

Среда обитания
водных биологических ресурсов
Диагноз и прогноз условий среды обитания гидробионтов

УДК 551.46.07.:629.783 (265.54)

Океанологические исследования северо-западной части Японского моря по спутниковой информации и по данным стандартного океанографического разреза в зимние сезоны 2000–2015 гг.

А.А. Никитин, Б.С. Дьяков

Тихоокеанский научно-исследовательский рыбохозяйственный центр (ФГБНУ «ТИНРО-Центр»), г. Владивосток
E-mail: nikitin@tinro.ru

Проведено исследование океанологических условий в северо-западной части Японского моря по спутниковой и судовой информации в марте 2000–2015 гг. Спутниковые данные представлены изображениями поверхности моря в инфракрасном и оптическом диапазонах, а судовая информация — глубоководными измерениями температуры и солёности на стандартных океанографических разрезах. По альбитиметрическим данным построены карты аномалий уровня моря с целью идентификации геострофической циркуляции в Японском море в зимы исследуемых лет. Совместное использование спутниковой и гидрологической информации позволило провести трёхмерный анализ океанологических структур (течений, фронтов и их разделов, антициклонов и водных масс). В результате этого исследования выполнена типизация зим 2000–2015 гг. на три группы по термодинамике вод и положению океанографических структур на спутниковых картах и разрезах. Первая группа — зима 2013 г., («холодный» тип лет), вторая — зимы 2004, 2007–2008, 2010–2011, 2014–2015 гг. («теплый» тип лет) и третья — 2000–2003, 2005–2006, 2009, 2012 гг., (промежуточный тип лет — «норма»). Показано прогностическое значение этой типизации.

Ключевые слова: Японское море, течения, спутниковые изображения, структура, фронт, альбитиметрия, разрез, океанология, температура, соленость, водные массы, типизация.

ВВЕДЕНИЕ

В более ранней работе был разработан подход к типизации термических условий вод Японского моря, связанный с особенностями их динамики [Никитин, Харченко, 2002а]. На основании данных спутниковых наблюдений за 1977–2002 гг. в среднегодовом плане было выделено 5 типов термической структуры вод, которые в общих чертах отражают характер гидрологического режима во все сезоны и в большей степени зависят от адвективных факторов. С учётом спутниковых данных составлена новая схема поверхностных термических фронтов

и течений Японского моря [Никитин и др., 2009], которая в основном дополняет классическую схему [Яричин, 1981]. По спутниковым снимкам прослежено проникновение тёплых вод Цусимского течения на запад к берегам Южного и Среднего Приморья (и даже вдоль 42° с.ш.). Данные глубоководных наблюдений указывают, что воды с солёностью 34,00 % также распространяются на запад вдоль 42° с.ш. в слое 150–400 м [Данченков и др., 2000]. Часто эти воды подходят к берегам Приморья в виде узких струй и потоков, особенно в район 43–44° с.ш. (рис. 1). И, как следствие это-

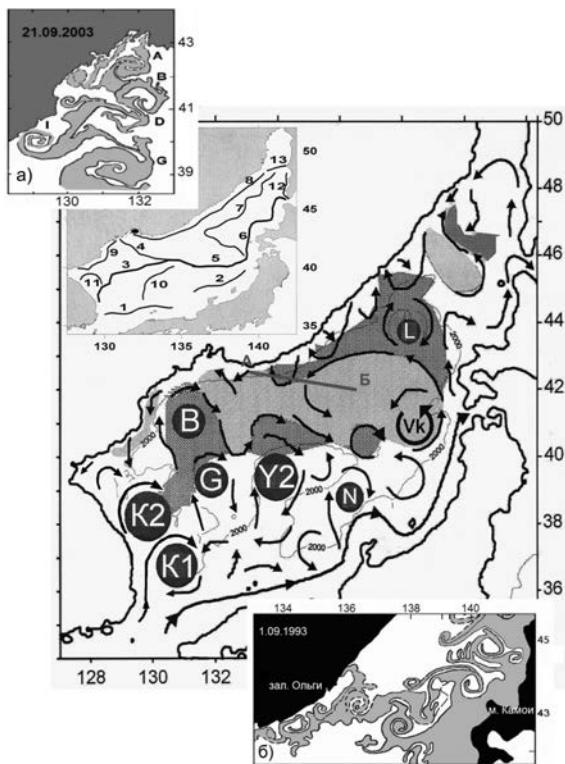


Рис. 1. Схема поверхностных течений Японского моря [Нikitin и др., 2009] и дислокация океанографического разреза: *а* — проникновение субтропических вод с юга к южным берегам Приморья; *б* — проникновение вод Цусимского течения к берегам Приморья с востока между 42–43° с.ш.; А–Б — океанографический разрез «Сангарский»

го взаимодействия, в районе свала глубин формируются ряд мезомасштабных вихрей диаметром до 20–45 км. Ранее в работе [Нikitin и др., 2002б] был предложен «механизм» адвекции субтропических (тихоокеанских) вод к берегам зал. Петра Великого, который тесно связан с направлением и мощностью миграционных потоков пелагических рыб (дальневосточная сардина, анчоус, сайра) и тихоокеанского кальмара, обитающих зимой в южной части Японского моря, который крайне важен для прикладных научных исследований и промысловых прогнозов. В представленной работе сделана попытка привлечения спутниковой альтиметрии для определения океанологических ориентиров распределения промысловых объектов в Японском море. Развитие спутниковой альтиметрии открыло широчайшие возможности в получении информации об изменчивости геострофических течений в широком диапазоне

пространственно-временных масштабов. Ссылаясь на работы В.Р. Фукса [Фукс, 2003; Фукс, 2004], уровень океана можно рассматривать как интегральный показатель интенсивности термодинамических и динамических процессов в океане, отражающих абиотические условия обитания и распределения промысловых организмов. Уровень океана является более показательным предиктором абиотических условий, чем температура воды, т.к. он отражает термодинамические условия всей толщи океана, а не только его поверхности. Этот показатель даёт более адекватное описание течений, вихрей, зон апвеллинга и даунвеллинга, а также прямо, а не опосредованно, связан с изменчивостью атмосферных условий.

Расширенный к настоящему времени массив спутниковых данных Сангарского разреза за зимний период 2000–2015 гг., особенно данных по альтиметрии и гидрологическим условиям, позволил в рамках представленной работы существенно исправить и дополнить типы структуры за зимний сезон 2000–2015 гг.

На представленной схеме (см. рис. 1) поверхности течений Японского моря видно проникновение тёплых вод Цусимского течения с востока (м. Камой) на запад к берегам Южного и Среднего Приморья. В северной части Японского моря располагаются три циклонических круговорота и самый крупный из них расположен в центральной части [Яричин, 1981]. Изменения гидрофизических параметров, как на гидрологическом разрезе, так и на спутниковых снимках отражают океанологическое состояние как этого круговорота, так и всего моря в целом [Покудов и др., 1976]. Остальные два циклонических круговорота, значительно меньшие по размерам, располагаются, соответственно, в районе Восточно-Корейского залива и в южной части Татарского пролива.

Основными факторами, влияющими на формирование термодинамического режима вод Японского моря, являются взаимодействие с атмосферой и водообмен через проливы [Seikine, 1992; Трусенкова и др., 2007]. Динамический фактор оказывает наибольшее влияние на северо-западную часть Японского моря, т.к. под воздействием северо-западных ветров, несущих в зимний период холодные воздушные

массы с материка, поверхностные воды в процессе теплообмена с атмосферой значительно охлаждаются. В результате основные характеристики термического режима вод северо-западной части Японского моря формируются в зимний период, в это время «определяется» знак аномалии температуры подповерхностного слоя (50–200 м) на все остальные сезоны. Термодинамические условия на поверхности моря хорошо прослеживаются зимой на спутниковых картах как расположением, так и характером океанографических структур на гидрологических разрезах (Субарктического фронта, Приморского и Цусимского течений и их ветвей, вихрей и т.д.). Поэтому для прикладных исследований и рыбопромысловых прогнозов возникла необходимость мониторинга состояния и режима вод Японского моря и прежде всего в зимние сезоны.

Таким образом, совместный анализ спутниковой информации и данных стандартных океанографических разрезов за зимний период 2000–2015 гг. позволил решать следующие задачи:

проводить трёхмерный анализ режима северо-западной части Японского моря в зимние сезоны 2000–2015 гг.

уточнить и дополнить типизацию режима вод и представить прогностическое значение.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Спутниковые данные. В работе использовались массивы данных сканера AVHRR спутников серии NOAA, сканера MODIS (спутники Terra и Aqua) в инфракрасном и оптическом диапазонах спектра за период 2000–2015 гг. Эти данные получены в Институте Автоматики и Процессов управления Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИАПУ ДВО РАН, г. Владивосток) и в Дальневосточном региональном центре приёма и обработки данных (ДВ РЦПОД, г. Хабаровск). Пространственное разрешение спутниковых снимков для сканеров Modis (спутники Terra и Aqua) около 250–500 м, а для NOAA около 1 км.

Следующим видом информации послужили карты аномалий течений, построенные по альтиметрическим данным, которые размещены на сайте AVISO (URL:<http://las.aviso.oceanobs.com>).

so.oceanobs.com). В качестве исходных данных использовались аномалии уровня моря, рассчитанные относительно средней высоты морской поверхности по показаниям альтиметров всех доступных спутников. Эти значения интерполировались в узлы регулярной сеточной области с шагом $1/4$ ° по широте и долготе для середины каждой из трёх декад исследуемого месяца. Далее в рамках баротропной геострофической модели рассчитывались поля аномалий скоростей течений, по которым и построены карты.

Терминология, методики обработки спутниковых снимков изложены в соответствующих работах [Булатов, 1984; Алексанин, Алексанина, 2006]. Гидрологические сезоны в Японском море были приняты по классификации [Юрасов, Яричин, 1991] с учётом изменчивости вертикальной термической структуры вод: зима — январь–март, весна — апрель–июнь, лето — июль–сентябрь и осень — октябрь–декабрь. В большинстве случаев спутниковые данные анализировались совместно с гидрологическими, полученные в близкие по времени сроки.

Океанографические (судовые) данные представлены материалами измерений температуры и солёности на океанографическом разрезе «Сангарский», выполненном научно-исследовательскими судами ФБГНУ «ТИНРО-Центр» в зимний сезон 2010–2015 гг. Глубина зондирования составляла 500 м. Длина разреза «Сангарский» составляет 161 милю, расстояние между станциями 23 мили (см. рис. 1). При интерпретации водных масс использовались T,S-кривые, вертикальные профили температуры и солёности, разрезы этих характеристик. За критерий изменчивости теплосодержания на разрезе «Сангарский» принята средневзвешенная температура слоя 50–200 м (коэффициент корреляции со средневзвешенной температурой слоя 0–500 м равен 0,96).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Перед тем как перейти к обсуждению результатов северо-западной термодинамической структуры вод Японского моря по данным спутниковых карт и по океанографическим разрезам рассмотрим результаты расчёта теплосо-

держания и расхода баланса воды на Сангарском разрезе.

Теплосодержание вод на Сангарском разрезе. Расчёт теплосодержания вод на Сангарском разрезе показал, что 2004, 2007–2008, 2010–2011, 2014–2015 гг. относятся к годам с высоким теплосодержанием (тип термического режима — «тепло»), среди которых 2004 и 2007 гг. с типом термического режима «аномально тепло» (рис. 2,а). К годам с наиболее низким теплосодержанием относился 2013 г., тип термического режима — «холод». Остальные 2000–2003 гг. и 2005–2006, 2009 и 2012 гг. следует отнести к типу среднемноголетних лет по теплосодержанию (тип термического режима — «норма»).

Расход баланса воды на Сангарском разрезе. Теперь рассмотрим, как расход баланса воды и общее теплосодержание на Сангарском разрезе в слое 0–500 м сказывались на общем термодинамическом состоянии северо-западной части моря в зимний период 2000–2015 гг. Наибольший положительный расход баланса воды на разрезе наблюдался в 2000 и 2012 гг., а наибольший отрицательный баланс наблюдался в 2006 и 2015 гг. (рис. 2,б). Остальные 2001–2002, 2004–2005, 2007, 2009–2011,

2013–2014 гг. следует отнести к среднемноголетней норме.

Таким образом, исходя из циркуляционной схемы течений в Японском море, видно, что между расходом воды в слое 0–500 м и теплосодержанием иногда прослеживалась некоторая зависимость. Так, в марте 2015 г., когда отмечался высокий отрицательный баланс воды на разрезе, наблюдался высокий уровень теплосодержания.

Теперь, определившись с расчётами теплосодержания и расходом баланса воды на Сангарском разрезе, мы можем перейти к обсуждению термодинамической структуры вод Японского моря по спутниковым картам и по океанографическим разрезам.

Термодинамическая структура на спутниковых картах и океанографических разрезах. В феврале 2000 г. Северо-Западный фронт Японского моря чётко проявлялся на спутниковых картах и занимал положение, близкое к среднемноголетнему (рис. 3,а). Тёплые воды прослеживались вдоль 131° в.д. до 41°30' с.ш. Менее четко проявлялась вихревая дорожка по 134° в.д. Приморское течение (светлая область вдоль материка) развито и наблюдалось вдоль побережья шириной 20–60 км. Фронт При-

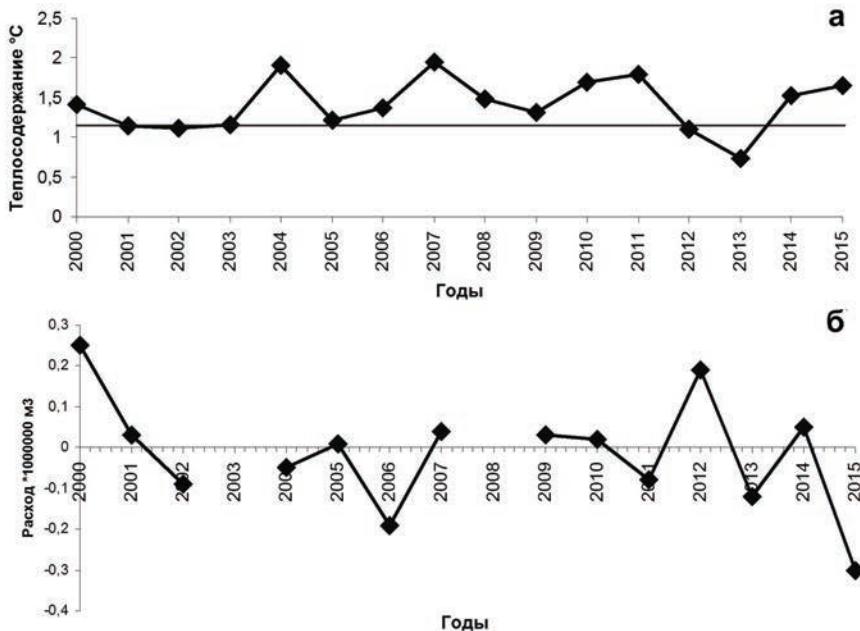


Рис. 2. Теплосодержание и расход воды в северо-западной части Японского моря в 2000–2015 гг.: а — теплосодержание на разрезе «Сангарский» в слое 0–500 м в феврале–марте; б — расход баланса воды на Сангарском разрезе в слое 0–500 м в зимний период (при положительном балансе расхода воды движение вод осуществляется на север, при отрицательном — на юг)

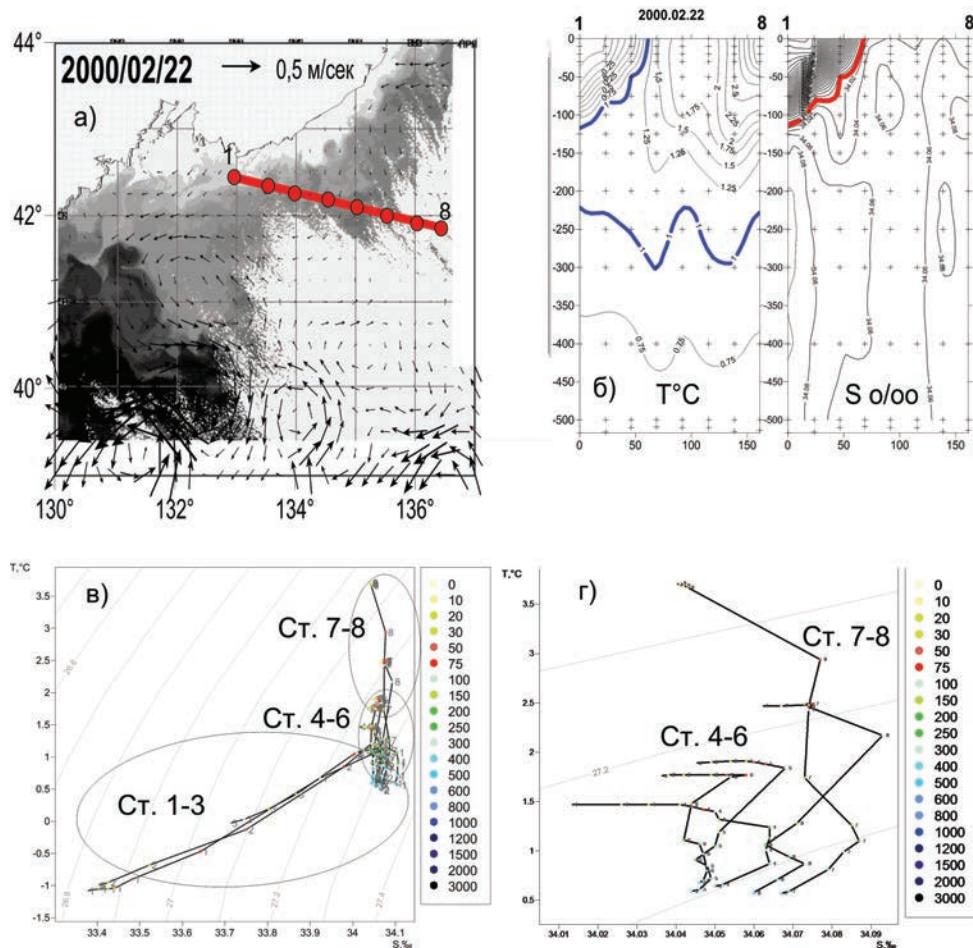


Рис. 3. Гидрологическая ситуация в северо-западной части Японского моря 22.02.2000 г.: а — спутниковый снимок и альтиметрия и разрез «Сангарский» за 22.02.2000 г., (тёмные тона — тепло; светлые тона — холод; белый — облачность); б — температура и солёность воды на разрезе «Сангарский» за 22 февраля 2000 г.; в — T,S-кривые для станций 1–8; г — зона трансформации северо-япономорских и тихоокеанских вод, станции 4–8

морского течения (граница между светлыми и тёмными тонами) сильно меандрировал. Интенсивность Цусимского течения в восточной части моря была примерно на среднемноголетнем уровне. Отдельные тёплые потоки на участке между 42–44° с.ш. соприкасались с холодными водами Приморского течения, образуя меандры, мелкие вихри различных знаков. Относительно хорошо проявлялся язык тёплых вод, ориентированный вдоль 42° с.ш. в направлении с востока на запад. Данные альтиметрии отражали западную часть крупного циклонического круговорота. Его центр находился в координатах 41°20' с.ш., 132°20' в.д. Наиболее чётко проявлялись его западная и южная границы (см. рис. 3, а). В западной части гидрологического разреза как по темпера-

туре, так и по солёности хорошо выделялось Приморское течение, четко проявлялся фронт Приморского течения (горизонтальный градиент температуры составил 0,05 °C/миля, а солёности — 0,01 ‰/миля), отделяющий воды Приморского течения от вод мористой части (рис. 3, б). На востоке в крайней части разреза обнаруживали себя ветви Цусимского течения (более 2 °C; 34,08 ‰), характеристики которых закономерно повышались по направлению к САФ.

По данным Лучина с соавторами в Японском море были выделены три типа структуры вод [Лучин, Манько, 2003]. Первый тип структуры находился в северной и северо-западной частях моря (северная япономорская водная масса), другой тип — в южной и юго-

восточной (тихоокеанская водная масса), третий тип — восточнее Корейского п-ова (промежуточная водная масса Японского моря пониженной солёности). Северная япономорская водная масса располагалась, таким образом, к северу и западу от САФ. Эта водная масса представляла собой систему холодных вод Приморского и Южно-Приморского течений в северо-западной части Японского моря. Приморское течение — это наиболее холодная и распреснённая часть вод (менее 34,00 %) этой системы, или подтип I северной япономорской (субарктической) водной массы зимней модификации. Приморское течение уверенно показали спутниковые изображения поверхности моря, а на Сангарском разрезе — T,S-кривые станций № 1–3 (рис. 3,в). T,S-кривые станций № 4–6 и 7–8 выявили, соответственно, зону трансформации (смещения) вод северной япономорской водной массы и тихоокеанской. Солёность на поверхности моря на станциях № 4–8 разреза составляла 34,01–34,06 %. С поверхности моря до подповерхностных глубин (75–250 м) солёность увеличивалась до 34,06–34,09 %, что явилось характерным признаком северной япономорской водной массы. Ниже подповерхностных глубин (75–250 м) солёность уменьшалась до 34,06–34,07 % на глубине зондирования 500 м. С другой стороны — максимумы солёности на глубинах 75–200 м на станциях № 4–8 (особенно станций № 7 и 8) — это признаки тихоокеанских вод. Можно предположить, что ядра вод повышенной солёности (34,08–34,09 % на глубинах 100–250 м станций № 7–8) — это результат проникновения языка тёплых тихоокеанских вод вдоль 42° с.ш. в направлении с востока на запад.

Таким образом, T,S-кривые станций № 1–3 обозначили подтип I северной япономорской водной массы зимней модификации. А T,S-кривые станций № 4–6 тип I северной япономорской водной массы и станций № 7–8 — тихоокеанской водной массы, т.е. зону взаимодействия (трансформации) северояпономорских и тихоокеанских вод. Тип термического режима подповерхностного слоя 50–200 м на Сангарском разрезе в этот период — «норма».

В марте 2013 г. Приморское течение было развито и прослеживалось вдоль всего побе-

режья. На расстоянии 30–80 км от побережья четко прослеживался фронт Приморского течения (рис. 4,а). В районе 43° с.ш. течение прерывалось и имело противоположное направление. Язык тёплых вод вдоль 42° с.ш. практически не проявлялся, отдельные его ветви отклонялись на север и очень близко приближались к побережью, особенно вдоль 134 и 136° в.д. На этих участках Приморское течение прерывалось или резко меняло направление. Отдельные ветви Приморского течения, продвигаясь вдоль свала глубин, проникали в залив Петра Великого и далее устремлялись на юг. На востоке Цусимского течения проявлялось слабо и только севернее 42° с.ш. обнаруживало себя. Граница северо-западного фронта проходила вдоль 41°10' с.ш., что в целом близко к среднемноголетнему и, даже возможно, южному расположению. В целом, Субарктический фронт в северо-западной части Японского моря занимал положение, близкое к среднемноголетнему с уклоном в южную сторону.

Распределение температуры и солёности, водных масс по глубине юго-восточней мыса Поворотный приведено на Сангарском разрезе (рис. 4,б). В западной части разреза прослеживались как по температуре, так и по солёности воды Приморского течения, чётко выделялся фронт Приморского течения. Градиенты температуры составили 0,01 °C/миля, солёности 0,003 %/миля. Температурный фон разреза в этот период времени как по слоям, так и всего слоя в целом очень низок. Видно, что структура Приморского течения как на спутниковых снимках, так и на гидрологическом разрезе хорошо развита.

T,S-кривые для станций № 1–8 показывают наличие следующих типов водных масс на разрезе: Ст. 1–3 — подтип I северной япономорской водной массы и Ст. 4–8 — тип I (рис. 4,в). Станция № 8 характеризуется более высокой температурой и слоем с однородной солёностью до 200 м. На Ст. 6–7 слой однородной солёности (и температуры) достигал 400 м. Термический тип режима вод в этот период времени — «холод».

В марте 2015 г. мы видим, что в начале марта субарктические воды в северо-западной части моря занимали обширный район, и распространялись в основном между 130–131,

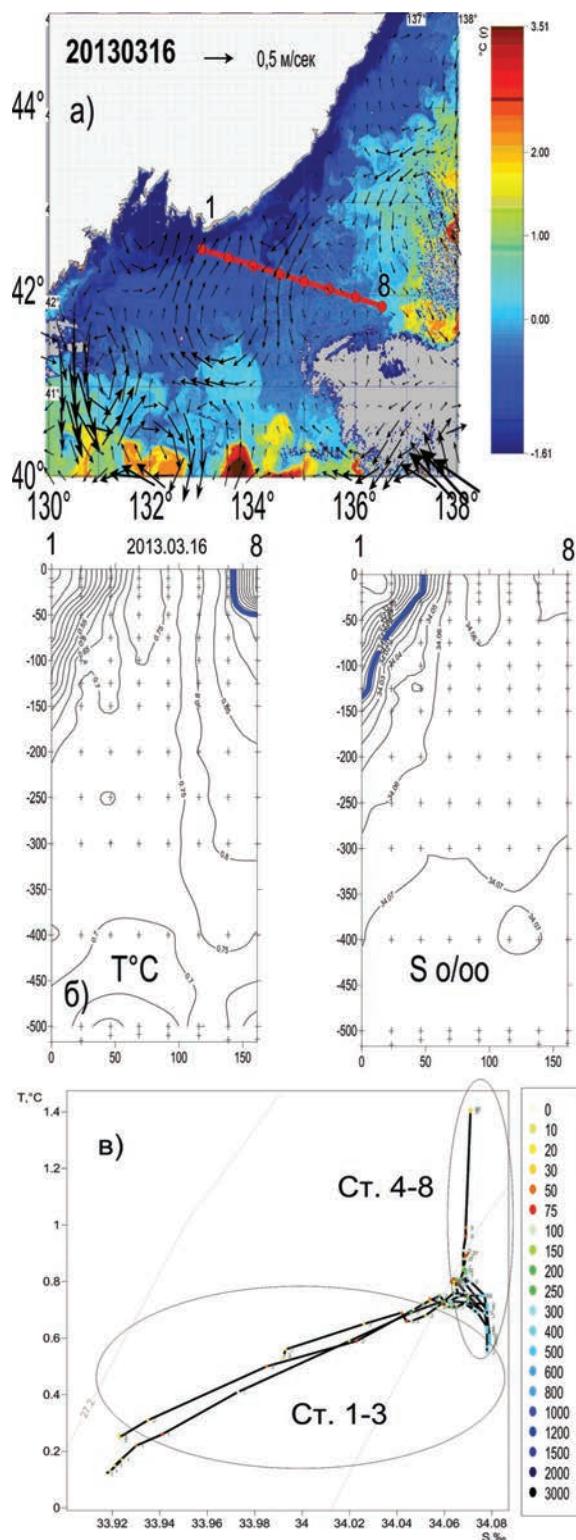


Рис. 4. Гидрологическая ситуация в северо-западной части Японского моря 16.03.2013 г.: а — спутниковый снимок и альтиметрия и разрез «Сангарский» за 16.03.2013 г.; б — температура и солёность воды на разрезе «Сангарский» за 16 марта 2013 г.; в — T,S-кривые для станций 1–8

133–134 и 135–136° в.д. вплоть до — 41–40°30' с.ш. (рис. 5). К северу от 42° с.ш. отмечалась высокая динамическая активность вод, прослеживалось множество мезомасштабных вихрей различных направлений. Приморское течение отчетливо отражалось только на юге и северной 44° с.ш. Хорошо развитый язык тёплых вод в целом четко выделялся вдоль 42°30' с.ш., что северней среднемноголетнего положения. На востоке Цусимское течение было также хорошо развито, его воды занимали обширную северо-восточную часть моря, в водах которого формировалось множество мезомасштабных вихревых образований. Субарктический фронт на 132° в.д. занимал близкое к среднемноголетнему положение, в западной части фронта — южное положение (рис. 5, а). На гидрологическом разрезе как по температуре, так и по солёности отмечались воды Приморского течения (рис. 5, б). Фронт Приморского течения, который проходил между станциями № 3 и 4, наиболее хорошо фиксировался по солёности и в меньшей степени по температуре. Нижняя граница Приморского течения — 100 м. В восточной части моря отражались воды субтропической структуры, где и обнаруживал себя антициклонический вихрь диаметром около 50 км. По температуре вихрь прослеживался до глубины 400 м, а по солёности только до 250 м. Ядро вихря (2,6 °С; 34,1 ‰) располагалось в верхнем 50-метровом слое. T,S-кривые для станций № 1–8 показывали наличие двух водных масс на разрезе: северная япономорская водная масса — Ст. 1–6 (подтип I, Ст. 1–3; тип I, Ст. 4–6) и тихоокеанская водная масса — тип II, Ст. 7–8 (рис. 5, в). Термический тип режима вод в данный период — «тепло».

Топография уровенной поверхности Японского моря. Рассмотрим топографию уровенной поверхности Японского моря (рис. 6) за 18.03.2015 г., 22.02.2000 г. и 16.03.2013 г.

В 2015 г. (тип термического режима «тепло») с высоким отрицательным расходным балансом отмечался высокий уровень теплосодержания. Видно, что крупные положительные аномалии уровенной поверхности в основном формировались в кутовой части Татарского пролива и далее распространялись на юг вдоль материка, что в целом способствовало развитию вдоль материка Приморского

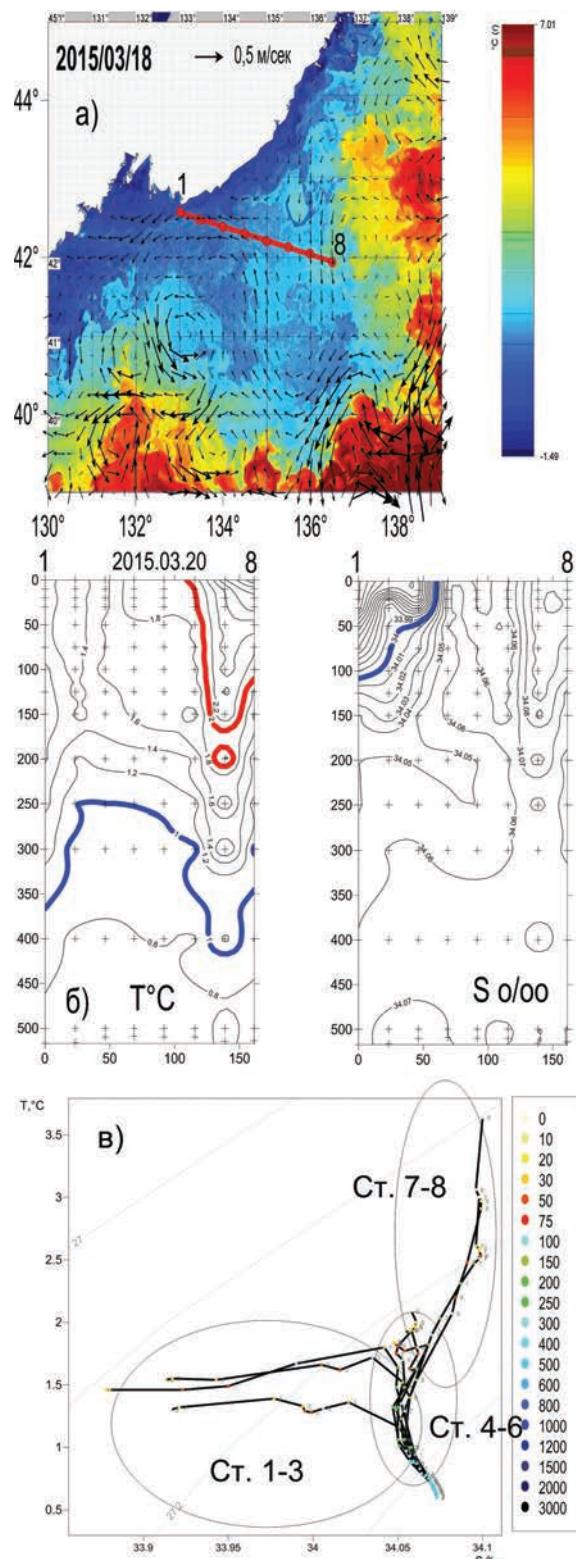


Рис. 5. Гидрологическая ситуация в северо-западной части Японского моря 18–20.03.2015 г.: а — спутниковый снимок и альтиметрия и разрез «Сангарский»; б — температура и солёность воды на разрезе «Сангарский»; в — T,S-кривые для станции № 1–8

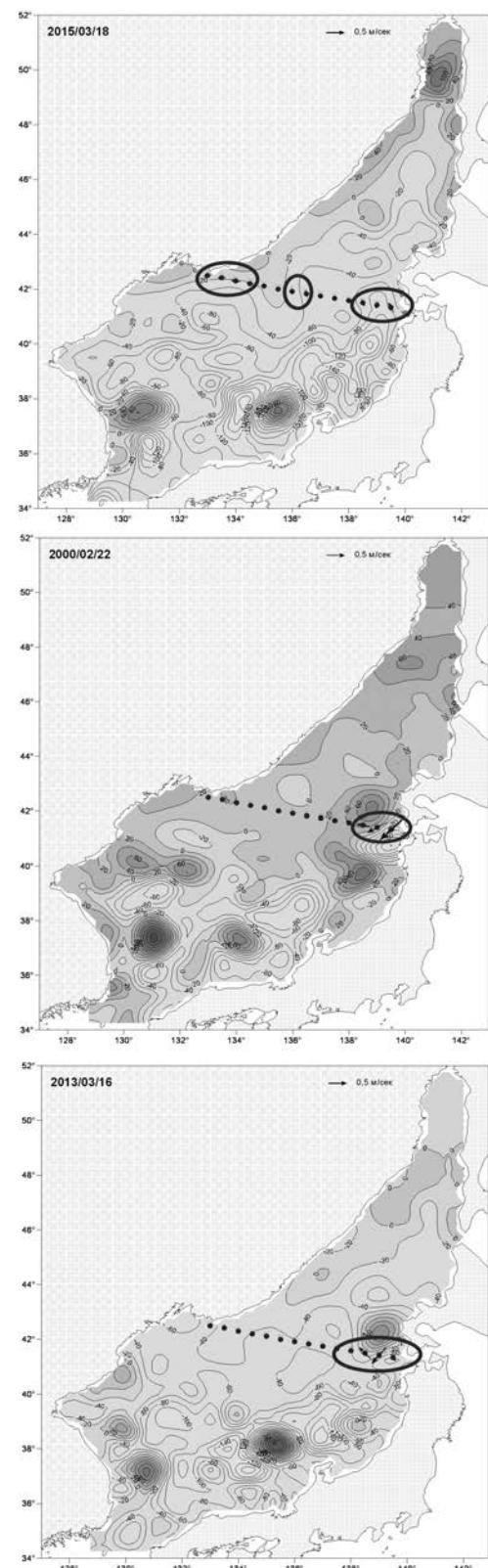


Рис. 6. Поле уровненной поверхности Японского моря в 18.03.2015 г., 20.02.2000 г., 16.03.2013 г. Тёмными точками обозначен разрез; тёмные стрелки — аномалии скорости на разрезе

течения (см. рис. 6). Положительные аномалии формировались и на юге в области антициклонических вихрей Восточно-Корейского течения и 2-й ветви Цусимского течения. Вся остальная часть моря была занята отрицательными аномалиями. Крупные отрицательные аномалии были расположены в юго-восточной части моря.

В 2000 г. (тип термического режима «норма») с высоким положительным расходным балансом отмечался низкий уровень теплосодержания.

Положительные аномалии уровенной поверхности в основном сформированы к северу от Субарктического фронта (см. рис. 6). Большие положительные аномалии формировались в районах антициклонических вихрей и вдоль побережья материка, а самые крупные у берегов Японии (у о-вов Хонсю и Хоккайдо). Отрицательные аномалии в основном формировались в южной части моря к югу от САФ.

В 2013 г. отмечался отрицательный баланс расхода воды, близкий к среднемноголетнему, и в тоже время самый низкий уровень теплосодержания «холод». Практически на всей акватории Японского моря отмечались крупные отрицательные аномалии (см. рис. 6). Крупные положительные аномалии в основном формировались в области образования антициклонических вихрей. Аномалии, близкие к норме, формировались в основном в Татарском проливе.

Аномалии уровенной поверхности и вектор аномалий скорости течений представлены в табл. 1–3 за 18.03.2015 г., 20.02.2000 г., 16.03.2013 г. соответственно. Кроме этого, на всех рисунках представлен разрез аномалий скорости, протянувшийся в направлении от траверза м. Поворотный до Сангарского пролива. Видно, что в 2015 г. наибольшие аномалии скорости представлены в западной части разреза (в области фронта Приморского течения), центральной его части и в крайней восточной части в области Цусимского течения (см. рис. 6 за 18.03.2015 г.; табл. 1).

В 2000 г. наибольшие аномалии скорости представлены только в крайней восточной части моря в области Цусимского течения (см. рис. 6 за 20.02.2000 г.; табл. 2). В марте 2013 г., также как в 2015 г. положительные

Year	LON	LAT	SLA	Angl	Vel
2015	133,00	42,50	-11,5492	202,0071	0,0488
2015	133,50	42,42	-16,9982	213,1364	0,0546
2015	134,00	42,30	-22,3866	223,2162	0,0626
2015	134,50	42,20	-22,2523	240,4803	0,0456
2015	135,00	42,12	-16,1019	274,7023	0,0254
2015	135,50	42,00	-14,4478	97,1140	0,0024
2015	136,00	41,92	-28,1287	122,3236	0,0423
2015	136,50	41,83	-48,5241	112,9492	0,0514
2015	137,00	41,75	-54,6590	52,5711	0,0177
2015	137,50	41,67	-48,1126	44,2575	0,0201
2015	138,00	41,58	-51,1995	87,2285	0,0297
2015	138,50	41,50	-68,9624	103,4308	0,0524
2015	139,00	41,42	-88,4614	139,9031	0,0515
2015	139,50	41,33	-75,0648	277,1609	0,0778

Year	LON	LAT	SLA	Angl	Vel
2000	133,00	42,50	17,0882	202,8100	0,0096
2000	133,50	42,42	19,3970	273,4109	0,0118
2000	134,00	42,30	19,7348	190,5666	0,0081
2000	134,50	42,20	14,0081	152,7416	0,0185
2000	135,00	42,12	7,4118	146,8665	0,0125
2000	135,50	42,00	4,5797	100,9789	0,0053
2000	136,00	41,92	3,9632	116,5026	0,0059
2000	136,50	41,83	4,3069	171,3983	0,0035
2000	137,00	41,75	12,6124	3,9471	0,0272
2000	137,50	41,67	27,7205	6,2668	0,0356
2000	138,00	41,58	40,9234	264,5644	0,0409
2000	138,50	41,50	46,5761	226,1207	0,0904
2000	139,00	41,42	21,8713	187,7279	0,1523
2000	139,50	41,33	-48,1879	172,2951	0,2065

Year	LON	LAT	SLA	Angl	Vel
2013	133,00	42,50	-47,9425	28,3268	0,0410
2013	133,50	42,42	-32,6785	15,5878	0,0330
2013	134,00	42,30	-29,6583	194,3191	0,0155
2013	134,50	42,20	-41,4883	160,4365	0,0330
2013	135,00	42,12	-49,0475	165,2425	0,0125
2013	135,50	42,00	-46,0342	283,9507	0,0195
2013	136,00	41,92	-40,7243	294,8735	0,0113
2013	136,50	41,83	-42,9119	66,8708	0,0210
2013	137,00	41,75	-47,6682	61,6835	0,0346
2013	137,50	41,67	-50,9760	66,5278	0,0280
2013	138,00	41,58	-42,3886	299,9292	0,0318
2013	138,50	41,50	-11,7895	261,1676	0,1125
2013	139,00	41,42	-39,0401	167,5135	0,1515
2013	139,50	41,33	-77,3638	88,3531	0,0598

аномалии уровенной поверхности в основном формировались в области антициклонических вихрей в западной части моря, во 2-й ветви Цусимского течения и в восточной части у побережья о. Хоккайдо (см. рис. 6 за 16.03.2013 г.; табл. 3). В Татарском проливе в 2013 г. в основном преобладали аномалии лишь на среднемноголетнем уровне. На всей остальной части акватории Японского моря преобладали отрицательные аномалии. Наибольшие отрицательные аномалии проявлялись в южной, юго-восточной части моря. Разрез аномалий скорости, протянувшийся в направлении от траверза м. Поворотный до Сангарского пролива показал, что наибольшие из них представлены в крайней восточной части в области Цусимского течения (см. рис. 6, табл. 1–3).

Скорости течений и уровенная поверхность. В результате совместного анализа расхода воды на Сангарском разрезе и уровенной поверхности Японского моря за период 2000–2015 гг. показано следующее.

В период высокого положительного баланса воды (2000 г.) на разрезе показано, что крупные положительные аномалии уровенной поверхности формировались в районах антициклонических вихрей и вдоль побережья материка, а наиболее крупные у берегов Японии у о-вов Хонсю и Хоккайдо (рис. 7,а). При этом наибольшие аномалии скорости представлены в крайней восточной части в области Цусимского течения, что также согласуется

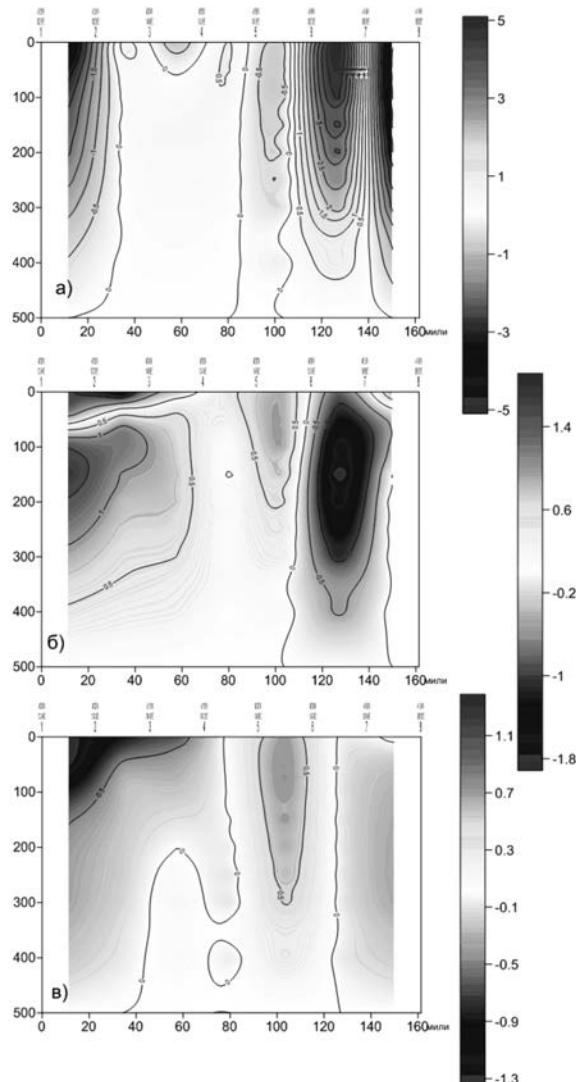


Рис. 7. Распределение скоростей на разрезе относительно нулевой поверхности 500 м: а — 18 марта 2015 г.; б — 22 февраля 2000 г.; в — 16 марта 2013 г.

с данными расчёта скоростей на Сангарском разрезе.

При отрицательном балансе воды, близком к среднемноголетнему (2013 г.), и в то же время самом низком уровне теплосодержания на разрезе положительные аномалии уровенной поверхности формировались в основном в западной части моря в области антициклонических вихрей, 2-й ветви Цусимского течения и восточной части побережья о. Хоккайдо, а в Татарском проливе в основном преобладал среднемноголетний уровень. При этом наибольшие аномалии скорости на разрезе представлены в крайней восточной части в области Цусимского течения, что согласуется с результатами расчёта геострофических скоростей на Сангарском гидрологическом разрезе (рис. 7,б). В период крупного отрицательного расхода воды (2015 г.) в кутовой части Татарского пролива, а также на юге вдоль материка формировались крупные положительные аномалии уровенной поверхности, что возможно способствовало развитию Приморского течения. Данные аномалии скорости на представленном разрезе показали, что в западной и восточной частях отмечались их наибольшие величины, что также согласуется с данными расчёта геострофических скоростей на Сангарском разрезе (рис. 7,в).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ термодинамических условий в северо-западной части Японского моря за март 2000–2015 гг. как по спутниковым, так и по гидрологическим данным позволил, классифицировать указанный ряд зим по режиму вод на разрезе и положению океанографических структур на спутниковых картах, практически на три группы. При этом учитывалось не только положение, ширина и в целом развитие Приморского течения, но и взаимное расположение САФ и его разделов, положение и развитие тёплого языка тихоокеанских вод, а также развитие Цусимского течения.

К первой группе следует отнести термодинамические условия в марте 2013 г., который в целом можно считать холодным типом лет или очень близким к нему (рис. 8). В этот год было отмечено сильное развитие Приморского течения, которое прослеживалось вдоль по-

бережья и отчетливо проявлялось как на спутниковых изображениях, так и по данным Сангарского гидрологического разреза. Более холодные участки воды были прижаты к берегу, а в районе зал. Петра Великого южная грани-

ца течения определялась не только свалом глубин, но и выходила за его пределы практически до 41° с.ш. Отмечено отклонение Приморского течения в южном направлении и в районе среднего Приморья. Северо-западный фронт в

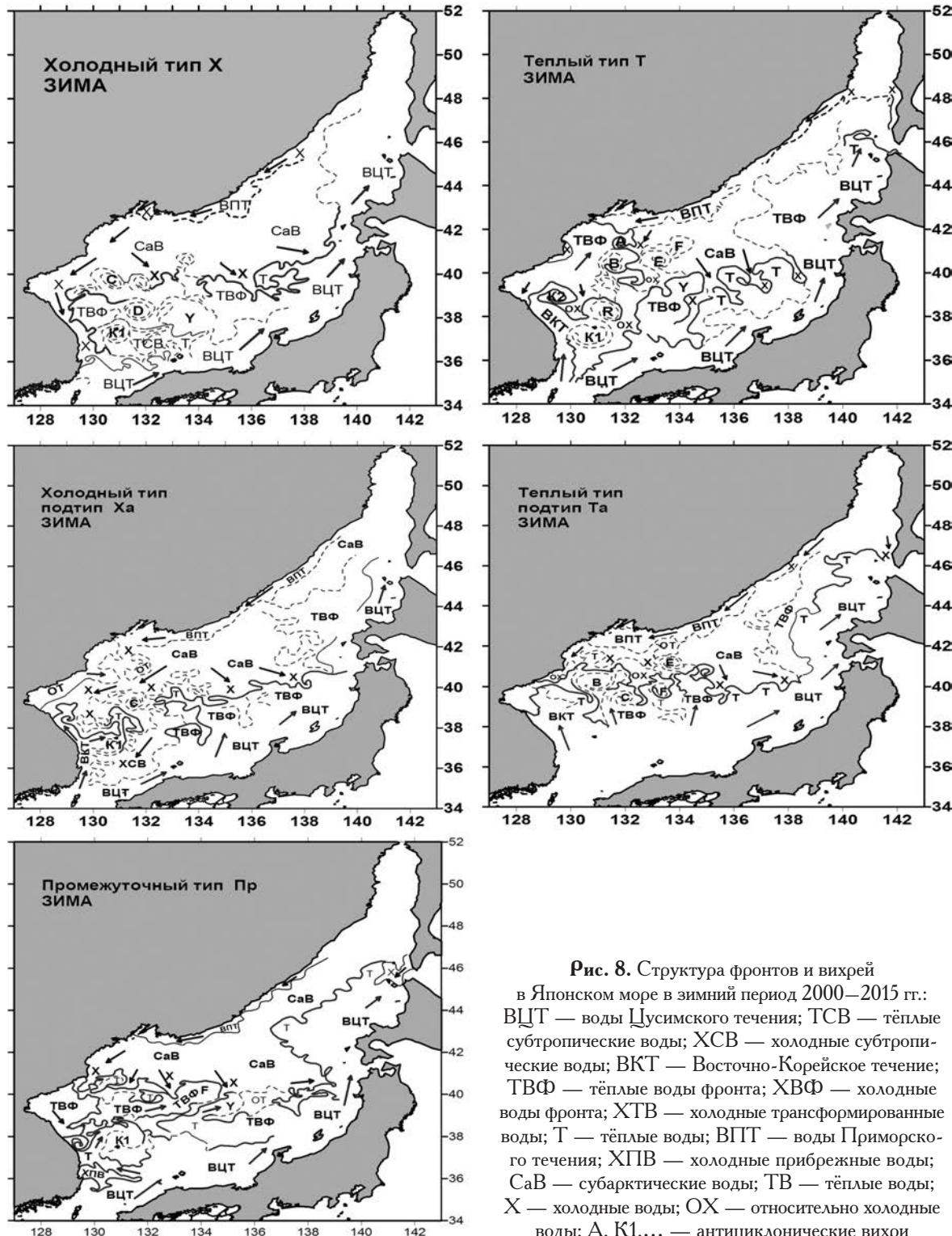


Рис. 8. Структура фронтов и вихрей

в Японском море в зимний период 2000–2015 гг.:
 ВЦТ — воды Цусимского течения; ТСВ — тёплые субтропические воды; ХСВ — холодные субтропические воды; ВКТ — Восточно-Корейское течение; ТВФ — тёплые воды фронта; ХВФ — холодные воды фронта; ХТВ — холодные трансформированные воды; Т — тёплые воды; ВПТ — воды Приморского течения; ХПВ — холодные прибрежные воды; СаВ — субарктические воды; ТВ — тёплые воды; Х — холодные воды; ОХ — относительно холодные воды; А, К1, ... — антициклические вихри

западной части Японского моря в целом занимал положение, близкое к среднемноголетнему. При этом интенсивность Цусимского течения в восточной части соответствовала примерно среднемноголетнему уровню. Язык тёплых вод в целом был развит слабо, практически не проявлялся. Присутствие вод субтропической структуры в восточной части слабо проявлялось или вообще не отмечалось. В целом температурный фон разреза в этот период времени как по слоям, так и всего слоя в целом очень низок (температура на разрезе).

Ко второй группе термодинамических условий северо-западной части Японского моря следует отнести следующие годы: март 2004, 2007–2008, 2010–2011, 2014–2015 гг. (тёплый тип лет) (см. рис. 8). Для этих лет характерно сильно развитое Восточно-Корейское течение. Приморское течение было слабо развито, практически не прослеживалось или прослеживалось узкой полосой вдоль Приморья, было сильно прижато к побережью, а на гидрологическом разрезе практически не фиксировалось. Северо-западный фронт занимал северное положение. Цусимское течение развито, значительная часть тёплых вод проникала в северную часть моря. Язык тёплых вод протянулся с востока на запад, чётко прослеживаясь вдоль 42°30' с.ш. На востоке интенсивность Цусимского течения была высокой, его воды занимали обширную северо-восточную часть моря. Наличие тихоокеанских вод определялось максимумом солёности в поверхностном или в подповерхностном слоях.

К третьей группе термодинамических условий северо-западной части Японского моря можно отнести следующие годы: март 2000–2003, 2005–2006, 2009, 2012 гг., которые условно можно отнести к промежуточному типу лет «норма» (см. рис. 8). В эти годы Приморское течение прослеживалось узкой полосой и было прижато к побережью. На спутниковых картах линия Приморского фронта извилиста, прослеживалась чётко. Северо-западный (СЗ) фронт слегка обострён и сильно извилист, занимал в целом среднемноголетнее положение. Юго-западный фронт занимал южное положение. Интенсивность Восточно-Корейского течения соответствовала среднемноголетнему уровню. В целом термодинами-

ческая структура северо-западной части слегка размыта. Отчетливо выделялись вихревые дорожки на участке между 130–134° в.д., которые достигали 42°10' и 41°40' с.ш. соответственно. Язык тёплых вод развит умеренно, положение его немного северней среднемноголетнего.

ЛИТЕРАТУРА

- Алексанин А.И., Алексанина М.Г. 2006. Мониторинг термических структур поверхности океана по данным ИК-канала спутников NOAA на примере Прикурильского района Тихого океана // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов. Вып. 3. Т. 2. М.: Азбука-2000. С. 9–15.
- Булатов Н.В. 1984. Рекомендации по использованию спутниковых ИК снимков в океанологических исследованиях. Владивосток: ТИНРО. 43 с.
- Данченков М.А., Орби Д.Г., Лобанов В.Б. 2000. Пространственная структура вод северо-западной части Японского моря зимой // Гидрометеорологические и экологические условия дальневосточных морей: оценка воздействия на морскую среду. Вып. ДВНИГМИ № 3. Владивосток: Дальнаука. С. 92–105.
- Лучин В.А., Манько А.Н. 2003. Водные массы. В кн.: Гидрометеорология и гидрохимия морей. Том VIII. Японское море. Вып. 1. Гидрометеорологические условия. СПб.: Гидрометеоиздат. С. 243–256.
- Никитин А.А., Данченков М.А., Лобанов В.Б., Юрков Г.И. 2009. Новая схема поверхностной циркуляции Японского моря с учётом синоптических вихрей // Известия ТИНРО. Т. 157. С. 158–167.
- Никитин А.А., Лобанов В.Б., Данченков М.А. 2002. Возможные пути переноса субтропических вод в район Дальневосточного морского заповедника // Известия ТИНРО. Т. 31. С. 41–53.
- Никитин А.А., Харченко А.М. 2002. Типизация термических структур в Японском море и некоторые элементы их изменчивости // Известия ТИНРО, № 131. С. 22–40.
- Покудов В.В., Манько А.Н., Хлусов А.Н. 1976. Особенности гидрологического режима вод Японского моря в зимний период // Труды ДВНИГМИ. Вып. 60. С. 74–115.
- Трусенкова О.О., Никитин А.А., Лобанов В.Б. 2007. Межгодовые изменения поверхностных течений северо-восточной части Японского моря (в тёплый период года) // Материалы междунар. конф. «Изучение глобальных изменений на Дальнем Востоке». Владивосток: ДВО РАН, 7–8 октября 2007. С. 165–172.
- Фукс В.Р. 2003. Гидродинамические основы интерпретации альтиметрических съёмок морской поверхно-

- сти // Колебания уровня в морях. СПб.: РГГМУ. С. 79–91.
- Fuks V.R.* 2004. Спутниковая альtimетрия в промысловой океанографии // Вопросы промысловой океанологии. Вып. 1. М.: ВНИРО. С. 126–146.
- Юрасов Г.И., Яричин В.Г.* 1991. Течения Японского моря. ДВНИЦ АН СССР. Владивосток. 174 с.
- Яричин В.Г.* 1980. Состояние изученности циркуляции вод Японского моря // Труды ДВНИГМИ. № 80. С. 46–61.
- Sekine Y.* 1992. On the ocean circulation in the Japan Sea // Umi to sora. V. 67, N 1. P. 27–38.

REFERENCES

- Aleksanin A.I., Aleksanina M.G.* 2006. Monitoring termicheskikh struktur poverkhnosti okeana po dannym IK-kanala sputnikov NOAA na primere Prikuril'skogo rajona Tikhogo okeana [Monitoring of the ocean surface thermal structure according to the infrared channel data of the NOAA satellites on example of the Kuril islands area of the Pacific Ocean] // Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa. Fizicheskie osnovy, metody i tekhnologii monitoringa okruzhayushchej sredy, potentsial'no opasnykh yavlenij i ob"ektor. Vyp. 3. T. 2 M.: Azbuka-2000. S. 9–15.
- Bulatov N.V.* 1984. Rekomendatsii po ispol'zovaniyu sputnikovykh IK snimkov v okeanologicheskikh issledovaniyah [Recommendations for using the satellite infrared images in oceanographic research]. Vladivostok: TINRO. 43 s.
- Danchenkov M.A., Orbi D.G., Lobanov V.B.* 2000. Prostranstvennaya struktura vod severo-zapadnoj chasti Yaponskogo morya zimoj [Spatial water structure of the northwestern Japan Sea in winter] // Gidrometeorologicheskie i ehkologicheskie usloviya dal'nevostochnykh morej: otsenka vozdejstviya na morskuyu sredu. Vyp. DVNIGMI № 3. Vladivostok: Dal'nauka. S. 92–105.
- Luchin V.A., Man'ko A.N.* 2003. Vodnye massy. V kn.: Gidrometeorologiya i gidrokhimiya morej [Water masses]. Tom VIII. Yaponskoe more. Vypusk 1. Gidrometeorologicheskie usloviya. Sankt-Peterburg: Gidrometeoizdat. S. 243–256.
- Nikitin A.A., Danchenkov M.A., Lobanov V.B., Yurasov G.I.* 2009. Novaya skhema poverkhnostnoj tsirkulyatsii yaponskogo morya s uchetom sinopticheskikh vikhrej [New scheme of the surface water circulation of the Japan Sea considering synoptic eddies] // Izvestiya TINRO. T. 157. S. 158–167.
- Nikitin A.A., Lobanov V.B., Danchenkov M.A.* 2002. Vozmozhnye puti perenosa subtropicheskikh vod v rajon Dal'nevostochnogo morskogo zapovednika [Possible ways of the subtropical water transferring into the Far East Marine Reserve area] // Izvestiya TINRO. T. 31. S. 41–53.
- Nikitin A.A., Kharchenko A.M.* 2002. Tipizatsiya termicheskikh struktur v Yaponskom more i nekotorye ehlementy ikh izmenchivosti [Typization of the Japan Sea thermal structures and some elements of their variability] // Izvestiya TINRO. T. 131. S. 22–40.
- Pokudov V.V., Man'ko A.N., Khlusov A.N.* 1976. Osobennosti gidrologicheskogo rezhima vod Yaponskogo morya v zimnjij period [Features of the Japan Sea hydrological regime in winter] // Trudy DVNIGMI. Vyp. 60. S. 74–115.
- Trusenkova O.O., Nikitin A.A., Lobanov V.B.* 2007. Mezhgodovye izmeneniya poverkhnostnykh techenij severo-vostochnoj chasti Yaponskogo morya (v teplij period goda) [Interannual changes of the surface currents of the northeastern part Japan Sea (in the warm season)] // Materialy mezhdunar. konf. «Izuchenie global'nykh izmenenij na Dal'nem Vostoke». Vladivostok: DVO RAN, 7–8 oktyabrya 2007. S. 165–172.
- Fuks V.R.* 2003. Gidrodinamicheskie osnovy interpretatsii al'timetricheskikh s"emok morskoy poverkhnosti [Hydrodynamic foundations of interpretation of the sea surface altimetric surveys] // Kolebaniya urovnya v moryakh. SPb.: RGGMU. S. 79–91.
- Fuks V.R.* 2004. Sputnikovaya al'timetriya v promyslovoj okeanografii [Satellite altimetry in commercial oceanography] // Voprosy promyslovoj okeanologii. Vyp. 1. M.: VNIRO. S. 126–146.
- Yurasov G.I., Yarichin V.G.* 1991. Tcheniya Yaponskogo moray [Currents of the Japan Sea]. DVNTS AN SSSR. Vladivostok. 174 s.
- Yarichin V.G.* 1980. Sostoyanie izuchenosti tsirkulyatsii vod Yaponskogo morya [State of knowledge of the Japan Sea water circulation] // Trudy DVNIGMI. N. 80. S. 46–61.

Поступила в редакцию 23.05.2016 г.

Принята после рецензии 15.06.2016 г.

Oceanological research northwest part of the Japan Sea on the satellite information and on the data standard oceanographical of sections in winter seasons 2000–2015

A.A. Nikitin, B.S. Djakov

Pacific Research Fisheries Centre (FSBSI «TINRO-Centre»), Vladivostok

A study of oceanographic conditions in the northwestern Japan Sea according to the satellite and ship information was carried out in March of 2000–2015. Satellite data are presented by the sea surface images in the infrared and optical bands and ship information — by the deepwater measurements of temperature and salinity on standard oceanographic sections. According to altimetry data, the maps of sea level anomalies were built to identify geostrophic circulation in the Japan Sea in winters of studied years. A joint use of satellite and hydrological information allowed to carry out three-dimensional analysis of oceanographic structures (currents, fronts and partings, anticyclones and water masses). As a result of this study typification of winters of 2000–2015 was made into three groups according water thermodynamics and positions of oceanographic structures on the satellite maps and sections. The first group is the winter 2013 — «cold» type of years, the second one is the winters of 2004, 2007–2008, 2010–2011, 2014–2015 — «warm» type of years, and the third one is the 2000–2003, 2005–2006, 2009, 2012 — years of intermediate type of years («normal»). Prognostic significance of this typification is shown.

Key words: the Japan Sea, currents, satellite images, structure, front, altimetry, section, oceanology, temperature, salinity, water masses, typification.