2018 Tom 192

УДК 551.465.4(265.54)

С.Н. Таранова, Г.И. Юрасов, И.А. Жабин*

Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, 690041, г. Владивосток, ул. Балтийская, 43

СЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПОВЕРХНОСТНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ ВОД СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ЯПОНСКОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ ДРЕЙФУЮЩИХ БУЕВ

Для исследования сезонной изменчивости циркуляции вод Японского моря использованы данные наблюдений над течениями, полученные при помощи поверхностных дрейфующих буев в период с 1988 по 2015 г. На карте общей поверхностной циркуляции вод хорошо выделяются постоянные устойчивые течения Японского моря — Цусимское, Восточно-Корейское, Приморское и северный циклонический круговорот. В осенний период (октябрь) поле течений определяется в основном поступлением вод через Корейский пролив, которое приводит к интенсификации Цусимского и Восточно-Корейского течений. В зимний период (январь) в северной части моря наблюдается усиление Приморского течения и основного циклонического круговорота. Сезонная изменчивость поля течений в северном секторе моря может быть связана с периодом сильных зимних муссонных ветров. Весной (апрель) и летом (июль) наблюдается уменьшение скоростей и ослабление общей циркуляции вод. В летний период в северной части Японского моря выделяется западная ветвь Цусимского течения, направленная в сторону Приморья.

Ключевые слова: циркуляция, течения, сезонная изменчивость, дрейфующие буи, Японское море.

DOI: 10.26428/1606-9919-2018-192-177-183.

Taranova S.N., Yurasov G.I., Zhabin I.A. Seasonal variability of the surface water circulation in the northern Japan Sea by data of drifting buoys // Izv. TINRO. — 2018. — Vol. 192. — P. 177–183.

Data of observations on drifters in 1988–2015 are used to study seasonal variability of the surface water circulation in the Japan Sea. The well-known circulation patterns are observed, as the Tsushima Current, the East-Korean Current, the Primorye Current, and the northern cyclonic gyre. In the fall season (October), the main features of the mean flow are a very strong inflow through the Korean/Tsushima Strait and the intensive Tsushima Current and East-Korean Current. In winter (January), the cyclonic gyre over the norther basin and the Primorye Current along Primorye coast are strengthened. These seasonal changes of the flow field are presumably caused by monsoon winds variation. In spring (April) and summer (July), the water circulation is generally weakened; one of important patterns of the summer circulation in the northern Japan Sea is the westward branch of the Tsushima Current toward Primorye coast.

Key words: water circulation, seasonal variability, current, drifter, Japan Sea.

^{*} Таранова Светлана Николаевна, кандидат географических наук, научный сотрудник, e-mail: taranova@poi.dvo.ru; Юрасов Геннадий Иванович, кандидат географических наук, заведующий лабораторией, e-mail: yug@poi.dvo.ru; Жабин Игорь Анатольевич, кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник, e-mail: zhabin@poi.dvo.ru.

Taranova Svetlana N., Ph.D., researcher, e-mail: taranova@poi.dvo.ru; Yurasov Gennady I., Ph.D., head of laboratory, e-mail: yug@poi.dvo.ru; Zhabin Igor A., Ph.D., leading researcher, e-mail: zhabin@poi.dvo.ru.

Введение

К основным элементам общей циркуляции вод Японского моря относятся постоянные течения. В южной и восточной частях моря теплые течения связаны с поступлением субтропических вод из Восточно-Китайского моря через Корейский пролив. В этой части моря выделяются два основных потока (Цусимское и Восточно-Корейское течения), распространяющихся вдоль побережья Японии и Корейского полуострова. Холодное Приморское течение наблюдается в северо-западной части моря у побережья Приморья. В районе зал. Петра Великого Приморское течение разделяется на две ветви, одна из которых следует в южном направлении (Южно-Приморское течение), вторая дает начало Северо-Корейскому течению (рис. 1, а).

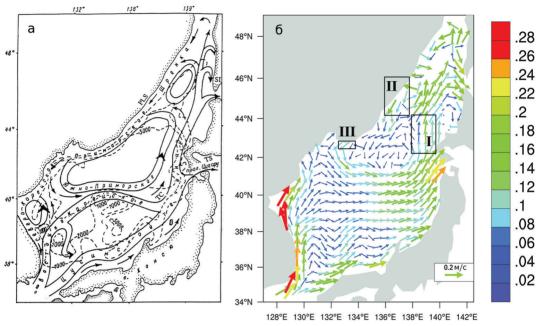


Рис. 1. Схема общей циркуляции вод Японского моря (\mathbf{a} , Юрасов, Яричин, 1991) и средние течения Японского моря по данным поверхностных дрейфующих буев ($\mathbf{6}$). Прямоугольниками выделены районы, для которых рассчитывались среднемесячные значения скорости течений: I — Цусимское течение у о. Хоккайдо; II — Приморское течение у северного Приморья; III — Приморское течение у южного Приморья

Fig. 1. Scheme of surface water circulation in the Japan Sea (from: Юрасов, Яричин, 1991) (a) and mean currents of the Japan Sea calculated from surface drifter observations (6). Monthly mean current velocities are calculated for the areas shown by rectangles: *I* — Tsushima Current at Hokkaido; *II* — Primorye Current at northern Primorye; *III* — Primorye Current at southern Primorye

Воздействие ветра и потоки тепла и влаги относятся к основным факторам, определяющим поверхностную циркуляцию в масштабах всего Японского моря (Hogan, Hurlburt, 2000). Ветровой режим над Японским морем имеет муссонный характер: зимой (ноябрь-апрель) над морем преобладают сильные северо-западные и северные ветра, летом (середина мая — середина сентября) — слабые ветра юго-восточного и южного направлений. В период зимнего муссона в северо-восточной части Японского моря наблюдается преимущественно положительная завихренность касательного напряжения ветра (Kang et al., 2016), что приводит к формированию основного циклонического круговорота, расположенного над Японской глубоководной котловиной. Японское море получает тепло в период с апреля по август и, соответственно, теряет тепло в период с сентября по март. На поверхностную циркуляцию вод существенно влияет водообмен Японского моря с Восточно-Китайским морем, Тихим океаном и Охотским морем (Na et al., 1999). Средний перенос вод через Корейский пролив составляет около 2,6 Св (1 Св = 1 млн м³/с), сезонная изменчивость оценивается в 1,0 Св.

Максимальные значения переноса наблюдаются в августе-октябре, минимальные — в феврале. Водообмен через Сангарский пролив (1,5 Св) и прол. Лаперуза (1,0 Св) зависит от сезонных изменений поступления вод через Корейский пролив (Kida et al., 2016). Очевидно, что каждый из вышеперечисленных факторов влияет на сезонную изменчивость циркуляции вод Японского моря. Сезонные изменения основных течений южной части моря (Цусимское и Восточно-Корейское течения) в основном зависят от поступления вод через Корейский пролив и проявляются в изменчивости скоростного режима и поперечного масштаба течений (Осеаподгарhу..., 2016). Сезонная изменчивость основных элементов циркуляции вод северной части моря (Приморское течение и циклонический круговорот над Японской глубоководной котловиной) в настоящее время остается малоизученной. Исходя из этого была сформулирована основная цель работы — по данным дрифтерных наблюдений над течениями рассмотреть сезонную изменчивость циркуляции вод северной части Японского моря.

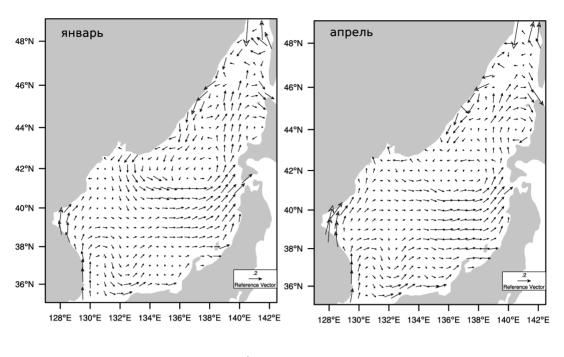
Материалы и методы

Данные о скоростях и направлении поверхностных течений получены из Атлантической океанографической и метеорологической лаборатории (AOML) Национальной администрации по изучению океана и атмосферы (NOAA). Методы обработки первичных данных для различных типов поверхностных дрейфующих буев рассмотрены в работе Lee, Niiler (2005). Осреднение данных проводилось по 0,5°-ным квадратам с интервалом в 1 мес. Массив данных дрифтерных наблюдений в Японском море начал формироваться с 1988 г., в работе использована версия массива, созданная в марте 2015 г. На первом этапе проводились выборка и контроль среднемесячных данных из глобального массива, на втором — визуализация полученных данных. Для характеристики сезонной изменчивости были построены карты векторов поверхностных течений для характерных месяцев (январь, апрель, июль и октябрь).

Результаты и их обсуждение

Общая схема поверхностной циркуляции вод Японского моря по данным дрифтерных наблюдений

Осредненная за год общая схема течений (рис. 1, б) хорошо отражает основные черты общей циркуляции вод Японского моря. Восточно-Корейское течение следует вдоль побережья п-ова Корея и отделяется от побережья в районе 37-38° с.ш. Часть вод этого течения продолжает движение в северо-восточном направлении, затем в полосе 38-40° с.ш. поворачивает на восток, давая начало течению, направленному вдоль субполярного фронта. В то же время наблюдается адвекция трансформированных теплых субтропических вод, связанных с этим течением, по направлению на север в сторону зал. Петра Великого. Хорошо выраженный основной циклонический круговорот располагается в северной части моря над Японской котловиной. Южная периферия циклонического круговорота взаимодействует с северо-восточной ветвью Восточно-Корейского течения и формирует субполярный фронт в центральной части моря. Прибрежная ветвь Цусимского течения наблюдается у берегов Японии. В южной и северо-восточной частях моря хорошо выражено Цусимское течение. Воды Цусимского течения выходят в Тихий океан через Сангарский пролив, часть вод этого течения продолжает движение вдоль о. Хоккайдо и через прол. Лаперуза поступает в Охотское море. Приморское течение, с запада замыкающее циклонический круговорот япономорской котловины, прослеживается у побережья Приморья на сезонных картах поверхностной циркуляции вод (рис. 2). В районе зал. Петра Великого Приморское течение отрывается от побережья и движется в южном направлении в сторону субполярного фронта, замыкая с запада циклонический круговорот Японской котловины. Осредненные дрифтерные наблюдения не дают информации о Северо-Корейском течении, которое следует в южном направлении вдоль побережья



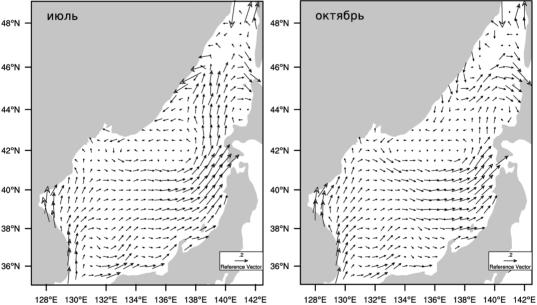


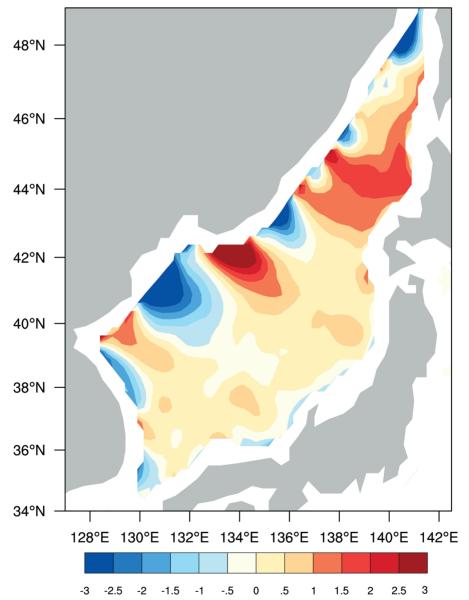
Рис. 2. Сезонные схемы циркуляции вод Японского моря в январе, апреле, июле и октябре Fig. 2. Seasonal schemes of the Japan Sea water circulation for January, April, July, and October

п-ова Корея, что может быть связано с незначительным количеством измерений в этом районе.

Сезонная изменчивость поверхностной циркуляции вод Японского моря

Карты векторов поверхностных течений, построенные для характерных месяцев каждого из сезонов (рис. 2), показывают, что основные элементы циркуляции вод Японского моря сохраняются в течение всего года. Сезонная изменчивость выражается в интенсификации или ослаблении отдельных течений (скоростной режим). Так, усиление притока вод через Корейский пролив приводит к интенсификации Восточно-Корейского и Цусимского течений в летне-осенний период (июль и октябрь, рис. 2).

Приморское течение хорошо выражено у побережья северного Приморья в полосе широт 43–46° с.ш. В июле наблюдается усиление Цусимского течения в северо-восточной части Японского моря. В результате этого в районе 46° с.ш. формируется еще одна ветвь Цусимского течения, направленная в сторону северного Приморья. Интенсификация Приморского течения наблюдается в период зимнего муссона (январь, рис. 2). Наименее устойчивый поток этого течения наблюдался в октябре, когда у побережья Приморья развивается ветровой апвеллинг, с которым связаны направленные от берега ветровые течения. Основной циклонический круговорот над Японской котловиной усиливается в зимний период, что связано с положительными значениями завихренности касательного напряжения ветра в северо-восточной части Японского моря (рис. 3). В этот период усиливается Южно-Приморское течение, которое отрывается от побережья в районе зал. Петра Великого и замыкает с запада циклонический круговорот над Японской котловиной. Северо-Корейское течение не выделяется по данным дрифтерных наблюдений.



Puc. 3. Завихренность касательного напряжения ветра в январе $(10^{-7}\ N\ m^{-3})$ по данным Scatterometer Climatology of Ocean Winds

Fig. 3. Wind stress curl (10⁻⁷ N m⁻³) in January, on the SCOW data

Для характеристики сезонной изменчивости скоростного режима течений в северной части Японского моря были рассчитаны среднемесячные векторы скорости течений для трех районов: области Цусимского течения у побережья о. Хоккайдо (рис. 4, а, см. таблицу), северной части Приморского течения (рис. 4, б) и у побережья южного Приморья (рис. 4, в). Результаты расчетов показали (см. таблицу), что максимальные скорости Цусимского течения наблюдаются в июле (0,14 м/с), а минимальные в ноябре-апреле (0,05–0,07 м/с). При этом течение устойчиво по направлению. У побережья северного Приморья скорости Приморского течения увеличиваются в зимний период (ноябрь-март, 0,14–0,15 м/с). Минимальные скорости (0,09 м/с) зарегистрированы в сентябре. У побережья южного Приморья скоростной режим Приморского течения меняется незначительно. Максимальные скорости в декабре-феврале меняются в диапазоне от 0,09 до 0,11 м/с, минимальные наблюдаются в октябре (0,07 м/с).

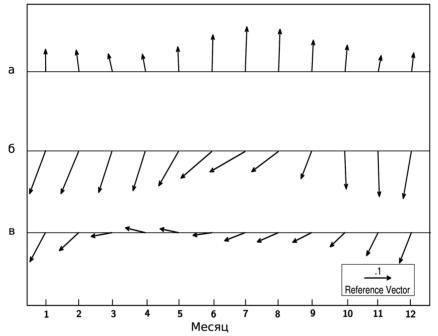


Рис. 4. Сезонная изменчивость векторов средних поверхностных течений в северной части Японского моря: **а** — Цусимское течение у о. Хоккайдо; **б** — Приморское течение у северного Приморья; **в** — Приморское течение у южного Приморья

Fig. 4. Seasonal variability of the mean surface flow vectors in the northern Japan Sea: **a**—Tsushima Current at Hokkaido; **6**—Primorye Current at northern Primorye; **B**—Primorye Current at southern Primorye

Среднемесячные значения скорости течений в северной части Японского моря, м/с Mean monthly values of the surface currents in the northern Japan Sea, m/s

Район	Месяц											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Цусимского течения	0,07	0,07	0,06	0,05	0,08	0,11	0,14	0,13	0,10	0,08	0,05	0,06
северного Приморья	0,15	0,15	0,14	0,13	0,13	0,14	0,15	0,12	0,09	0,12	0,14	0,15
южного Приморья	0,11	0,09	0,08	0,08	0,07	0,07	0,08	0,09	0,08	0,07	0,08	0,10

Выводы

Сезонная изменчивость циркуляции вод Японского моря исследована на основе прямых наблюдений над течениями при помощи дрифтеров.

Отмечена относительно высокая устойчивость общей циркуляции вод от сезона к сезону.

В течение года основные особенности циркуляции вод Японского моря сохраняются, при этом меняется скоростной режим основных течений.

В летне-осенний период в северной части Японского моря наблюдается поступление трансформированных вод субтропического происхождения (продолжение Восточно-Корейского течения) в район, прилегающий к зал. Петра Великого.

Интенсификация циклонической циркуляции вод в области Японской котловины и усиление Приморского течения происходят в период зимнего муссона, декабрь-февраль.

В весенне-летний период основной циклонический круговорот Японского моря и Приморское течение ослабевают. Летом (июль-август) наблюдается усиление Цусимского течения у западного побережья о. Хоккайдо и поступление трансформированных субтропических вод в западном направлении в зону Приморского течения.

Список литературы

Юрасов Г.И., Яричин В.Г. Течения Японского моря : моногр. — Владивосток : ДВО АН СССР, 1991. — 176 с.

Hogan P.J., Hurlburt H.E. Impact of upper ocean-topographical coupling and isopycnal outcropping in Japan/East Sea models with 1/8° to 1/64° resolution // J. Phys. Oceanogr. — 2000. — Vol. 30, № 10. — P. 2535–2561. DOI: 10.1175/1520-0485(2000)030<2535:IOUOTC>2.0.CO;2.

Kang S.K., Seung Y.H., Park J.J. et al. Seasonal variability in middepth gyral circulation patterns in the central East/Japan Sea as revealed by long-term argo data // J. Phys. Oceanogr. — 2016. — Vol. 46, № 3. — P. 937–946. DOI: 10.1175/JPO-D-15-0157.1.

Kida S., Qiu B., Yang J., Lin X. The annual cycle of the Japan sea throughflow // J. Phys. Oceanogr. — 2016. — Vol. 46, № 1. — P. 23–39. DOI: 10.1175/JPO-D-15-0075.1.

Lee D.-K., Niiler P.P. The energetic surface circulation patterns of the Japan/East Sea // Deep-Sea Res. II. — 2005. — Vol. 52, Iss. 11–13. — P. 1547–1563. DOI: 10.1016/j.dsr2.2003.08.008.

Na J., Seo J., Lie H.-J. Annual and seasonal variations of the sea surface heat fluxes in the East Asian marginal seas // J. Oceanogr. — 1999. — Vol. 55, Iss. 2. — P. 257–270.

Oceanography of the East Sea (Japan Sea) / eds K.-I. Chang, C.-I. Zhang, C. Park et al. — Springer International Publishing Switzerland, 2016. — 460 p. DOI: 10.1007/978-3-319-22720-7.

Поступила в редакцию 8.11.17 г. Принята в печать 26.02.18 г.