© Шевченко Г.В., Цхай Ж.Р., Частиков В.Н., 2020, Океанологические исследования, 2020, Том 48, № 2, С. 51–68

УДК 551.465.5 DOI: 10.29006/1564-2291.JOR-2020.48(2).4

ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ НА ЮГО-ВОСТОЧНОМ ШЕЛЬФЕ О. САХАЛИН ПО ДАННЫМ СЪЕМОК НА СТАНДАРТНЫХ РАЗРЕЗАХ И СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Шевченко[1,2] Г.В., Цхай[1] Ж.Р., Частиков[1] В.Н.

[1] Сахалинский НИИ рыбного хозяйства и океанографии,
693022, г. Южно-Сахалинск, ул. Комсомольская 196;
e-mail: Shevchenko_zhora@mail.ru
[2] Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН,
693023, г. Южно-Сахалинск, ул. Науки 1-Б
Статья поступила в редакцию 27.04.2020, одобрена к печати 28.08.2020

Проанализированы среднемесячные распределения температуры и солености на 7 стандартных разрезах, пересекающих акваторию у юго-восточного побережья о. Сахалин, построенные для навигационного периода (июнь–ноябрь, данные собраны в период с 1948 по 2011 гг.). Наиболее значимые сезонные изменения океанологических условий происходят осенью, когда транспортируемая Восточно-Сахалинским течением модифицированная амурская вода заполняет северную и западную части акватории, и наблюдается заглубление поверхностных вод до глубины 50 м. Межгодовые вариации термических условий определялись по спутниковым данным за 1998–2018 гг. В весенние месяцы в 1998–2002 гг. преобладали положительные аномалии, а в 2011–2018 гг. – отрицательные, летом температура поверхностного слоя более стабильна. Пространственное распределение первой моды, полученной методом разложения по естественным ортогональным функциям по спутниковым данным, идентично распределению температуры воды в поверхностном слое по данным судовых съемок и характеризуется более высокими значениями в северной и западной мелководных и юго-восточной глубоководной частях изучаемого района. В ее амплитуде прослеживаются циклические вариации с периодом 6–7 лет, выраженные в модуляции годовой гармоники. В амплитуде второй моды большой интерес представляет климатический сдвиг, произошедший в 2010 г. и выраженный в изменении ее знака с положительного на отрицательный.

Ключевые слова: температура, соленость, речной сток, холодный промежуточный слой, аномалия, естественные ортогональные функции

Введение

Обширная зона шельфа и материкового склона, прилегающая к юго-восточному побережью о. Сахалин, имеет важнейшее промысловое значение, прежде всего, с точки зрения вылова тихоокеанских лососей. Достаточно сказать, что именно на реках этого побережья находится основное количество лососевых рыбоводных заводов в области, а в прибрежье выставляется значительное число ставных неводов для вылова горбуши и кеты. В этом районе также ведется активная добыча камбал, трески, наваги и других видов рыб, а также беспозвоночных.

В силу важного промыслового значения, исследование особенностей гидрологического режима данной акватории, сезонной и межгодовой изменчивости океанологических условий представляет значительный интерес. Этот район находится в области влияния Восточно-Сахалинского течения (ВСТ), ослабевающего летом и активизирующегося осенью при перестройке поля ветра от летнего к осеннему муссону (Гидрометеорология, 1998; Като и др., 2001). Именно осенью здесь происходит кардинальная перестройка полей температуры и особенно солености в результате транспортирования ВСТ распресненной модифицированной воды стока реки Амур с северо-восточного шельфа острова, характер распределения которой у юго-восточного побережья еще недостаточно изучен (Власова и др., 2008; Шевченко, Частиков, 2008).

Для характеристики сезонных вариаций температуры и солености ранее уже использовались средние многолетние значения океанологических параметров по измерениям на стандартных разрезах (Пищальник, Архипкин, 1999; Пищальник и др., 2003), в том числе вертикальные распределения на разрезах м. Анива – м. Докучаева (Шевченко, Частиков, 2007), а также Макаров – м. Георгия и м. Свободный – море (Шевченко, Частиков, 2008) (разрезы VII, II и V на рис. 1). Однако из-за того, что подобные распределения были построены не на всех разрезах, описать типичные пространственные распределения температуры и солености в различные сезоны года в этих работах не удалось. В то же время это является весьма важным для понимания особенностей гидрологического режима (в частности, характера распределения модифицированной воды стока реки Амур в пределах изучаемой акватории), что и было одной из основных задач данной работы.

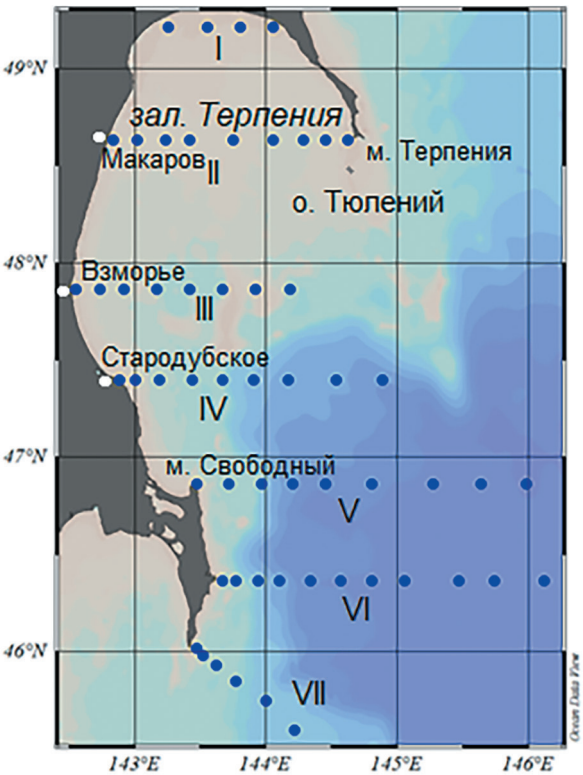

Рис. 1. Схема стандартных океанологических разрезов на юго-восточном шельфе о. Сахалин.

Помимо судовых океанологических съемок, в последние годы важное значение для изучения сезонных и, что особенно важно в силу невозможности оценки по судовым съемкам, межгодовых вариаций температуры в поверхностном слое вод, являются спутниковые наблюдения. При помощи установленной в Сахалинском филиале ВНИРО спутниковой станции TeraScan® накоплен массив данных среднесуточных значений температуры поверхности Охотского моря, включая акваторию у юго-восточного берега о. Сахалин с пространственным разрешением четверть градуса за 1998–2018 гг., используя которые можно определить наиболее значительные отклонения от норм, выделить периоды и районы акватории юго-восточного Сахалина, в которых аномалии достигали наибольших значений и имели наибольшую статистическую значимость аналогично (Цхай, Шевченко, 2013).

Эти материалы представляли также возможность для изучения не только сезонных, но и межгодовых вариаций термического режима данного района, что было еще одной задачей данной работы.

Материалы наблюдений

Средние многолетние значения температуры и солености морской воды на 7 стандартных океанологических разрезах, пересекающих юго-восточный шельф о. Сахалин (рис. 1), были рассчитаны для различных месяцев навигационного периода (июнь–ноябрь) для стандартных горизонтов 0, 10, 20, 30, 50, 100, 200, 300 и 500 м (Пищальник, Бобков, 2000). Эти значения рассчитывались, если измерения на океанологической станции выполнялись в данном месяце не менее, чем в 7 экспедициях, большинство из которых было осуществлено в 1960–1970 гг. В этот период точность определений температуры морской воды составляла 0.01°C, солености, в зависимости от метода, 0.01 или 0.02 psu. Измерения солености выполнялись существенно реже, чем температуры (Пищальник, Бобков, 2000), в частности на разрезе I (г. Вахрушев – м. Пята) их не хватало для расчета средних многолетних значений для всех месяцев.

Указанные материалы являются наиболее предпочтительными для описания сезонных вариаций, так как при осреднении выделяются характерные, повторяющиеся год от года, структуры, а особенности, присущие отдельным, отличающимся от обычных, ситуациям – нивелируются. Ниже рассмотрены пространственные распределения океанологических параметров для различных сезонов года.

Для получения среднесуточных данных о температуре поверхности воды была использована информация, полученная станцией TeraScan® с искусственных спутников Земли Aqua, METOP-1 и серии NOAA. На основе полученных данных были построены карты средних месячных распределений температуры поверхности моря, рассчитаны средние многолетние значения (нормы) по 21-летнему ряду (1998–2018 гг.) (Цхай, Шевченко, 2013). Это позволило оценить отклонения средних значений по району для различных месяцев каждого года от рассчитанных этим

способом норм и оценить статистическую значимость аномалий, что позволило характеризовать межгодовую изменчивость данного параметра. Кроме того, для анализа закономерностей и выделения особенностей сезонных и межгодовых вариаций температуры поверхностного слоя, в данной работе к полученным массивам среднемесячных значений в акватории юго-восточного Сахалина был применен метод естественных ортогональных функций (далее – ЕОФ) (Багров, 1959). Для численной реализации этого метода использовалось программное обеспечение системы TeraScan®. В случае пропусков данных (таковые имеют место из-за влияния ледяного покрова в январе–марте) данный комплекс предусматривает заполнение недостающих величин средними многолетними значениями температуры воды в каждом таком четверть-градусном квадрате. В зимние месяцы эти значения изменяются в весьма узких пределах (от –1.4 до –1.7°C), поэтому данная процедура не сказывается существенно на точности разложения поля температур указанным методом.

Распределения температуры и солености по данным на стандартных разрезах

Изучаемая акватория включает обширную сравнительно мелководную область к северу от 48 параллели, прикрытую с северо-востока полуостровом Терпения и с востока каменистой подводной грядой с о. Тюлений на ее конце. От этого острова в юго-западном направлении протянулся хорошо выраженный свал глубин, подходящий к зал. Мордвинова и поворачивающий на юг в районе м. Свободный. К побережью Тонино-Анивского полуострова, расположенного южнее этого мыса, близко подходит Курильская глубоководная котловина, шельф здесь короткий и приглубый. Сложность донного рельефа и топографии береговой черты оказывает существенное влияние на формирование гидрологического режима, как и влияние речного стока, прежде всего, таких крупных водотоков, как Поронай и Найба, а также лагуны оз. Невское в северной части изучаемого района.

Весна (май–июнь)

В июне прогрев поверхностного слоя вод Охотского моря еще только начинается, наиболее теплая вода (около 8°C) наблюдается в прибрежной зоне в северной и в западной частях акватории (рис. 2а). Эта вода характеризуется также низкими значениями солености (около 31 psu, рис. 2б), что указывает на важную роль речного стока (прежде всего, одного из самых крупных водотоков Сахалина – реки Поронай) в их формировании. Это хорошо видно на рисунке, хотя для надежного расчета средних многолетних значений солености на самом северном разрезе I не хватало данных. Некоторое влияние может оказывать также таяние остатков ледяного покрова, хотя обычно акватория юго-восточного шельфа очищается ото льда в мае. В восточной части района, в особенности к югу от полуострова Терпения, отмечены более холодные (5–6°C) и соленые (32.2 psu) воды.

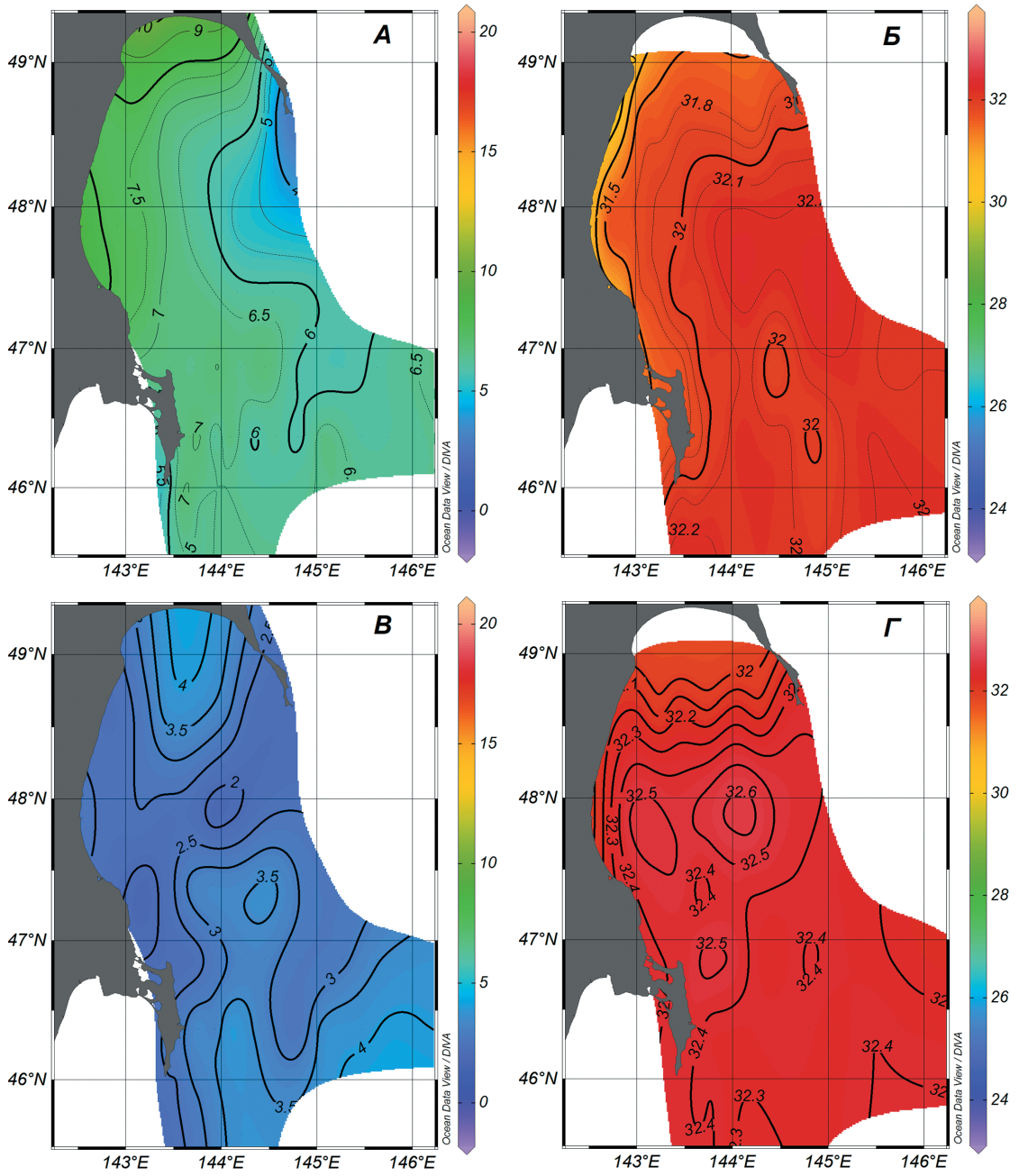

Рис. 2. Среднее многолетнее распределение температуры (°C, ***А***, ***В***) и солености (psu, ***Б***, ***Г***) на поверхности моря и на глубине 20 м у юго-восточного берега о. Сахалин по данным наблюдений на стандартных разрезах. Весна (июнь).

На горизонте 10 м структура полей температуры и солености сходная, только теплые воды в большей степени разделены на две зоны – южную и северную. Кроме того, появляется узкая полоса более холодной воды в прибрежье, в районе г. Макаров. Самые низкие значения солености отмечены также в прибрежной полосе между селами Взморье и Стародубское.

В более глубоких слоях распределения океанологических параметров более однородные, на всей акватории отмечена холодная соленая вода (пространственные

распределения на глубине 20 м представлены на рис. 2в, г). Самые низкие значения температуры (2–2.5°C) и высокие солености (32.5–32.6 psu) отмечены вдоль свала глубин на участке от о. Тюлений до зал. Мордвинова, наиболее теплые, более 4°C – в вершине залива Терпения и в юго-восточной части изучаемой акватории. Но если в первом случае соленость достаточно низкая, менее 32 psu, то в мористой части более высокая, около 32.4 psu.

Лето (июль–сентябрь)

В июле пространственное распределение температуры воды на поверхности моря имеет практически такую же структуру, что и весной. Наиболее теплая вода (13–14°C) отмечена в вершине залива Терпения, вблизи устья реки Поронай и протоки озера Невское. Также теплые воды наблюдаются в западной части акватории, вдоль побережья Сахалина. Некоторые локальные снижения температуры выделяются вблизи г. Макаров и с. Охотское.

В распределении солености обращает внимание сток вод относительно низкой солености из вершины залива Терпения в 3 направлениях: на юг вдоль берега, на юг, но мористее, а также на юго-восток, в направлении м. Терпения. В южной части залива Мордвинова и вблизи м. Свободный воды низкой солености, стекающие вдоль берега острова, образуют локальную линзу и далее на юг не распространяются. Здесь эта вода заглубляется, что хорошо прослеживается на глубине 10 м. Заглубление теплой воды с низкой соленостью происходит и в вершине залива Терпения, что обусловлено действием характерных для теплого сезона ветров южного и юго-западного румбов. Причина локализации и заглубления воды низкой солености в районе м. Свободный неясна, скорее всего, здесь основную роль играют особенности рельефа дна и топографии береговой черты. Физически более понятно формирование локального заглубления более холодной и соленой воды на траверзе села Взморье.

В августе происходят незначительные трансформации распределений температуры и солености в поверхностном слое, можно отметить максимальный прогрев (17–18°C) в прибрежной зоне в северной и западной частях изучаемой акватории (рис. 3а). Кроме того, поток теплой воды низкой солености из вершины залива Терпения в южном направлении заметно ослабевает, основное движение происходит в юго-восточном направлении (рис. 3б). Причем эта тенденция просматривается до глубины 20 м (рис 3в, 3г). Линза воды низкой солености в районе м. Свободный менее выражена, чем в июле, а в сентябре она окончательно исчезает. В этом месяце температура воды на поверхности моря несколько снижается и в целом выравнивается, более холодные воды отмечены только на небольшом участке в районе м. Терпения.

Выравнивается и распределение солености. В целом, значения данного параметра ниже в северной части изучаемой акватории, более соленые воды (32.5 psu) отмечены на юге и юго-востоке. В течение всего летнего сезона на глубинах свыше 30 м наблюдаются воды холодного промежуточного слоя (рис. 4).

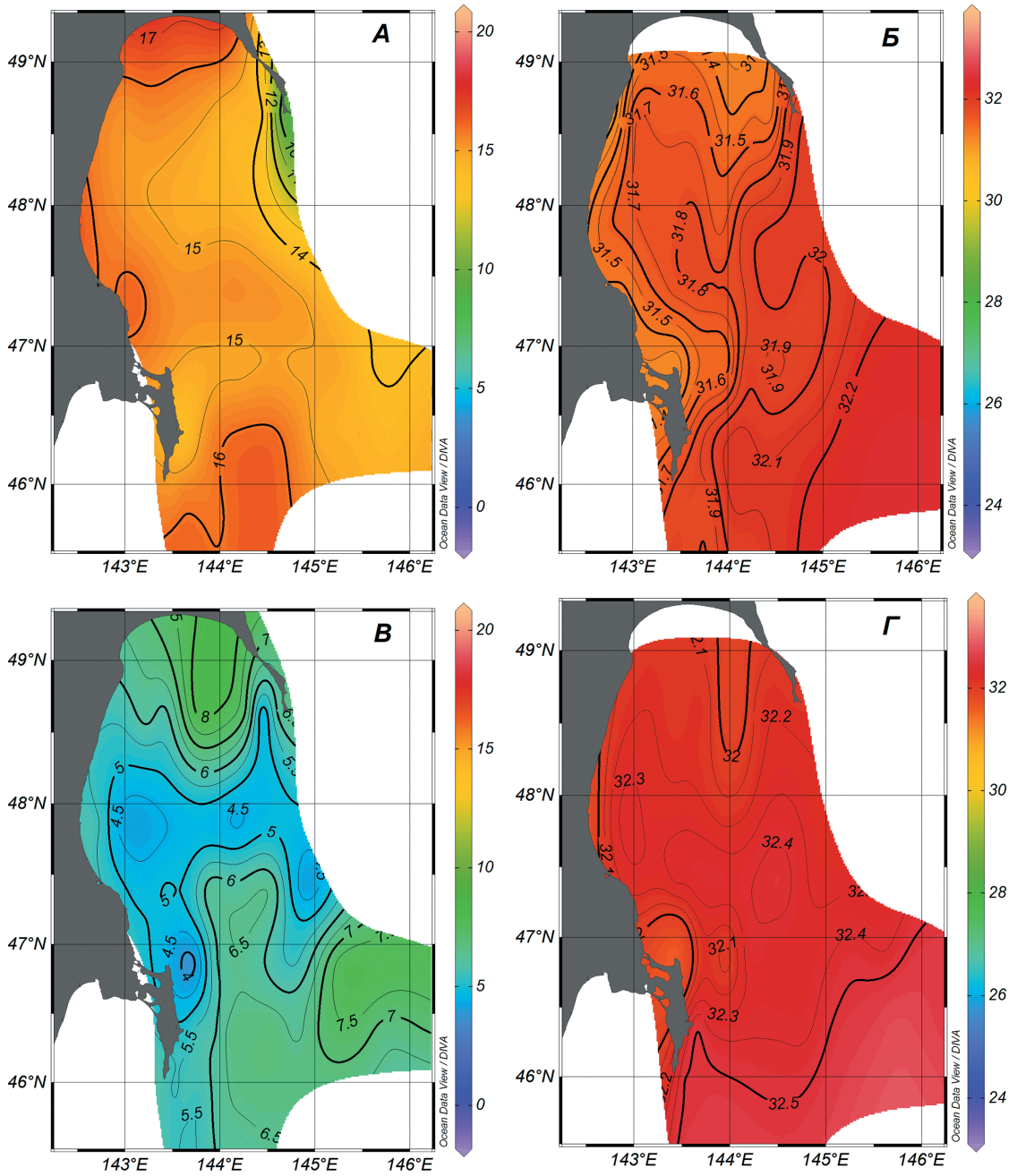

Рис. 3. Среднее многолетнее распределение температуры (°C, ***А***, ***В***) и солености (psu, ***Б***, ***Г***) на поверхности моря и на глубине 20 м у юго-восточного берега о. Сахалин, по данным наблюдений на стандартных разрезах. Лето (август).

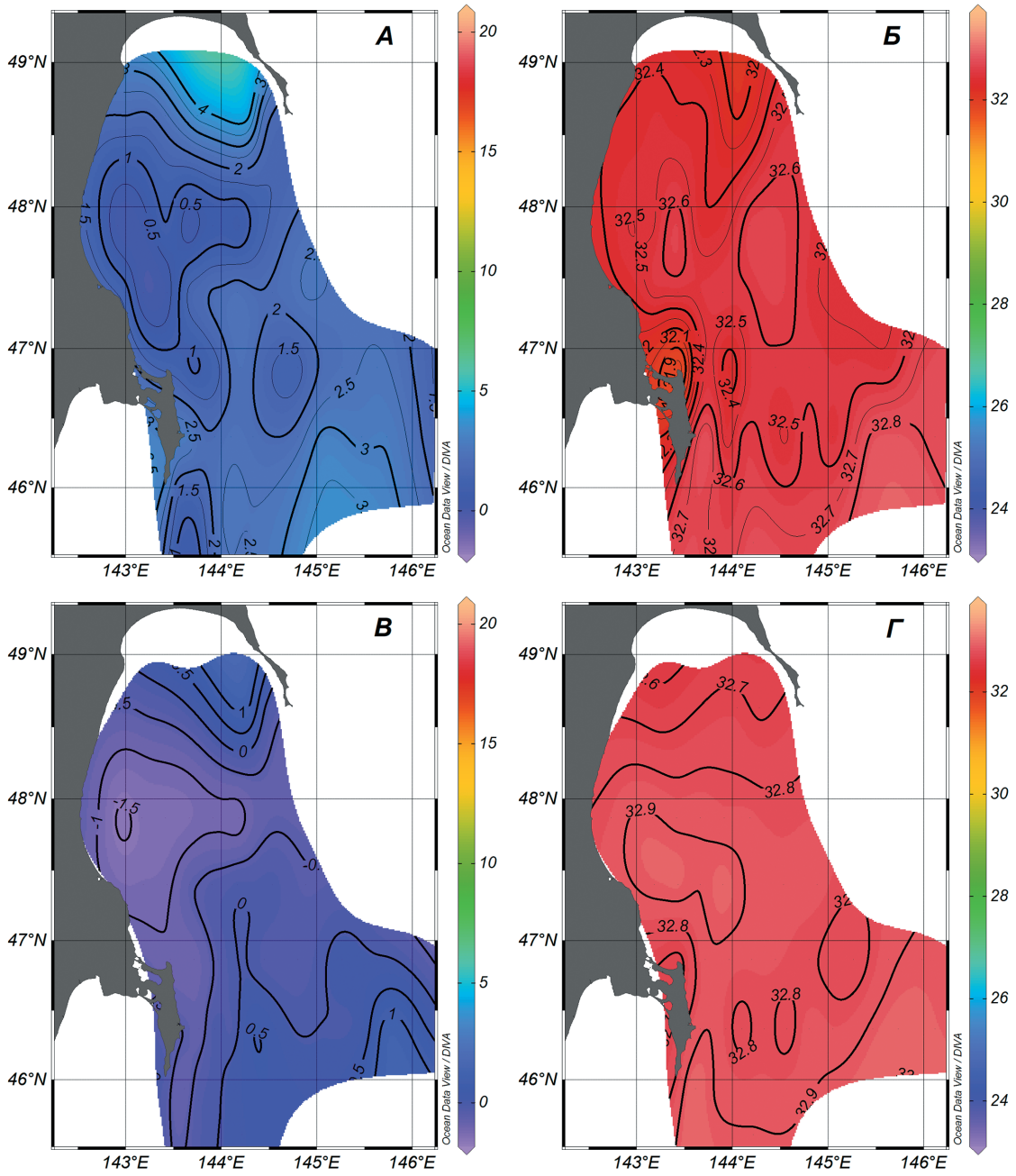

Рис. 4. Среднее многолетнее распределение температуры (°C, ***А***, ***В***) и солености (psu, ***Б***, ***Г***) на глубине 30 м и 50 у юго-восточного берега о. Сахалин, по данным наблюдений на стандартных разрезах. Лето (август).

Осень (октябрь–ноябрь)

В осенний период было выполнено меньше съемок, чем летом. По этой причине в ноябре средние многолетние значения солености не были рассчитаны не только на разрезе Вахрушев – м. Пята, но и на разрезе II Макаров – м. Георгия. Тем не менее, важные моменты резкой перестройки гидрологических условий при переходе от летнего к осеннему режиму выявились очень четко (рис. 5 и 6).

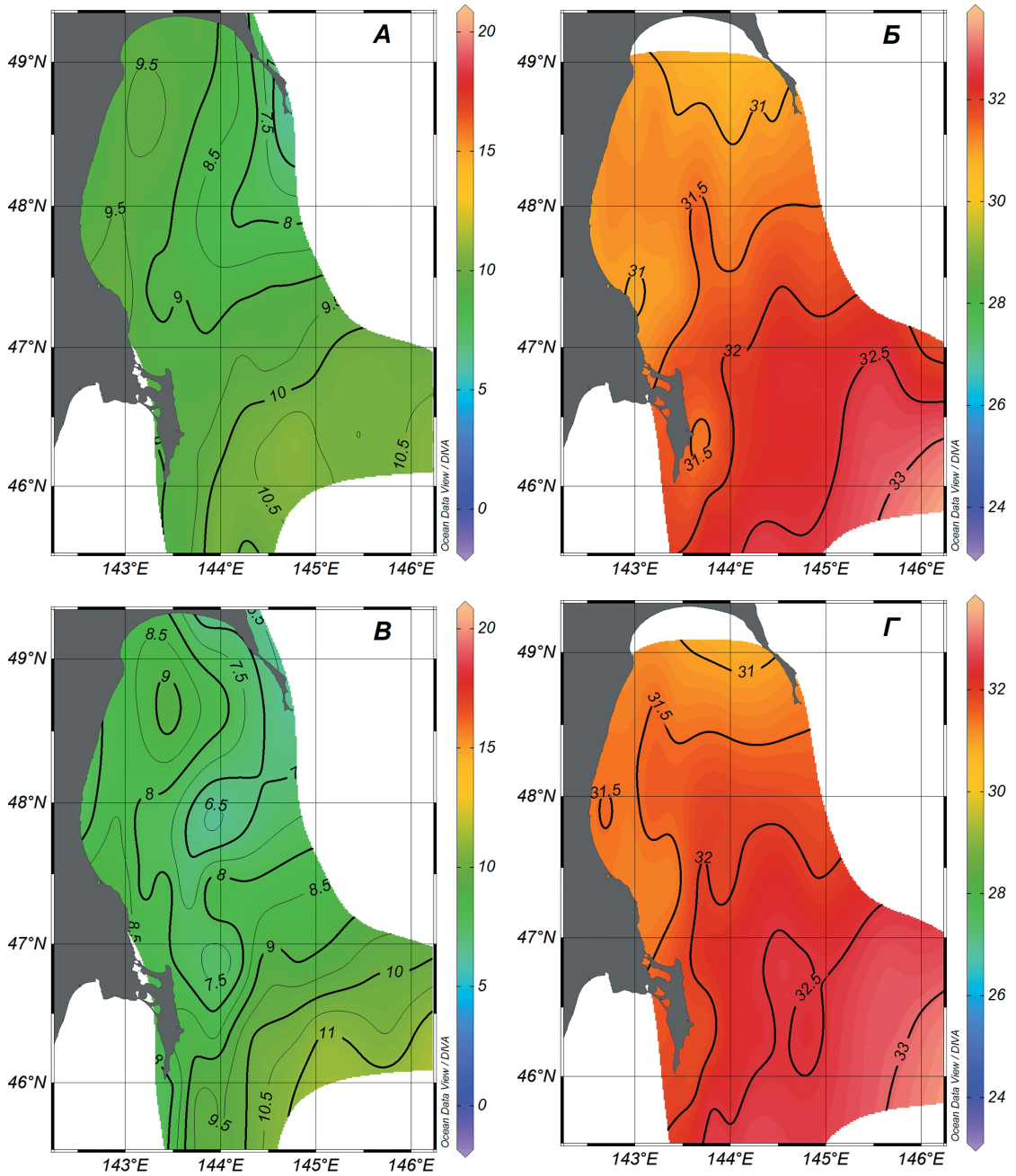

Рис. 5. Среднее многолетнее распределение температуры (°C, ***А***, ***В***) и солености (psu, ***Б***, ***Г***) на поверхности моря и на глубине 20 м у юго-восточного берега о. Сахалин, по данным наблюдений на стандартных разрезах. Осень (октябрь).

В октябре северная часть изучаемого района заполнена модифицированной амурской водой низкой солености, изогалина 31.5 psu проходит над свалом глубин, разделяя две водные массы с различной соленостью (рис. 5б). Распределение температуры в поверхностном слое однородно (рис. 5а), значительный градиент в поле солености (и плотности воды) означает высокую скорость течения, отвечающую осенней интенсификации ВСТ (Власова и др., 2008). Аналогичная структура пространственных распределений гидрологических параметров прослеживается до

глубины 20 м, и только на глубине 30 м влияние распресненной воды более слабое, и сказывается, прежде всего, с западной стороны полуострова Терпения (рис. 6).

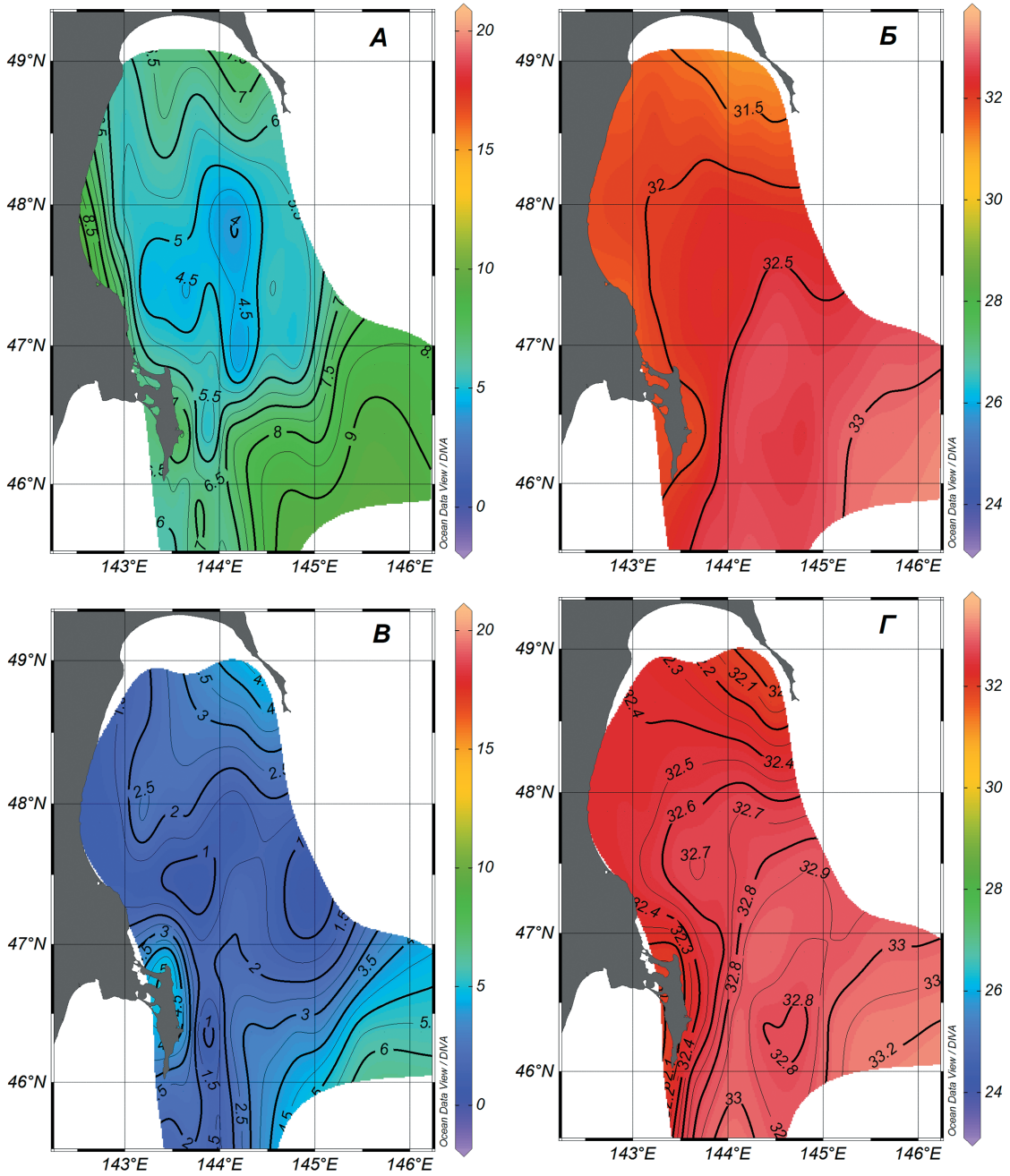

Рис. 6. Среднее многолетнее распределение температуры (°C, ***А***, ***В***) и солености (psu, ***Б***, ***Г***) на глубинах 30 и 50 м у юго-восточного берега о. Сахалин, по данным наблюдений на стандартных разрезах. Осень (октябрь).

На данном горизонте появляется область с более низкими температурами в центральной части изучаемой акватории, хотя ее значения (4.5–5°C) существенно выше, чем летом, в том числе в период максимального прогрева вод в августе. Как в прибрежных, так и в глубоководных районах, значения температуры составляли необычные для такой глубины 6–8°C.

На горизонте 50 м (рис. 6) влияние модифицированной воды практически незаметно, но значения температуры положительные и выше, чем летом, что указывает на деградацию холодного промежуточного слоя, сохранявшегося на глубинах более 30 м даже в период максимального прогрева вод в августе. Заглубление более теплых поверхностных вод обусловлено, как и на северо-восточном шельфе острова, перестройкой поля ветра от летнего к зимнему муссону, для которого характерны сильные и устойчивые ветра северного и близких к нему румбов, оставляющих берег справа и способствующие формированию даунвеллинга (Власова и др., 2008). Сравнительно небольшое понижение солености указывает на то, что в этот период наблюдается заглубление преимущественно местной поверхностной воды, которое началось до подхода модифицированной воды амурского стока.

В ноябре наблюдается сходная картина, только если на глубинах 30 и 50 м влияние распресненной воды в октябре проявлялось на небольшом участке на северо-востоке изучаемой акватории, вблизи полуострова Терпения, то в данном месяце наоборот, в большей степени на юго-западе, в районе Тонино-Анивского полуострова, где проходит основной поток Восточно-Сахалинского течения.

Особенности термических условий по спутниковым данным

На рис. 7 представлен средний многолетний ход температуры поверхности воды в изучаемой акватории, рассчитанный по спутниковым данным за 1998–2018 гг. Как видно из диаграммы, с января по апрель, когда большая часть акватории покрыта льдом, значения температуры воды близки к нулю.

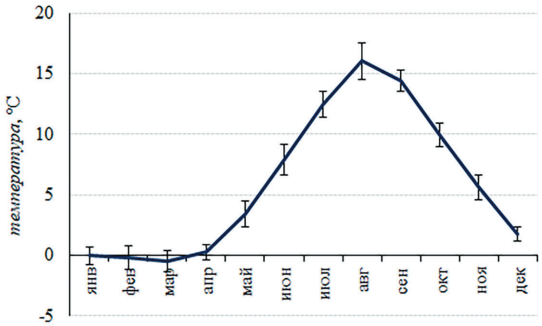

Рис. 7. Средние многолетние значения температуры поверхности воды с границами величины стандартного отклонения у юго-восточного побережья Сахалина.

Интенсивный прогрев поверхности начинается с мая и продолжается по август. В этот период среднемесячная температура воды увеличивается примерно на 3.5–4.5°С. После максимального прогрева в августе происходит незначительное снижение термических показателей в сентябре (приблизительно на 1.5°С), затем темпы охлаждения поверхностного слоя увеличиваются, температура воды уменьшается в среднем на 4°С в месяц.

Межгодовые колебания температуры воды в конкретные месяцы составляют около 1°С. Наиболее стабильные термические условия наблюдаются в январе, апреле и декабре, колебания температуры в эти месяцы не превышают 0.7°С. Наибольшая величина стандартного отклонения отмечается в июне и августе – от 1.3

до 1.5°С. Причины такой динамики вполне понятны, в июне на изучаемой акватории интенсивность прогрева зависит от ряда изменчивых факторов: влияния облачности, таяния остатков ледяного покрова, речного стока и затока холодных вод с северо-восточного побережья Сахалина. В августе активизируется циклоническая деятельность, которая сильно влияет на синоптические и гидрологические условия в регионе.

Рассмотрим подробнее аномалии температуры поверхности воды (отклонения среднего по акватории значения температуры для конкретного года относительно среднего многолетнего для данного месяца в изучаемом районе, рис. 8) в наиболее неустойчивые в плане термических условий периоды – весной, в мае–июне, и летом, в июле–августе. Из графиков видно, что весной на рубеже 2000-х годов у юго-восточного побережья Сахалина температура поверхности воды была выше нормы, наибольшие положительные аномалии отмечались в мае. В 2010-х годах динамика существенно изменилась, в изучаемом районе фикси-

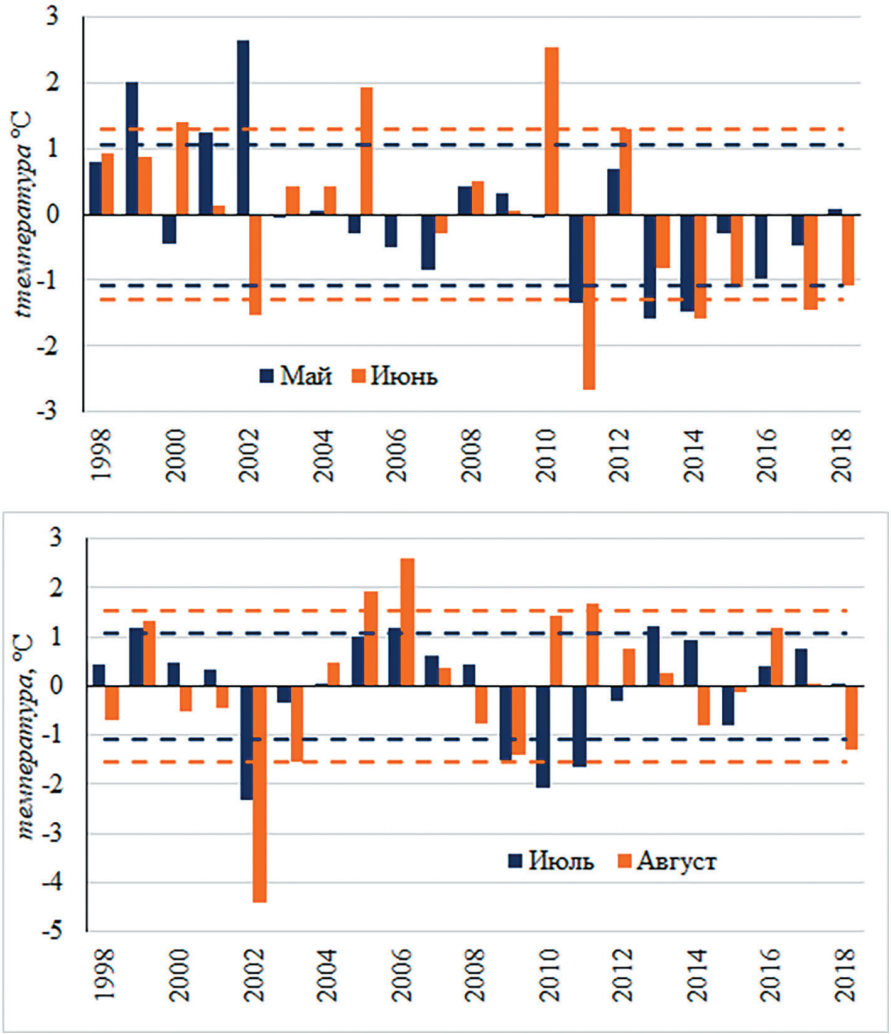

Рис. 8. Значения аномалий температуры поверхности воды в сравнении с величиной стандартного отклонения (показаны штриховыми линиями) в весенний и летний сезоны у юго-восточного побережья Сахалина.

ровались преимущественно отрицательные аномалии, превышающие средние многолетние показатели (особенно в июне). Наиболее экстремальным выдался 2011 г., когда аномалия температуры воды в 2 раза превысила величину стандартного отклонения. Неустойчивыми термическими условиями характеризовался 2002 г., когда вслед за существенными положительными аномалиями в мае отмечались значимые отрицательные аномалии в июне (Цхай, Шевченко, 2013). В период с 2003 по 2009 гг. термические условия в изучаемом районе были близки к норме.

Летние месяцы можно охарактеризовать как более устойчивые в сравнении с весенним сезоном. Наиболее холодное лето наблюдалось в уже упомянутом выше 2002 г. (в августе отрицательная аномалия почти в 3 раза превысила величину среднеквадратического отклонения, что указывает на исключительный характер термических условий), наиболее теплое – в 2006 г. В последние годы на акватории юго-восточного Сахалина отмечался устойчивый температурный режим. Начиная с 2012 г. температура поверхности воды была близка к норме (аномалии не превышали среднеквадратического отклонения). При этом изменения аномалий во времени носили квазициклический характер с периодом около 7–8 лет.

Далее проанализируем результаты разложения поля температур по ЕОФ (рис. 9 и 10). Первые десять мод описали 99% общей дисперсии изучаемого параметра, из которых 97.7% пришлось на первую моду.

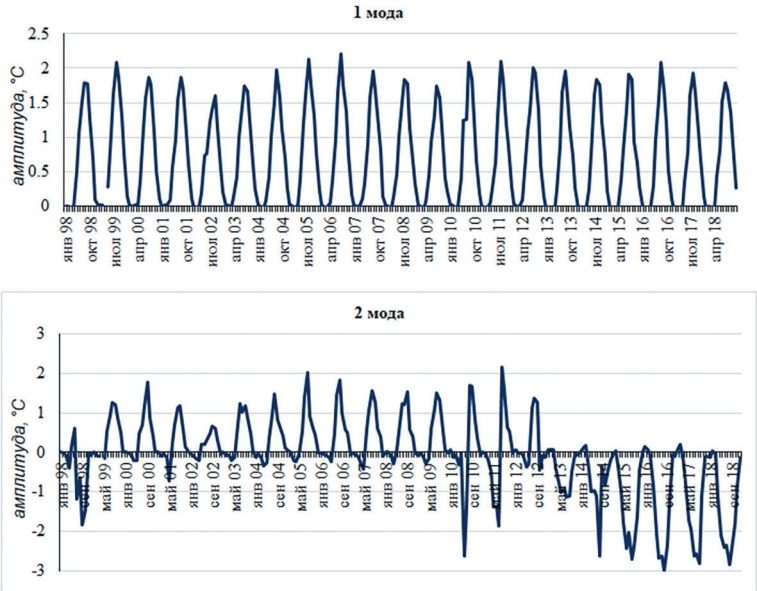

Рис. 9. Амплитуды первых двух мод разложения по ЕОФ (°C) поля температур поверхности воды у юго-восточного побережья о. Сахалин.

Амплитуда первой моды показала многолетнюю динамику температуры поверхности воды. Проявляются ярко выраженные сезонные вариации, при этом в межгодовом масштабе выделяется 6–7 периодических циклов, причем за 21 год наблюдений не отмечено однонаправленного тренда, что указывает на отсутствие проявлений глобального потепления в изучаемом районе. Пространственное распределение первой моды четко структурировано. Наиболее теплыми являют-

ся южные (помимо залива Анива, не входящего в изучаемый район, акватория к юго-востоку от одноименного мыса) и западные (прибрежные) районы изучаемой акватории. На рисунке отчетливо видна область распространения более холодных вод, приносимых с северо-восточного шельфа о. Сахалин Восточно-Сахалинским течением, идущая от м. Терпения и о. Тюлений в сторону залива Мордвинова. Это картина имеет много общего с рассмотренным выше распределением температуры в поверхностном слое летом по результатам судовых съемок (рис. 3а).

Наибольший интерес вызывает амплитуда второй моды, на которую приходится всего 0.4% общей дисперсии. Она, как и в случае с первой модой, тоже имеет выраженные сезонные вариации. С 1999 по 2009 гг. ее годовой ход имел приблизительно одинаковый характер. В зимние месяцы колебания амплитуды близки к нулю, весной в апреле–мае они принимают отрицательные значения, а летом и осенью – положительные, с максимумом в августе или сентябре. Изменения в годовом ходе начинаются в 2010 г. с отрицательных величин в мае и июне, а с 2013 г. амплитуды становятся отрицательными с мая по декабрь, причем в августе или сентябре – максимальными по абсолютному значению. Картина, подобная ситуации последних лет, отмечалась также в 1998 г., что, возможно, предполагает циклический характер таких вариаций.

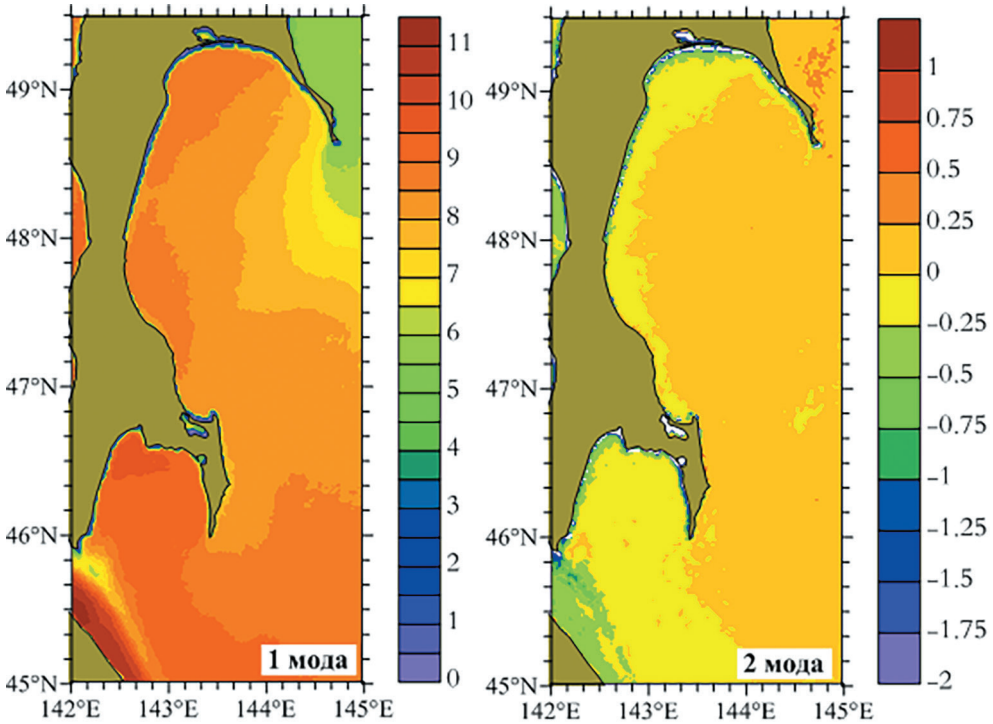

Рис. 10. Пространственные распределения первых двух мод разложения по ЕОФ поля температур (безразмерные) поверхности воды у юго-восточного побережья Сахалина.

Пространственное распределение второй моды характеризуется наличием узловой линии, которая разграничивает области с разными знаками. Она проходит вдоль берега, отделяя сравнительно узкую прибрежную зону от более глубоководной акватории. Ширина этой зоны составляет 5–7 км вдоль восточного берега полуо-

острова Терпения и имеет наибольшую протяженность (до 40 км) в вершине одноименного залива, и тянется, постепенно сужаясь, до м. Свободный. К югу от этого мыса до юго-восточной оконечности о. Сахалин линия нулевых значений сливается с берегом и далее тянется на юг – юго-восток, при этом практически во всей области к югу от Сахалина значения моды отрицательные.

В центральной и восточной части изучаемой акватории значения моды меняются мало и составляют около 0.2, только к востоку от полуострова Терпения они возрастают до 0.4. Отрицательные значения существенно возрастают по величине в непосредственной близости от берега (до –0,7 ÷ –1), в особенности в вершине залива Терпения, у юго-западной оконечности о. Сахалин и на северном шельфе о. Хоккайдо, в зоне влияния теплого течения Соя.

Если соотнести амплитуды с пространственным распределением второй моды, то это означает, что в последние несколько лет с мая по ноябрь в прибрежной зоне температура воды увеличилась, а в мористой части, наоборот, уменьшилась. До этого в течение продолжительного времени вклад второй моды имел противоположный характер.

Аналогичные изменения наблюдались при анализе поля температур в других районах западной части Охотского моря, что говорит о происходящем в регионе климатическом сдвиге, отмечаемом рядом исследований (Глебова, 2014), и оказывающем влияние на формирование термических условий изучаемой акватории.

Вклад второй моды в формирование термических условий невелик по сравнению с основной, однако значения связанной с ней поправки на основной части юго-восточного шельфа достигают 0.4–0.6°C, а на некоторых участках прибрежной акватории возрастают до 2–2.5°C. Это показывает, что его также следует учитывать, в особенности при изучении изменения среды обитания рыб и иных гидробионтов.

Заключение

На основе анализа многолетних материалов океанологических съемок на стандартных разрезах, пересекающих шельф и материковый склон у юго-восточного побережья о. Сахалин, а также спутниковых данных по температуре поверхности моря, дана характеристика сезонной и межгодовой изменчивости океанологических условий в данном районе.

Построены средние многолетние распределения температуры и солености в различные месяцы навигационного сезона (июнь–ноябрь). Весной, в июне, наиболее теплые воды с низкой соленостью распределены в северной и западной частях исследуемой акватории, важную роль в их формировании играет сток реки Поронай. С северо-востока поступают более холодные и соленые воды, транспортируемые Восточно-Сахалинским течением.

Летом распресненная вода продолжает стекать с севера на юг вдоль берега острова, образуя локальную линзу в районе м. Свободный. Формируется также

второй поток этой воды из вершины зал. Терпения, ориентированный на юго-восток. Теплые воды с низкой соленостью заглубляются в северной части района до глубины 20 м под действием ветров южного румба, характерных для летнего муссона. На глубине 30 м отмечены холодные воды с низкой соленостью.

Осенью в изучаемую акваторию в результате интенсификации ВСТ поступает модифицированная вода стока реки Амур, характеризующаяся низкими значениями солености (менее 31 psu). Эта вода заполняет северную и западную мелководные зоны, граница раздела с более солеными водами проходит вдоль свала глубин. В октябре отмечено заглубление более теплых вод с низкой соленостью до глубины 30 м и начало деградации холодного промежуточного слоя, сохранявшегося в период максимального прогрева в августе. В ноябре заглубление достигает глубины 50 м, модифицированная вода распространяется вдоль берега Сахалина далее на юг.

Расчет отклонений от многолетних значений температуры поверхности моря по спутниковым данным в весенние и летние месяцы показал, что за последние два десятка лет в весенний период у юго-восточного побережья Сахалина наблюдается неустойчивый термический режим с существенными аномалиями температуры поверхности воды, что, в первую очередь, может оказывать негативное влияние на сроки выпуска молоди тихоокеанских лососей с рыбоводных заводов и ее выживаемость в ранний морской период жизни. В летний период межгодовые колебания температурных условий менее значимые, в последнее десятилетие термический режим изучаемой акватории можно охарактеризовать как стабильный, что благоприятно для нерестовых подходов горбуши.

Пространственное распределение первой моды ЕОФ идентично распределению температуры воды в поверхностном слое, по данным судовых съемок, и характеризуется более высокими значениями в северной и западной мелководных и юго-восточной глубоководной частях изучаемого района. В ее амплитуде прослеживаются циклические вариации с периодом 6–7 лет, выраженные в модуляции годовой гармоники. В амплитуде второй моды большой интерес представляет климатический сдвиг, произошедший в 2010 г. и выраженный в изменении ее знака с положительного на отрицательный.

Благодарности. Авторы выражают свои искреннюю благодарность неизвестным нам рецензентам за внимательное и доброжелательное отношение к нашей работе и полезные замечания, способствовавшие улучшению качества текста статьи.

Литература

Багров Н.А. Аналитическое представление последовательности метеорологических полей посредством естественных ортогональных составляющих // Тр. ЦИП. 1959. Вып. 74. С. 3–24.

Власова Г.А., Васильев А.С., Шевченко Г.В. Пространственно-временная изменчивость структуры и динамики вод Охотского моря. М.: Наука, 2008. 356 с.

Гидрометеорология и гидрохимия морей. Т. 9. Охотское море. Вып. 1: Гидрометеороло-

гические условия / ред. Б.Х. Глуховский и др. СПб.: Гидрометеоиздат, 1998. 343 с.

Глебова С.Ю. Особенности атмосферного и термического режима в дальневосточных морях в холодные и тёплые сезоны 2000-х годов // Вопросы промысловой океанологии. 2014. Вып. 11. С. 98–118.

Като Э., Савельев В.Ю., Шевченко Г.В. Режимные характеристики ветра для острова Сахалин, полученные на основе инструментальных данных // Динамические процессы на шельфе Сахалина и Курильских островов. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2001. С. 177–194.

Пищальник В.М., Архипкин В.С. Сезонные вариации циркуляции вод на охотоморском шельфе острова Сахалин // Труды ДВНИГМИ. Тематический выпуск № 2. Владивосток: Дальнаука, 1999. С. 84–95.

Пищальник В.М., Бобков А.О. Океанографический атлас шельфовой зоны острова Сахалин. Ю-Сахалинск: Изд-во СахГУ, 2000. Ч. 1. 174 с.

Пищальник В.М., Архипкин В.С., Юрасов Г.И., Ермоленко С.С. Сезонные вариации циркуляции вод в прибрежных районах о. Сахалин // Метеорология и гидрология. 2003. № 5. С. 87–95.

Цхай Ж.Р., Шевченко Г.В. Оценка температурных аномалий поверхности Охотского моря и прилегающих акваторий по спутниковым данным // Исследования Земли из космоса. 2013. № 2. С. 50–61.

Шевченко Г.В., Кусайло О.В. Анализ течений у юго-восточного побережья Сахалина по данным инструментальных измерений // Метеорология и гидрология. 2007. № 10. С. 75–87.

Шевченко Г.В., Частиков В.Н. Сезонные и межгодовые вариации океанологических условий в юго-западной части Охотского моря // Метеорология и гидрология. 2007. № 3. С. 69–85.

Шевченко Г.В., Частиков В.Н. Сезонные вариации океанологических условий у юго-восточного побережья о. Сахалин // Метеорология и гидрология. 2008. № 8. С. 70–86.

FEATURES OF OCEANOLOGICAL CONDITIONS ON THE SOUTHEASTERN SHELF OF SAKHALIN ISLAND ACCORDING TO SURVEYS ON STANDARD SECTIONS AND SATELLITE OBSERVATIONS

Shevchenko G.V. [1,2], Tshay Zh.R. [1], Chastikov V.N. [1]

[1] *Sakhalin branch of the All-Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography*
196, Kosomolskaya ul., Yuzhno-Sakhalinsk, 693022, Russia,
e-mail: Shevchenko_zhora @ mail.ru
[2] *Institute of Marine Geology and Geophysics FEB RAS*
1-B, Science ul., Yuzhno-Sakhalinsk, 693023, Russia,
Submitted 27.04.2020, accepted 28.08.2020

The average monthly temperature and salinity distributions are analyzed for 7 standard sections crossing the area off the southeast coast of Sakhalin Island, built for the navigation period (June-November). The most significant seasonal changes in oceanological conditions occur in the fall, when the modified Amur River water transported by the ESC fills the northern and western parts of the study area, and surface waters are deepened to a depth of 50 m. Interannual variations in thermal conditions were determined by satellite data. In the spring months of 1998–2002 positive anomalies prevailed, and negative in 2011–2018; in summer the temperature of the surface layer is more stable. The spatial distribution

of the first EOF mode is identical to the distribution of water temperature in the surface layer according to ship surveys and is characterized by higher values in the northern and western shallow and southeastern deep-sea parts of the study area. In its amplitude, cyclic variations with a period of 6–7 years, expressed in modulation of the annual harmonic, are traced. In the amplitude of the second mode, the climate shift that occurred in 2010 and expressed in a change in its sign from positive to negative is of great interest.

Keywords: temperature, salinity, standard section, river runoff, cold intermediate layer, satellite observations, anomaly, amplitude

Acknowledgment: The authors are sincerely grateful to unknown reviewers for their attentive and friendly attitude to our work and useful comments that contributed to improving the quality of the text of the article.

References

Bagrov N.A. Analytical presentation of meteorological fields through natural orthogonal components. *Tr. TsIP*, 1959, No. 74, pp. 3–24.

Gidrometeorologiya i gidroximiya morej. Vol. 9. Okhotskoe more. Part. 1. *Gidrometeorologicheskie usloviya*. Saint-Petersburg: Gidrometeoizdat, 1998, 343 p.

Glebova S. Yu. Osobennosti atmosfernogo i termicheskogo rezhima v dal`nevostochny`x moryax v xolodnye i tyoplye sezony 2000-x godov. *Voprosy promyslovoj okeanologii*, 2014, Vol. 11, pp. 98–118.

*Kato E., Savel`ev V.Yu., and Shevchenko G.V.* Rezhimnye kharakteristiki vetra dlya ostrova Sakhalin, poluchennye na osnove instrumental`nykh dannyh. *Dinamicheskie processy na shel`fe Sakhalina i Kuril`skix ostrovov*, Yuzhno-Sakhalinsk: IMGiG DVO RAN, 2001, pp. 177–194.

*Pishhal`nik V.M. and Arxipkin V.S.* Sezonnye variacii cirkulyacii vod na okhotomorskom shel`fe ostrova Sakhalin. *Trudy DVNIGMI. Tematicheskij vypusk*, No. 2, Vladivostok: Dal`nauka, 1999, pp. 84–95.

*Pishhal`nik V.M. and Bobkov A.O.* Okeanograficheskiy atlas shel`fovoj zony ostrova Sakhalin. Yuzhno-Sakhalinsk: SakhGU, 2000, 174 p.

Pishhal`nik V.M., Arxipkin V.S., Yurasov G.I., and Ermolenko S.S. Sezonnye variacii cirkulyacii vod v pribrezhnykh rayonakh o. Sakhalin. *Meteorologiya i gidrologiya*, 2003, No. 5, pp. 87–95.

Tshaj Zh.R. and Shevchenko G.V. Ocenka temperaturnykh anomalij poverkhnosti Okhotskogo morya i prilegayushhikh akvatorij po sputnikovym dannym. *Issledovaniya Zemli iz kosmosa*, 2013, No. 2, pp. 50–61.

Shevchenko G.V. and Kusaylo O.V. Analiz techenij u yugo-vostochnogo poberezh`ya Sakhalina po dannym instrumental`nykh izmereniy. *Meteorologiya i gidrologiya*, 2007, No. 10, pp. 75–87.

Shevchenko G.V. and Chastikov V.N. Sezonnye i mezhgodovye variacii okeanologicheskikh uslovij v yugo-zapadnoj chasti Okhotskogo moray. *Meteorologiya i gidrologiya,* 2007, No. 3, pp. 69–85.

Shevchenko G.V. and Chastikov V.N. Sezonnye variacii okeanologicheskikh uslovij u yugo-vostochnogo poberezh`ya o. Sakhalin. *Meteorologiya i gidrologiya*, 2008, No. 8, pp. 70–86.

*Vlasova G.A., Vasil`ev A.S., and Shevchenko G.V.* Prostranstvenno-vremennaya izmenchivost`struktury i dinamiki vod Okhotskogo morya. Moscow: Nauka, 2008, 356 p.