, А. Ф. Сергеев, В. Б. Лобанов, П. Я. Тищенко

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

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

Поступила в редакцию 30.05.2018 г.

После доработки 29.04.2019 г.

Принята к публикации 18.06.2019 г.

В ходе выполнения 73-го рейса НИС “Профессор Гагаринский” и 53-го рейса НИС “Академик Опарин” были проведены океанологические исследования Японского и Охотского морей и северо-западной части Тихого океана. Получены новые данные о строении морского дна, структуре вод и особенностях склоновой конвекции в Японском море.

**Ключевые слова:** геофизика, гидрология, гидрохимия, склоновая конвенция, северо-западная часть Тихого океана, Японское море, Охотское море

**DOI:** 10.31857/S0030-15745961093-1096

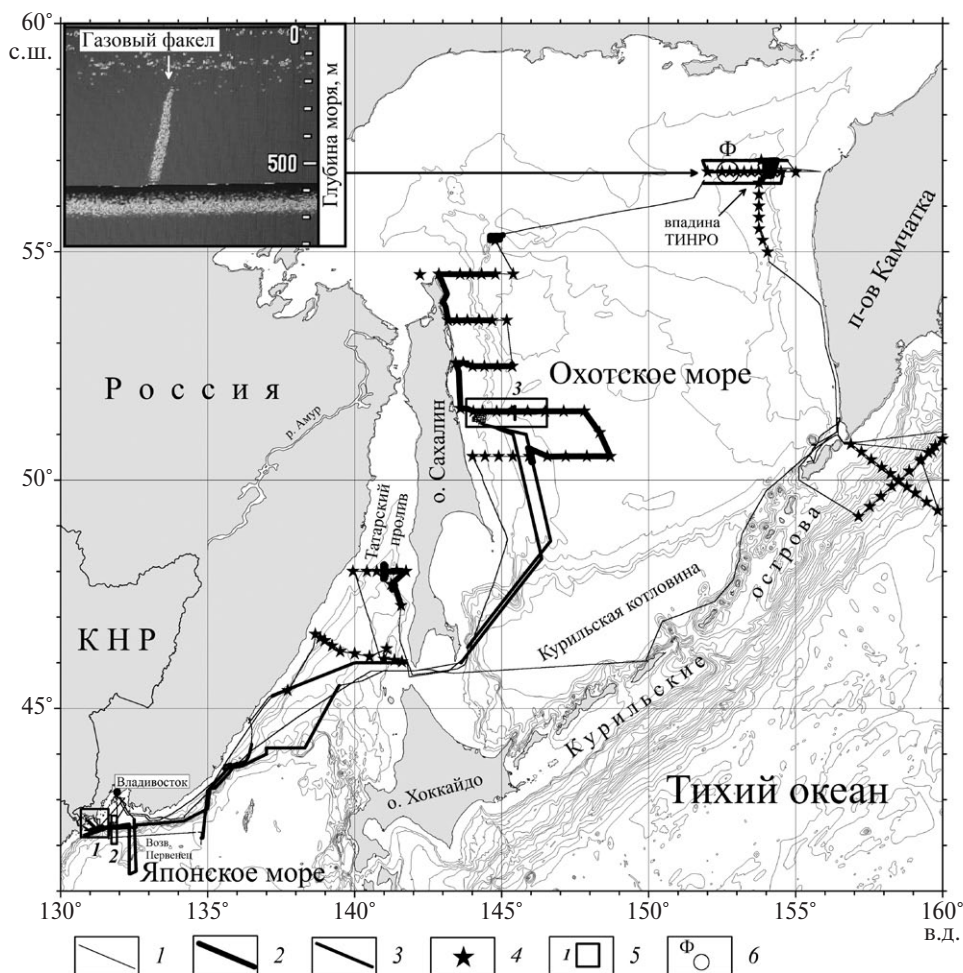
С 7 июня по 3 июля и со 2 августа по 14 сентября 2017 г. Тихоокеанским океанологическим институтом им. В.И. Ильичева ДВО РАН были проведены экспедиции на НИС “Профессор Гагаринский” (рейс № 73) и НИС “Академик Опарин” (рейс № 53). Основными задачами экспедиций являлось выполнение гидролого-гидрохимических съемок на полигонах, отбор проб донных осадков, детальные съемки рельефа морского дна с использованием многолучевого эхолота, высокоразрешающие сейсмоакустическое профилирование верхней части осадочного чехла, измерения магнитного поля, отбор проб планктона и реализация программы “Тихоокеанский плавучий университет” по обучению и стажировке студентов.

За время экспедиций выполнен значительный объем работ: получено 3700 миль магнитной съемки, 280 миль высокоразрешающих сейсмоакустических профилей с профилографом GeoPulse Subbott om Proflier, 2240 миль сейсмоакустических профилей, 1450 миль профилей с многолучевым эхолотом SeaBeam3050. Выполнено 148 гидрологических станций с STD-зондированием и определением температуры, солености, содержания кислорода, хлорофилла-*a* и мутности. На 61 станции кроме регистрации параметров водной толщи производился отбор проб воды с различных горизон-

тов для гидрохимического анализа. Выполнено определение кислорода, рН, щелочности, биогенных элементов, хлорофилла-*a* и феофитина, гумусового вещества. Были выполнены расчеты рН<sub>in situ</sub>, DIC (растворенный неорганический углерод), рСО<sub>2</sub> (парциальное давление углекислого газа), степень насыщенности вод кальцитом (L<sub>c</sub>). Отобраны пробы донных осадков на 12 станциях, драгами подняты образцы коренных пород на 2 станциях. Отбор проб зоопланктона произведен на 32 станциях. Подняты три автономные донные буйковые станции (АБС), установленные на шельфе, континентальном склоне и у его подножия в заливе Петра Великого. На северо-восточном шельфе о. Сахалин для считывания информации были подняты 2 долговременные АБС и поставлены обратно для продолжения наблюдений (рис. 1).

По результатам съемки многолучевым эхолотом и непрерывного сейсмоакустического профилирования (НСП) на восточном склоне о. Сахалин выделено новое поле покмарков (газовых кратеров). Размер кратеров может достигать 500 м, а глубина воронки — до 120 м. При этом покмарки были обнаружены на значительных глубинах — от 650 м до 1000 м.

Исследование северо-восточной части впадины ТИНРО показало, что дно материково-



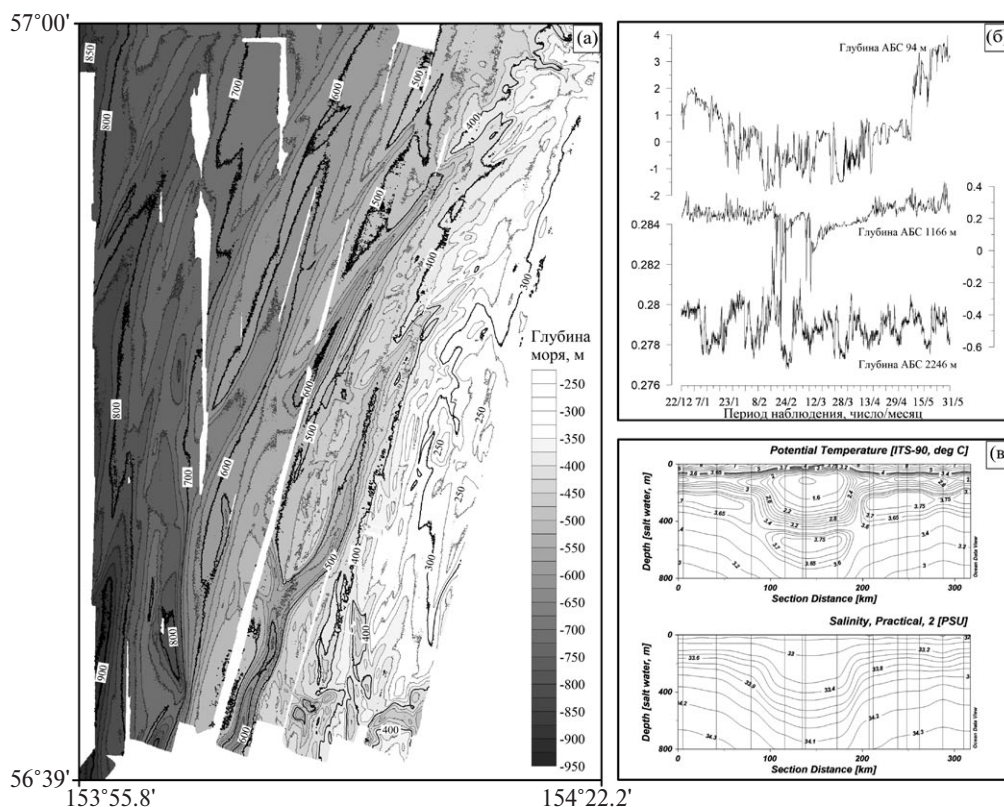
**Рис. 1.** Карта районов морских научных исследований и маршрут движения судна в 73-м рейсе НИС “Профессор Гагаринский” и 53-м рейсе НИС “Академик Опарин”. 1 — маршрут движения судов; 2 — профили съемки с многолучевым эхолотом; 3 — профили НСП и магнитной съемки; 4 — местоположение гидрологических станций; 5 — местоположение полигонов детальных работ (1 — полигон высокоразрешающих сейсмоакустических исследований с профилографом; 2 — полигон, на котором был произведен подъем трех АБС; 3 — полигон отбора проб донных осадков, STD-зондирования и профилактических работ на двух АБС); 6 — местоположение газового “факела” в водной толще впадины ТИНРО, обнаруженного в 53-м рейсе НИС “Академик Опарин”.

го склона западной Камчатки здесь осложнено многочисленными узкими эрозионными долинами, ориентированными диагонально к простиранию склона (рис. 2а). В направлении от дна впадины вверх по склону долины делятся на несколько более мелких. На грядках между долинами имеются локальные замкнутые отрезки палеодолин. Это указывает на достаточно быстрый процесс развития и отмирания отдельных долин, что может объясняться активно изменяющимися гидрологическими условиями.

Другим важным результатом экспедиции является обнаружение многочисленных акустических аномалий, связанных с присутствием газа в осадочных отложениях и множества покмарков, а также газового “факела” в водной толще во впадине ТИНРО (рис. 1). Глубина дна в районе “факела” составляла около 580 м, а его

высота достигала 400 м. В этой части Охотского моря он обнаружен впервые.

Поднятые АБС в заливе Петра Великого позволили продолжить исследование склоновой конвекции (каскадинга) и вентиляции глубинных вод Японского моря. Результаты регистрации изменчивости параметров воды в придонном слое впервые показали существование частых эпизодов каскадинга, вентилирующего глубинные воды Японского моря (рис. 2б). Установлено, что в период со второй половины февраля по первую половину марта склоновая конвекция проникает до глубины 1166 м, а ее влияние, по-видимому, распространяется до придонных вод у подножия склона (2940 м). Более того, сигналы от воздействий на океанографические параметры придонных вод у кромки шельфа залива распространяются по всей



**Рис. 2.** (а) — Рельеф дна северо-восточной части впадины ТИНРО, иллюстрирующий влияние придонных течений на глубоководное осадконакопление и формирование современного рельефа дна; (б) — эпизоды каскадинга, зарегистрированные на склоне залива Петра Великого в Японском море в феврале-марте 2017 г., показан временной интервал от 22.12.2016 г. до 31.05.2017 г.; (в) — распределения температуры и солёности на разрезе через вихрь Камчатского течения.

толще в окрестностях зоны конвекции в течение всего зимне-весеннего периода.

При исследовании механизма формирования вертикальной структуры поля растворенного кислорода в рейсе № 53-го НИС «Академик Опарин» в южной части Татарского пролива обнаружено отсутствие характерной структурной особенности толщи вод — слоя глубинного кислородного максимума, наблюдаемого ранее в этом районе в летний период [3], что может свидетельствовать об ослаблении вентиляции глубинных вод северной части Японского моря в настоящее время. На западном склоне Татарского пролива на разрезе по 46° с. ш. выявлена придонная область с наименьшей на разрезе концентрацией кислорода — 202.8 мкмоль/кг, которая находится на том же месте и имеет тот уровень содержания кислорода, что и в экспедициях ТОИ ДВО РАН в 1999–2009 гг. [3], а также совпадает с расположением придонной аномалии мутности с максимумом 0.28 FTU на 1104 м.

В распределении мутности у дна в Татарском проливе можно отметить совпадение ее повышенных значений с областями минимума кисло-

рода. Так, на разрезе по 46° с. ш. ее более высокий уровень отмечается на западном склоне пролива, примерно в 3 раз выше, чем на восточном. На глубоких станциях мутность ниже, чем на склонах. Севернее, на разрезе по 48° с. ш., в отличие от распределения на разрезе по 46° с. ш., максимальная мутность у дна выше (до 1.0–2.4 FTU) и наблюдается на максимальных глубинах в осевой области подводной долины. Здесь же зарегистрированы минимальные у дна концентрации кислорода — 198–200 мкмоль/кг. Обнаружена существенная замутненность всей водной толщи на разрезе по 48° с. ш. по сравнению с разрезом по 46° с. ш. от Приморья до о. Сахалин. При этом минимальные значения мутности здесь (0.04 FTU) почти в два раза превосходят минимальные значения на разрезе по 46° с. ш. (0.018 FTU).

Важным результатом работ в шельфово-склоновой области восточного Сахалина было обнаружение проявления летней склоновой конвекции с образованием интрузий в промежуточных слоях, в также глубинного и шельфового апвеллингов с выходом трансформированных вод зимнего происхождения на поверхность в средней части побережья.

Во впадине ТИНРО в северо-восточной части Охотского моря выявлена циклоническая циркуляция, отличная от традиционной антициклонической схемы для летнего периода [4]. Особенностью структуры океанологических полей является куполообразный подъем изолиний основных STD-параметров — температуры, солености, плотности и кислорода. При этом установлена четырехслойная структура вод впадины, важной особенностью которой являются придонные слои повышенной мутности на западном и южном склонах.

В завершении экспедиции на НИС “Академик Опарин” была выполнена детальная STD-съемка крупного антициклонического вихря к юго-востоку от п-ва Камчатка (рис. 1, 2в). Такие вихри регулярно присутствуют в этом районе и существуют длительное время [1, 2]. Вихрь имел однородное ядро вод повышенной температуры и солености между горизонтами 50 и 300 м. По результатам наших измерений, STD-характеристики в центре ядра составили: температура — 1.11°C, соленость — 32.92 епс, плотность — 26.39 у.е. В 1990 и 2004 гг. в ядрах вихрей в этом же районе температура воды составляла 0.02°C и 0.73°C, соленость — 33.11 и 33.01 епс, плотность — 26.58 и 26.46 у.е. соответственно [2]. Можно предположить, что с 1990 по 2017 г. произошло повышение температуры и понижение солености и плотности вод северной части Тихого океана, из которых формируется ядро камчатского вихря.

Впервые в вихре Камчатского течения под его ядром установлена изолированная область наиболее чистых вод с крайне низким содержанием взвешенного вещества по сравнению с окружающими водами. Также выявлено, что ниже основного ядра вихря в слое 200–700 м расположено вторичное ядро

более теплых вод с температурой до 3.75°C и пониженного содержания кислорода. Продолжение съемки вихря после прохождения через него тайфуна “Санву” 3–4 сентября позволило зафиксировать значительные изменения в поверхностном слое вод до 20–30 м: температура понизилась с 12°C до 6–8°C, соленость увеличилась с 32.4 епс до более 32.6 епс. Однако характеристики ядер вихря и его структура в толще вод не изменились.

В ходе выполнения экспедиции была реализована научно-образовательная программа “Тихоокеанского плавучего университета” по обучению и стажировке студентов Дальневосточного федерального университета, Московского государственного университета и Санкт-Петербургского государственного университета.

**Источники финансирования.** Работа выполнена при финансовой поддержке программы “Дальний Восток”, гранты № 18-1-008 и № 18-1-010.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Булатов Н. В., Лобанов В. Б. Исследование мезомасштабных вихрей восточнее Курильских островов по данным метеорологических спутников Земли // Исследование Земли из космоса. 1983. № 3. С. 40–47.
2. Рогачев К. А. Структура пограничных течений и механизмы формирования промежуточных вод в западной субарктике Тихого океана // Дальневосточные моря России. Кн. 1. Океанологические исследования. М.: Наука, 2007. С. 405–428.
3. Тищенко П. Я., Талли Л. Д., Лобанов В. Б. и др. Влияние геохимических процессов в придонном слое на гидрохимические характеристики вод Японского моря // Океанология. 2007. Т. 47. № 3. С. 380–389.
4. Хен Г. В., Ванин Н. С., Фигуркин А. Л. Особенности гидрологических условий в северной части Охотского моря во второй половине 90-х гг. // Изв. ТИНРО. 2002. Т. 130. С. 24–43.

## OCEANOLOGICAL STUDIES IN THE NORTHWEST PACIFIC, JAPAN AND OKHOTSK SEAS IN THE 73th CRUISE OF THE RV *PROFESSOR GAGARINSKIY* AND 53th CRUISE OF THE RV *ACADEMIC OPARIN*

© 2019 V. N. Karnaukh\*, A. F. Sergeev, V. B. Lobanov, P. Ya. Tishchenko

*Ilichev Pacific Oceanological Institute, Far Eastern Branch Russian Academy of Science, Vladivostok, Russia*

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

Received May 30, 2018

Revised version received April 29, 2019

After revision June 18, 2019

During the the 73th cruise of the RV *Professor Gagarinskiy* and 53th cruise of the RV *Academic Oparin* oceanological studies of the north-western Pacific, Japan and Okhotsk Seas were conducted. New data on the structure sea bottom, water composition as well as slope convection of the Japan Sea.

**Keywords:** geophysics, hydrology, hydrochemistry, slope convection, northwest Pacific, Japan Sea, Okhotsk Sea