

Среда обитания
водных биологических ресурсов

Диагноз и прогноз условий среды обитания гидробионтов

УДК 551.46.07.:629.783 (265.54)

Исследование океанологических условий в северо-западной
части Японского моря в весенние сезоны 2000–2017 гг.

А.А. Никитин, Б.С. Дьяков, А.В. Капштер, В.А. Нуждин

Тихоокеанский научно-исследовательский рыбохозяйственный центр (ФГБНУ «ТИНРО-Центр»),
г. Владивосток

E-mail: aleksandr.nikitin@tinro-center.ru

В Японском море по данным спутниковой и судовой информации проведён анализ океанологических условий в мае-июне 2000–2017 гг. Спутниковые данные представлены изображениями поверхности моря в инфракрасном и оптическом диапазонах, а судовая информация — глубокowodными измерениями температуры и солёности на стандартных океанографических разрезах. По альтиметрическим данным построены карты аномалий уровня моря с целью идентификации геострофической циркуляции весной исследуемых лет. Совместное использование спутниковой и океанографической информации позволило провести трёхмерный анализ океанологических структур (течений, фронтов и их разделов, антициклонов и водных масс). В результате этой работы выполнена типизация весенних сезонов в 2000–2017 гг. на три группы по термодинамике вод и положению океанографических структур на спутниковых картах и океанографических разрезах. Доминирующий признак типизации — термическое состояние вод. Показано, что колебания температуры воды только опосредованно, в первую очередь через биоту, могут влиять на степень выживания минтая на ранних стадиях онтогенеза и формирование численности годовых классов.

Ключевые слова: Японское море, спутниковые изображения, океанологические структуры, термодинамика вод, стандартный разрез, температура, солёность, водные массы, минтай *Theragra chalcogramma*.

ВВЕДЕНИЕ

Весенний период является переходным звеном от зимы к лету в годовом цикле термодинамического режима вод Японского моря. Термодинамические условия в море весной проявляются на спутниковых картах и океанографических разрезах дислокацией и характером океанографических структур (фронтов, течений, вихрей и т. д.). Синтез спутниковых и судовых данных позволяет в определённой мере систематизировать многомерную картину состояния

и движения вод. В таком аспекте работа выполнена для зимнего периода [Никитин, Дьяков, 2016]. В настоящей статье ставилась и решалась сходная задача для весеннего периода:

— исследование океанологических (термодинамических) условий северо-западной части Японского моря на основе спутниковой и судовой информации весной 2000–2017 гг.;

— типизация океанологических (термодинамических) условий и их использование при промысле рыб.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Спутниковые данные. Информация со сканеров AVHRR (спутников серии NOAA) и MODIS (спутники Terra и Aqua) в инфракрасном диапазоне спектра в 2000–2017 гг. получена 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 изображений для сканеров Modis (спутники Terra и Aqua) составляет 1 км, а для NOAA — около 1,1 км. Терминология, методы обработки спутниковых изображений изложены в соответствующих работах [Булатов, 1984; Алексанин, Алексанина, 2006].

Следующим видом информации послужили карты аномалий течений, построенные по альтиметрическим данным, помещённым на сайте AVISO⁺ [AVISO⁺, 2018]. В качестве исходных использованы 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 $\frac{1}{4}^\circ$ по широте и долготе для середины каждой из трёх декад исследуемого месяца. Далее в рамках баротропной геострофической модели рассчитаны поля аномалий скоростей течений, по которым и построены карты.

Океанографические (судовые) данные. Эти данные представляют собой материалы измерений температуры и солёности на стандартных океанографических разрезах «Сангарский» и «132° в. д.», которые выполнялись научно-исследовательскими судами ФГБНУ «ТИНРО-Центр» в северо-западной части Японского моря в 2000–2017 гг. Глубина зондирования составляла 500 м. При обработке этих данных применялись стандартные океанологические программы. За критерий изменчивости теплосодержания вод в северо-западной части Японского моря принята температура подповерхностного слоя 50–200 м на стандартном разрезе «Сангарский», которая вычислена по методу Н.Н. Зубова [1926]. По этому критерию, а также по распределению

океанологических структур на спутниковых изображениях поверхности моря выполнена типизация термического режима весной исследуемого ряда лет.

Определения и термины. Авторы настоящей статьи согласны с классическими представлениями о водных массах Японского моря. *Северная япономорская водная масса* располагается к северу и западу от Полярного (Субарктического) фронта и представляет собой систему холодных вод Приморского и Южно-Приморского течений. *Тихоокеанская водная масса* размещается в юго-восточной части моря и определяется, прежде всего, максимумом солёности в поверхностном (зимой) и подповерхностном (летом) слоях. Критерием выделения *глубинной водной массы* является температура воды, которая всегда ниже 1°C , солёность при этом выше 34‰ (34,03–34,09‰) [Леонов, 1960; Радзиховская, 1961; Лучин, Манько, 2003]. Термодинамические структуры на спутниковых картах — это, прежде всего, главные фронты и их ветви (разделы), течения, вихри и вихревые образования («дорожки»), а также крупномасштабное движение вод (например, т. н. «язык» тихоокеанских вод западного направления). Слово сочетание «Полярный фронт» или «Субарктический фронт» являются синонимами.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Термодинамика вод Японского моря в мае

2001 г. Северо-Западный фронт Японского моря на 131° в. д. отмечался на $42^\circ 15'$ с. ш., что соответствовало его северному положению. Тёплые воды продвигались на север между 130 – 132° в. д., до $42^\circ 15'$ с. ш., в то время как вихревая дорожка по 134° в. д. достигала лишь 41° с. ш. Приморское течение было прижато к побережью, наблюдалось полосой, ширина которой составляла 30–50 км. На акватории зал. Петра Великого, между м. Поворотный и м. Гамова, Приморское течение прослеживалось на свале глубин и смещалось вдоль материка на юг. Стрежень течения практически на всем своём протяжении выделялся узкой полосой 5–10 км. Цусимское течение на востоке было ослаблено, что послужило слабому притоку тёплых вод в Татарский пролив. Язык

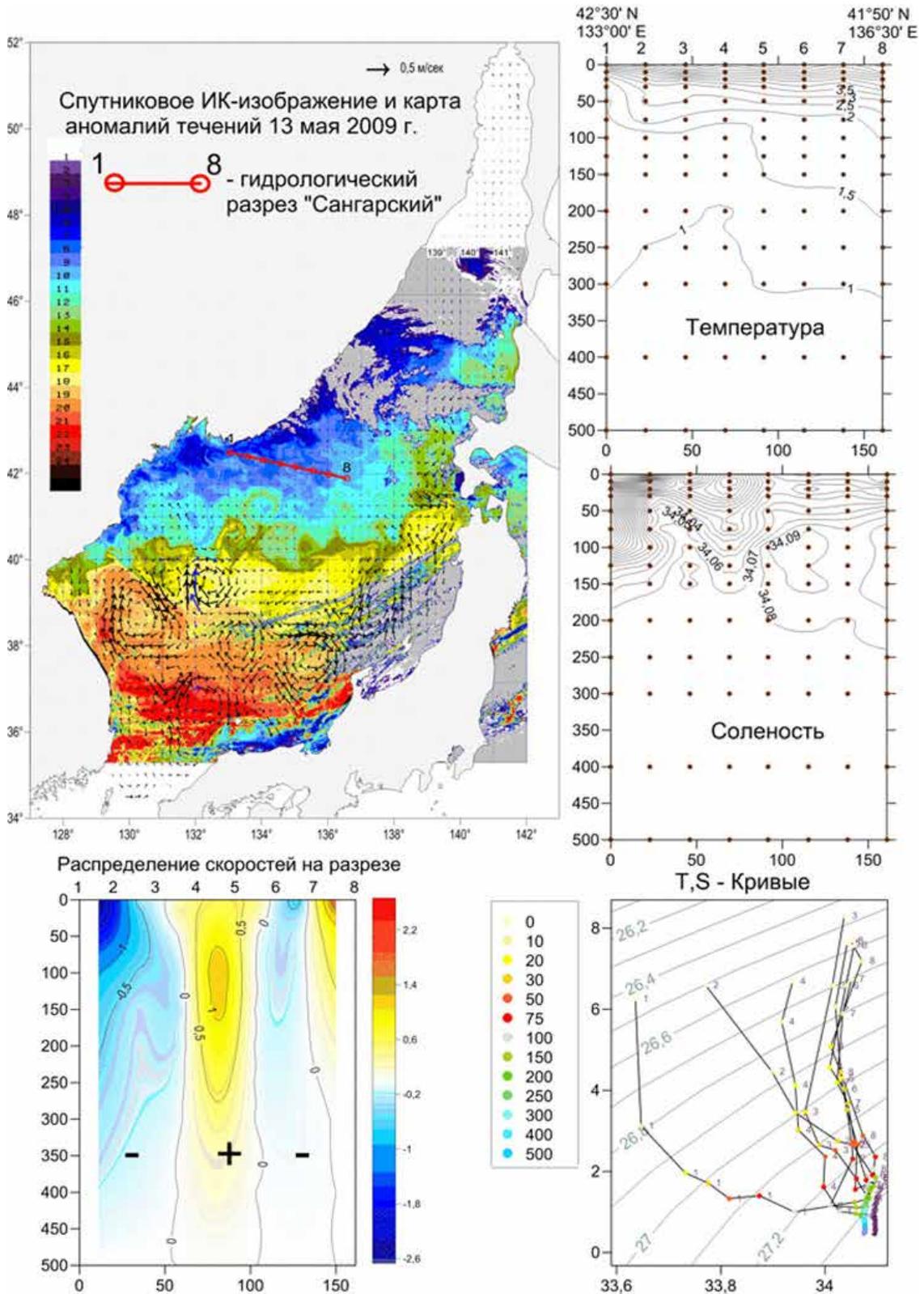


Рис. 1. Океанографическое состояние вод Японского моря в мае 2009 г.: знак минус — течение направлено на юг, плюс — на север

тёплых вод юго-западного направления чётких границ не имел, отмечался вдоль $42^{\circ}30'$ с. ш., а интенсивность его была близка к среднеголетней норме. Крупный циклонический круговорот в северо-западной части Японского моря практически не проявлялся, чётких границ не имел. Согласно положению Полярного фронта в мае 2001 г., тип термического режима вод северо-западной части моря определён как «тёплый».

2003 г. Северо-Западный фронт Японского моря на 131° в. д. занимал среднеголетнее положение на $41^{\circ}20'$ с. ш. Однако восточнее на участке между 132° - 137° в. д. этот фронт находился севернее. Между этими меридианами прослеживался интенсивный поток тихоокеанских вод на север вплоть до $42^{\circ}10'$ с. ш. и четыре вихря синоптического масштаба. Обнаруживал себя и узкий поток тихоокеанских вод вдоль Кореи в южную часть зал. Петра Великого. Приморское течение прижималось к побережью, прослеживалось до м. Поворотный, в тоже время отмечались сильная извилистость его границы и разрывы. На траверзе Уссурийского зал. воды Приморского течения распространялись вдоль свала глубин и далее на юг вплоть до $41^{\circ}20'$ с. ш. На границе Приморского течения формировалось множество меандров и вихрей, а фронт Приморского течения на всем своём протяжении был сильно извилист. Язык тёплых вод западного направления чётких границ не имел, в целом был ориентирован вдоль 43° с. ш., а его интенсивность была близка к среднеголетней норме. В зоне Субарктического фронта отмечалось множество вихрей и меандров, среди которых в координатах $40^{\circ}40'$ с. ш., $131^{\circ}50'$ в. д. и $39^{\circ}10'$ с. ш., $133^{\circ}30'$ в. д. отмечались два антициклонических вихря, диаметром около 60–70 км. Оценка типа термического режима вод Японского моря в мае 2003 года по дислокации Субарктического фронта — «норма».

2009 г. Северо-Западный фронт Японского моря в среднем проходил по $41^{\circ}40'$ с. ш., а Юго-Западный — чётко прослеживался в юго-западной части моря (рис. 1). Субарктический фронт занимал среднеголетнее положение. В межфронтальной зоне Японского моря обнаруживали себя множество мезомасштабных вихрей, что могло указывать на повы-

шенную динамическую активность, особенно со стороны вод приморской структуры. Среди этих вихрей прослеживались вихревые дорожки по 131 и 134° в. д. Наиболее чётко выделялась дорожка по 134° в. д. до широты 42° с. ш. Отчётливо выделялось Восточно-Корейское течение, воды которого распространялись с юга на северо-восток, образуя синоптический вихрь с центральными координатами $38^{\circ}30'$ с. ш., $130^{\circ}20'$ в. д. Воды Приморского течения чётких границ не имели, стрежень течения проходил в отдалении от побережья. Это течение прослеживалось в зал. Петра Великого и южнее вдоль материка до $40^{\circ}30'$ с. ш. На стандартном разрезе «Сангарский» наблюдался слой повышенных вертикальных градиентов температуры (термоклин) в верхнем 50-метровом слое, образовавшийся в результате радиационного прогрева. В западной части стандартного разреза воды Приморского течения отмечались по солёности и до глубины 150 м. В восточной части разреза в подповерхностном слое 50–300 м просматривалось ядро повышенной солёности (более 34,09‰), вероятно связанное с затоком тихоокеанских вод. На статистической диаграмме TS-кривые станций № 1–4 показали наличие двух разновидностей одной северной япономорской водной массы, а TS-кривые станций № 5–8 — тихоокеанской водной массы. Тип термического режима вод Японского моря в мае 2009 г. тождественен среднеголетнему положению Полярного фронта — «норма».

2013 г. Полярный фронт Японского моря занимал среднеголетнее положение и обнаруживался, главным образом, на северной периферии синоптических вихрей (рис. 2). Северо-Западная и Юго-Западная ветви (фронты) и границы антициклонических вихрей существовали в неразрывном единстве. В ряде случаев границы вихрей отождествлялись с ветвями (разделами) Полярного фронта. В южной части моря отмечались крупные антициклонические вихри, а в северо-западной — затоки тихоокеанских вод в прибрежную зону Южного Приморья. Вдоль всей прибрежной материковой части Японского моря наблюдался апвеллинг, а также множество мезомасштабных вихрей. Сильное перемешивание вод связано как с сильными ветрами, вызывающими

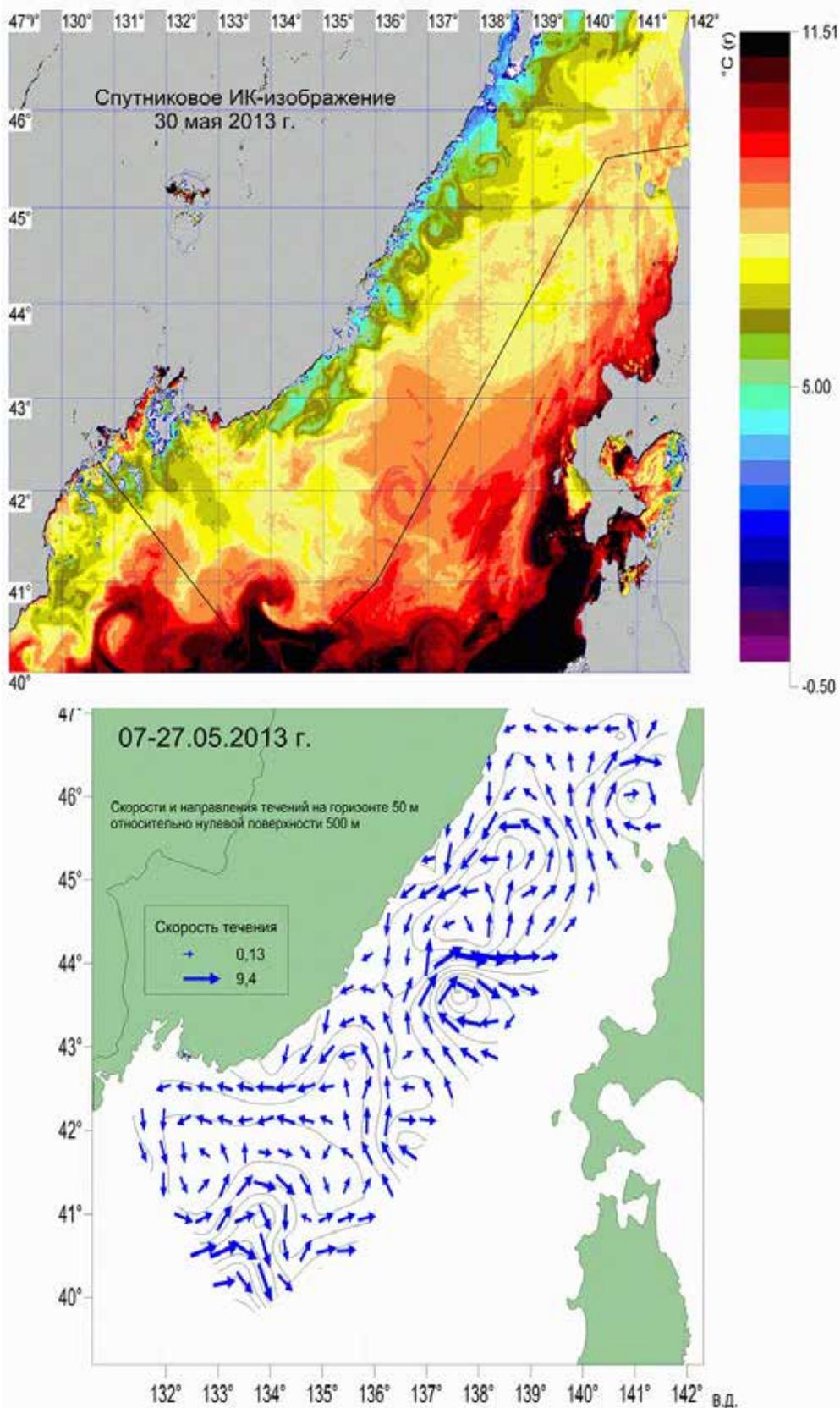


Рис. 2. Океанографическое состояние вод Японского моря в мае 2013 г.

ми мощный апвеллинг вдоль побережья, так и с водообменом шельфовой зоны с открытым морем, что имеет важные биологические и экологические последствия [Лобанов и др., 2007]. Положение океанологических структур в Японском море в мае 2013 г. соответствовало типу термического режима вод «норма».

2016 г. Тихоокеанские воды проникали в южную часть зал. Петра Великого и районы бух. Владимира, м. Белкина и м. Золотой, где формировались очаги тёплых вод (рис. 3). Интенсивность Цусимского течения превышала среднемноголетний уровень. Поступление трансформированных тихоокеанских вод в Татарский пролив сохранялось на уровне среднемноголетних лет. В западной части моря между 132 и 134° в. д., тёплые воды достигали 41°30'–42°00' с. ш. Субарктический фронт занимал положение, близкое к среднемноголетнему. Наиболее обострённые участки Субарктического фронта наблюдались в районе возвышенности Ямато и далее на востоке. Приморское течение чётких границ не имело, но хорошо прослеживалось на некоторых участках района Южного Приморья и свала глубин зал. Петра Великого. На стандартном разрезе по 132° в. д. Приморское течение отражалось в северной его части на станциях № 5–8. Наиболее низкая солёность (менее 33,30‰) наблюдалась в верхнем 20-метровом слое.

Слой повышенных градиентов температуры воды (термоклин) обнаруживался между горизонтами 20–50 м. На южной оконечности разреза прослеживалась окраина мезомасштабного антициклонического вихря. TS-кривые океанографических станций показали три разновидности северной япономорской водной массы. Вертикальная структура вод в мелководном районе показана TS-кривой станции № 1. Наибольшие расчётные скорости течений южных составляющих (более 11,0 см/с) наблюдались в западной части разреза, в области Приморского течения. Положение Субарктического фронта в северо-западной части моря в мае 2016 г. в целом соответствовало типу термического режима «норма».

2017 г. Отмечен интенсивный приток тихоокеанских вод в северо-западную часть Японского моря, который вызвал повышение

поверхностной температуры воды в южных районах зал. Петра Великого. Отдельные ветви Восточно-Корейского течения достигали 42° с. ш. Интенсивность Цусимского течения была близка к среднемноголетнему уровню. Воды второй ветви Цусимского течения проникали на север до 41°30' с. ш. В целом тихоокеанские воды в западной части моря (особенно между 131° и 133° в. д.) подходили к широтам 42°–42°20' с. Субарктический фронт занимал северное положение. Как в поверхностном слое, так и в слое 50–200 м чётко наблюдался интенсивный перенос тихоокеанских вод в северо-западную часть. Приток тёплых вод в районы бухт Ольги и Владимира несколько ослаблен. Умеренный приток тихоокеанских вод в район Южного Приморья (м. Белкина и Золотой) вызвал формирование участков тёплых вод. В Татарский пролив тихоокеанские воды поступали на север, в основном, вдоль острова Сахалин. Приморское течение в целом прослеживалось вдоль всего азиатского материка. Стрежень Приморского течения проходил в 20–30 км от берега. В целом же относительно высокая интенсивность Приморского течения сохранялась к северу от 44° с. ш. Наиболее холодные воды отмечались как вдоль свала глубин зал. Петра Великого, так и в самом заливе. На разрезе «Сангарский» прослеживался слой повышенных градиентов температуры воды в верхнем 50-метровом слое (термоклин), образовавшийся в результате радиационного прогрева. TS-кривые станций № 1–8 показали одну северную япономорскую водную массу. Термический тип режима вод в этот период, согласно положению Субарктического фронта, который занимал северное положение, соответствовал типу термического режима «тёплый».

Таким образом, в мае среди рассмотренных лет к тёплому типу отнесены 2001, 2017 годы, а все остальные — 2003, 2009, 2013 и 2016 годы — к нормальному типу лет.

Термодинамика вод Японского моря в июне

2002 г. Северо-Западный фронт Японского моря на 131° в. д. достигал 42°05' с. ш., и в целом занимал северное положение, что обусловлено притоком тихоокеанских вод с юга.

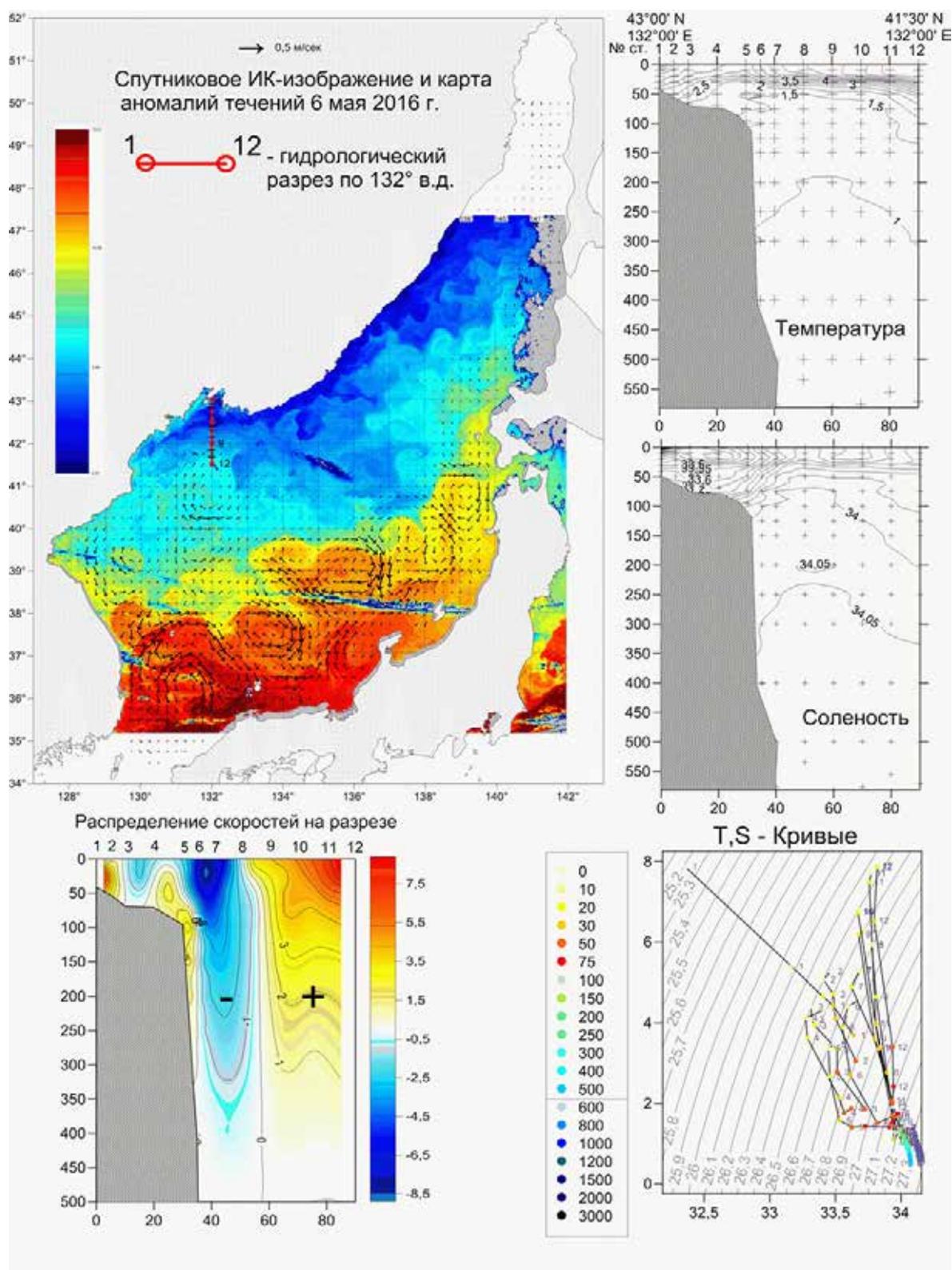


Рис. 3. Океанографическое состояние вод Японского моря в мае 2016 г. Обозначения как на рис. 1

Эти воды в координатах $40^{\circ}30'$ с. ш., $133^{\circ}30'$ в. д. сформировали антициклонический вихрь синоптического масштаба. От м. Болтина в сторону открытого моря, далеко на юго-восток протянулась холодная область, которая, возможно, была обусловлена северо-западными ветрами. Интенсивность потоков тихоокеанских вод вдоль 134° в. д. и Цусимского течения соответствовала среднемноголетней норме. Приморское течение узкой полосой распространялось вдоль побережья Приморья, на его границе формировалось множество меандров и вихрей. Фронт Приморского течения чётких границ не имел, был сильно размыт. Граница Северо-Западного фронта на 132° в. д. проходила по $41^{\circ}50'$ с. ш. Язык тёплых вод между $42-43^{\circ}$ с. ш. прослеживался слабо. В зоне Субарктического фронта и к югу от него формировалось несколько синоптических вихрей антициклонической направленности.

Температура и солёность, водные массы в районе к юго-востоку от м. Поворотный приведены на стандартном разрезе «Сангарский». В результате радиационного прогрева сформировался слой повышенных градиентов температуры и солёности (термоклин), который находился в слое $5-50$ м. В западной части гидрологического разреза воды Приморского течения и ограничивающий их фронт прослеживались, в основном, только по солёности. На станции № 5 в слое $40-150$ м отмечалось ядро тихоокеанских вод с солёностью более $34,11\text{‰}$ и температурой более $+1,5^{\circ}\text{C}$. На TS-диаграмме выделены две разновидности северной япономорской водной массы (TS-кривые станций № 1–4 и 6–8) и тихоокеанская водная масса (TS-кривая станции № 5). Наибольшие расчётные скорости течений южных составляющих наблюдались в западной части разреза в области Приморского течения. Термический тип режима вод северо-западной части Японского моря в июне 2002 г. оценён как «тёплый».

2004 г. Северо-Западный фронт на 132° в. д. проходил по широте $42^{\circ}15'$ с. (рис. 4). Субарктический фронт на участке между $130-137^{\circ}$ в. д. занимал северное положение, чётко выделялся, что свидетельствовало о границах распространения тихоокеанских вод на север. В этих границах обнаруживали себя и вихре-

вые дорожки по 132° в. д. и 134° в. д., вплоть до $41^{\circ}30'-42^{\circ}00'$ с. ш. Язык тёплых вод, направленный с востока к берегам Приморья, проявлялся по 43° с. ш. в виде узких меандров, ориентированных в сторону побережья и находился севернее среднемноголетнего положения. Приморское течение обнаруживало себя узкой полосой вдоль побережья Приморья. Чётко прослеживалась (севернее 43° с. ш.) извилистая линия фронта Приморского течения. На участке между $44^{\circ}30'-45^{\circ}30'$ с. ш. течение прерывалось. На гидрологическом разрезе по 132° в. д. фронт Приморского течения не прослеживался. В результате радиационного прогрева к югу от полуострова Муравьёва-Амурского сформировался слой повышенных градиентов температуры и солёности (термоклин и галоклин), которые располагались в слое $10-50$ м. Между станциями № 7–8 происходило разделение термоклина на нижний (температура $+2 - +5^{\circ}\text{C}$) в слое $40-50$ м, и верхний, который выходил на поверхность (температура $+6 - +13^{\circ}\text{C}$). Ниже термоклина на горизонтах $20-50$ м в районе станций № 9 и № 12 обнаружено присутствие очагов тихоокеанских вод высокой солёности ($34,10\text{‰}$). На статистической диаграмме TS-кривые станций № 1–8 и 10–11 показали две разновидности северной япономорской водной массы. TS-кривые станций № 9 и № 12 отличались наличием верхнего прогретого и сильно распреснённого слоя, а на подповерхностных горизонтах — ядром с повышенной солёностью (характерным признаком тихоокеанской водной массы). Наибольшие расчётные скорости течений южных составляющих (более 11 см/с) наблюдались в районе свала глубин зал. Петра Великого в области Приморского течения. Термический тип режима вод северо-западной части Японского моря в июне 2004 г. оценён как «тёплый».

2005 г. Субарктический фронт занимал среднемноголетнее положение. Северо-Западный фронт между $131-132^{\circ}$ в. д. проходил по $42^{\circ}-42^{\circ}10'$ с. ш., а на 133° в. д. — опускался на юг до $41^{\circ}30'$ с. ш. Юго-западный фронт также занимал среднемноголетнее положение, в целом по 40° с. ш. В западной части моря тихоокеанские воды активно распространялись на север до $42^{\circ}-42^{\circ}10'$ с. ш. В межфронталь-

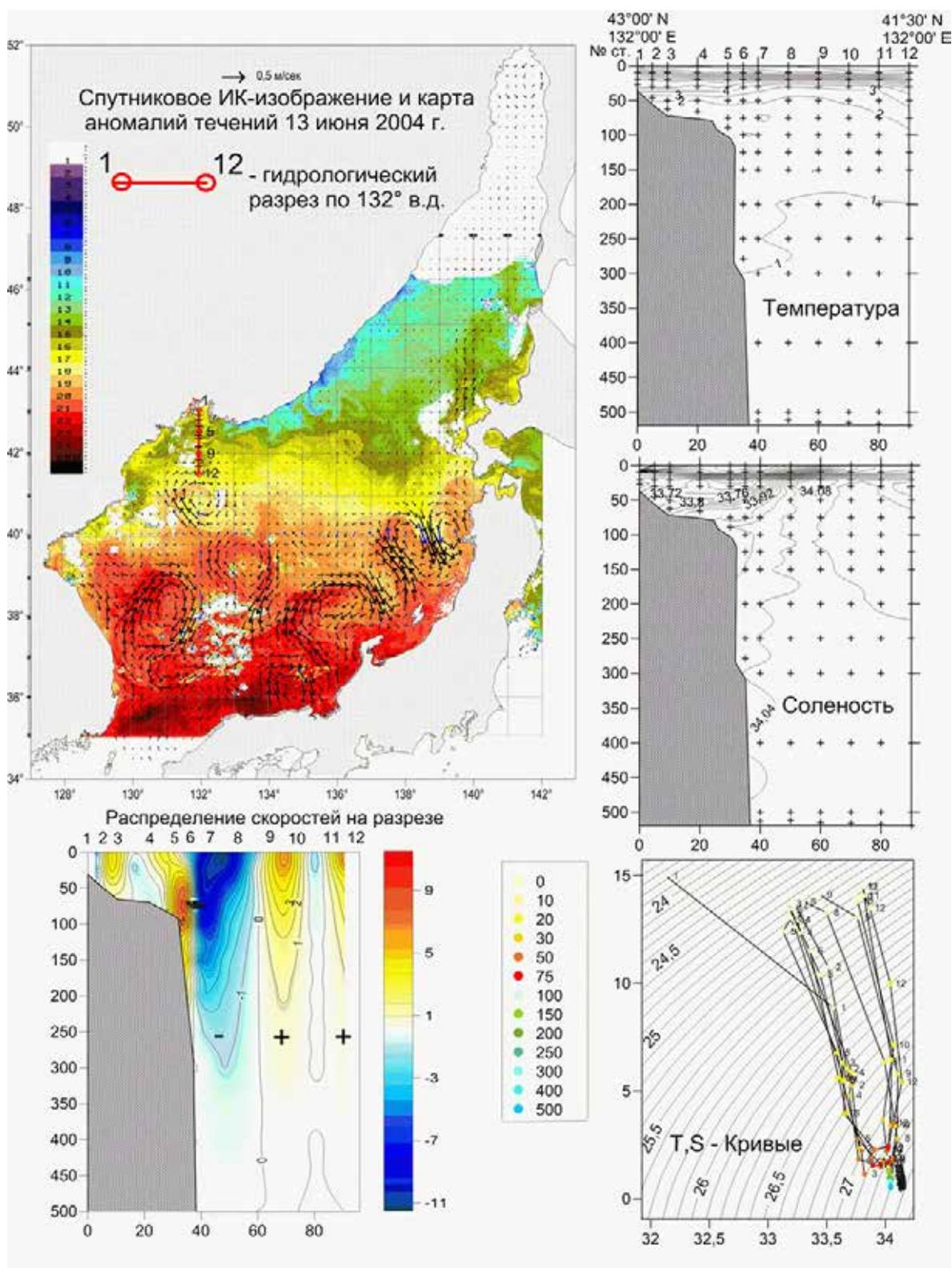


Рис. 4. Океанологическое состояние вод Японского моря в июне 2004 г. Обозначения как на рис. 1

ной зоне отмечено множество мезомасштабных вихрей, в структуре которых находились и вихревые дорожки по 131° и 134° в. д. Вдоль побережья Южного Приморья прослеживалось Приморское течение. Наиболее холодные участки отмечались между $44^\circ 30'$ – $45^\circ 30'$ с. ш. Воды этого течения обнаруживали себя также вдоль свала глубин зал. Петра Великого и далее вдоль материка на юг до 41° с. ш. Приморский фронт проходил вдоль материка на расстоянии 15–30 км от берега. Цусимское течение было развито, значительная его часть проникала на север. Язык тёплых вод с востока на запад явно не был выражен, но в целом обнаруживал себя между 42° – 43° с. ш., однако не подходил очень близко к побережью Южного Приморья.

К юго-востоку от м. Поворотный на стандартном разрезе «Сангарский» прослеживался слой повышенных градиентов температуры и солёности воды между 10 и 50 метрами, образовавшийся в результате радиационного прогрева. Фронт Приморского течения прослеживался по температуре и солёности до глубин 75–100 м. На TS-диаграмме отмечались две модификации северной япономорской водной массы. Первая — TS-кривые станций № 1–2 и вторая — № 3–8. Наибольшие расчётные скорости течений южных составляющих наблюдались в западной части разреза в области Приморского течения. Термический тип режима вод северо-западной части Японского моря в июне 2005 г. определён как «норма».

2006 г. Северо-западный фронт Японского моря был слегка обострён и извилист. В прибрежной части моря он занимал положение, близкое к среднемноголетнему, а восточнее — соответствовал северному положению. Юго-западный фронт занимал среднемноголетнее положение или немного северней его, в целом фронт проходил по 40° с. ш. Интенсивность Восточно-Корейского течения примерно также соответствовала среднемноголетнему уровню. В межфронтальной зоне проявлялось множество мезомасштабных вихрей различных направлений. Термодинамическая структура вод северо-западной части моря была слегка размыта, но все же прослеживалась. Отчётливо выделялась вихревая дорожка по 134° в. д., интенсивность её несколько

превышала среднемноголетний уровень, а её воды достигали $42^\circ 00'$ с. ш. Интенсивность вихревой дорожки по 131° в. д. тождественна среднемноголетней. Приморское течение вдоль побережья прослеживалось узкой полосой, было прижато к побережью. На траверзе зал. Петра Великого течение проходило вдоль свала глубин и далее узкой полосой вдоль побережья на юг до $40^\circ 30'$ с. ш. Линия фронта слегка извилиста, прослеживалась в южной части хорошо. Язык тёплых вод явно не был выражен, но в целом соответствовал среднемноголетнему положению. На востоке интенсивность Цусимского течения также соответствовала среднемноголетней.

На разрезе «Сангарский» прослеживался слой повышенных градиентов температуры и солёности воды между 10 и 50 метрами (термоклин и галоклин), образовавшийся в результате радиационного прогрева. Термохалинные характеристики фронта Приморского течения на разрезе размыты. В слое 0–20 м отмечались относительно тёплые (9 – 12°C) и малосолёные (ниже $33,6\text{‰}$) воды. TS-кривые станций № 1–5, 8 показали наличие северной япономорской водной массы. Группа TS-кривых станций № 6–7 характеризовалась ядром высокой солёности в подповерхностном слое 50–100 м, что явилось свидетельством, по крайней мере, трансформированной тихоокеанской водной массы. Наибольшие расчётные скорости южных составляющих течений (более $17,0$ см/с) наблюдались в западной части разреза в области Приморского течения. Тип термического режима вод северо-западной части Японского моря в июне 2006 г. — «норма».

2007 г. Северо-Западный фронт Японского моря фиксировался чётко и на 131° в. д. достигал $42^\circ 10'$ с. ш., что соответствовало его северному положению. В западной части фронтальной зоны среди множества мезомасштабных вихрей прослеживались вихревые дорожки по 131° и 134° в. д. Особенно чётко прослеживалась вихревая дорожка по 131° в. д., воды которой интенсивно распространялись до свала глубин зал. Петра Великого и далее вдоль побережья в западную часть Амурского зал. Вихревая дорожка вдоль 134° в. д. проявлялась несколько слабее первой, но в целом поток тихоокеанских вод на север на участке

между $130\text{--}137^\circ$ в. д. был сильно развит и достигал $42^\circ 10'$ с. ш. Интенсивность Цусимского течения была высокая, что выражалось в значительном проникновении тихоокеанских вод в северную часть моря (и Татарский пролив). Язык тёплых вод с востока на запад явно не был выражен, присутствие тихоокеанских вод отмечалось только в юго-восточной части Японского моря.

Приморское течение было прерывистое, чётких границ не имело и представлялось узкой полосой шириной 20 км. Течение прижималось к побережью, а в районе 44° с. ш. отклонялось на юг до $42^\circ 50'$ с. ш. В зал. Петра Великого в районе свала глубин воды Приморского течения также прослеживались. На гидрологическом разрезе фронт Приморского течения отмечался только по солёности. TS-диаграмма для станций № 1–8 показала две разновидности северной япономорской водной массы (TS-кривые станций № 1 и № 2–8). Наибольшие расчётные скорости течений южных составляющих наблюдались в западной части разреза в области Приморского течения. Тип термического режима вод северо-западной части Японского моря в июне 2007 г. — «тёплый».

2008 г. Северо-Западный фронт на участке между $131^\circ\text{--}135^\circ$ в. д. достигал $42^\circ 05'$ с. ш., что соответствовало его северному положению (рис. 5). Проявлялись и вихревые дорожки по 131 и 134° в. д., что характерно для развитого Восточно-Корейского течения. Особенно чётко прослеживалась вихревая дорожка по 131° в. д., благодаря чему тихоокеанские воды проникали в зал. Петра Великого. Приморское течение прослеживалось вдоль всего побережья Южного Приморья узкой полосой шириной 50 км. В водах Приморского течения формировалось множество (до 14 единиц) вихревых мезомасштабных образований. Анализ спутниковых ИК-изображений показал, что формирование мезомасштабных вихрей разных знаков вдоль Южного Приморья связано с сильными и продолжительными ветрами, вызывающими апвеллинг вдоль побережья и водообмен шельфовой зоны с открытым морем.

Значительная часть тёплых вод Цусимского течения проникала в северную часть моря, в частности, в район м. Золотой, что явилось

свидетельством его высокой интенсивности. Язык тёплых вод с востока на запад явно не был выражен, располагался севернее среднемноголетнего положения и был ориентирован примерно между 43° и 44° с. ш. Наиболее хорошо структура вод Приморского течения на гидрологическом разрезе проявлялась по солёности. TS-кривые для станций № 1–3 разреза «Сангарский» показали существование северной япономорской водной массы, а TS-кривые станций № 4–8 — тихоокеанской. Отличительным признаком этой водной массы явилось присутствие в подповерхностном слое 50–100 м ядер высокой солёности ($34,10\text{‰}$). Наибольшие расчётные скорости течений южных составляющих наблюдались в западной части разреза в области Приморского течения. Тип термического режима вод северо-западной части Японского моря в июне 2008 г. — «норма».

2010 г. Субарктический фронт в западной части Японского моря занимал северное положение. Севернее этого фронта на участке между 41° и 42° с. ш. и $133\text{--}138^\circ$ в. д. сформировалась холодная область, отражающая крупный циклонический круговорот. Восточно-Корейское течение развито слабо, отдельные его ветви распространялись на север лишь до 40° с. ш. При этом наблюдался интенсивный приток тихоокеанских вод вдоль траекторий, ориентированных с юго-востока на северо-запад. Хорошо прослеживались отдельные вихри по 131° в. д. Приморское течение отмечалось только к северу от $44^\circ 30'$ с. ш., где его воды занимали обширные акватории. Интенсивность Цусимского течения не выходила за пределы среднемноголетнего уровня. В Татарский пролив его воды проходили слабо, только незначительная часть их проникала вдоль острова Сахалин на север и в пролив Лаперуза. Основная часть вод северной ветви Цусимского течения на широте м. Камои отклонялась в сторону материка.

На разрезе «Сангарский» прослеживался слой повышенных градиентов температуры воды в слое 5–40 м (термоклин), образовавшийся в результате радиационного прогрева. Приморское течение, Приморский фронт прослеживались в западной части гидрологического разреза и только по солёности, между

станциями № 1–2. TS-кривые для станций № 1–8 показали наличие одной северной япономорской водной массы. Наибольшие расчётные скорости течений южных составляющих наблюдались в западной части разреза в области Приморского течения. Тип термического режима в северо-западной части Японского моря в июне 2010 г. — «тёплый».

2012 г. Приморское течение хорошо прослеживалось вдоль побережья на участках между 43–44° с. ш. и в зал. Петра Великого, где южная граница течения определялась не только свалом глубин, но и выходила за его пределы практически до 42° с. ш. Язык тёплых вод с востока прослеживался по 43° с. ш. Интенсивность Цусимского течения в восточной части в целом соответствовала среднепогодному уровню. Здесь следует отметить, что на участке между 41° и 46° с. ш. в сторону материка формировалось множество тёплых узких меандров, чем и объясняется наличие тёплых вод к северу от 44° с. ш. Обнаруживали себя вихревые дорожки по 131° и 134° в. д., которые достигали 41°40' и 41°20' с. ш., соответственно. Северо-западный фронт Японского моря на 132° в. д. в целом занимал среднепогодное положение. В межфронтальной зоне формировалось множество вихрей различной направленности, что указывало на повышенную динамическую активность района. На разрезе «Сангарский» прослеживался слой повышенных градиентов температуры воды 5–30 м (термоклин), образовавшийся в результате радиационного прогрева. На станции № 1 происходило заглубление термоклина, нижняя граница которого опустилась до 100 м. Приморское течение и фронт Приморского течения отражались в западной части гидрологического разреза по солёности между станциями № 1 и 2. TS-диаграмма показала две разновидности северной япономорской водной массы (TS-кривая станции № 1 и TS-кривые станций № 2–8). Наибольшие расчётные скорости течений южных составляющих (более 14,0 см/с) наблюдались в западной части разреза в области Приморского течения. Термический тип режима вод северо-западной части Японского моря в июне 2012 г. — «норма». Таким образом, в июне среди рассмотренных лет к тёплому типу отнесены 2002, 2004,

2007, 2010 гг., а все остальные — 2005–2006, 2008, 2012 — к нормальному типу лет.

Возможное влияние термических условий в северо-западной части Японского моря на состояние запасов приморской популяции минтая

В северо-западной части Японского моря одним из массовых промысловых видов рыб является минтай *Theragra chalcogramma* (Pallas, 1811). Основу его запасов составляет популяция, нерест которой проходит в зимне-весенний период в зал. Петра Великого и сопредельных водах Южного Приморья [Нуждин, 1987; 1998]. Минтай характеризуется значительными колебаниями запасов. Из многих абиотических факторов, влияющих на процессы формирования рыбопродукции, одним из главных является температура воды [Никольский, 1974; Шунтов, 2001]. Это вызвано тем, что в отличие от других внешних факторов, воздействие температуры у водных пойкилотермных животных через изменение интенсивности обмена веществ на всех этапах жизненного цикла, включая и эмбриональный период, определяет скорость метаболических процессов [Строганов, 1962; Шатуновский, 1980]. Поскольку наиболее высокая смертность у рыб с пелагической икрой наблюдается на ранних стадиях онтогенеза, в большинстве публикаций, посвящённых изучению формирования численности поколений минтая, основное внимание авторы уделяли поиску связи между мощностью рождающихся поколений и термическим режимом вод в период нереста. Большинство исследователей отмечали, что урожайные поколения весеннерестующего минтая появляются в более тёплые годы. Данная зависимость, в частности, отмечена у северояпономорского, западно- и восточнокамчатского, восточноберингоморского, восточнокорейского, а также южноприморского минтая. Поэтому начавшееся в 80-е годы прошлого столетия в Японском море потепление, казалось бы, должно положительно отразиться на состоянии его запасов в данном бассейне. Однако, произошла обратная тенденция — повсеместное снижение эффективности воспроизводства минтая как

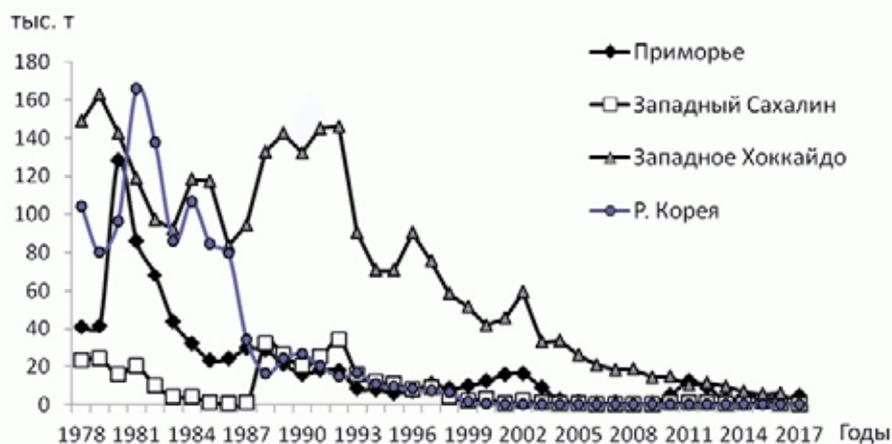


Рис. 6. Динамика вылова минтая в Японском море

в материковых водах, так и вдоль восточного побережья. Являясь высоко-бореальным видом, минтай приспособился нереститься в холодный период года [Световидов, 1948]. Поэтому у южных границ ареала повышение теплосодержания водных масс отрицательно сказалось на состоянии его запасов, что отразилось в объёмах вылова (рис. 6).

В новом столетии у приморского минтая сверхурожайное и урожайное поколения появились в 2006 и 2014 гг., которые по полученным данным отнесены по термодинамике вод к нормальному типу лет. Самым же низкоурожайным является поколение 2004 г., которое сформировалось в тёплый тип лет. Поэтому колебания температуры воды только опосредованно, в первую очередь через биоту, могут влиять на степень выживания минтая на ранних стадиях онтогенеза и формирование численности годовых классов. В результате и в годы положительных её аномалий не исключена возможность рождения как урожайных, так и малочисленных поколений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ термодинамических условий в Японском море в мае-июне 2000–2017 гг. позволил типизировать весенние сезоны в Японском море по основному признаку — термическому состоянию вод. Кроме спутниковых изображений поверхностных океанологических структур, принималась во внимание также температура подповерхностного слоя

50–200 м на стандартных разрезах. Сравнительный анализ термического режима вод по спутниковым и судовым данным показал хорошее сходство (рис. 7).

Первый тип — холодный

Ни один из рассмотренных лет (период апрель-май 2000–2017 гг.) не вошёл в этот тип. Тем не менее, в весенний период отмечалось сильное развитие Приморского течения, которое прослеживалось вдоль побережья и отчётливо проявлялось как на спутниковых изображениях, так и по данным гидрологического разреза «Сангарский». Наиболее холодные участки воды прижимались к берегу, а в районе зал. Петра Великого их южная граница определялась не только свалом глубин, но и выходом за его пределы практически до 41° с. ш. Северо-Западный фронт в западной части Японского моря в целом занимал положение от южного до среднемноголетнего. При этом интенсивность Цусимского течения в восточной части варьировала от низкого до среднемноголетнего уровня. Язык тёплых вод в целом был развит слабо, практически не проявлялся.

Второй тип — тёплый

Ко второму типу термодинамических условий северо-западной части Японского моря следует отнести следующие годы: май-июнь 2001–2002, 2004, 2007, 2010, 2017. В эти годы Северо-Западный фронт занимал северное положение. Приморское течение было

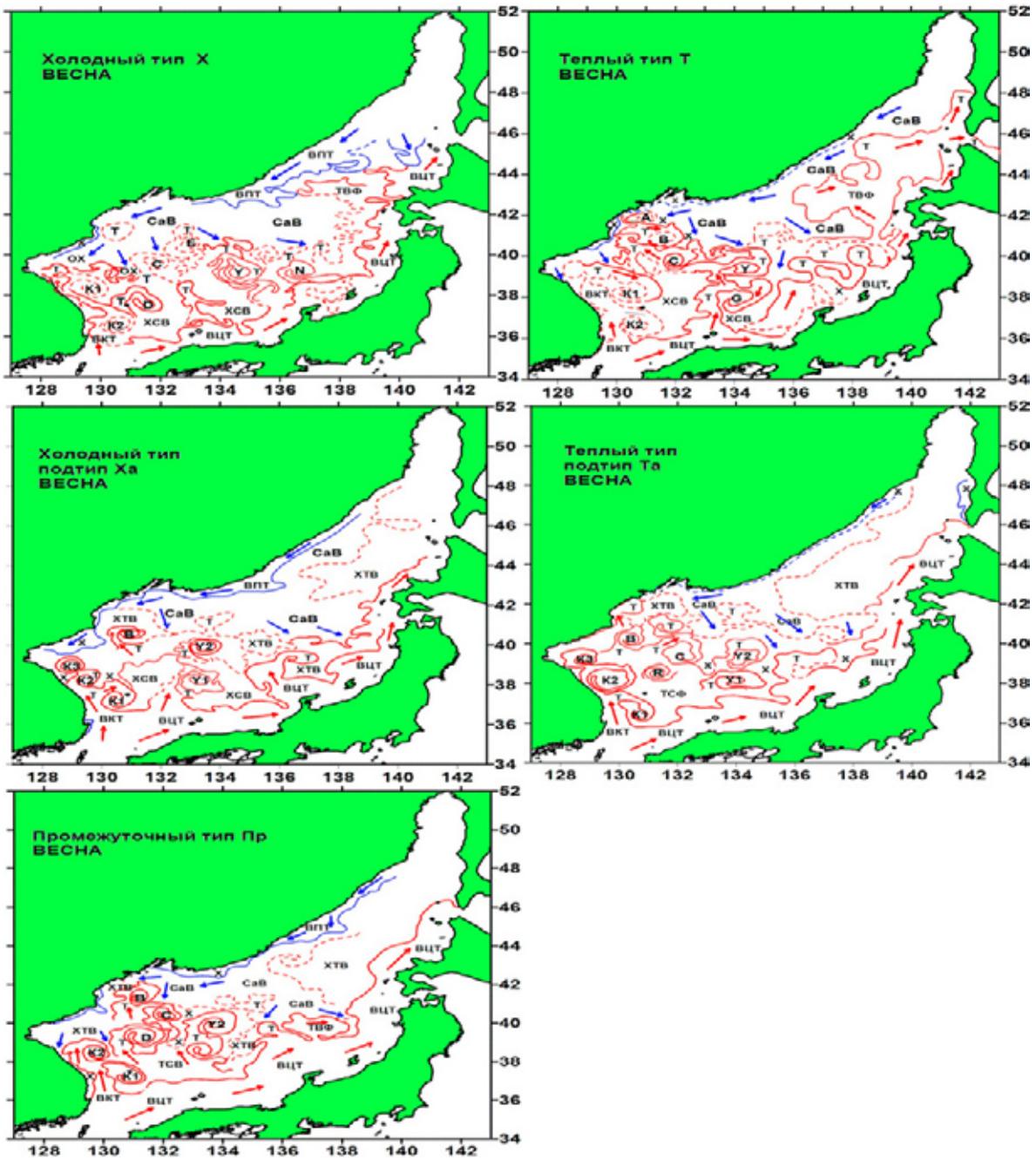


Рис. 7. Типы термодинамических условий — структура фронтов и вихрей Японского моря в весенний период: ВЦТ — воды Цусимского течения; ТСВ — тёплые субтропические воды; ХСВ — холодные субтропические воды; ВКТ — Восточно-Корейское течение; ТВФ — тёплые воды фронта; ХВФ — холодные воды фронта; ХТВ — холодные трансформированные воды; Т — тёплые воды; ВПТ — воды Приморского течения; ХПВ — холодные прибрежные воды; CaB — субарктические воды; ТВ — тёплые воды; X — холодные воды; OX — относительно холодные воды; A, K1,.... — антициклонические вихри

развито слабо, практически не прослеживалось или обнаруживалось узкой полосой вдоль Приморья. Для этих млет было характерно сильно развитое Восточно-Корейское течение. Интенсивность Цусимского течения варьиро-

вала от среднемноголетнего уровня до высокого, значительная часть тёплых вод проникала в северную часть моря. Язык тёплых вод был ориентирован с востока на запад, чётко прослеживался вдоль 42°30' с. ш.

Третий тип — норма

К третьему типу термодинамических условий северо-западной части Японского моря можно отнести следующие годы: 2000, 2003, 2005—2006, 2008—2009, 2011—2016. В эти годы Приморское течение прослеживалось вдоль побережья узкой полосой. На спутниковых картах линия Приморского фронта была извилиста, фиксировалась чётко. Северо-Западный фронт был слегка обострён и сильно извилист, занимал в целом среднемноголетнее положение. Юго-Западный фронт занимал южное положение. В межфронтальной зоне проявлялось множество мезомасштабных вихрей различных направлений. Интенсивность Восточно-Корейского течения примерно соответствовала среднемноголетнему уровню, что в целом сказалось на положении Субарктического фронта. В целом термодинамическая структура северо-западной части была слегка размыта. Отчётливо выделялись вихревые дорожки на участке между 130° — 134° в. д., прослеживались вплоть до $42^{\circ}10'$ и $41^{\circ}40'$ с. ш. Язык тёплых вод был развит умеренно, находился немного севернее среднемноголетнего положения.

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.

Зубов Н.Н. 1926. Средние температуры гидрологической станции и гидрологического разреза // Записки по гидрографии. Т. 51. С. 169—174.

Леонов А.К. 1960. Японское море // Региональная океанография. Часть 1. М.: Гидрометеоздат. С. 291—463.

Лобанов В.Б., Пономарев В.И., Салюк А.Н., Тищенко Т.Я., Тэлли Л.Д. 2007. Структура и динамика синоптических вихрей северной части Японского моря // Дальневосточные моря России. Кн. 1: Океанологические исследования. М.: Наука. С. 450—473.

Лучин В.А., Манько А.Н. 2003. Водные массы // Гидрометеорология и гидрохимия морей. Т. VIII. Японское море. Вып. 1. Гидрометеорологические условия. СПб.: Гидрометеоздат. С. 243—256.

Никитин А.А., Дьяков Б.С. 2016. Океанологические исследования северо-западной части Японского моря по спутниковой информации и по данным стандартного океанографического разреза в зимние сезоны 2000—2015 гг. // Труды ВНИРО. Т. 164. С. 86—99.

Никольский Г.В. 1974. Теория динамики стада рыб как биологическая основа рациональной эксплуатации и воспроизводства рыбных ресурсов. М.: Пищ. пром-сть. 447 с.

Нуждин В.А. 1987. Распределение икры и личинок минтая в северо-западной части Японского моря // Популяционная структура, динамика численности и экология минтая. Владивосток: ТИНРО. С. 74—80.

Нуждин В.А. 1998. Минтай северо-западной части Японского моря — особенности биологии, размножения, промысел // Известия ТИНРО. Т. 123. С. 53—73.

Радзиховская М.А. 1961. Водные массы Японского моря. В кн.: Основные черты геологии и гидрологии Японского моря. М.: АН СССР. С. 108—131.

Световидов А.Н. 1948. Трескообразные. Фауна СССР. Рыбы. М. — Л.: АН СССР. Т. 9. Вып. 4. 222 с.

Строганов Н.С. 1962. Экологическая физиология рыб. М.: МГУ. 441 с.

Шатуновский М.И. 1980. Экологические закономерности обмена веществ морских рыб. М.: Наука. 283 с.

Шунтов В.П. 2001. Биология дальневосточных морей. Владивосток: ТИНРО-центр. Т. 1. 580 с.

AVISO+. Accessible via: <https://www.aviso.altimetry.fr/en/home.html>, <https://www.aviso.altimetry.fr/en/data.html>. 04.10.2018

Поступила в редакцию 19.04.2018 г.
Принята после рецензии 10.07.2018 г.

Habitat of aquatic biological resources
Diagnosis and forecasting of habitat conditions of hydrobio

**A study of oceanographic conditions in the northwestern
Japan Sea in the spring seasons 2000–2017**

A.A. Nikitin, B.S. Djakov, A.V. Kapshiter, V.A. Nuzhdin

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

Analysis of oceanological conditions in the Japan Sea was carried out by satellite and ship information in May–June 2000–2017. Satellite data is represented by the sea surface images in the infrared and optical bands, and the ship information is represented by deep-sea measurements of temperature and salinity at standard oceanographic cross sections. According to altimetric data, maps of the sea level anomalies were constructed with the aim to identify geostrophic circulation in the springs of the years under study. The joint use of satellite and oceanographic information allowed to execute a three-dimensional analysis of oceanological structures (currents, fronts and their sections, anticyclones and water masses). As a result of this work, the typification of the spring seasons 2000–2017 to three groups — the water thermodynamics, the position of oceanographic structures on satellite maps and on the oceanographic sections was performed. The dominant feature of typification is the water thermal state. It is shown that the water temperature fluctuations can influence the survival rate of walleye pollock in the early stages of ontogeny and the formation of annual classes abundance only indirectly, primarily through biota.

Keywords: Japan Sea, satellite images, oceanological structures, water thermodynamics, standard section, temperature, salinity, water masses, walleye Pollock *Theragra chalcogramma*.

REFERENCES

- Aleksanin A.I., Aleksanina M.G.* 2006. Monitoring termicheskikh struktur poverhnosti okeana po dannym IK-kanala sputnikov NOAA na primere Prikuril'skogo rajona Tihogo okeana [Monitoring of thermal structures of the ocean surface according to the IR channel of NOAA satellites on the example of the Prikuril'sky district of the Pacific ocean] // *Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa. Fiziche-skie osnovy, metody i tekhnologii monitoringa okruzhayushchej sredy, potencial'no opasnykh yavlenij i ob'ektov*. Vyp. 3. T. 2. M.: Azbuka-2000. S. 9–15.
- Bulatov N.V.* 1984. Rekomendacii po ispol'zovaniyu sputnikovyykh IK snimkov v okeanologicheskikh issledovaniyah [Recommendations on the use of satellite IR images in ocean research]. Vladivostok: TINRO. 43 s.
- Zubov N.N.* 1926. Srednie temperatury gidrologicheskoy stancii i gidrologicheskogo razreza [Average temperature of hydrological station and hydrological section] // *Zapiski po gidrografii*. T. 51. S. 169–174.
- Leonov A.K.* 1960. Yaponskoe more [The Japan Sea] // *Regional'naya okeanografiya*. Chast' 1. M.: Gidrometeoizdat. S. 291–463.
- Lobanov V.B., Ponomarev V.I., Saljuk A.N., Tishchenko T. Ya., Tehlli L.D.* 2007. Struktura i dinamika sinopticheskikh vihrej severnoj chasti Yaponskogo moray [Structure and dynamics of synoptic eddies of the Northern part of the Japan Sea] // *Dal'nevostochnye*

- morya Rossii. Kn. 1: Okeanologicheskie issledovaniya. M.: Nauka. S. 450–473.
- Luchin V.A., Man'ko A.N.* 2003. Vodnye massy [Water masses] // *Gidrometeorologiya i gidrohimiya morej*. T. VIII. Yaponskoe more. Vyp. 1. *Gidrometeorologicheskie usloviya SPb.: Gidrometeoizdat*. S. 243–256.
- Nikitin A.A., D'yakov B.S.* 2016. Okeanologicheskie issledovaniya severo-zapadnoj chasti Yaponskogo morya po sputnikovoj informacii i po dannym standartnogo okeanograficheskogo razreza v zimnie sezony 2000–2015 gg. [Marine studies of the North-Western part of the Japan Sea on satellite information according to standard Oceanographic section in the winter seasons 2000–2015] // *Trudy VNIRO*. T. 164. S. 86–99.
- Nikol'skij G.V.* 1974. Teoriya dinamiki stada ryb kak biologicheskaya osnova racional'noj ehkspluatacii i vosproizvodstva rybnih resursov [The theory of fish herd dynamics as a biological basis for rational exploitation and reproduction of fish resources]. M.: Pishch. prom-st'. 447 s.
- Nuzhdin V.A.* 1987. Raspredelenie ikry i lichinok mintaya v severo-zapadnoj chasti Yaponskogo morya [Distribution of caviar and Pollock larvae in the North-Western part of the sea of Japan] // *Populyacionnaya struktura, dinamika chislennosti i ehkologiya mintaya*. Vladivostok: TINRO. S. 74–80.
- Nuzhdin V.A.* 1998. Mintaj severo-zapadnoj chasti Yaponskogo morya — osobennosti biologii, razmnozheniya, promysel [Pollock of the North-Western part of the Japan Sea — features of biology, reproduction, fishing] // *Izvestiya TINRO*. T. 123. S. 53–73.
- Radzihovskaya M.A.* 1961. Vodnye massy Yaponskogo morya [Water masses of the Japan Sea] // *Osnovnye cherty geologii i gidrologii Yaponskogo morya*. M.: AN SSSR. S. 108–131.
- Svetovidov A.N.* 1948. Treskoobraznye Ryby [Gadiformes]. Fauna SSSR. M.-L.: AN SSSR. T. 9. Vyp. 4. 222 s.
- Stroganov N.S.* 1962. Ehkologicheskaya fiziologiya ryb [Environmental physiology of fishes]. M.: MGU. 441 s.
- Shatunovskij M.I.* 1980. Ehkologicheskie zakonomernosti obmena veshchestv morskih ryb [Environmental physiology of marine fishes]. M.: Nauka. 283 s.
- Shuntov V.P.* 2001. Biologiya dal'nevostochnyh morej [Biology of the Far East Seas]. Vladivostok: TINRO-tsentser. T. 1. 580 s.
- AVISO⁺. Accessible via: <https://www.avis.altimetry.fr/en/home.html>, <https://www.avis.altimetry.fr/en/data.html>. 04.10.2018

FIGURE CAPTIONS

Fig. 1. Oceanographic state of the waters of the Japan Sea in May 2009. The minus sign is directed to the South, plus — to the North.

Fig. 2. Oceanographic state of the waters of the sea of Japan Sea in May 2013: The color scale to the right of the top picture is the water temperature in degrees C°.

Fig. 3. The Oceanographic state of the waters of the Japan Sea in May 2016 is Indicated as in fig. 1.

Fig. 4. The Oceanographic state of the waters of the Japan Sea in June 2004 is Indicated as in fig. 1.

Fig. 5. The Oceanographic state of the waters of the Japan Sea in June 2008 is Indicated as in fig. 1.

Fig. 6. Dynamics of Pollock catch in the Japan Sea.

Fig. 7. Types of thermodynamic conditions, the structure of fronts and eddies of the Japan Sea in spring:

WTC — waters of the Tsushima stream; WSW — warm subtropical water; facilitate its use — cold subtropical water; EKК — East-Korean current; TWF — warm water front; CWF — cold water front; x — transformed water cold; T — warm water; WCC — water coastal currents; CCW — cold coastal waters; SAW — subarctic water; TW — warm water; X — cold water; OC is a relatively cold water; A, K1, ... — anticyclonic eddies.