

Моды низкочастотной изменчивости уровня Японского моря

О.О. Трусенкова

*Тихоокеанский океанологический институт ДВО РАН,
690041 г. Владивосток, ул. Балтийская, 43
E-mail: trolia@poi.dvo.ru*

Изменчивость уровня Японского моря исследована с помощью ЭОФ-анализа еженедельных спутниковых альтиметрических полей за 1992-2007 гг. Низкочастотная фильтрация позволила выявить особенности межгодовой изменчивости уровня. Выявлены квазидвухлетние синхронные колебания уровня Японского моря. Трендов уровня за период наблюдений не обнаружено. Показано, что крупномасштабный меридиональный градиент уровня (плотности воды), определяющий интенсивность циркуляции моря в целом и подверженный значительным сезонным колебаниям, устойчив к межгодовым изменениям потока тепла через поверхность моря и Корейский пролив. Установлено, что в конце лета перенос на север теплых вод, поступающих в море через Корейский пролив, усиливается в восточной части моря, а весной и осенью – в западной. Подобные изменения происходят также на квазидвухлетнем и межгодовом масштабах.

Ключевые слова: вейвлет-преобразование, водообмен через проливы, квазидвухлетняя изменчивость, синхронные колебания, спутниковая альтиметрия, уровень Японского моря, циркуляция вод, эмпирические ортогональные функции.

Введение

Уровень океана является важным индикатором климатических изменений и динамических процессов в океане – крупномасштабных течений, синоптической динамики, волновых процессов, приливов. С начала 1990х гг. создаются архивы данных спутниковой альтиметрии об аномалиях уровня открытых районов океана и морей. На основе этих данных уже выполнены исследования сезонной и межгодовой изменчивости уровня Японского моря и связанных с ней изменений циркуляции вод [1-4]. Основное внимание уделялось субтропической части моря, где уровень и дисперсия сигнала выше.

Система течений бароклинного слоя Японского моря формируется, в первую очередь, за счет водообмена с окружающими бассейнами, а ветровое воздействие является дополнительным фактором изменчивости [5]. Значительный объем субтропических вод поступает с юга через Корейский пролив, а проливы Сангарский и Лаперуза являются сточными. Традиционные схемы [5] включают теплые Цусимское и Восточно-корейское течения, а также холодные Приморское и Северо-корейское течения (рис. 1). Конвергенция западных пограничных течений после отрыва от берега формирует субарктический фронт (САФ), разделяющий море на субарктическую и субтропическую области (см. схему термических фронтов [6] на рис. 1). В субарктической области преобладает циклоническая циркуляция, но часто формируются теплые вихри, в частности у побережья южного Приморья и КНДР, где развивается связанная с ними северо-западная (СЗ) ветвь САФ (фронт 2 на рис. 1), разрывая холодные течения [6-8]. Они являются устойчивыми особенностями в

период зимнего муссона, но существуют также в теплый период года, преимущественно весной, под воздействием регионального антициклонического (АЦ) вихря ветра [9, 10]. Субтропические воды переносятся с юга на север вдоль западного и восточного берегов крупномасштабными течениями, а также стримерами и синоптическими вихрями [6-8].

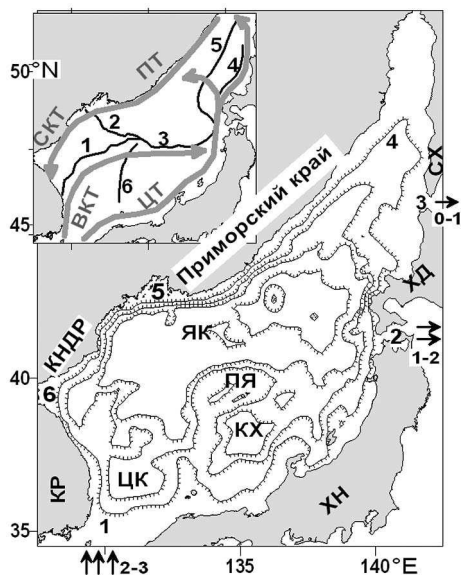


Рис. 1. Рельеф дна Японского моря. Показаны изобаты 500, 1500, 2500 и 3500 м; засечки направлены в сторону уменьшения значений. Обозначения: 1 – Корейский пролив, 2 – Сангарский пролив, 3 – пролив Лаперуза, 4 – Татарский пролив, 5 – залив Петра Великого, 6 – Восточно-корейский залив, Хн – о. Хонсю, Хд – о. Хоккайдо, Сх – о. Сахалин, КР – Корейский п-ов, ЯК – Японская котловина, ЦК – Цусимская котловина, КХ – котловина Хонсю, ПЯ – поднятие Ямато. Стрелками показано направление течений в проливах и указан средний разброс расходов (Св; [14-15]). На врезке показаны схема течений [5] и термические фронты [6] Японского моря. Обозначения: ВКТ – Восточно-корейское течение, ЦТ – Цусимское течение, ПТ – Приморское течение, СКТ – Северо-корейское течение

Особенности циркуляции Японского моря находят свое отражение в крупномасштабных модах изменчивости уровня [2, 3, 11], полученных путем разложения альтиметрических полей на эмпирические ортогональные функции (ЭОФ), причем выявление низкоамплитудных аномалий в субарктической области стало возможным благодаря специальным приемам анализа [11]. Три старшие, статистически значимые моды характеризуются ярко выраженной сезонной и наличием межгодовой изменчивости, но анализ последней затруднен вследствие преобладания годового масштаба [11]. Целью данной работы является исследование межгодовой изменчивости уровня Японского моря на основе ЭОФ-анализа альтиметрических полей, подвергнутых низкочастотной фильтрации, и сравнение с полученными ранее модами сезонной изменчивости.

Данные и методы

Используются еженедельные сеточные поля аномалий уровня Мирового океана, подготовленные в рамках международного проекта AVISO (Archiving, Validation, and Interpretation of Satellite Oceanographic data [12]) оптимальной интерполяцией вдольтрековых данных только двух спутников для каждого поля (т.н. reference data), что обеспечивает сопоставимость в течение всего периода наблюдений, несмотря на изменения в составе группировки. В исходные данные были внесены все необходимые поправки по принятым методикам и глобальным моделям [12]. Аномалии были рассчитаны путем исключения

среднего уровня за период 1992-1999 гг., включающего геоид и среднюю динамическую топографию. Средняя динамическая топография Японского моря, оцененная по натурным данным [3] или модельным расчетам [1], характеризуется повышенными значениями в субтропической области, особенно в зоне Цусимского течения вдоль восточного берега, и пониженными – в субарктической.

Выполнен ЭОФ-анализ полей аномалий уровня с пространственным разрешением $1/4^\circ$ в районе (35.5° - 48° N, 127.5° - 142° E) за период с октября 1992 г. по январь 2008 г. Средние ошибки интерполяции составляют 15% и 45% локальной дисперсии (4-4.5 и 3.5-4 см изменения уровня) в субтропической и субарктической частях моря соответственно [11]. Сравнение с данными прибрежного мареографа в районе о. Уллындо в юго-западной (ЮЗ) части моря дало близкие оценки ошибок [3]. Поскольку разложение на ЭОФ включает осреднение при расчете ковариаций, ошибка вклада отдельной моды относится к ошибке исходных данных как $1/\sqrt{N} \sim 0.035$, где $N = 798$ – длина временных рядов.

Разложение на ЭОФ выполнялось на основе как ковариационной матрицы (как это обычно делается), так и с использованием корреляций в данных. Последнее способствует выявлению низкоамплитудных аномалий в субарктической области. Присущая корреляциям нелинейность позволила корректировать моды при повторном разложении остаточных аномалий, полученных удалением вклада ведущей моды из исходных полей, преодолеть условие ортогональности и выявить природные взаимосвязанные моды [11].

Выполнены разложения исходных аномалий уровня на основе ковариаций и корреляций, а также разложения на основе корреляций остаточных и низкочастотных аномалий. Последние получены вейвлет-фильтрацией исходных полей на основе материнского вейвлета Морле 6го порядка с наименьшим периодом в 10 недель. При фильтрации (обратном вейвлет-преобразовании) учитывались периоды более 1.2 года.

Старшие моды разложений исходных полей (АУМ1; рис. 2а, б, 3а) учитывают около 70% общей дисперсии каждая, а последующие – менее 5% каждая. Это послужило дополнительной причиной для проведения повторного разложения. Две старшие моды разложения остаточных аномалий (АУМ2; рис. 2в, г, 3а, б) учитывают $32 \pm 3\%$ и $10 \pm 1\%$ дисперсии соответственно, т.е. являются невырожденными. Они совпадают с модами, полученными на основе сеточных полей AVISO с пространственным разрешением $1/3^\circ$ [11]. Две старшие (невырожденные) моды низкочастотных аномалий (низкч. АУМ1; рис. 2д, е, 3а, б) учитывают $44 \pm 4.5\%$ и $12 \pm 1\%$ дисперсии соответственно, а последующие моды отражают локальные сигналы. Статистическая значимость всех рассматриваемых мод подтверждена тестированием методом Монте-Карло.

Обсуждение результатов

Старшая мода разложений исходных и низкочастотных аномалий описывает синхронные колебания уровня во всем Японском море (рис. 2а, б, д). В исходных аномалиях преобладает годовой ход, со стоянием уровня выше среднего летом и осенью и ниже среднего в конце зимы и весной, а сезонные экстремумы достигаются, в среднем, в октябре и марте (рис. 3а). Пространственное распределение основанной на ковариациях моды, подобно средней динамической топографии [3], отражает особенности циркуляции. Субарктическая область однородна, в субтропической области значения заметно выше, а локальные максимумы находятся в зоне Цусимского течения вдоль берега о. Хонсю, в АЦ меандре над поднятием Ямато (его западная граница соответствует фронту б на рис. 1), в рециркуляционном АЦ круговороте Восточно-корейского течения (рис. 2а). Мода, основанная на корреляциях, пространственно более однородна, а ее нагрузки возрастают в центральной субарктической области и в зоне Цусимского течения (рис. 2б, д).

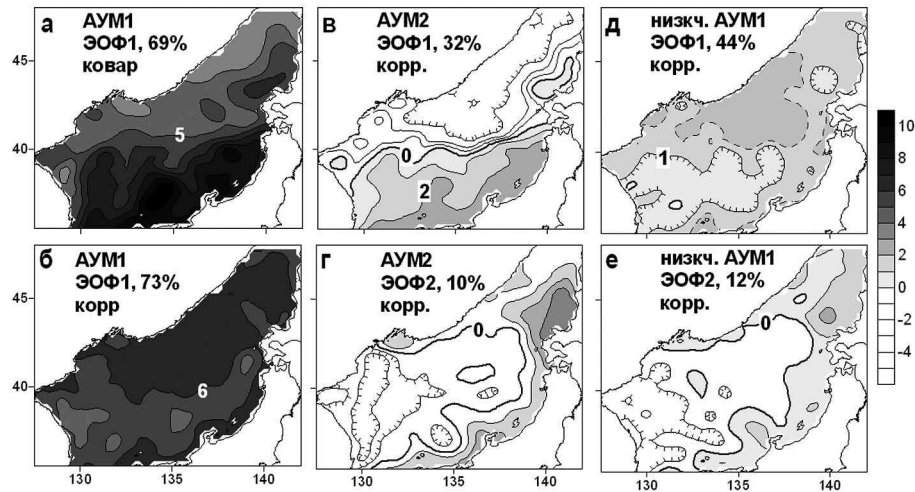


Рис. 2. Пространственные функции (ЭОФ; см) для проведенных разложений, умноженные на стандартное отклонение соответствующих временных функций: ЭОФ 1 разложения исходных аномалий уровня (АУМ1) на основе ковариаций (а) и корреляций (б), ЭОФ 1 (в) и ЭОФ 2 (г) разложения остаточных аномалий (АУМ2), ЭОФ 1 (д) и ЭОФ 2 (е) разложения низкочастотных аномалий (низкч. АУМ1). Засечки направлены к меньшим значениям. Дополнительная изолиния показана пунктиром (д). Показаны доли общей дисперсии, учитываемые каждой модой

Известно, что основной вклад в изменчивость уровня Японского моря вносят его стерические колебания, связанные с сезонными изменениями плотности морской воды [13]. Стерический сигнал вносит основной вклад в синхронную моду, что подтверждается пространственным распределением, основанным на ковариациях: локальные экстремумы привязаны к районам субтропических вод, где сигнал и его дисперсия максимальны (рис. 2а). Однако наличие временного сдвига между экстремумами (в феврале/сентябре и марте/октябре для стерических аномалий и ЭОФ соответственно [11]) указывает на существо-

вание дополнительного физического механизма – изменения объема воды в море за счет несбалансированности водообмена с окружающими бассейнами [11]. Расход в Корейском проливе, в среднем, максимален в октябре-ноябре, а в проливе Лаперуза, через который море покидает 30% поступающих с юга вод, летом; данные в Сангарском проливе фрагментарны, но указывают на увеличение расхода летом и уменьшение зимой [14, 15], что и может приводить к несбалансированности водообмена.

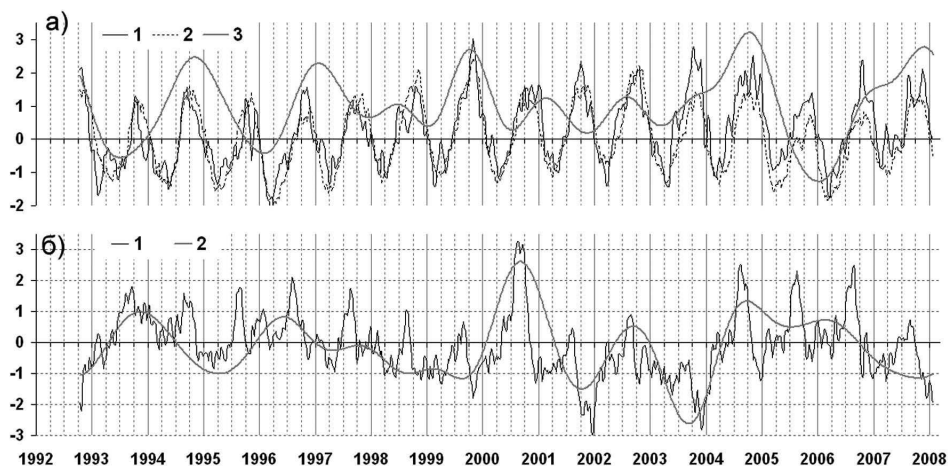


Рис. 3. Временные функции, нормализованные на стандартное отклонение, для моды 1 разложения исходных (а; кривая 1), остаточных (а; кривая 2) и низкочастотных (а; кривая 3) аномалий уровня, а также для моды 2 разложения остаточных (б; кривая 1) и низкочастотных (б; кривая 2) аномалий уровня

В низкочастотной синхронной моде преобладает квазидвухлетняя изменчивость (рис. 3а), а пространственное распределение подобно полученному на основе корреляций в исходных полях (рис. 2б, д), что указывает на единство процессов формирования сезонных и низкочастотных аномалий. Можно полагать, что низкочастотная мода связана с изменениями объема воды в море, поскольку стерические колебания отфильтрованы вместе с сезонным сигналом. Связанные с ней аномалии уровня составляют 1-4.5 см, что превышает ошибку среднего и соответствует дисбалансу расходов 0.7-3%.

Несмотря на то, что аномалии, в среднем, малы, заметный подъем уровня наблюдался в 1994, 1999, 2004 и 2007 гг. (рис. 3а). Наибольшие отрицательные аномалии наблюдались с июля 2005 г. по июнь 2006 г. По данным измерений течений в Корейском проливе судовым акустическим доплеровским профилографом за период 1997-2007 гг. расход был максимален в 1999 г. и минимален в 2005 г. [16], но в целом нельзя судить об объеме воды в море только по расходу в Корейском проливе. В работе [3] был оценен положительный линейный тренд среднего уровня за период 1992-2002 гг., однако синхронной моде не свойственно трендовое поведение (рис. 3а). Вклад синхронной моды в низкочастотные аномалии, в среднем, положителен, что отчасти объясняется определе-

нием среднего уровня за 1992-1999 гг. Другой причиной мог быть скачок в данных в 1999 г., отмеченный на вдольтрековых аномалиях в ЮЗ части Японского моря (устное сообщение К.-И. Чанга, Сеульский национальный университет).

Изменчивость водообмена через проливы Японского моря в широком диапазоне масштабов, от субинерционных до климатических [14, 16], определяется многими факторами – крупномасштабными и региональными вариациями атмосферного давления и ветра, циркуляцией вод СЗ части Тихого океана, развитием краевых захваченных волн [17]. Квазидвухлетние колебания, наблюдаемые в атмосфере средних широт над Тихим океаном [18], могут быть прямой или косвенной причиной низкочастотных колебаний уровня Японского моря.

Старшая мода разложения остаточных аномалий соответствует увеличению перепада уровня между субтропической и субарктической областями в конце лета – осенью и уменьшению в конце зимы – весной (рис. 2в, 3а). Временные функции этой и синхронной мод тесно скоррелированы, с коэффициентом 0.85. Зоны пространственных градиентов (рис. 2в) соответствуют термическим фронтам [6]: в западной части моря выделяются ЮЗ и СЗ ветви САФ (фронты 1 и 2 на рис. 1), в районе к востоку от поднятия Ямато основной САФ (фронт 3; рис. 1) разветвляется, а в северной части проявляется центральный фронт 5 (рис. 1). Пространственное распределение (без учета знака) подобно средней динамической топографии [3] или ЭОФ синхронной моды, основанной на ковариациях (рис. 2а, в). Значения минимальны в центральной субарктической области, где находится максимум синхронной моды, основанной на корреляциях (рис. 2б, в). В районе южного Приморья и КНДР, где развиваются АЦ вихри [7, 8], мода ослабевает.

Этой (циркуляционной) моде соответствует интенсификация циркуляции в море в конце лета – осенью и ослабление в конце зимы – весной, с сезонными экстремумами в октябре и марте [11]. Этот результат является уточнением полученного в работе [2], где сезонные экстремумы были отнесены к августу и февралю. Сходство синхронной и циркуляционной мод подтверждает их взаимосвязанность, которую невозможно обнаружить однократным разложением на ЭОФ ввиду условия ортогональности.

Расчеты по климатическому массиву плотности воды показали, что разность стерических аномалий уровня между субтропической и субарктической областями Японского моря возрастает в конце лета – осенью, а в конце зимы и весной наблюдается высокая степень однородности [11]. Максимальный крупномасштабный градиент уровня (плотности воды) достигается в октябре [11], что можно объяснить более ранним выхолаживанием субарктической области, прилегающей к континентальному берегу, и поступлением теплых вод с юга в субтропическую область, поскольку расход в Корейском проливе возрас-

тает от зимы к осени и максимален в октябре [14, 16]. Одновременное достижение синхронной и циркуляционной модами максимума в октябре позволяет предположить, что избыток расхода в Корейском проливе вносит вклад в стерические аномалии южной части моря и в крупномасштабный градиент плотности. Численные термогидродинамические модели Японского моря, учитывающие поток тепла через поверхность и в Корейском проливе, воспроизводят интенсификацию циркуляции в конце лета, но сезонный максимум сдвинут на август – сентябрь [9, 10], возможно, потому, что численные эксперименты проводятся в условиях сохранения массы.

Примечательно, что циркуляционная мода отсутствует в низкочастотных аномалиях уровня (рис. 2); попытки уточнить полученные распределения исключением вклада старших мод и разложением остаточных аномалий также не дали результата. В последнее время популярны оценки изменения циркуляции океанов и морей в связи с происходящими климатическими изменениями. Наши результаты дают основание полагать, что интенсивность циркуляции в Японском море не претерпевает заметных изменений в среднегодовом плане, по крайней мере, с начала 1990х гг. Межгодовую устойчивость крупномасштабного меридионального градиента уровня (плотности) можно объяснить регионально однородной изменчивостью полей метеоэлементов, определяющих теплообмен с атмосферой, и недостаточным эффектом потока тепла через Корейский пролив, несмотря на значительные вариации расхода [14, 16].

Вторая мода разложения остаточных аномалий характеризуется перепадом уровня между западной и восточной частями Японского моря (рис. 2г), хотя в средней динамической топографии [1, 3], подобной полям синхронной и циркуляционной мод (рис. 2а, в), перепад происходит через САФ. Положительной фазе (временной функции) соответствует повышение уровня относительно среднего вдоль восточного берега и в северной части моря в июле – сентябре. Это означает усиление Цусимского течения и его западной ветви, отделяющейся от основного потока в районе к западу от о. Хоккайдо. В западном ядре уровень понижается, что соответствует отходу на восток Восточно-корейского течения, перераспределению расхода теплых вод, поступающих через Корейский пролив, в пользу Цусимского течения и усилению циклонического круговорота в СЗ части моря, т.е. усилению циклоничности циркуляции Японского моря в целом, что соответствует схеме «летней» циркуляции по работе [9].

Отрицательная фаза слабее положительной, но продолжается с октября – ноября до апреля – мая, а в некоторые годы до конца июня. Она может ослабляться в середине или конце зимы, сменяясь положительной, и снова усиливаться весной (рис. 3б). Отрицательной фазе соответствует перераспределение расхода субтропических вод в пользу Восточно-корейского течения, а также формирование теплых вихрей и СЗ ветви САФ [6-8], т.е.

усиление АЦ циркуляции во всей западной части моря. Положительная фаза данной моды, условно названной адвективной, соответствует усилению адвекции теплых вод с юга на север вдоль восточного берега, а отрицательная – вдоль западного.

Адвективная мода воспроизводится в разложении низкочастотных аномалий с практически неизменным пространственным распределением (рис. 2г, е). Ей свойственны периоды квазидвухлетней изменчивости (1993-1996 гг. и 2000-2004 гг.), а также более длительные периоды преобладания положительной (2004-2006 гг.) или отрицательной (1997-1999 гг.) фазы (рис. 3б). Следует отметить экстремальные события: мощную положительную фазу в 2000 г. и ее полное отсутствие в 2003 г. В июне – октябре 2000 г. поток, входящий в Японское море через Корейский пролив, поворачивал на восток, а Восточно-корейское течение отсутствовало [19]. В 2003 г. в районе Цусимской котловины длительное время находился мощный теплый вихрь (устное сообщение Чанга).

Квазидвухлетние колебания уровня Японского моря впервые обсуждались в работе [1], где был предложен механизм их резонансного возбуждения в районе котловины Хонсю под воздействием внутригодовой изменчивости ветра и переноса сигнала в ЮЗ часть моря посредством волн Россби [1]. Противофазные аномалии уровня в ЮЗ и ЮВ части Японского моря были объяснены существенной межгодовой изменчивостью Восточно-корейского течения [3].

Гидродинамическое моделирование [10] показало, что под воздействием АЦ вихря ветра, преобладающего над Японским морем весной и осенью, Восточно-корейское течение следует дальше на север, а в СЗ части моря развивается АЦ циркуляция и СЗ ветвь САФ, что соответствует отрицательной фазе адвективной моды. К концу лета, под воздействием циклонического вихря, свойственного южным и ЮВ ветрам, Восточно-корейское течение раньше отходит от берега и поворачивает на восток, что соответствует положительной фазе колебания.

Заключение

Изменчивость уровня Японского моря исследована с помощью ЭОФ-анализа еженедельных спутниковых альтиметрических полей с пространственным разрешением $1/4^\circ$ за 1992-2007 гг. Благодаря специальной методике последовательных разложений на ЭОФ удалось получить взаимосвязанные природные моды. Низкочастотная фильтрация позволила выявить особенности межгодовой изменчивости уровня.

1. Выявлены синхронные квазидвухлетние колебания уровня Японского моря. Если в сезонные колебания уровня основной вклад вносят изменения плотности морской воды

[13], а колебания объема воды в море являются дополнительным фактором [11], то межгодовой сигнал можно связать с изменениями объема при несбалансированном водообмене с окружающими бассейнами. Квазидвухлетние колебания наблюдаются в атмосфере средних широт над Тихим океаном [18], но возможность квазидвухлетних колебаний водообмена через проливы Японского моря до сих пор не обоснована [17]. Трендов уровня за период наблюдений не обнаружено.

2. Крупномасштабный меридиональный градиент уровня (плотности воды), определяющий интенсивность циркуляции моря в целом и подверженный значительным сезонным колебаниям [11], устойчив к межгодовым изменениям потока тепла через поверхность моря и Корейский пролив. Сезонные изменения градиента, обусловленные более ранним выхолаживанием в субарктической области и высоким расходом в Корейском проливе летом и осенью, приводят к интенсификации циркуляции в конце лета – осенью и ослаблению в конце зимы – весной, с экстремумами в октябре и марте. Взаимосвязь с синхронной модой подтверждает общность физических механизмов на сезонном, но не на межгодовом масштабе.

3. В конце лета усиливается адвекция тепла с юга на север в восточной части моря и циклоничность циркуляции Японского моря в целом. С осени до середины или конца весны в западной части моря усиливается АЦ циркуляция: Восточно-корейское течение следует дальше на север вдоль западного берега, развиваются теплые вихри [7, 8] и СЗ ветвь САФ [6]. Результаты гидродинамического моделирования показывают, что АЦ циркуляция в западной части моря усиливается под воздействием АЦ вихря ветра [10]. Помимо сезонных, наблюдаются квазидвухлетние и межгодовые колебания.

Литература

1. Hirose N., Ostrovskii A.G. Quasi-biennial variability in the Japan Sea // J. Geophys. Res. 2000. V. 105. C12028. P. 14011-14027.
2. Morimoto A., Yanagi T. Variability of sea surface circulation in the Japan Sea // J. Oceanogr. 2001. V. 57. P. 1-13.
3. Choi B.-J., Haidvogel D.B., Cho Y.-K. Nonseasonal sea level variations in the Japan/East Sea from satellite altimeter data // J. Geophys. Res. 2004. V. 109. C12028, doi:10.1029/2004JC002387.
4. Колдунов В.В., Старицын Д.К., Фукс В.Р. Изменчивость уровня Японского и Охотского морей по данным спутниковых альтиметрических измерений // Дальневосточные моря России: в 4 кн. / гл. ред. В. А. Акуличев. Кн. 1: Океанологические исследования / отв. ред. В.Б. Лобанов, В.А. Лучин. М.: Наука, 2007. С. 184-231.

5. Юрасов Г.И., Яричин В.Г. Течения Японского моря. Владивосток: Дальнаука, 1991. 176 с.
6. Никитин А.А. Основные черты пространственного распределения поверхностных термических фронтов в водах Японского моря и их изменчивость // Исследование Земли из космоса. 2006. № 5. С. 49-62.
7. Лобанов В.Б., Пономарев В.И., Салюк А.Н. и др. Структура и динамика синоптических вихрей северной части Японского моря // Дальневосточные моря России: в 4 кн. / гл. ред. В. А. Акуличев. Кн. 1: Океанологические исследования / отв. ред. В.Б. Лобанов, В.А. Лучин. М.: Наука, 2007. С. 450-473.
8. Никитин А.А., Юрасов Г.И. Синоптические вихри Японского моря по спутниковым данным // Исследование Земли из космоса. 2008. № 5. С. 42-57.
9. Yoon J.-H., Kim, Y.-J. Review on the seasonal variation of the surface circulation in the Japan/East Sea // J. Mar. Sys. 2009. V. 78. P. 226-236.
10. Trusenkova O.O., Nikitin A.A., Lobanov V.B. Circulation features in the Japan/East Sea related to statistically obtained wind patterns in the warm season // J. Mar. Sys. 2009. V. 78. P. 214-225.
11. Trusenkova O., Kaplunenko D., Gulenko T., et al. Variability of the sea level in the Japan/East Sea, estimated from AVISO altimetry // Pacific Oceanography. 2010. V. 5. N 1 (в печати).
12. AVISO, 2007. Ssalto/Duacs User Handbook: (M)SLA and (M)ADT Near-Real Time and Delayed Time Products. SALP-MU-P-EA-21065-CLS, Edition 1.8. France: AVISO Project, 2007. 47 p.
13. Галеркин Л.И. Непериодические колебания уровня моря // Основные черты геологии и гидрологии Японского моря / Ред. В.Н. Степанов. М.: АН СССР, 1961. С. 192-207.
14. Na H., Isoda Yu., Kim K., et al. Recent observations in the straits of the East/Japan Sea: a review of hydrography, currents and volume transports // J. Mar. Sys. 2009. V. 78. P. 201-205.
15. Saveliev A.V., Danchenkov M.A., Hong G.-H. Volume transport through the La-Perouse (Soya) Strait between the East Sea (Sea of Japan) and the Sea of Okhotsk // Ocean Polar Res. 2002. V. 24. N. 2. P. 11-29.
16. Островский А.Г., Фукудоме К., Юн. Дж.-Х., Такикава Т. Изменчивость водообмена через Корейский (Цусимский) пролив по данным измерений судовым акустическим доплеровским профилографом течений в 1997-2007 гг. // Океанология. 2009. № 3. С. 368-380.
17. Tsujino H., Nakano H., Motoi T. Mechanism of currents through the straits of the Japan Sea: mean state and seasonal variation // J. Oceanogr. 2008. V. 64. P. 141-161.
18. Angell J. K., Korshover J., Cotten G. F. Quasi-biennial variations in the "Centers of Action" // J. Mon. Wea. Rev. 1969. V. 97. N. 12. P. 867-872.
19. Chang K. I., Teague W.J., Lyu S.J., et al. Circulation and currents in the southwestern East/Japan Sea: Overview and review // Progress in Oceanography. 2004. V. 61. N. 2-4. P. 105-156.

Low-frequency variability modes of sea level in the Japan Sea

Trusenkova O.O.

*V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute FEB RAS
690041 Vladivostok, 43 Karbysheva Str.
E-mail: trolia@poi.dvo.ru*

Variability of sea level in the Japan Sea was studied from AVISO weekly gridded altimetric fields for 1992-2007. Low-pass sea level anomalies were decomposed to EOF. Quasi-biennial synchronous sea level oscillations were revealed, while no linear trend was detected. It was shown that the large-scale meridional sea level gradient governing the circulation strength in the entire Japan Sea was stable with respect to the interannual variations of heat flux through the sea surface and the Korea Strait. It was also shown that in late summer the northward heat transport from the Korea Strait strengthened along the eastern coast, while in spring and autumn it strengthened in the western Japan Sea. This oscillation occurred on the seasonal, quasi-biennial, and interannual time scales.

Keywords: : empirical orthogonal functions, the Japan Sea, sea level, satellite altimetry, wavelet transform, sea circulation, synchronous level oscillations, quasi-biennial variability, water exchange through the straits.