

## **РАЗНОМАСШТАБНАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ СИСТЕМЫ ТЕЧЕНИЙ И ВИХРЕЙ НА ВНЕШНЕМ И ВНУТРЕННЕМ ШЕЛЬФЕ ЗАЛИВА ПЕТРА ВЕЛИКОГО.**

**Пономарев В.И., Файман П.А., Дубина В.А., Лазарюк А.Ю. Марьина Е.Н.**

(ТОИ ДВО РАН, pvi711@yandex.ru)

Лоции 1960, 1972 – 1996 гг., атлас течений (Данченков, 2010), карты и обобщенные схемы течений на поверхности залива Петра Великого (Арзамасцев, Данченков, Мишуков, 2010; Данченков, 2010) дают общее представление о течениях и их сезонной изменчивости. Для решения многих практических задач необходимы знания внутрисезонной и синоптической изменчивости циркуляции и системы течений и ее вихревой структуры. Наиболее интенсивные течения, достигающие 1-2 м/с сосредоточены в области синоптического и субсиноптического масштаба движения или, используя международную классификацию, в системе мезомасштабных и субмезомасштабных вихрей и струйных течений.

По мере увеличения пространственного разрешения спутниковой информации выделяется все большее разнообразие вихрей различных масштабов на внешнем и внутреннем шельфе залива, над крутым материковым склоном Японской котловины и в прилегающей части моря. Тематическая обработка данных AVHRR NOAA в заливе Петра Великого впервые выполнена для условий осеннего апвеллинга и выхолаживания шельфовых вод в работе (Гончаренко и др., 1993). Из этой работы следует, что неоднородность уменьшения температуры воды на поверхности залива (ТПО) в период осеннего апвеллинга и выхолаживания обусловлена как непосредственным воздействием ветра северных румбов, так и формирующимися мезомасштабными вихрями и струйными градиентными течениями на периферии вихрей. Отрицательная аномалия температуры воды на гидрологическом разрезе вдоль 132 в.д. через мезомасштабный циклонический вихрь на южной периферии залива соответствовала аналогичной холодной аномалии ТПО по спутниковым данным.

При анализе серии изображений AVHRR NOAA в ИК диапазоне с 18 октября по 28 ноября 2000г. (Ладыченко, 2002) в аналогичных условиях апвеллинга впервые показана эволюция теплого антициклонического мезомасштабного вихря над континентальным склоном Японской котловины в районе залива Петра Великого от стадии формирования на траверзе мыса Поворотный к стадиям стационарирования и разделения на два вихря меньшего масштаба. С использованием спутниковой информации и данных контактных измерений показаны разнообразные мезомасштабные вихревые структуры, струйные течения в заливе и прилегающей части моря в различные сезоны и годы (Данченков и др., 2002; Ладыченко, Лобанов, 2013; Рогачев, 2010 и др.). Основные представления об эволюции системы мезомасштабных вихрей в летний и осенний сезоны на внешнем шельфе залива Петра Великого

и в прилегающей части Японского моря получены на основе совместного анализа спутниковой информации и результатов численного моделирования (Пономарев и др., 2011; Пономарев и др., 2013 а,б,с; Пономарев и др., 2015) с помощью слоистой гидродинамической модели МГИ (Шапиро, Михайлова, 2001). Показаны перемещения вихрей в летний и осенний сезоны, переход одного из антициклонических вихрей в центральной части залива в квазистационарный режим. Выполнен Лагранжев анализ перемешивания и переноса вод в заливе Петра Великого (Пранц, Пономарев, Будянский и др., 2013) и над материковым склоном Приморья (Prants et al., 2011) с использованием скоростей течений, полученных в численных экспериментах с моделью МГИ. С помощью Лагранжева анализа определены зоны застоя и коридоры выносы вод залива и притока морских вод (Пранц и др., 2013). Показаны перемещения двух антициклонических вихрей с разной скоростью над кромкой шельфа и материковым склоном Приморья, их встреча и взаимодействие (Prants et al., 2011).

В работе (Будаева и др., 2018) исследовалась межгодовая изменчивость термохалинной структуры и интегральной циркуляции вод (с учетом синоптических вихрей) в заливе Петра Великого в весенний сезон. Использовались данные гидрологических съемок в заливе с 2010 по 2016г. В работах (Будаева и др., 2010; Будаева и др., 2018) показаны характерные особенности термохалинной структуры вод и вихревой системы течений в годы с максимальным расходом рек и распреснением вод залива, а также в год с аномально холодной весной.

При использовании спутниковых мультисенсорных данных высокого разрешения (Дубина, Митник, Катин, 2008), в том числе радиолокационного спутникового зондирования, а также данных Модис Aqua и Landsat в ИК и видимом диапазонах (Дубина, Файман, Пономарев, 2013) в заливе Петра Великого наряду с мезомасштабными циклонами и антициклонами обнаружены короткоживущие субмезомасштабные циклонические вихри размером от 1.5 до 10 км. Эти вихри хорошо видны на поверхности залива в конце теплого периода года и в холодный сезон на радиолокационных изображениях (Дубина, Митник, Катин, 2008), в поле яркостной температуры (Дубина, Файман, Пономарев, 2013; Пономарев и др., 2013 а,б), и в поле дрейфующего льда при слабом ветре (Плотников, Дубина, 2016). С помощью слоистой гидродинамической модели МГИ с горизонтальным разрешением 1.25км удалось показать формирование короткоживущих субмезомасштабных циклонических вихрей в западном струйном течении на внешнем шельфе залива и их перемещение на периферии мезомасштабного антициклонического вихря в центральной части залива (Дубина, Файман, Пономарев, 2013; Пономарев и др., 2013 а,б)).

Наряду с обзором публикаций, касающихся мезомасштабных, субмезомасштабных вихрей и течений в данной работы представлена показательный пример эволюции разномасштабной вихревой системы течений в начале зимнего сезона (в декабре) на внешнем шельфе залива, полученной с помощью модели МГИ с горизонтальным разрешением 1.25км.

Представлены результаты численных экспериментов с моделью ROMS с горизонтальным разрешением 600м. Показаны моделируемые вихревые системы течений в Амурском и Уссурийском заливах в различные сезоны. Результаты моделирования с помощью нестационарной модели ROMS верифицируются с использованием диагностических расчетов течений, выполненных (Файман, Пономарев, 2018; Fauman, Ponomarev, 2008) по данным гидрологических STD съемок ДВНИГМИ.

Работа выполнена при поддержке комплексных программ фундаментальных исследований ДВО РАН "Дальний Восток" на 2018–2020 гг. 18-1-010. Часть исследований, касающаяся численных экспериментов по моделированию разномасштабной циркуляции в заливе Петра Великого с помощью моделей МГИ и ROMS, выполнена в рамках проекта no.~16-17--10025 Российского Научного Фонда.

## ЛИТЕРАТУРА

Арзамасцев И.С., Данченков М.А., Мишуков В.Ф. Поверхностные течения залива Петра Великого В книге: Современное экологическое состояние залива Петра Великого Японского моря / отв. ред. Н.К. Христофорова. Владивосток: Издательский дом ДВФУ, 2012, С. 62-75.

Будаева В.Д., Зуенко Ю.И., Макаров В.Г. Структура и динамика вод залива Петра Великого в условиях сильного летнего распреснения (2008-2009 гг.) // Труды ГУ ДВНИГМИ, 2010, №1, С. 158-172

Будаева В.Д., Макаров В.Г., Мезенцева Л.И., Любицкий Ю.В. О весеннем режиме вод в заливе Петра Великого (Японское море) и его изменчивости в текущем десятилетии (2010-2016 гг.) Вестник ДВО РАН, 2018, №1 (197), С.10-24.

Гончаренко И.А., Федеряков В.Г., Лазарюк А.Ю., Пономарёв В.И. Тематическая обработка данных AVHRR на примере изучения прибрежного апвеллинга. Исследование Земли из космоса, 1993, №2, С. 97–107.

Данченков М.А. Атлас течений залива Петра Великого: отчет по НИР. Владивосток: ДВНИГМИ, 2009, 74 с.

Данченков М.А. Обобщённая схема течений залива Петра Великого. Труды Региональной Конференции "Океанография залива Петра Великого". Владивосток, ДВНИГМИ, 2012, С. 31– 36.

Никитин А.А., Лобанов В.Б., Данченков М.А. Возможные пути переноса субтропических вод в район Дальневосточного морского заповедника. Известия ТИНРО, 2002, Т. 131, С. 41-53.

Дубина В.А., Митник Л.М., Катин И.О. Особенности циркуляции вод залива Петра Великого на основе спутниковых мультисенсорных данных // Современное состояние и

тенденции изменения природной среды залива Петра Великого Японского моря, М.: ГЕОС, 2008, С. 82–96.

Дубина В.А., Файман П.А., Пономарев В.И. Вихревая структура течений в заливе Петра Великого. Известия ТИНРО, 2013, Т. 173, С.247-258.

Дубина В.А., Плотников В.В., Кот Н.С. Дрейф льда в заливе Петра Великого. Известия ТИНРО. 2014, Т.178, С.148-156. DOI:[10.26428/1606-9919-2014-178-148-156](https://doi.org/10.26428/1606-9919-2014-178-148-156)

Дубина В.А., Плотников В.В., Лазарюк А.Ю. Особенности ледяного покрова в районе полуострова Ломоносова (залив Петра Великого)// Вестник ДВО РАН. 2015. № 2. С. 93-100.

Ладыченко С.Ю. Изменение термической структуры поверхностных вод у побережья Приморья в осенний период 2000 г. Океанологические исследования: сб. статей по материалам конф. молодых ученых ТОИ ДВО РАН (27–30 ноября 2001 г.), Владивосток: Дальнаука, 2002, С. 75–83.

Ладыченко С.Ю., Лобанов В.Б. Синоптические вихри в районе залива Петра Великого по спутниковым данным. Исследование Земли из космоса, 2013, №4, С. 3-15.

Плотников В.В., Дубина В.А. Субмезомасштабная изменчивость абиотических факторов экосистем залива Петра Великого по данным спутниковых наблюдений. Владивосток: Дальрыбвтуз, 2016. 120 с.

Пономарев В.И., Файман П.А., Дубина В.А., Машкина И.В. Синоптические вихри над материковым склоном Японской котловины и шельфом Приморья // Известия ТИНРО. Владивосток, 2011, Т. 167, С.160 -175.

Пономарев В.И., Файман П.А., Машкина И.В., Дубина В.А. Моделирование циркуляции синоптического масштаба в северо-западной части Японского моря // Морской гидрофизический журнал. Вып. 5, посвященный памяти проф. А.И. Фельзенбаума. МГИ. Севастополь, 2013а, №5, С.51-63.

Пономарев В.И., Файман П.А., Дубина В.А., Машкина И.В. Особенности динамики вод синоптического и субсиноптического масштабов над континентальным склоном Японской котловины и шельфом Приморья. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2013б. Т. 10. № 2.С. 155-165.

Пономарев В.И., Файман П.А., Машкина И.В., Дубина В.А. Вихревая структура течений северо-западной части Японского моря. Океанологические исследования дальневосточных морей и северо-западной части Тихого океана: в 2 кн./ гл. ред. В.А. Акуличева; ТОИ ДВО РАН. Владивосток: Дальнаука, 2013в, Кн. 1. (436 с.), С. 146-159.

Пономарев В.И., Файман П.А., Машкина И.В., Дубина В.А. Моделирование разномасштабной циркуляции в северо-западной части Японского моря. Системы контроля окружающей среды. Севастополь: ИПТС. 2015, Вып. 2 (22), С. 65–73.

Пранц С.В., Пономарев В.И., Будянский М.В., Улейский М.Ю., Файман П.А. Лагранжев анализ перемешивания и переноса вод в морских заливах. Изв. РАН, Физика атмосферы и океана, 2013, Т. 49, № 1, С. 91–106.

Рогачев К.А. Субмезомасштабные струи на континентальном шельфе залива Петра Великого (Японского моря). Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2010, Т. 7, № 3, С. 186 – 190.

Файман П.А., Пономарев В.И. Диагностические расчеты циркуляции вод залива Петра Великого по данным океанографических экспедиций ДВНИГМИ 2007 – 2010 гг. Вестник ДВО РАН, 2018, №1 (197), С. 60-70.

Prants S.V., Budyansky M.V., Ponomarev V.I., Uleysky M.Yu. Lagrangian study of transport and mixing in a mesoscale eddy street. Ocean Modeling, 2011, V. 38, № 1-2, P. 114-125.

Шапиро Н.Б., Михайлова Э.Н. Параметризация диапикнического обмена в квазиизопикнической модели океана. Сб. научных трудов памяти проф. А.И. Фельзенбаума, МГИ, Севастополь, 2001, С. 31 – 47.

Fayman P.A., Ponomarev V.I. Diagnostic simulation of sea currents in the Peter the Great Bay based on FERHRI oceanographic surveys. Pacific Oceanography, 2008, V. 4, №. 1-2, P. 56-64.